



POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Ingegneria Edile - Architettura
Corso di laurea magistrale in Ingegneria Edile - Architettura
Anno accademico 2015 - 2016

Federico Colombo 763199
Stefano Del Lungo 761693
Attilio Fumagalli 761123



Un nuovo rifugio fra le Grigne

Relatore
Prof. Graziano Salvalai

Correlatori
Prof. Francesco Calvetti
Ing. Alberto Pirovano

INDICE

ABSTRACT	9
STORIA DELLA COSTRUZIONE DEI RIFUGI SULLE ALPI	11
1.1 Architettura e montagna	13
1.2 Dalla metà del XVIII al XIX secolo	14
1.3 La nascita dei club alpini	17
1.4 La ricerca del "comfort"	19
1.5 Il razionalismo elvetico	21
1.6 Il rifugio in vetta	22
1.7 I rifugi-albergo	23
1.8 Heimatschutz e prima guerra mondiale	24
1.9 Architetti e sperimentazioni	26
1.10 Situazione italiana tra le due guerre	27
1.11 Distruzione e ricostruzione	29
1.12 Elicottero e prefabbricazione	30
1.13 Nuovi bivacchi	31
1.14 Eschenmoser, l'architetto precursore	31
1.15 La cementificazione delle alpi	32
1.16 La preoccupazione ambientale	33
1.17 L'immagine del rifugio	34
ASPETTI NATURALISTICI DELLE GRIGNE	37
2.1 Classificazione e toponomastica	39
2.2 Geologia	40
2.3 Carsismo	46
2.4 Paleontologia	49
2.5 Fauna	51
2.6 Flora	54
INQUADRAMENTO E PUNTI DI FORZA DELL'AREA DI STUDIO	57
3.1 Inquadramento generale	59
3.1.1 Inquadramento gruppo delle Grigne	59
3.1.2 Viabilità	60
3.2 Aree protette del gruppo delle Grigna	61
3.2.1 Aree protette nella provincia di lecco	61
3.2.2 Parco regionale della Grigna settentrionale	62
3.2.3 Il sic "Grigna settentrionale"	64
3.2.4 Il sic "Grigna meridionale"	65
3.2.5 La zps "Grigne"	65
3.3 Attività del gruppo delle Grigne	66
3.3.1 Strutture ricettive	66

3.3.2 Alpinismo storico e arrampicata moderna	67
3.3.3 Attività sportive invernali e manifestazioni	68
3.3.4 Zootecnia	70
3.3.5 Attività agricole e risorsa foraggera	71
3.3.6 Risorsa foraggera	72
3.3.7 Prodotti tipici	73
3.3.8 Aziende agricole	74
3.3.9 Agricoltura e turismo	76
3.3.10 Attività forestali	77
INQUADRAMENTO CLIMATICO	79
4.1 Premessa	81
4.2 I dati climatici	82
4.3 Analisi climatica	86
4.4 Analisi della luce naturale	91
CASI STUDIO	97
5.1 I rifugi alpini contemporanei	99
5.2 Monte Rosa hütte	100
5.2.1 Il progetto	100
5.2.2 Soluzioni sostenibili	101
5.2.3 Soluzioni distributive	102
5.3 Rifugio Gouter	104
5.3.1 Il progetto	104
5.3.2 Soluzioni sostenibili	105
5.3.3 Soluzioni distributive	105
5.4 Tracuit hütte	108
5.4.1 Il progetto	108
5.4.2 Soluzioni sostenibili	109
5.4.3 Soluzioni distributive	109
5.5 Rifugio Olperer hütte	111
5.5.1 Il progetto	111
5.5.2 Soluzioni sostenibili	112
5.5.3 Soluzioni distributive	112
5.6 Rifugio Gonella	114
5.6.1 Il progetto	114
5.6.2 Soluzioni sostenibili	115
5.7 Rifugio Mollino	116
5.7.1 Il progetto	116
5.7.2 Soluzioni sostenibili	117
5.8 Rifugio Piz Boè	118
5.8.1 Il progetto	118
5.8.2 Soluzioni sostenibili	119
5.9 Topalihütte	120
5.9.1 Il progetto	120
5.9.2 Soluzioni sostenibili	121
5.10 Leaprus 3912	122
5.10.1 Il progetto	122
5.10.2 Soluzioni sostenibili	123
5.11 Rifugio Schiestlhaus	124
5.11.1 Il progetto	124
5.11.2 Soluzioni distributive	125

5.12 Capanna Cristallina	126
5.12.1 Il progetto	126
SITO DI PROGETTO	127
6.1 Inquadramento generale	129
6.2 Indagine sui rifugi del lecchese	135
PROGETTO ARCHITETTONICO	139
7.1 Obiettivi, strategie, azioni	141
7.2 Determinazione del volume	143
7.3 Distribuzione planimetrica	146
7.3.1 Piano interrato	147
7.3.2 Piano terra	147
7.3.3 Piano primo e soppalco	149
7.4 Prospetti	152
7.4.1 Prospetto sud-est	152
7.4.2 Prospetto nord-ovest	154
7.4.3 Prospetto nord-est	155
7.4.4 Prospetto sud-ovest	156
7.5 Materiali	157
7.6 Spazi esterni	162
PROGETTO TECNOLOGICO	169
8.1 Premessa	171
8.2 Il legno	171
8.3 Soluzioni costruttive	173
8.3.1 Cross laminated timber panel	173
8.3.1 Pannelli intelaiato	174
8.4 Studio delle soluzioni tecnologiche	175
8.4.1 X-lam etics	176
8.4.2 Telaio etics	177
8.4.3 X-lam ventilato	178
8.4.4 Telaio ventilato	179
8.4.5 X-lam isotec parete 80	180
8.4.6 X-lam isotec parete 160	181
8.4.7 X-lam isotec linea 80	182
8.4.8 X-lam isotec linea 160	183
8.4.9 Telaio isotec parete 80	184
8.4.10 Telaio isotec linea 80	185
8.4.11 X-lam isotec parete 80 con barriera al vapore	186
8.4.12 X-lam isotec parete 160 con barriera al vapore	187
8.4.13 X-lam linea parete 80 con barriera al vapore	188
8.4.14 X-lam isotec linea 160 con barriera al vapore	189
8.4.15 Telaio isotec parete 80 con barriera al vapore	190
8.4.16 Telaio isotec linea 80 con barriera al vapore	191
8.5 Progettazione dei dettagli tecnologici	194
8.5.1 Nodo 1 tecnologia X-lam	196
8.5.2 Nodo 1 tecnologia telaio	198
8.5.3 Nodo 4 tecnologia X-lam	200
8.5.4 Nodo 5 tecnologia a telaio	202
8.5.5 Nodo 7 tecnologia a telaio	204
8.6 Definizione delle scelte tecnologiche	206
8.6.1 X-lam a vista	208

8.6.2 X-lam con controparete	209
8.7 Definizione dei dettagli tecnologici	211
8.7.1 Nodo 1	212
8.7.2 Nodo 2	214
8.7.3 Nodo 3	216
8.7.4 Nodo 1	218
PROGETTO STRUTTURALE	221
9.1 Premessa	223
9.2 Sicurezza e prestazioni attese	224
9.2.1 Quadro normativo di riferimento	224
9.2.2 Prestazioni di progetto	225
9.2.3 Classificazione delle azioni	225
9.2.4 Criteri di calcolo	226
9.3 Azioni sulle costruzioni	228
9.3.1 Carichi permanenti	228
9.3.2 Carichi variabili	230
9.4 Struttura in X-lam	236
9.4.1 Caratteristiche del sistema X-lam	236
9.4.2 Gerarchia delle resistenze	237
9.4.3 Analisi dei carichi	238
9.4.4 Dimensionamento X-lam solaio	239
9.4.5 Dimensionamento X-lam parete	247
9.5 Struttura in legno lamellare	252
9.5.1 Ipotesi statiche	252
9.5.2 Caratteristiche del legno lamellare	255
9.5.3 Verifiche SLU e SLE	258
9.5.4 Verifiche rei	270
9.5.5 Giunti di connessione	272
9.5.6 Verifica di un giunto a momento	274
9.5.7 Nodi a terra e connessioni a cerniera	279
9.6 Struttura in acciaio	280
9.6.1 Premessa	280
9.6.2 Ipotesi statiche	281
9.6.3 Analisi dei carichi	282
9.6.4 Dimensionamento con sap2000	283
9.6.5 Verifiche allo SLU con sap2000	286
9.6.6 Verifiche agli SLE	297
9.6.7 Nodi di collegamento trave-colonna	299
9.7 Plinti in CLS	300
9.7.1 Premessa	300
9.7.2 Verifiche	301
PROGETTO ERGOTECNICO	309
10.1 Organizzazione del cantiere	311
10.2 Computo metrico	315
10.2.1 Premessa	315
10.2.2 Plinti in CLS	317
10.2.3 Struttura in acciaio	320
10.2.4 Software dietrich's 3d-cad/cam	323
10.2.5 Struttura in X-lam	329
10.2.6 Struttura in X-lam	330
10.2.7 Conclusioni	332

PROGETTO IMPIANTISTICO	333
11.1 Premessa	335
11.2 Fabbisogno termico	335
11.3 Carico termico invernale	335
11.4 Scelta dell'impianto di riscaldamento	338
11.4.1 Impianto di riscaldamento a pavimento	338
11.4.2 Rete di distribuzione	342
11.4.3 Impianto radiante a infrarossi	346
11.5 Impianto di aerazione	347
11.5.1 Dimensionamento canalizzazioni	349
11.6 Acqua calda sanitaria	352
11.6.1 Dimensionamento periodo di punta	352
11.7 Impianto solare termico	355
11.8 Generatore di calore	357
11.9 Acque reflue	359
11.10 Trattamento acque di scarico	363
11.11 Acque meteoriche	365
11.12 Impianto fotovoltaico	366
STUDIO DEL COMFORT	371
12.1 Premessa	373
12.2 Il comfort	373
12.3 Modellazione dell'edificio	375
12.3.1 Impostazione delle simulazioni	377
12.3.2 Definizione delle simulazioni	379
12.4 Studio del comfort della tecnologia costruttiva	380
12.5 Studio dell'impianto di riscaldamento	382
12.6 Studio dell'impianto di riscaldamento 18°C	384
12.7 Studio della ventilazione meccanica	386
12.8 Studio della ventilazione naturale	388
12.9 Studio della ventilazione naturale da aprile a settembre	390
12.10 Studio della ventilazione naturale 2 vol/h	392
12.11 Studio della ventilazione naturale 4 vol/h	394
12.12 Studio della schermatura fissa	396
12.13 Studio della schermatura mobile	398
12.14 Studio della schermatura 80%	400
12.15 Studio della schermatura 90%	402
12.16 Conclusioni	403
VERIFICHE NORMATIVE	405
13.1 Quadro normativo	407
13.1.1 Normativa nazionale	407
13.1.2 Normativa locale	407
13.1.3 Estratto legge regionale n°15	408
13.1.4 Estratto regolamento regionale n°5	409

13.1.5 Estratto regolamento generale rifugi	410
13.2 Verifiche normative	410
13.3 Verifica della normativa antincendio	412
13.4 Verifiche illuminotecniche	414
13.5 Calcolo dell'energia primaria	418
CONCLUSIONI	421
BIBLIOGRAFIA E INDICI	423
14.1 Bibliografia	423
14.2 Indice delle figure	425
14.3 Indice delle tabelle	431

ABSTRACT

Il lavoro di tesi affronta la progettazione completa di un rifugio di montagna situato nel gruppo delle Grigne, all'interno del territorio lecchese.

Innanzitutto si acquisiscono le conoscenze indispensabili sulla storia delle costruzioni in alta quota, osservando l'evoluzione dei modi di fruire la montagna nei secoli e apprendendo le tecnologie impiegate tradizionalmente in questi ambienti. In seguito si analizzano le più attuali concezioni di rifugio, le tipologie edilizie e le tecnologie più innovative, guardando agli esempi di architetture montane odierne di particolare interesse. Si affronta in modo approfondito il tema della montagna nel territorio lecchese: le caratteristiche fisiche e naturali, gli spazi antropizzati che vi si sono sviluppati nel tempo, le componenti di cultura e tradizione indissolubilmente legate a questo ambiente. L'operazione, condotta anche con il supporto del CAI Lecco e con la collaborazione dei gestori dei rifugi, ha il fine di fornire un quadro completo del luogo di progetto.

Si definiscono, quindi, gli obiettivi specifici dell'intervento; alle funzioni classiche del rifugio, meta di ricovero e ristoro per i fruitori della montagna, si aggiungono quelle suggerite dalle potenzialità del luogo: il sito diventa un polo di avvicinamento alle pratiche sportive in quota e un centro di promozione del territorio su cui sorge.

Il processo costitutivo delle forme del manufatto architettonico segue un percorso sistematico volto nel contempo ad assolvere le funzioni da allocare, a minimizzare i fabbisogni energetici e ad ottimizzare la gestione dell'opera durante la sua vita utile. La progettazione di un edificio energeticamente autosufficiente è imprescindibile, vista l'assenza di forniture via rete, pertanto la tematica impiantistica viene affrontata in modo approfondito. La tecnologia costruttiva da utilizzare viene determinata mediante un processo di confronto che evidenzia la soluzione più vantaggiosa per il caso specifico. La collaborazione alla consulenza che il Politecnico di Milano ha fornito ad una ditta specializzata in costruzioni in legno ha permesso di sviluppare soluzioni tecniche innovative. Il contatto diretto con l'azienda ha consentito di affrontare la progettazione ergotecnica e strutturale con gli strumenti rigorosi di chi lavora sul campo.

ABSTRACT

This thesis deals with the complete design of a mountain shelter located in the Grigne group in Lecco's area. Firstly we had to acquire the essential knowledge about the history of construction at high altitude, looking at the evolution of the ways of making use of mountain over the centuries and learning the traditional technologies used in these environments.

Hereafter we had to analyze the most current concepts of mountain shelters, building types and the most interesting technologies looking at the examples of nowadays mountain architecture.

We will deal in some depth the theme of the mountain in Lecco's area: his physical and natural characteristics, the anthropic spaces that have developed over the time, the components of culture and tradition connected to this environment. The operation, carried out with also with the support of the CAI Lecco and the collaboration of the mountain shelters managers, aims to provide a complete picture of the project's location.

We define the specific objectives of the operation: alongside the classical functions of the shelter (dining and sheltering point) there are also those suggested by the potential of the place: the site becomes an approaching factor to sport practices at heights and a center for the promotion of the territory.

The constitutive process of the forms of the architectural work follows a systematic process aimed to perform the functions to be allocated, to minimize the energy requirements and to optimize the management of the work over its useful life. The design of a self-sufficient energy building is unavoidable, so the thematic of the plant design is thoroughly discussed.

The construction technology to be used is determined by a comparison process that shows the most advantageous solution for this specific case. The Politecnico di Milano has provided a specific consultation with a specialized company in wood construction which has enables us to develop innovative technical solutions. A constant contact with this company made possible to deal the structural and construction management design with rigorous tools of the experts of the field.

STORIA DELLA COSTRUZIONE DEI RIFUGI SULLE ALPI

1

Il capitolo intende fornire una ricostruzione delle vicende che hanno portato all'edificazione di rifugi sulle Alpi.

Si ripercorrono nei secoli le motivazioni che hanno spinto a costruire in alta quota, gli enti e le personalità coinvolti, le correnti di pensiero architettoniche applicate ai manufatti, le tecnologie e le soluzioni ingegneristiche impiegate per risolvere condizioni di abitabilità estreme.

1.1 ARCHITETTURA E MONTAGNA

Enrico Camani nella prefazione del libro "Cantieri d'alta quota. Breve storia della costruzione dei rifugi sulle Alpi" di Luca Gibello¹ definisce in modo completo il legame tra architettura e ambiente di montagna. Si riporta, quindi, un estratto finalizzato a introdurre la tematica dell'evoluzione storica delle costruzioni in alta quota trattata in questo capitolo. *"Gli architetti (...) hanno generalmente visto nel rifugio una costruzione troppo essenziale (spartana, primitiva) per giustificare l'impiego dell'analisi storica, senza spingersi oltre i tecnicismi del caso e alcune discussioni di carattere testuale. Invece scopriamo che proprio nella semplicità non voluta dai costruttori, ma imposta dalle rigidità ambientali, sta lo straordinario interesse dei rifugi, o bivacchi, o capanne d'alta montagna, dove l'estro dei progettisti non si misura tanto con la tradizione o con l'estetica, quanto con la necessità di ospitare delle persone (...) nei luoghi meno abitati dell'Europa abitata. La progettazione di un rifugio d'alta quota è stata e resa una sfida evidente all'intelligenza e alla creatività degli architetti, più che mai in un tempo in cui il tema dell'abitare si allarga dalla città all'altrove, perché il "centro" riconosciuto della vita sociale non esiste più: al tempo di internet tutto è centro e tutto è altrove. Per i cacciatori e i pastori che per millenni hanno attraversato le Alpi, rifugio era soltanto uno spiovente di granito per difendersi dal temporale o un tetto di calcare dove far dormire le greggi. Per le milizie romane costrette loro malgrado ad affrontare le montagne, rifugio era un ricovero militare sulle vie degli eserciti, luogo coatto da abbandonare al più presto per ritrovare vera protezione in pianura. Per i monaci e i viandanti medievali rifugio era un posto in cui meditare e riposare al riparo dal mondo. Poi arrivano l'alpinismo e il turismo e (...) il rifugio, o meglio la notte alpina, diventano il primo motivo di fascinazione per la gente di città. È l'immagine romantica del rifugio alpino che per quasi due secoli regge ai tentativi sacrileghi di innovazione e ancora oggi alberga nei retroterra psichici di chi dorme a tre o quattromila metri. Eppure il rifugio ai tempi di internet è ormai un edificio abbastanza paragonabile agli hotel di fondovalle, con camere, docce, ristorante e vetrate che si affacciano sul mondo esterno. Gli architetti non concepiscono più il rifugio come un romantico spazio di ricovero in attesa della scalata, piuttosto come un luogo di passaggio e di scambio. Per questo utilizzano materiali, arredi e soluzioni abitative funzionali al turismo intensivo, guardando sempre più alla valle che sale e sempre meno alla montagna che sta su. Al contempo il rifugio acquisisce nuovi*

¹ Gibello L., *Cantieri d'alta quota. Breve storia della costruzione dei rifugi sulle Alpi*, Lineadaria, Biella 2011



Rifugio Alpino del C. A. sulla Vetta della Grigna Settentrionale a m. 2410 s. m.

*Ringraziamenti, Valuti, cordiali
Prodi*



GRIGNA M.



Grigna Settentrionale - Rifugio Luigi Bietti a Releccio m. 1719



Fig.1.1 Frontespizio dell'Essai sur l'architecture di Marc Antoine Laugier, 1753



Fig.1.2 La "Pierre des anglais", Chamonix, in una veduta di Rodolphe Töpffer del 1844



Fig.1.3 "Hotel" a Montanvers in una veduta di Marc-Théodore Bourrit del 1795

significati, diventa simbolo del turismo leggero, rispettoso, consapevole, innanzitutto perché di solito ci si sale a piedi, mischiando sudore e curiosità, guadagnandosi un piatto di pasta o una fetta di crostata. Poi perché il rifugio tende ad essere autosufficiente dal punto di vista energetico e presidia i luoghi più belli, alti, panoramici, luoghi anche metaforicamente lontani dall'inquinamento luminoso delle città (...). Infine c'è un altro significato che appartiene al rifugio moderno, un lato interessante. Il ruolo più innovativo del rifugio contemporaneo è probabilmente quello del posto tappa, che accoglie e rifocilla l'escursionista alla fine della sua giornata di cammino e gli permette di attraversare montagne, colli, genti, paesi, riconoscendo le comunanze e le diversità dell'ambiente alpino senza mai scendere a valle. Si tratta di un turismo veramente "capace di futuro" perché non conquista la montagna, ma la unisce: le persone s'incontrano in rifugio non per sfidarsi ma per conoscersi".

1.2 DALLA METÀ DEL XVIII AL XIX SECOLO

I primi ricoveri alpini che ci restituisce l'iconografia sono nient'altro che capanne. Di queste la prima che viene registrata dalle fonti² è quella che viene enfaticamente chiamata "hotel" (o "hopital") a Montanvers (1913 m s.l.m.), costruita nel 1779 in sostituzione del rudimentale riparo posto sotto un masso che era noto come "Pierre des anglais". La struttura nasce per ospitare i primi turisti che salgono a Chamonix per contemplare da vicino il Monte Bianco, tra gli altri anche Goethe il 5 novembre 1779. Fin da subito il modesto "hotel" diviene celebre tra i paesaggisti, ritratto da Hackert e Bourrit. Va detto che tra gli intellettuali della seconda metà del XVIII la capanna ricopre il ruolo di principale riferimento architettonico, promossa dalle teorie dell'abate francese Marc Antoine Laugier nell'opera "Essai sur l'architecture"; basandosi sulla razionalità dei principi e delle forme, il francese identifica nella capanna l'archetipo di qualsiasi architettura, composta fondamentalmente da una struttura a telaio ricavata da tronchi dal fusto irregolare. La vicinanza dei primi rifugi a questa idea emerge anche nella denominazione "capanna" che spesso è il sostantivo generico cui si affianca il nome proprio del rifugio stesso; addirittura in tedesco il termine "hütte" (capanna) è la traduzione stessa del termine rifugio.

L'interesse per la montagna che ha portato alla nascita delle prime capanne, tra cui il sopracitato "hotel", è da ascrivere alla cosiddetta "invenzione estetica" delle Alpi, nella seconda metà del Settecento nel clima dell'Illuminismo. In questo periodo,

² Coolidge W., *Swiss Travel and Swiss guide-Books*, Longmans, Green & C., Londra 1889

grazie all'interesse dell'alta società (aristocratici, membri del clero, accademici) le Alpi diventano spazio privilegiato per lo studio scientifico e la contemplazione della natura, perdendo i connotati di inaccessibili luoghi ostili all'uomo che fino ad allora avevano avuto. Proprio gli studi scientifici sono il movente che spingerà il naturalista e scienziato ginevrino Horace Bénédict de Saussure ad essere promotore e sponsor della conquista del Monte Bianco operata da Balmat e Paccard il 7 agosto 1786. Con queste motivazioni di fondo, i rifugi in alta quota nel corso dell'800 sono soprattutto stazioni scientifiche per lo studio della meteorologia e della glaciologia. Il confine tra accademia e alpinismo è segnato dal naturalista e geologo svizzero Franz Josef Hugi il quale, tra il 1827 e il 1829, allestisce un riparo sulla morena dell'Unteraargletscher in Svizzera: l'iconografia riporta un ibrido tra una capanna e una grotta. Dunque questi primi rifugi della storia contemporanea si discostano nettamente, per la funzione cui sono destinati, dai grandi ospizi che fin dal Medioevo presidiano i valichi alpini: non più luoghi di accoglienza per la sosta e il ristoro, fisico e spirituale, dei viandanti, bensì luoghi di osservazione dell'ambiente e punti di appoggio per la sua esplorazione.

La crescente frequentazione della montagna dalla metà dell'Ottocento fa sì che l'alta quota sia vista sempre maggiormente come territorio di esplorazione e di conquista. Si apre quindi quella che può essere letta come la sfida tra l'uomo e l'ambiente, dove si mescolano la sopravvivenza in luoghi estremi con il fascino della scoperta di nuove vette. Questa nuova passione coinvolge soprattutto gli inglesi, seguiti dai tedeschi: si assiste quasi alla nascita di un "grand tour" sulle Alpi, alternativo a quello classico per la formazione degli intellettuali. Di fronte a questi nuovi scenari turistici, gli abitanti delle vallate alpine iniziano a offrire i primi servizi agli stranieri: dall'accompagnamento nelle escursioni all'attività alberghiera. Tuttavia, dal momento che le presenze in alta quota erano ancora rare, i bivacchi erano ancora molto spartani, spesso costituiti solo da muretti di pietre a secco o cortine di tende, posti in opera con l'unico vantaggio di fornire riparo dal vento radente. Queste soluzioni sono comunque preferite dai primi alpinisti, tra cui Quintino Sella (ministro delle finanze del governo Rattazzi), in assonanza con lo spirito d'avventura dei primi scalatori.

Dal punto di vista letterario, la fortuna dell'alpinismo nella metà dell'Ottocento è legata alla pubblicazione delle prime guide, celebri tra queste sono quelle di Karl Baedeker. Altra opera di riferimento diviene quella di Sir Leslie Stephen (letterato e filosofo padre di Virginia Wolf, presidente dell'Alpine Club tra il 1865 e il 1868 e direttore dell'"Alpine Journal") in cui la

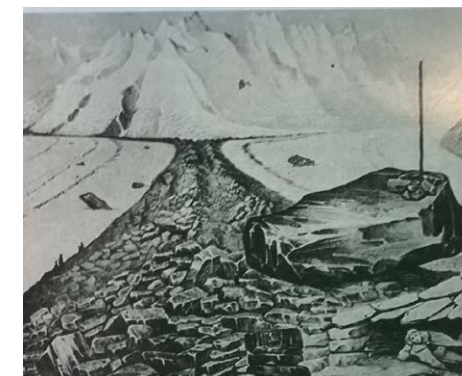


Fig.1.4 Il riparo di Franz Josef Hugi sull'Unteraargletscher del 1827



Fig. 1.5 Rifugio ai Grand Mulets in una veduta di Isidore-Laurent Deroz del 1853



Fig. 1.6 Rifugio ai Grand Mulets in una foto di Joseph Vallot del 1900

Svizzera viene definita "il playground d'Europa"³.

Gli esordi dell'alpinismo e la sua diffusione sono legati al Monte Bianco; nel 1821 nasce la prima società delle guide a Chamonix e sarà questa istituzione a inaugurare, nel 1853, il primo rifugio alpinistico. L'edificio sorge ai Grands Mulets del Monte Bianco (3050 m s.l.m.), nell'itinerario di salita da Chamonix. "Una capanna in legno fu realizzata a Chamonix, ne furono numerati i pezzi, il consiglio delle Guide votò una tassa obbligatoria per tutti e ciascuno portò la sua tavola ai Grands Mulets"⁴. Il rifugio, che misura 2,15 x 4,3 metri, viene ampliato nel 1866 con tre nuove stanze, due per gli alpinisti e una come cucina e soggiorno; in seguito a questo primo ampliamento si decide anche d'insediare un custode, con grande anticipo rispetto ai tempi. Negli anni si provvede a portare brande, letti e lenzuola, oltre che a assumere una cuoca che lavorava continuamente da luglio a settembre. L'impresa mostra un carattere prettamente imprenditoriale, ovvero si tratta di un rifugio "privato" (perché in mano ai valligiani e non ancora emanazione di un club alpinistico) che trae profitti dall'attività alpinistica.

Per trent'anni l'edificio ai Grands Mulets rappresenterà il modello per le costruzioni in alta quota. I tratti di questi rifugi sono così descritti da Agostino Ferrari, membro CAI di Torino: "Occorreva trar profitto dalla natura del luogo e scegliere una località, per così dire... economica. Questa era per lo più costituita da una grossa rupe sorpiombante, oppure, meglio ancora di una grotta scavata nella roccia. Scelta la località, fabbricavansi i muri, soli tre, perché il quarto già esisteva in natura e a questo addossavasi il rifugio. Questi muri fabbricavansi con pietre, a secco, e venivano assicurati come potevasi. Qualche volta, però, quando i mezzi lo permettevano (...) fabbricavansi con cemento e con sabbia impura una specie di malta di cattiva qualità, e quindi di breve durata. E non si riusciva mai ad assicurare solidamente la capanna alla roccia. Questo ed altri inconvenienti erano causa d'umidità nell'interno del rifugio, a scapito del comfort. (...) Il mobilio componevasi per lo più di una panca, di una tavola, di un fornello e di poca paglia, stesa sul suolo nei primi rifugi, più tardi su un tavolato. Ma la paglia, per l'effetto dell'umidità (...) in breve imputridiva (...) ma qui non si fermavano i guai; altro, e grave, aggiungevasi. La neve, penetrata delle fessure, penetrata dalle fessure, si accumulava nell'interno, e sempre in maggior quantità, trasformandosi in ghiaccio. In primavera poi, per la forza divellente del medesimo, i muri, sotto la pressione del ghiaccio, screpolavansi; dalle fessure ingranditesi penetrava nuova neve, che poco alla volta invadeva tutto l'interno e, trasformatasi in ghiaccio, lo ostruiva

³ Stephen L., *The playground of Europe*, Longmans, Green & C., Londra 1871

⁴ Serre P., Jeudy J., *Refuges des Alpes de Nice au Léman*, Glénat, Grenoble 1985

completamente"⁵. Questo estratto è importante non solo perché descrive questi primordiali, inefficaci rifugi, ma anche perché contiene anche risvolti simbolici: l'uomo affronta l'alta montagna installando una costruzione, ma allo stesso tempo lo fa ricercando una protezione nella roccia cui si affianca. I vincoli cui sottostare sono, quindi, molti: l'esiguo spazio, il reperimento dei materiali, il tempo (si può lavorare solo nei mesi estivi), la manodopera (volontari tra gli appassionati di montagna, non necessariamente maestranze specializzate), il denaro. Di fronte a queste limitazioni, non stupisce che gli esiti spesso sono infelici, non di rado culminando nel collasso delle strutture alle prime nevicate. In questo periodo, quindi, se il concetto di rifugio alpino è ormai ben delineato, altrettanto non è definito l'intervento edilizio. Infatti la situazione è ancora prossima al concetto dei ripari dei pastori o dei cacciatori, ricoveri che sfruttano cavità delle grotte o rocce sporgenti (le "balme" o "gias"). Esempi emblematici di questo tipo di costruzioni sono frequenti in Francia fino al '900, tutti simili alle balme della Bonne-Pierre negli Ecrins.

1.3 LA NASCITA DEI CLUB ALPINI

La seconda metà del XIX secolo vede anche la nascita dei grandi sodalizi internazionali che riuniscono i frequentatori delle montagne; i primi sono gli inglesi che nel 1857 fondano a Birmingham l'Alpine Club, seguono gli austriaci, nel 1862 (CEsterreichischer Alpenverein, CAEV) e nel 1863 italiani (CAI) e svizzeri (CAS o SAC), mentre i tedeschi arrivano nel 1869 con il Deutscher Alpenverein, DAV). Nel 1873 DAV e CAEV si fondono dando vita al DOAV (Deutscher und Österreichischer Alpenverein), per poi sciogliersi nuovamente dal 1938 dopo l'Anschluss, ovvero l'annessione dell'Austria alla Germania nazista per formare la "Grande Germania". I due club alpini continuano comunque a operare nella Sezione alpinismo della Federazione nazionalsocialista per l'educazione fisica. Quest'ultima organizzazione viene sciolta la termine della seconda guerra mondiale e nel 1945 viene rifondato il CAEV che gestisce, oltre alle proprie, anche le strutture del DAV; nel 1952 il DAV viene ricostituito e recupera le proprie strutture. Ad eccezione del britannico Alpine Club, territorialmente lontano dalle Alpi, tra i principali compiti delle associazioni figura la costruzione e la manutenzione dei rifugi sui suoli nazionali. Attivissimo dalla fondazione è il CAS che, nei primi anni, costituisce almeno una capanna all'anno. Il primo rifugio del CAI sorge sulle pendici del Monviso, la vetta che, dopo la conquista italiana del 1863, ispirò Sella e compagni a fondare

⁵ Ferrari A., *I rifugi del Club Alpino Italiano*, CAI, Torino 1905



Fig. 1.7 Resti delle balme della Bonne-Pierre negli Ecrins

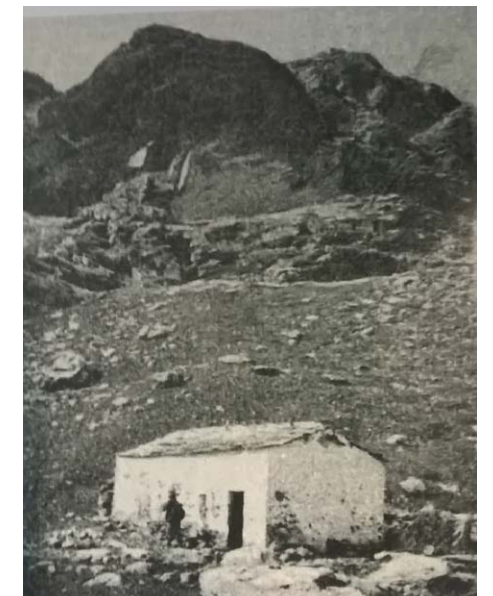


Fig. 1.8 Rifugio dell'Alpetto al Monviso, il primo del CAI (2268 m s.l.m)



Fig.1.9 La piramide di sassi sul luogo prescelto per la capanna Valsesia, Monte Rosa, nel 1898



Fig.1.10 Il rifugio in vetta: Capanna Carrel al Grand Tournalin del 1879



Fig.1.11 Vestibolo di ingresso al rifugio della Marmolada del 1877

un club per alpinisti il 23 ottobre 1863. Su questa montagna nel 1866 si inaugura il rifugio Alpetto (2268 m s.l.m.): la struttura, di 12 metri quadri, può ospitare una decina di persone. Va precisato comunque che la salita alle vette era attuata da "alpinisti eroici" che spesso costruivano loro stessi il riparo per le notti; emblematica è l'esperienza dello scienziato Felice Giordano che nel 1868 in una relazione al CAI scrive: "Il sito dello "La Cravatta", posto ad un'altitudine di oltre 4000 metri, è quello ove nel 1866 avevo passato cinque notti contri una rupe che faceva sporto di qualche metro. Ivi io avea allora tracciato un casottino di rifugio da costruire in pietre a secco". L'edificazione di rifugi, soprattutto a quote così rilevanti, oltre a presentare tutti i limiti sopracitati, incontra sempre la grande difficoltà dell'identificazione del sito di costruzione, che avviene "per prova ed errore". In assenza di indagini preliminari, la decisione si basa sulla pratica: gli alpinisti ammassano una piramide di sassi sul sito dell'ipotetico rifugio e lasciano trascorrere l'inverno; se l'estate successiva il segnale è ancora integro, allora il cantiere viene allestito.

Dalla metà degli anni '70 dell'Ottocento i rifugi sull'intero arco alpino si moltiplicano esponenzialmente. Importante è la capanna Carrel al Grand Tournalin, in Valtournenche a 3379; questa costruzione rappresenta il modello di rifugio in vetta, dove la funzione non è più quella di punto di appoggio per l'ascensione, bensì la contemplazione privilegiata del paesaggio, della volta celeste e dei fenomeni atmosferici. L'interesse per i panorami a 360° è alimentato dallo sviluppo della tecnica fotografica, tanto che numerosi rifugi ospiteranno piccole e rudimentali camere oscure. La nascita del rifugio di vetta pone le basi al dibattito, sempre attuale, sul senso e sul rispetto paesaggistico degli interventi sulle creste dei rilievi montuosi. Tuttavia tali manufatti vedranno una rapida diffusione quanto un rapido abbandono causato sia per l'evolversi della pratica alpinistica, in cui l'aspetto sportivo prevale su quello naturalistico, sia per la vulnerabilità alle insidie climatiche.

Sul versante italiano la storia, fino a quel momento quasi esclusivamente valdostana⁶, vede nel 1875 il primo rifugio sulle Dolomiti, scavato nella roccia con le mine per agevolare la salita sulla Marmolada (3100 m s.l.m.); all'opera collabora la Società degli alpinisti tridentini (SAT), società fondata nel 1872 e che dal 1920 diventerà una sezione del CAI, mantenendo tuttavia caratteristiche di autonomia. Il già citato Ferrari scrive a riguardo⁷: "Vi si accede per un vestibolo d'ingresso lungo due metri e largo altrettanto (vestibolo-galleria), nel cui fianco è scavata una nicchia, destinata a ricevere un piccolo fornello-cucina. Il vano interno, seguente la stessa direzione del

⁶ Vecchi rifugi in Valle d'Aosta (1852-1891), in "Quaderni museomontagna", n.37, 1985

⁷ Ferrari A., I rifugi...Op. cit.

vestibolo, ha la lunghezza di sei metri per cinque di larghezza. Il soffitto venne scavato ad arco leggero, e nel mezzo misura un'altezza di tre metri. Non vi sono chiudende e manca ogni arredamento". Il 1877 è l'anno del primo rifugio sul versante italiano delle Alpi Centrali, la capanna Boval al Bernina (2495 m s.l.m.), la cui paternità è da ascrivere al CAS. Nel 1881 viene edificato il rifugio Tosa sulle Dolomiti del Brenta, mentre il gruppo Disgrazia accoglie l'omonima capanna (2559 m s.l.m.), la prima della Val Masino.

1.4 LA RICERCA DEL "COMFORT"

Passaggio importante nella storia dell'alpinismo è la conquista della Meije, ultima grande vetta alpina ad essere raggiunta nel 1877. Secondo Gian Piero Motti⁸ cambia l'approccio stesso dell'alpinista alla montagna: "L'azione si dirige alla ricerca di vie nuove e più difficili su montagne già salite lungo l'itinerario più facile e naturale". A questo mutamento corrisponde anche una innovazione della pratica edilizia in alta quota, spinta sia dalle problematiche in precedenza trattate (eventi accidentali come valanghe e frane, incuria degli ospiti, inadeguatezza delle strutture al clima), sia dalla crescente presenza degli alpinisti. La serie di trasformazioni che si attua in ogni rifugio è serrata e spesso la frequenza degli interventi rende impossibile distinguere le strutture originarie da addizioni e superfetazioni, quando il manufatto non viene completamente ricostruito.

È ancora Ferrari⁹ a illustrare i cambiamenti della prassi edilizia: "Non più roccia, non più masso strapiombante nei nostri rifugi - si gridò unanimi. La località da scegliersi dovrà essere, d'ora innanzi, una spianata libera da ogni parte. Era questo infatti un gran progresso. Senonchè i nuovi costruttori, preoccupati sempre dall'impeto del vento, non osarono allontanare i rifugi dalla roccia che di pochi decimetri. E questo fu cagione di nuovi danni. Il ghiaccio, in luogo di riempire la capanna, s'accumulava nell'interstizio tra roccia e muro, e per la sua spinta, il muro veniva nuovamente e lentamente a rovinarsi. Bisognava migliorare ancora; e si cominciò ad introdurre timidamente il rivestimento interno dei muri con tavolati di legno: così furono assai mitigate le correnti di aria umida e fredda, filtrati attraverso i muri a secco, e il tepore prodotto dal fornello venne a durare ben più a lungo nella capanna. Questi vantaggi suggerirono allora l'erezione di capanne interamente in legno".

Il passaggio dalla costruzione in pietra a quella in legno è significativo e rivoluziona il cantiere d'alta quota. I materiali, infatti, non sono più reperibili in loco, come le pietre che venivano poste in opera a secco; i tavolati e le parti metalliche

⁸ Motti G.P., La storia dell'alpinismo, L'Arciere/Nivalda, Cuneo 1994

⁹ Ferrari A., I rifugi...Op. cit.



Fig.1.12 Esempio di rifugio in legno: il Lyon-Républicain del 1896



Fig. 1.13 Il distacco dalla roccia: il rifugio delle Grandes Jorasses del 1881



Fig. 1.14 Il distacco dalla roccia effettivo: la capanna Luigi Amedeo Savoia del 1893

per l'assemblaggio, invece, devono essere lavorati e prodotti in valle e quindi trasportati. Si rende necessaria, quindi, una sorta di razionalizzazione delle operazioni di cantiere, in cui le dimensioni degli elementi devono essere unificate e ottimizzate rispetto ai carichi che possono essere trasportati da una singola persona (come già era accaduto per la costruzione ai Grands Mulets). L'introduzione dell'uso del legno è fondamentale perché costringe ad una forma di standardizzazione, per quanto elementare. È in qualche modo una prefabbricazione con assemblaggio in opera. I rifugi costruiti con questa tecnica assumono dall'esterno l'aspetto di un baraccamento militare, mentre all'interno ospitano solitamente un unico ambiente in cui si dispongono zona giorno (stufa, tavolo e dispensa) e zona notte (tavolato su due livelli con cuccette). La somiglianza alle strutture militari da campo non è casuale dal momento che proprio in questo settore vengono sperimentate le tecniche costruttive più adatte ad un rapido trasporto e montaggio. La caratteristica della reversibilità appare importante anche per le scelte localizzative: capita spesso che le strutture pensate per un sito siano poi assemblate altrove per impedimenti non considerati o per il mutamento delle condizioni dell'area. Con questa importante rivoluzione, cambia anche il luogo entro cui si svolge il grosso del lavoro e di conseguenza gli attori dello stesso. Se in situ il cantiere si riduce al montaggio dei componenti, a valle sono falegnami o carpentieri a predisporli e a preassemblarli per prova. Mentre in precedenza era l'alpinista stesso a predisporre del rifugio e a dare le direttive per la costruzione, ora sono queste nuove figure a divenire progettisti-esecutori.

Il coinvolgimento di ingegneri o, più raramente, di architetti, comincia negli anni '80 dell'Ottocento, ma diventerà una prassi per l'edificazione di rifugi solo nel corso del secolo successivo. Il distacco dalle pareti di roccia è testimoniato dal rifugio delle Grandes Jorasses (2803 m s.l.m.). La costruzione indipendente permette anche più agevolmente la possibilità di ampliamenti che in genere si sviluppano linearmente. L'allontanamento dalla parete naturale, tuttavia, è ancora parziale, come testimonia il tetto solitamente ad un'unica falda inclinata verso valle; quando la falda raddoppia per formare il tetto a capanna, spesso la separazione dalla montagna è effettiva, ma ancora insufficiente: è il caso della capanna della Gran Torre al Cervino del 1885, soppiantata dal rifugio Amedeo di Savoia eretto nel 1893. Questo edificio è effettivamente allontanato dalla parete, capace di dieci posti letto; la sua importanza è testimoniata del fatto che nel 2004 è stato rimontato a Cervinia come museo di se stesso.

Ferrari¹⁰ conclude la trattazione sulle tecniche costruttive

¹⁰ Ferrari A., *I rifugi... Op. cit.*

presentando le soluzioni a lui coeve: *"Infine si venne grado a grado nel concetto più razionale di fabbricare rifugi solidissimi (...) si fece allora ricorso a materiali di prima scelta e si fabbricarono rifugi con muri a struttura regolare di pietrame con buone malte di calce o cemento, debitamente intonacati e spesso si rivestirono anche all'interno con una completa seconda parete di tavole investite, lasciando fra il muro e il tavolato uno strato d'aria coibente; si migliorò in pari tempo la struttura del tetto, si diede maggior importanza alla scelta del sito e all'orientamento della costruzione, si aumentarono le dimensioni degli ambienti e si perfezionano le chiusure. Migliorate così le condizioni statiche ed igieniche del rifugio, se traeva un logico incoraggiamento a perfezionare tutto l'arredamento interno ed il comfort; si completò il mobilio, si moltiplicarono gli arredi di cucina, al posto del tavolato di paglia per dormire, si misero cuccette con coperte di lana".* Rifugio che rispecchia appieno questo ritratto è il Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso, progettato dall'ingegner Boggio e edificato a partire dal 1884. L'edificio, a sviluppo planimetrico rettangolare, presenta un unico corpo portante con partizioni interne che distinguono camera delle guide, camere da letto, sala da pranzo, cucina.

1.5 IL RAZIONALISMO ELVETICO

Con l'inizio del coinvolgimento di ingegneri e architetti nel processo costruttivo dei rifugi, dagli anni '80 dell'Ottocento ci sono pervenuti i primi elaborati tecnici. Del 1880 è il progetto esecutivo redatto da Emil Hilgard per la Spannorthütte, un rifugio di tipo addossato realizzato in pietra con travi in legno. La firma del primo architetto invece è datata 1885 ed è quella di Hilarius Knobel per la Glarnischhütte.

L'importanza della Svizzera in questo periodo storico è relativa innanzitutto al fatto che per primo il CAS si pone il problema dell'edilizia alpinistica all'interno di un regolamento specifico: è il "Règlement concernant les cabanes du SAC" del 4 settembre 1886. Il documento, secondo l'associazione, è necessario a fissare regole chiare e semplici per codificare la buona pratica costruttiva, ricercando la massima essenzialità. In realtà i precetti non introducono innovazioni, ma ricalcano la prassi: erigere quattro pareti a distanza da rocce (per evitare crolli) mantenendo una forma quadrangolare compatta al fine di garantire le minori dispersioni termiche e le maggiori economie di costi di cantiere. In aggiunta si raccomanda il tetto a capanna, la presenza di un focolare e l'arredo dell'ambiente unico, composto da tavolo e cuccette dotate da paglia o fieno.



Fig. 1.15 Il rifugio Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso di Boggio del 1885

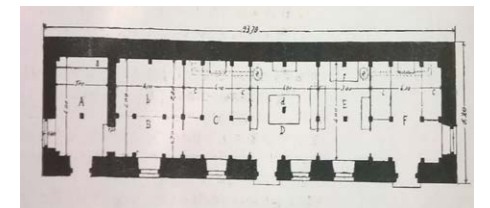


Fig. 1.16 Planimetria del Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso

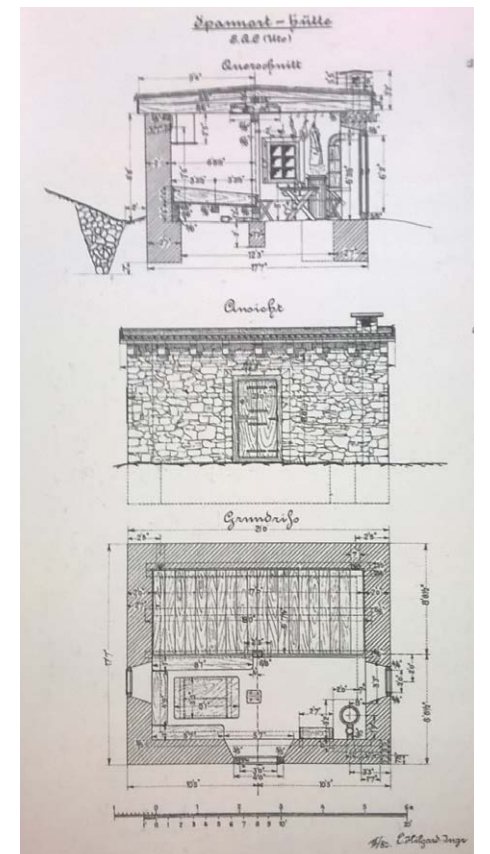


Fig. 1.17 Progetto di Emil Hilgard per la Spannorthütte del 1880

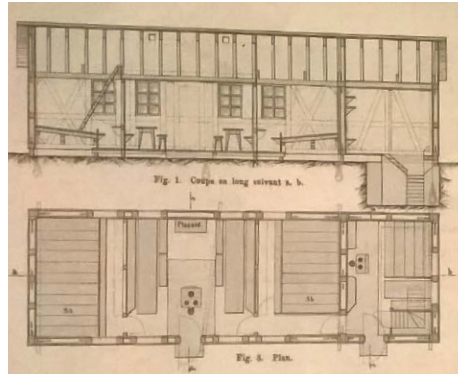


Fig. 1.18 Alcune delle precise rappresentazioni grafiche di Becker



Fig. 1.19 Osservatorio Vallot in vetta al Monte Bianco nella sua prima edificazione del 1890

Più innovativa sarà l'opera del 1892 di Julius Becker-Becker¹¹; ricalcando l'idea illuminista di repertorio enciclopedico, il volume illustra quaranta rifugi, comprensivi di esistenti e progetti ex novo. L'importanza del libro è anche relativa agli elaborati grafici, estremamente chiari e accurati, composti di piante, prospetti, sezioni e disegni di dettaglio. Per Becker la tecnica costruttiva ideale è quella che impiega il legno, che sia abbattuto d'inverno e trattato al "carbolineum" per conferire impermeabilizzazione e resistenza agli insetti (la durata secondo il progettista quadruplica, benché divenga facilmente infiammabile). Il modello considerato da Becker è la Oberaarjochhütte (3258 m s.l.m.) in funzione dal 1883 e, rimontata in altro luogo, raro esempio arrivato ai tempi odierni nelle sue fattezze originali. La capanna, una delle prime interamente in legno della Svizzera, è edificata secondo le disposizioni codificate dal CAS, provvista di tavolo, stufa e dodici posti su tavolato. Il modello della capanna pressoché cubica con tetto a due falde e rivestita di scandole lignee avrà fortuna per almeno un ventennio. La pubblicazione di Becker ha anche il merito di affermare la necessità di aggiungere agli elenchi delle capanne sociali del CAS anche un ricco repertorio fotografico, utile oggi a delineare l'evoluzione nel tempo delle strutture.

1.6 IL RIFUGIO IN VETTA

Come già trattato, il tema del rifugio in vetta rimane attuale anche sul finire del XIX, soprattutto nella accezione di rifugio-osservatorio. La vetta ha infatti il vantaggio di rappresentare il luogo ideale per l'osservazione di fenomeni che non vengono perturbati dai fenomeni atmosferici riscontrabili a fondovalle. La vetta più ambita, data l'altezza e la relativa accessibilità, rimane il Monte Bianco. Qui compie i suoi studi l'astronomo e geografo Vallot, nell'osservatorio costruito nel 1890 dall'ingegner Henri; la struttura è in legno a doppia parete, con doppie porte e finestre, rivestita di lastre di feltro bitumato ignifugo e presenta sui fianchi pietre semplicemente appoggiate a protezione dalle intemperie. I materiali furono portati da 110 tra guide e portatori partiti dai Grands Mulets con carichi da 15 chili ciascuno. L'edificio avrà molto successo sia come osservatorio che come rifugio per alpinisti, tanto che dapprima viene ampliato, quindi vede l'affiancamento di una seconda struttura a servizio dei frequentatori della montagna e infine, soggetto a degrado troppo rilevante, viene ricostruito. Questa seconda costruzione è caratterizzata da tetto in rame, utile a diffondere tepore all'interno sotto l'irraggiamento solare.

¹¹ Becker-Becker J., *Les cabanes du Club Alpin Suisse*, Wyss & Duchêne, Ginevra 1892

Curioso è anche l'arredo interno, composto da divano in madreperla, oggettistica dai motivi cinesi e tappeti ricamati, tutto espressione del gusto eclettico degli inizi del Novecento. Ancora il Monte Bianco e in particolare la vetta, ospita una avveniristica struttura a 4810 m s.l.m.. L'astrofisico francese Jassen, per erigere una costruzione sulla calotta ghiacciata sommitale della montagna, si affida al celebre Gustave Eiffel e alla perizia della sua impresa di costruzione. L'ingegnere francese avrebbe accettato la commissione a patto che i carotaggi avessero confermato l'ipotesi che la roccia si trovasse ad una profondità inferiore a dodici metri sotto la coltre di ghiaccio, distanza massima per ancorarvi la costruzione. L'esito delle prove fu negativo e Eiffel rinuncia all'incarico; Jassen ripiega su Vaudremer, architetto di formazione Beaux-Arts inesperto di cantieri a quote proibitive. L'edificio è composto di un telaio ligneo di forma tronco piramidale con aggiunta di torretta a sette metri di altezza. Per qualche anno la costruzione riesce a sopravvivere "galleggiando" sulle nevi per mezzo di martinetti idraulici posti alla base dello stesso, ma dal 1909 viene abbandonato per lo scivolamento che lo porta a inclinarsi e sprofondare nel ghiaccio.

Importante per le soluzioni tecniche adottate è anche la capanna Regina Margherita sul Monte Rosa a 4559 m s.l.m.. Il manufatto, 3,60 x 9,68 metri, è realizzato in tavole di larice d'America tagliate a Biella e montate a Gressoney. Sulla vetta vengono sbancati 50 metri cubi di roccia e quindi costituita l'intelaiatura di travi e pilastri lignei uniti da piastre metalliche. Le chiusure hanno spessore di 26 centimetri, composto da tre strati separati da intercapedini d'aria, mentre in copertura e per il pavimento gli strati sono due.

Da tenere presente un curioso paradosso che caratterizza il finire dell'Ottocento: se gli alpinisti erigono i rifugi con grandi difficoltà e povertà di mezzi e risorse, quando in gioco vi sono interessi economici le imprese diventano ciclopiche. È il caso della proposta nel 1889 di edificare una replica della torre Eiffel alta ben duemila metri da erigere a fianco del Jungfrau (4158 m s.l.m.) per raggiungerne la vetta attraverso un trenino precedente su cavo. Se questo improbabile progetto rimane su carta, lo stesso non avviene per la Junggraubahn, la linea ferroviaria che, scavata nella roccia, sale la montagna fino a 3454 metri terminando in quella che ancora oggi è la stazione ferroviaria più alta d'Europa.

1.7 I RIFUGI-ALBERGO

La diffusione dell'alpinismo come pratica sportiva provoca, all'inizio del secolo scorso, una grande crescita delle adesioni ai club alpini. Strumento di promozione sono le grandi



Fig. 1.20 Osservatorio Janssen sul Monte Bianco di Vaudremer del 1893

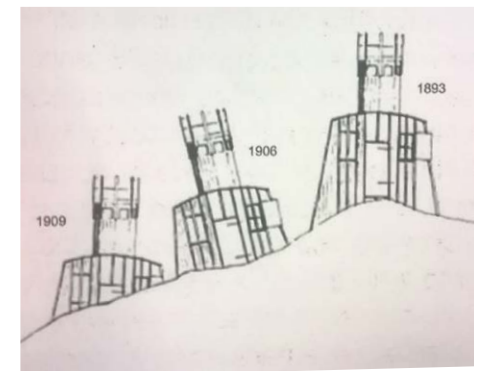


Fig. 1.21 Scivolamento e sprofondamento nel ghiaccio dell'osservatorio Janssen



Fig. 1.22 Le prime travi lignee della capanna Regina Margherita nel 1892



Fig.1.23 Il rifugio-albergo in Italia: il rifugio Torino sul Colle del Gigante

esposizioni nazionali e internazionali; per queste occasioni spesso vengono anche allestiti modelli in scala reale, edificati con soluzioni più o meno sperimentali di prefabbricazione, che una volta chiusa la manifestazione vengono riassemblate in montagna. L'aumento in numero dei frequentatori della montagna procede di pari passo alla mitigazione del grado di competenza riguardo alla montagna degli utilizzatori stessi: all'alpinismo eroico si sostituisce la frequentazione della montagna per tutti. In questo clima si sviluppa la tipologia ibrida dei rifugio-alberghi. In queste strutture è prioritaria la figura del gestore, presente almeno nel periodo estivo, introdotto nelle strutture svizzere per scongiurare vandalismi. Anche le strutture si modificano, diventano di maggiori dimensioni e prevedono anche l'alloggio privato per il gestore; inoltre con l'aumento delle metrature cambia anche la struttura che quasi sempre è in muratura portante di pietrame reperito in loco, sviluppata su più piani (con tutte le difficoltà di sollevamento dei materiali in luoghi dove non sono allestibili mezzi meccanici idonei).

Per quanto riguarda l'Italia, la tipologia del rifugio-albergo viene introdotta dal CAI con il rifugio Torino, sul Colle del Gigante, a 3300 m s.l.m.; l'edificio si sviluppa su due piani e sottotetto e può ospitare 60 persone. Le strutture che sorgono negli anni a venire presentano caratteristiche simili tra loro, tutte dai tratti quasi "signorili" se confrontate con gli esempi degli anni precedenti: camere indipendenti ad affiancare le classiche camerate, grande sala da pranzo separata dalla cucina, bagni con acqua calda corrente, termosifoni e serbatoi per l'acqua; le strutture esistenti vengono progressivamente raggiunte dalla linea telefonica. Ben presto si levano voci in difesa di un'etica della montagna aderente al vecchio spirito avventuriero dei primi alpinisti, anche perché si stava perdendo l'elitarismo di questa pratica. Negli anni Venti Eugenio Fasana dichiara in merito alla crescente infrastrutturazione dei monti: *"Le capanne sorsero come funghi (...) di maniera che molte di quelle imprese già famose persero il carattere del passato. (...) è certo che le capanne (...) sono come tanti cavalli di Troia che preparano l'ingresso nell'alpinismo anche ai meno puri. Allora le capanne diventano celle senza religione"*. Nonostante le avversioni, la tendenza è irreversibile, soprattutto dopo la prima guerra mondiale, quando alcune delle preesistenti strutture diventano alberghi per passeggiatori; questo avviene soprattutto negli alpeggi in cui sentieri e mulattiere erano state convertiti in strade carrozzabili.

1.8 HEIMATSCHUTZ E PRIMA GUERRA MONDIALE

Vista l'importanza della Svizzera nella storia delle costruzioni in alta quota, è fondamentale ricordare il 1905, anno di

fondazione della maggiore organizzazione elvetica che guida gli ideali architettonici del territorio ed è attiva ancora oggi. L'Heimatschutz, "difesa della patria", rivestirà da allora un ruolo chiave nei dibattiti e nelle scelte dei progettisti, della committenza e del pubblico; nel tempo assume anche i connotati di orientamento politico di stampo conservatore che influenza perfino gli altri paesi, soprattutto quelli in area tedesca durante il regime nazionalsocialista. Con lo scopo di individuare e valorizzare i caratteri dell'identità nazionale, l'Heimatschutz codifica, in modo quasi prescrittivo, gli elementi che dovranno caratterizzare i progetti edilizi. Nel caso delle capanne, secondo l'organizzazione dei fronti devono richiamare l'idea di solidità e solennità, ma senza perdere l'idea di protezione e di intimità; la pietra viene assunta come materiale da costruzione in progressiva sostituzione al legno. Viene prescritto il tetto a due falde con coperture in Eternit, all'epoca un materiale moderno, oppure in lamiera. L'idea di base è quella dell'alpeggio autoctono, sebbene i rifugi abbiano occupato aree prima mai occupate dalle baite; si cerca di ricreare la tradizione, seguendo un filone marcatamente folcloristico. Non solo in Svizzera, ma sull'intero arco alpino, questo orientamento godrà di ampia e duratura fortuna, come testimoniano numerosi esempi ancora oggi visibili.

La prima costruzione a rispondere ai principi dell'Heimatschutz è la Capanna Campo Tencia in Canton Ticino (2140 m s.l.m.) del 1912. La lunga durata di questo approccio è testimoniata dal fatto che, edificata nel 1984, la Almagellerhütte in Vallese rispetta gli stessi principi. In settanta anni, mentre radicali modificazioni hanno interessato l'edilizia civile, la prassi dell'edilizia d'alta quota in Svizzera è rimasta congelata. L'Heimatschutz è stato, quindi, un freno alla ricerca progettuale ed ha contribuito a consolidare il carattere conservativo ed elitario dell'ambiente alpinistico, tendenzialmente restio a innovazioni che potrebbero ridurre "l'esclusività" della pratica. L'interazione tra rifugi e guerra è stata nel corso del Novecento una tematica di rilievo, in quanto strettamente connessa alla presa di possesso di un territorio. L'essenza stessa dell'alpinismo, tra l'altro, è legata all'idea di conquista, pertanto la costruzione di rifugi diventa l'occasione per dimostrare un supremazia e piantare una bandiera; talvolta basta l'azione di cambiare il nome ad una struttura o modificarne lo status giuridico per ottenere il medesimo effetto di affermazione sul territorio. Nell'Italia post-unitaria di fronte ai sentimenti nazionalisti si presenta il problema delle terre irredente, escluse dal processo di unificazione. Sono i monti del Trentino Alto Adige a essere al centro della contesa; lo dimostra l'edificazione nel 1905 di due rifugi alla Vedretta del Brenta, uno promosso dalla SAT (Società alpinisti trentini) e l'altro dal



Fig.1.24 Capanna Campo Tencia in Canton Ticino del 1912

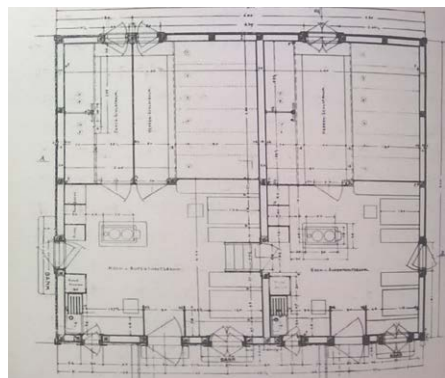


Fig. 1.25 Pianta della struttura prefabbricata della Medelserhütte nei Grigioni del 1910



Fig. 1.26 L'articolazione su livelli sfalsati e il disegno dei prospetti della Medelserhütte

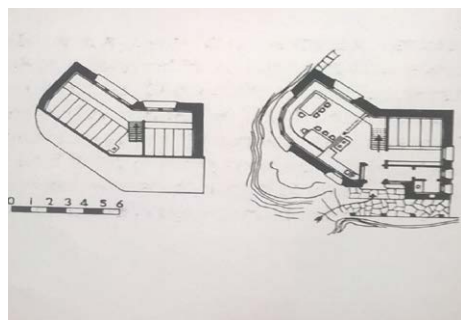


Fig. 1.27 Planimetrie della Planurahütte di Leuzinger nei Grigioni del 1929



Fig. 1.28 Le aperture irregolari, le finestre a nastro e la copertura a singola falda della Planurahütte

DOAV.

Gli anni del primo conflitto mondiale complicano ulteriormente le cose, vedendo l'arco alpino orientale scenario della "guerra di posizione". Il fronte, spesso anche a quote superiori a 3000 metri, viene allestito con opere infrastrutturali e baraccamenti che al termine dei conflitti verranno trasferiti al CAI.

Le conseguenze della guerra sui rifugi sono soprattutto di tipo politico, sebbene talvolta i manufatti subiscono danneggiamenti e anche distruzione. Come ricostruito da Silvio Saglio¹², la problematica maggiore una volta finita la guerra è il lungo iter burocratico che riguarda i passaggi di proprietà dei fabbricati in base alla riconfigurazione dei confini nazionali. Già nel 1916 il CAI chiede all'autorità militare la proprietà dei rifugi costruiti sui territori che in base al trattato di Londra del '15 dovevano essere annessi all'Italia. Finito il conflitto la problematica si pone ancora e si rende necessario il presidio di truppe militari nei rifugi al fine di scongiurarne degrado e vandalismi. Solo nel 1921 il Ministero dispone che i rifugi proprietà di sezioni estere passino in consegna al CAI. È importante ricordare le vicende storiche di un secolo fa perché, mentre all'epoca i rifugi di confine erano strumento di divisioni e controversie, oggi è proprio la loro particolare collocazione territoriale a farne simbolo di unione tra genti.

1.9 ARCHITETTI E SPERIMENTAZIONI

Mentre fino al '900 il costruire sulle montagne era dominato dalle maestranze e dalla pratica, nel ventesimo secolo la situazione comincia a mutare e appaiono i nomi dei progettisti. Già l'Heimatschutz contribuisce a inserire la tematica del rifugio all'interno del dibattito architettonico; è però il Movimento moderno, con l'attenzione per ogni aspetto dell'ambiente costruito, a far interessare i progettisti all'alta quota.

Nel 1910 nei Grigioni l'architetto Guyer erige la Medelserhütte (2540 m s.l.m.), struttura interamente prefabbricata e montata in opera, dall'aspetto esteriore innovativo: l'articolazione su due livelli sfalsati e il disegno curato dei fronti fanno percepire la presenza di uno studio professionale nella progettazione. Sempre nei Grigioni Hans Leuzinger progetta la Planurahütte, nel 1929: l'edificio è caratterizzato da una grande libertà nell'organizzazione spaziale degli ambienti e nell'articolazione dei percorsi; questa scelta si riflette in una planimetria che ospita, a fianco di angoli retti, anche angoli smussati; i prospetti hanno aperture diverse e collocate in modo irregolare, proporzionate agli ambienti che devono illuminare,

¹² Saglio S., *Rifugi e bivacchi*, in *Coll., 1863-1963. I cento anni del Club Alpino Italiano*, Milano 1964

oltre alle finestre a nastro che si aprono sul panorama. Altra caratterizzazione dell'opera è la copertura, composta da un'unica falda a notevole inclinazione.

Altra interpretazione originale della costruzione in alta quota è data da Armando Melis con il Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso (2735 m s.l.m.) nel 1931 (completato però nell'arco di trent'anni). Il volume da lui concepito ha una struttura portante in ferro dalla forma ad arco parabolico che si imposta direttamente al suolo.

Come in precedenza alcuni ingegneri si erano specializzati nelle costruzioni di montagna, ora alcuni architetti dedicano la loro attività professionale alla progettazione di rifugi. L'architetto francese Paul Chevallier ne progetta molti utilizzando soluzioni innovative: predilige come struttura una complicata intelaiatura a gabbia lignea con l'impiego di rivestimenti moderni come membrane bituminose, lastre sottili di alluminio e l'inserimento nelle intercapedini di pannelli Isorel, ovvero materiali compositi e fibre che anticipano le lane di roccia e di vetro. In questi anni, visti i volumi sempre maggiori e di conseguenza le tonnellate di materiale da portare in quota, diviene sempre più importante la tematica del trasporto, talvolta addirittura paracadutati dall'aereo.

La francese Charlotte Perriand, collaboratrice di Le Corbusier e artefice della celebre chaise longue, mette a punto un sistema costruttivo basato su una struttura a telaio in leggerissimi tubi di alluminio e pannelli di compensato dalle dimensioni standard. Ottiene così un bivacco sollevato su tubolari direttamente conficcati nel terreno, montabile e smontabile in soli quattro giorni anche da maestranze non specializzate, in grado di ospitare in una pianta di 4 x 2 metri sei persone. Nel 1938 la stessa Perriand, insieme a Pierre Jeanneret, cugino di Le Corbusier, progetta il "refuge tonneau", una capsula prismatica a base poligonale in grado di ospitare da 8 a 48 cuccette, protetta da pannelli di alluminio e montabile in tre giorni. Tale soluzione non fu realizzata, se non nel 2010 a scopo dimostrativo, tuttavia fu importante perché anticipatrice delle soluzioni adottate per i bivacchi negli anni '70.

1.10 SITUAZIONE ITALIANA TRA LE DUE GUERRE

In Italia il fascismo muta le sorti del CAI che dal 1929 viene trasformato in associazione sportiva affiliata al Coni, cadendo così sotto il controllo diretto del regime, al pari di tutto lo sport nazionale. Dall'anno successivo per volere di Mussolini la federazione degli alpinisti fiancheggia e quasi si mescola con l'Associazione nazionale alpini grazie al presidente Angelo Manaresi (alpino e gerarca della marcia su Roma, reggente di CAI e ANA fino al crollo di Mussolini nel '43). I rifugi,



Fig. 1.29 Il Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso di Melis, iniziato nel 1931



Fig. 1.30 Le strutture per bivacchi di Perriand in tubolari metallici e pannelli standard

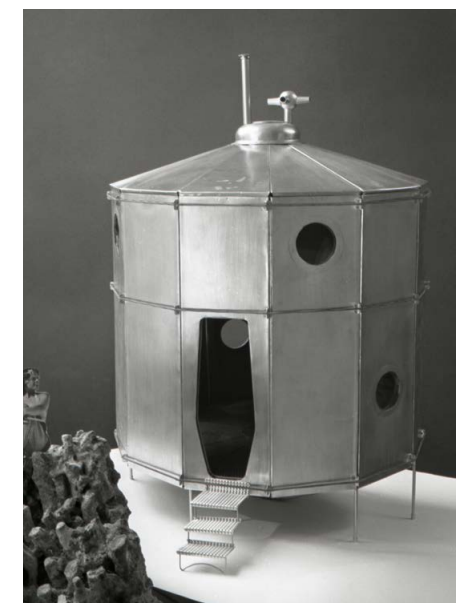


Fig. 1.31 Il "refuge tonneau" di Perriand e Jeanneret del 1938

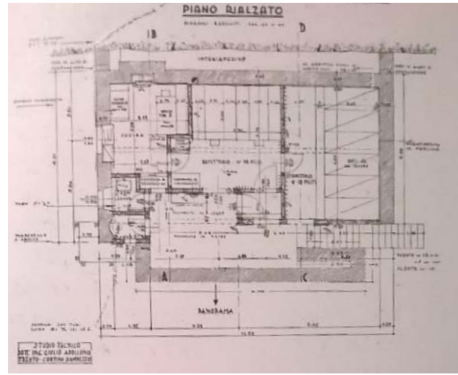


Fig. 1.32 Planimetria per la ricostruzione del Boccalette-Piolti di Giulio Apollonio

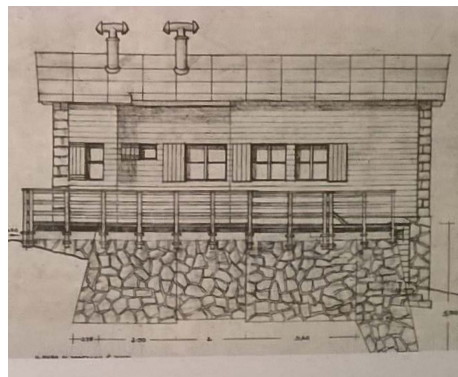


Fig. 1.33 Prospetto per la ricostruzione del Boccalette-Piolti di Giulio Apollonio

analogamente alla funzione avuta nella Prima guerra mondiale, diventano avamposti dei confini montani. I programmi edilizi promossi dal CAI sono direttamente controllati dal Ministero della Stampa e della propaganda e sottoposto a approvazione del Ministero della Guerra.

Giulio Apollonio, già citato per la progettazione del bivacco a nove posti, progetta ampliamenti, ricostruzioni e nuove costruzioni di rifugi. Molti di questi interventi, eseguiti in varie parti delle Alpi, fanno parte del Piano quadriennale dei lavori nelle Alpi Occidentali, iniziativa portata avanti tra il 1937 e il 1941 finalizzata a migliorare l'offerta nel settore Ovest dell'arco alpino, considerata inferiore rispetto a quella della parte orientale. Nonostante gli sforzi del CAI, gli interventi sono difforni l'uno dall'altro perché, a differenza di quanto fatto dal CAS, in Italia manca una raccolta di precetti per l'edificazione in montagna. Nel 1936 il CAI commissiona uno studio esplorativo e stipula un accordo con la Direzione generale del Genio per fissare le norme tecniche e amministrative del Piano, il quale verrà approvato dal Ministero della Guerra (che finanzia in parte costruzione e arredi fissi) e dal Ministero per la Cultura popolare (che contribuirà per gli arredi mobili). I criteri fissati dal piano sono basati sul presupposto che il rifugio abbia una nuova accezione: non più luogo in cui trascorrere qualche ora, ma strutture, pensate per lo specifico sito e non replicabili altrove, in cui il turista passi delle giornate di vacanza. *“È necessario considerare l'odierno accentuato movimento escursionistico in montagna, poiché non si devono ignorare le masse e i loro bisogni per un falso concetto d'aristocrazia alpinistica”*¹³. Il Piano, essendo elaborato in epoca fascista, ha insita la retorica nazionalista di quei tempi: *“Si è cercato infine di dare a tutti questi rifugi, una caratteristica nostra italiana, senza copiare all'estero, con preciso intento di sfatare l'idea che i rifugi di altre nazioni fossero i migliori e, come tali, da imitarsi”*. Assodata la separazione tra cucine e sala ristoro, si raccomanda comunque l'uso parsimonioso dello spazio: *“Bisogna sfatare il concetto che un'ampia superficie dia sempre un locale comodo: i locali, invece, sono comodi quando per raggiungerli si richiede un minimo percorso e quando soprattutto sono razionalmente coordinati fra loro”*. Il Piano ha anche il merito di ribadire il concetto fondamentale di inserimento nel contesto, ancora oggi estremamente attuale: *“Compatibilmente con le esigenze tecniche della singola costruzione, ogni rifugio va ambientato nel suo sfondo naturale, sì che esso non risulti una stridente stonatura di linee o di colori nell'ambiente rude della roccia. L'esperienza insegna che qualora ciò non si faccia, la costruzione ornata e pinnacolata, di stile importato o cittadino,*

¹³ Apollonio G., Ferreri E., *Il Piano rifugi del CAI nelle Alpi Occidentali*, in “Lo Scarpone”, nn.6-7, 15 marzo-1 aprile 1994

non resiste lassù, quasi la montagna si vendicasse colle sue forze disgregatrici sulle piccole opere degli uomini sordi al suo insegnamento di austera semplicità”. Lo scoppio della guerra permette solo in parte l'attuazione del programma, tuttavia dopo alcuni anni si potrà vedere la costruzione di 38 nuove strutture, l'ampliamento di 16 e la ristrutturazione di 19. Collaborazione simile a quella tra CAI e organo statale avviene nello stesso periodo anche in Francia.

1.11 DISTRUZIONE E RICOSTRUZIONE

Mentre la Prima guerra mondiale relativamente ai rifugi aveva comportato conseguenze sullo stato giuridico, ma relativamente modesti erano stati i danneggiamenti alle strutture, ben più catastrofica è la condizione delle costruzioni in montagna al termine della Seconda guerra mondiale. Infatti a partire dall'armistizio dell'8 settembre 1943 le vette divengono palcoscenico della lotta partigiana, sulle Alpi come sugli Appennini, in Italia come in Francia. Silvio Saglio¹⁴ cita a proposito la relazione dell'ingegner Bertoglio al Congresso degli alpinisti italiani: viene riportato che gli atti di vandalismo perdurano anche dopo il 25 aprile del 1945 dal momento che le strutture non erano controllate dalle forze dell'ordine.

Lo scenario riportato è la distruzione totale di 81 rifugi appartenenti a 35 sezioni, 19 strutture parzialmente distrutte (strutture murarie riutilizzabili), mentre vandalismi e furti riguardano il 65% degli stabili del CAI, ovvero 156 rifugi. Bertoglio stima i danni subiti dal CAI all'estate del '45 ammontanti a 440 milioni di lire. La ricostruzione parte fin da subito con grande operosità e al termine dell'estate del 1947 il CAI ha già stanziato 72 milioni di lire ricostruendo ex-novo 7 rifugi e ripristinandone 53, mentre 17 sono le strutture che vengono cedute ai paesi confinanti in base ai trattati di pace. Nel 1950 il Ministero dell'Economia regola i rifugi, fino ad allora rimasti non codificati da un punto di vista tributario, comunque non equiparandoli alla stregua di altri esercizi pubblici, per esempio vale l'esenzione dalla licenza e la dispensa dall'osservazione delle norme riguardo la vendita di alcolici. Negli anni '50 il CAI provvede a migliorare lo standard dei servizi di tutte le sue strutture commissionando ad aziende nazionali di primo piano una fornitura standardizzata, ma dedicata di diversi articoli: materassi, coperte, casalinghi, zoccoli o stoviglie (ceramica prodotta dalla Ginori con logo del CAI).

Nel frattempo si continua a cercare il contatto tra l'ambiente di montagna e la cultura architettonica. Del tutto originale è

¹⁴ Saglio S., *Rifugi e bivacchi... Op.cit.*

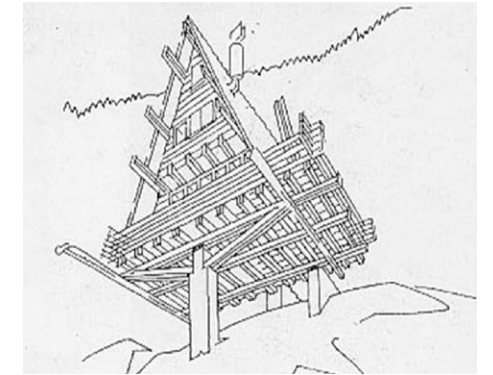


Fig. 1.34 La “casa capriata” di Carlo Mollino, del 1954, realizzata nel 2008



Fig. 1.35 Il primo rifugio ad essere costruito con l'ausilio dell'elicottero: il Soreiller



Fig. 1.36 Il Goûter di Lederlin e Kaminsky con struttura in acciaio e rivestimento in alluminio



Fig. 1.37 L'uso del sistema tecnologico a secco per il Mischabel nel 1965



Fig. 1.38 Il rifugio delle Evettes e l'uso dei pannelli prefabbricati, 1965

la progettazione di Carlo Mollino che nel 1954 presenta alla X Triennale di Milano la "casa capriata"; ispirato allo chalet, l'edificio è ligneo, caratterizzato dal tetto a capanna molto spiovente e sollevato da terra su una piattaforma retta da cavalletti. Il progetto rimarrà irrealizzato fino al 2008 quando viene edificato sotto la spinta del Politecnico di Torino.

1.12 ELICOTTERO E PREFABBRICAZIONE

Il 1957 è l'anno che segna il cantiere d'alta quota con una innovazione che da allora avrà un impiego fortunatissimo: l'utilizzo dell'elicottero. Se già in precedenza il trasporto dei materiali in quota incidere del 20-30 % sui costi globali, ora questa voce diviene predominante. Tuttavia questa innovazione consente di ridurre notevolmente i tempi di cantiere e si rende necessaria per attuare un livello di prefabbricazione più completo di quello artigianale fino ad allora attuato, ottenendo di conseguenza prestazioni migliori degli edifici. L'elicottero inoltre diventa indispensabile per l'edificazione di rifugi di dimensioni sempre maggiori e che si sviluppano su più piani in luoghi in cui è difficoltoso montare ponteggi e talvolta impossibile allestire una gru.

Il rifugio a Soreiller, comunissima struttura in muratura in pietra, passerà alla storia per essere il primo rifugio ad impiegare l'elicottero per la sua costruzione.

Più rilevanti sono i rifugi progettati dalla coppia Lederlin e Kaminsky: il nuovo rifugio ai Grand Mulets (1958) e il nuovo Goûter (1960); entrambi per la prima volta presentano struttura metallica e rivestimento di alluminio in pannelli di grandi dimensioni trasportati e montati in opera con elicottero.

Il cambiamento rispetto al passato è grande e sostituisce all'immagine della capanna tradizionale quella del moderno oggetto di industrial design. Ben presto utilizzare fogli metallici per le coperture diviene una prassi in quanto riduce la manutenzione, contribuisce a diffondere il calore solare e rende il rifugio riconoscibile come tale anche a grandi distanze. In Francia a partire dagli anni sessanta si assiste alla diffusione in tutti i campi dell'edilizia della prefabbricazione, sia leggera, ovvero con assemblaggio a secco, sia pesante, ovvero impiegando il cemento. Le soluzioni a secco permettono di creare piattaforme artificiali anche dove non sarebbe possibile eseguire uno sbancamento e presentano il vantaggio di essere reversibili, come dimostra il bivacco Ghiglione sul Monte Bianco, installato nel 1967 e smantellato nel 1998. Caso emblematico delle possibilità offerte dal sistema tecnologico a secco è il bivacco del Mischabel in Vallese a 3847 m s.l.m.. Esempio di prefabbricazione è il rifugio delle Evettes in Vanoise a 2590 m; il progettista, Guy Rey-Millet, predispone una serie

di pannelli prefabbricati modulari, realizzati in pezzo unico a tutta altezza e aventi due sole configurazioni: parete piena o con finestra.

1.13 NUOVI BIVACCHI

Gli anni sessanta sono per l'architettura un periodo estremamente originale, fucine di idee intrise di sviluppo tecnico e di proiezione nel futuro. In questo periodo si immaginano città che si spostano su trampoli, capsule modulari dagli spazi ridottissimi ma accessoriati di tutto, bolle entro cui vivere e tanto altro ancora. Ad accendere queste fantasiose soluzioni sono lo sviluppo tecnologico e in particolare le ricerche in ambito aerospaziale. Nel campo dell'edilizia diventa usuale l'impiego di climatizzazione forzata, mentre compaiono come materiali da costruzione i nuovi prodotti dell'industria come le fibre e i polimeri.

A conoscere una particolare fortuna in questo periodo, forse a causa dell'affinità concettuale, sono i bivacchi. Queste strutture infatti sono viste come unità minime di sopravvivenza in ambienti estremi, la cui efficienza deve essere ottimizzata con ogni soluzione tecnologica più all'avanguardia. L'elicottero permette la collocazione in opera di strutture interamente prefabbricate che non necessitano di alcuna finitura se non per il fissaggio a terra. Questo è il caso del bivacco del Dolent (2667 m s.l.m.) che nel 1973 viene calato in vetta; il manufatto ha anche la particolarità di avere la scocca esagonale in un materiale sintetizzato ovvero il poliestere. La suggestione data dalla tematica dello spazio ai progettisti diventa evidente del bivacco dello Stockhorn (2598 m s.l.m.): l'intelaiatura metallica poggia su delle "zampe" che sollevano il modulo dal suolo. In Italia unica e notevole avanguardia nel campo dei bivacchi è costituita dal bivacco Ferrario alla Grigna Meridionale (2184 m s.l.m.).

1.14 ESCHENMOSER, L'ARCHITETTO PRECURSORE

Nel 1973 lo svizzero Jacob Eschenmoser pubblica il volume "Vom Bergsteigen und Hüttenbauen"¹⁵, una raccolta dei principi illuminanti per il futuro. In trent'anni si deve a Eschenmoser sedici realizzazioni in quota, tutte che si rifanno certo ai principi elvetici di baita, ma con elementi di novità. Spesso l'architetto utilizza uno sviluppo planimetrico centralizzato a matrice poligonale che si riflette quindi in un volume sfaccettato e necessariamente con una copertura che si differenzia molto

¹⁵ Eschenmoser J., *Vom Bergsteigen und Hüttenbauen*, Orell Füssli, Zurigo 1973



Fig. 1.39 Il bivacco del Dolent del 1973 calato in elicottero e con scocca in poliestere



Fig. 1.40 Il bivacco dello Stockhorn del 1974 dall'aspetto futuristico



Fig. 1.41 Bivacco Ferrario sulla Grigna Meridionale, unica avanguardia italiana negli anni '70



Fig. 1.42 Esempio dell'architettura di Eschenmoser nel Domhütte in Vallese

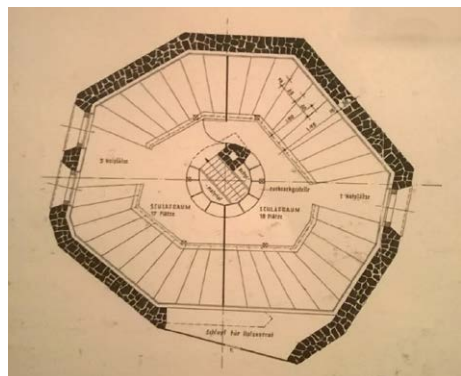


Fig. 1.43 La pianta del dormitorio al secondo piano del Domhütte



Fig. 1.44 La celebre Cabane de Bertol a Zinal di Eschenmoser



Fig. 1.45 Il rifugio Monzini sul Monte Bianco (2590 m s.l.m.)

dal tradizionale tetto a capanna. La copertura è concepita come un manto, privo di ogni oggetto dei cornicioni e in continuazione con gli articolati prospetti. La pianta organizzata in modo centrale risponde alla precisa idea di ottimizzare lo spazio, rispettando però un'idea organicista piuttosto che una razionalista. Nella pianta che più si avvicina alla circonferenza (e che, tra l'altro, permette di ottenere la massima superficie a parità di perimetro) trova il modo per assecondare i movimenti naturali delle persone. Esemplificativa è la realizzazione Domhütte, in Vallese (2940 m s.l.m.) del 1957. La scala è al centro della pianta, baricentro dell'intero rifugio; al primo piano è presente un'unica camerata in cui le cuccette sono disposte a raggiera e che hanno la particolarità di essere disegnate "a misura d'uomo" ovvero di forma trapezoidale, secondo la conformazione del corpo umano che si rastrema dalle spalle alle gambe.

La realizzazione più nota è la Cabane de Bertol a Zinal, del 1975. Si tratta di un volume prismatico a base ottagonale che è collocato lungo una scoscesa cresta su cui si sviluppano numerosi torrioni con i quali l'edificio stesso si confronta. I rifugi di Eschenmoser sono precursori della progettazione degli ultimi decenni che vede lo sviluppo delle forme sfaccettate negli edifici in alta quota, quasi fossero in competizione con il contesto circostante, ma allo stesso tempo dialogandoci. È importante precisare l'attenzione di Eschenmoser al contesto, come egli stesso dichiarò all'inaugurazione della capanna Coaz nel Bernina: *"Forse qualcuno dei presenti è sorpreso dalla forma speciale del rifugio. Ciò che si può vedere oggi, è il risultato delle nostre intenzioni di costruire un rifugio proprio per questo posto e per questa meta"*.

1.15 LA CEMENTIFICAZIONE DELLE ALPI

Con il boom economico degli anni '60 le alpi conoscono una sempre crescente frequentazione di massa; quasi ovunque sull'arco alpino vengono costruite infrastrutture di turistiche come strade, hotel e impianti di risalita. Il CAI è tra i principali promotori dell'accessibilità allargata della montagna e i rifugi che le varie sezioni commissionano sono sempre più grandi e dotati di servizi. Questa tendenza è seguita anche dall'iniziativa privata che sfrutta la visibilità delle montagne per trarre profitti dal turismo. Questo modo di operare perdura fino agli anni '80 e talvolta ha portato a interventi che hanno alterato gli equilibri ambientali in alta quota. In un'assemblea nazionale del CAI del 1986 si afferma che i con circa ventimila posti letto il CAI è la più grande organizzazione alberghiera d'Italia. Gli esiti sulle nuove edificazioni sono vari e dipendono di caso in caso dalla sensibilità dei progettisti e degli enti committenti coinvolti.

Il Monzino sul Monte Bianco, progettato nel 1965 da Cosmacini, per quanto capiente mostra comunque un'elevata articolazione dei volumi e forme originali, contraddistinte da un basamento in pietra e il piano superiore sporgente verso l'esterno e rivestito in lamiera. Altri interventi si limitano a fare sfoggio delle proprie dimensioni, come nel caso della capanna Gnifetti al Garstelet (3647 m s.l.m.) del 1967. Attenzione al contesto è posta invece con il Vallanta sul Monviso, progettato da Bellezza e Momo e configurato come un diedro di roccia artificiale tagliato da una copertura a falda unica che riprende l'inclinazione dei pendii. Anche la ricostruzione del rifugio Garelli, nel Marguareis del 1991 mostra un carattere originale attraverso l'insistita reiterazione del motivo archetipico della capanna spiovente. Due sono ritenuti gli episodi emblematici dell'antropizzazione delle terre alte attraverso mega-rifugi; il primo è la nuova capanna regina Margherita sulla Punta Gnifetti che soppianta il vecchio rifugio-osservatorio sostituendolo con il suo volume a parallelepipedo di tre piani visibile da molto lontano; il secondo esempio è la capanna Quintino Sella al Felik (3585 m s.l.m.), progettato dallo studio Seira in legno e lamiera. Questi rifugi ospitano le frotte di alpinisti che salgono in cordata verso le vette, molti dei quali neofiti per il "battesimo dei 4000". La scala troppo elevata di queste costruzioni appare evidente anche alle società delle montagne, tanto che nel 1980 si afferma che quello fosse un limite da non superare, il segnale per terminare una fase; il consiglio generale del CAI dichiara che la costruzione di nuove strutture debba essere il più possibile limitata e che l'impatto ambientale di nuovi e vecchi rifugi vada attentamente vagliato.

1.16 LA PREOCCUPAZIONE AMBIENTALE

Il 7 novembre 1991 viene firmata da sei Stati membri della Commissione internazionale per la protezione delle Alpi (Cipra) la "Convenzione delle Alpi". Il documento ha l'obiettivo di proteggere il territorio che si estende ad arco per 1100 km dal Mar Ligure all'Adriatico e promuoverne lo sviluppo sostenibile. È il segno che la politica ha recepito la mutata sensibilità verso i temi dell'ambiente e dello sviluppo territoriale. Il contenimento dei consumi e degli sprechi rendono necessario un ripensamento degli stili di vita al fine di non esaurire le risorse naturali. Questo vale soprattutto nel caso del suolo che è una risorsa limitata e difficilmente riportabile allo stato originale una volta trasformata.

In ambito alpinistico queste istanze si erano fatte sentire già da tempo. Nel 1987 il movimento Mountain Wilderness sotto la spinta di Reinhold Messner, capace di attrarre l'attenzione dei media con azioni dimostrative, chiede lo smantellamento



Fig. 1.46 Nuova capanna Gnifetti al Garstelet del 1967, esempio dimensioni sproporzionate



Fig. 1.47 Il rifugio Vallanta sul Monviso, di Bellezza e Momo, 1975



Fig. 1.48 La reiterazione delle forme nel rifugio Garelli del 1991



Fig. 1.49 Nuova capanna Regina Margherita sulla Punta Gnifetti del Monte Rosa del 1980



Fig. 1.50 Il "muro di Trombe" realizzato da Zanassi all'Adèle Planchard nel 1982



Fig. 1.51 La nuova parte del Goûter progettata da Jeanvoine



Fig. 1.52 Il famoso "totem" della Cabane du Vêlan di Troillet del 1993

di alcuni impianti di risalita meccanica e il recupero di una fruizione della montagna più selvaggia. Vengono criticati anche i rifugi dei decenni precedenti, definiti "transatlantici", costruiti per attrarre un pubblico sempre più ampio e sempre meno consapevole. Alla politica di nuova costruzione si predilige quella del recupero, della trasformazione o della riqualificazione, limitando un nuovo rifugio solo là dove il territorio sia sprovvisto di strutture. Le normative, legate alle direttive della Comunità europea, si fanno più restrittive in materia di consumo energetico, certificazione dei materiali, sicurezza, gestione e smaltimento dei rifiuti. Ne conseguono opere di bonifica dei siti e di sostituzione dei materiali da costruzione tossici utilizzati nel passato, oltre a campagne di sensibilizzazione per il pubblico.

Nuovi impulsi arrivano ai sistemi per ricavare energia pulita, in sostituzione dei vecchi generatori a carburante; nel 1979 vengono installati in Francia i primi pannelli solari al rifugio delle Evettes. Nel 1982 l'architetto Zanassi realizza all'Adèle Planchard (3173 m s.l.m.) una parete con il "muro di Trombe" un sistema passivo per l'accumulo di calore. Nel 1989 Jeanvoine firma l'ampliamento del Goûter concependo un sistema che fonde la neve retrostante il rifugio e guadagnando allo stesso tempo acqua e riducendo la spinta della massa ghiacciata sulla struttura.

1.17 L'IMMAGINE DEL RIFUGIO

Dalla fine degli anni '80 emerge l'esigenza che gli edifici siano rappresentativi attraverso forme e caratteri che siano in grado di imprimerli nella memoria dei visitatori. Ovviamente questa iniziativa è richiesta dalla committenza perché l'immagine è strumento di marketing e aumenta i profitti. Anche i rifugi si piegano a queste esigenze; non di rado i progetti di costruzioni in alta quota vengono pubblicati nelle riviste di architettura perché innovativi. Spesso gli interventi diventano in landmark, ovvero un segnale potente della presenza dell'uomo sul territorio, spesso preferendo il porsi in rilievo per contrasto con l'ambiente circostante piuttosto che la mimesi con il contesto. Rivestimenti lignei e metallici vanno a sostituirsi a quelli in pietra, facendo diventare i rifugi, attraverso l'aspetto esteriore, rappresentativi della propria epoca. Esemplificativa di questa tendenza è la nuova Cabane du Vêlan del 1993, di Michel Troillet. Il volume si sviluppa in altezza, assumendo i connotati di un totem la cui particolarità è ribadita dalla pianta a forma di mandorla e dal rivestimento in lastre in zinco-titanio che lo rendono individuabile anche a distanza.

Molti dei rifugi degli anni Duemila seguono queste correnti, ovvero la rimarcata presenza sul territorio, quasi a rappresentare

la testimonianza dell'uomo nell'ambiente montano in cui la natura regna, piuttosto che una discreta armonia con l'intorno, denunciando il rispetto di ambienti naturali così incontaminati.

ASPETTI NATURALISTICI DELLE GRIGNE

2

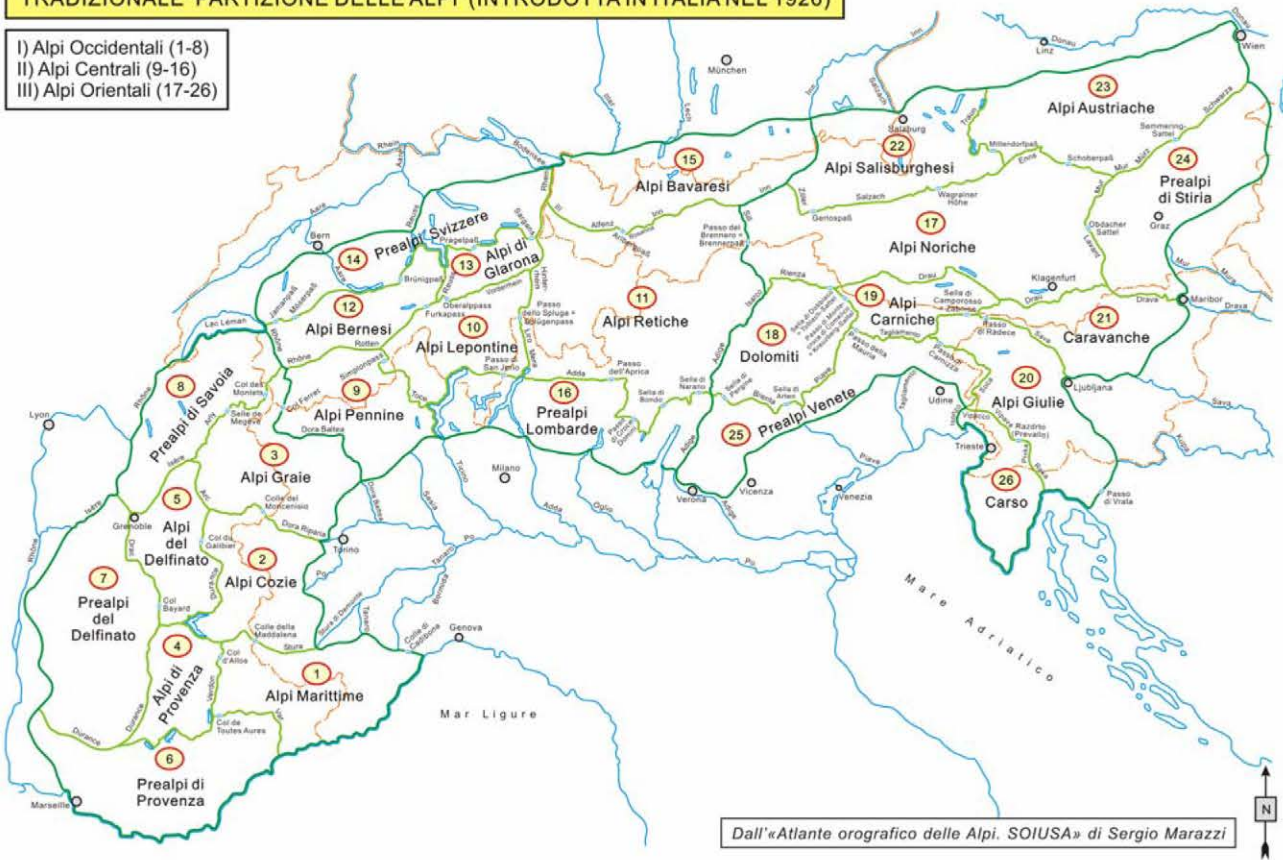
Intervenire con un elemento antropico in un ambiente naturale pressoché incontaminato ha richiesto una fase di conoscenza dell'intorno.

Nel capitolo si fornisce un inquadramento generale sulla classificazione delle Alpi, quindi si approfondisce la storia geologica del gruppo delle Grigne con il dettaglio di tutte le formazioni rocciose presenti nel circondario. Si forniscono poi i caratteri peculiari del fenomeno del carsismo, particolarità che coinvolge tutto il territorio; si riportano, inoltre, i principali rinvenimenti paleontologici sul Grignone e sulla Grignetta.

In ultimo vengono analizzate le specie animali e vegetali presenti nei diversi habitat che interessano i versanti di queste montagne.

TRADIZIONALE 'PARTIZIONE DELLE ALPI' (INTRODOTTA IN ITALIA NEL 1926)

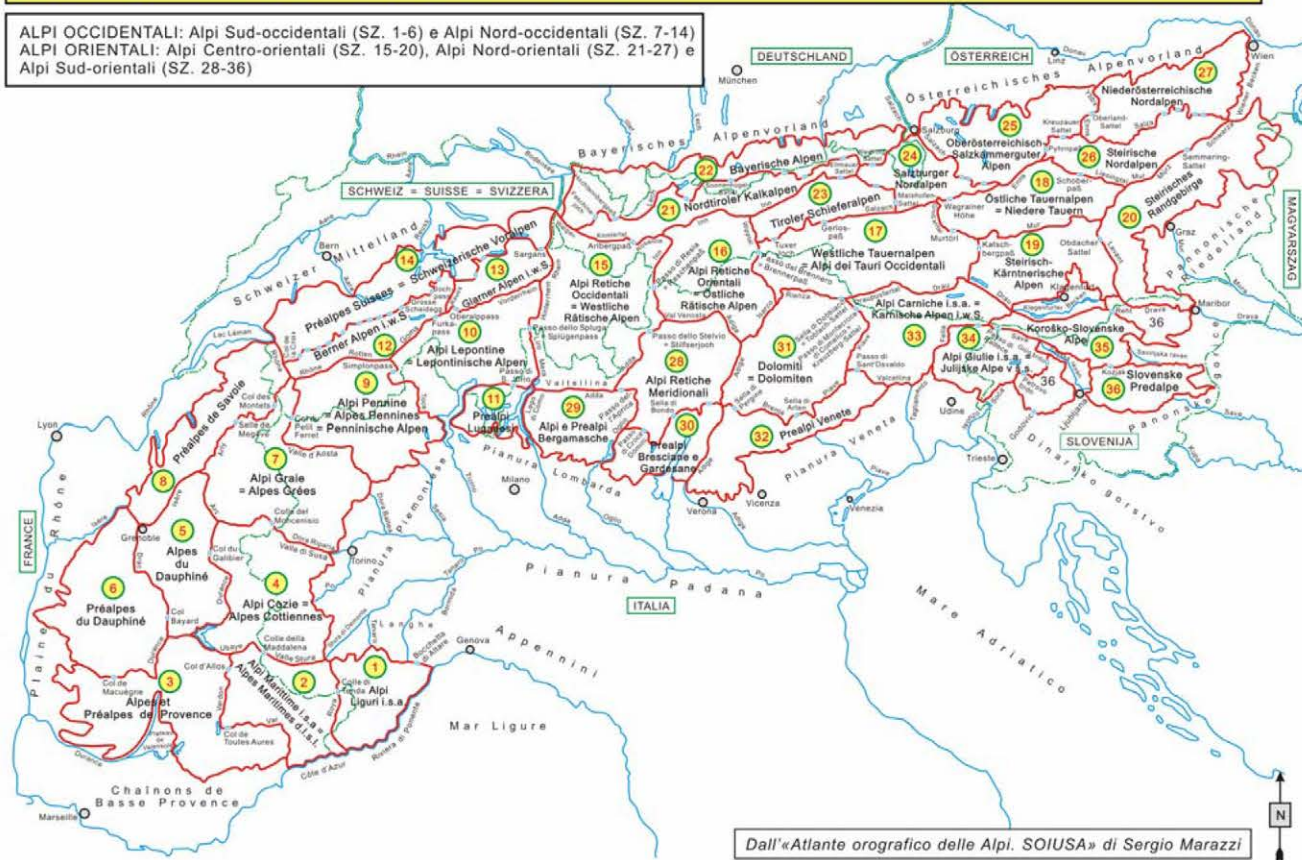
- I) Alpi Occidentali (1-8)
- II) Alpi Centrali (9-16)
- III) Alpi Orientali (17-26)



Dall'«Atlante orografico delle Alpi. SOIUSA» di Sergio Marazzi

LE 36 SEZIONI DELLA 'SUDDIVISIONE OROGRAFICA INTERNAZIONALE UNIFICATA DEL SISTEMAALPINO' (SOIUSA)

- ALPI OCCIDENTALI: Alpi Sud-occidentali (SZ. 1-6) e Alpi Nord-occidentali (SZ. 7-14)
- ALPI ORIENTALI: Alpi Centro-orientali (SZ. 15-20), Alpi Nord-orientali (SZ. 21-27) e Alpi Sud-orientali (SZ. 28-36)



Dall'«Atlante orografico delle Alpi. SOIUSA» di Sergio Marazzi

2.1 CLASSIFICAZIONE E TOPONOMASTICA

Per lo studio dell'arco alpino, si fa riferimento alla "Suddivisione orografica internazionale unificata del Sistema Alpino" (SOIUSA)¹. Questo è un recente sistema di classificazione geografica e toponomastica delle Alpi, elaborato da Sergio Marazzi nel 2006 in collaborazione con istituti e professionisti italiani e degli altri paesi alpini.

L'esigenza di creare un riferimento unificato relativo alle Alpi è emersa per superare i limiti legati all'avere diverse suddivisioni nazionali dei territori alpini; in Italia ad esempio era rimasta valida la 'Partizione delle Alpi' del 1926. Questa suddivisione, all'epoca comunque pionieristica in quanto per prima prese in considerazione l'intero arco alpino (caso unico nel panorama europeo), risentiva di una visione italo-centrica. La classificazione, infatti, era stata introdotta durante il regime fascista dal Comitato Geografico Nazionale sulla base del documento "Nomi e limiti delle grandi parti del Sistema Alpino", proposto da una commissione nominata allo scopo durante il IX Congresso Geografico Italiano del 1924.

Primaria differenza dal passato consiste nel fatto che la SOIUSA ha superato la storica tripartizione alpina in Alpi Occidentali, Alpi Centrali ed Alpi Orientali definita nel 1926, adottando la bipartizione in Alpi Occidentali ed Alpi Orientali. La divisione prosegue progressivamente distinguendo grandi settori, sezioni, sottosezioni, supergruppi, gruppi, sottogruppi.

Il gruppo delle Grigne, secondo la classificazione tradizionale del 1926, è compreso nelle Alpi Centrali, nella settore delle Prealpi Lombarde che vanno dal Lago Maggiore a Ovest, al fiume Adige a Est, dalla pianura padana a Sud e alla catena principale alpina a Nord (Alpi Lepontine ed Alpi Retiche).

Secondo la SOIUSA il gruppo delle Grigne è un gruppo alpino con la seguente classificazione:

- Grande parte: Alpi Orientali;
- Grande settore: Alpi Sud-orientali;
- Sezione: Alpi e Prealpi Bergamasche;
- Sottosezione: Prealpi Bergamasche;
- Supergruppo: Prealpi Bergamasche Occidentali;
- Gruppo; Gruppo delle Grigne;
- Codice: II/C-29.II-A.3.

In particolare l'area comprensiva di Grignone, Grignetta e Coltignone viene ulteriormente suddivisa in tre sottogruppi e sei settori di sottogruppi. L'area di progetto si colloca nel sottogruppo della Grigna Meridionale (a), in particolare nel nodo della Grigna Meridionale (a/a).

¹ Marazzi S., *Atlante Orografico delle Alpi. SOIUSA*, Priuli & Verlucca, Pavone Canavese 2005

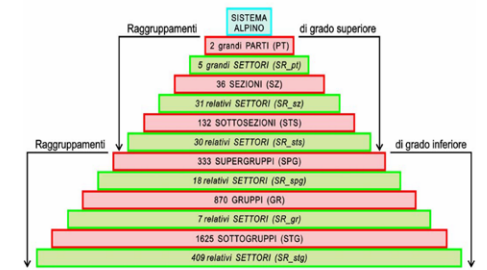


Fig.2.1 Schema relativo alla nuova suddivisione orografica unificata del Sistema Alpino

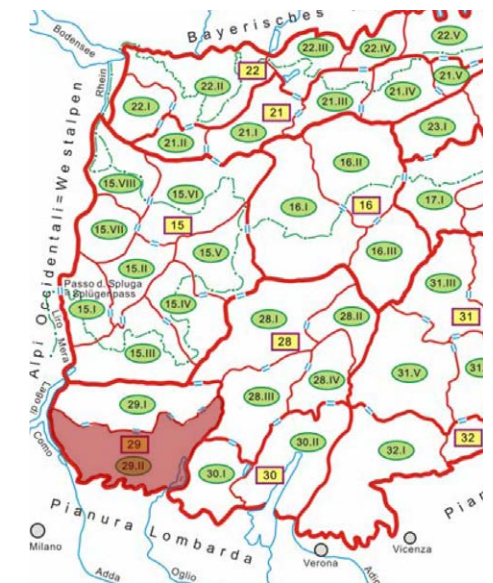


Fig.2.2 Porzione Est delle Alpi Orientali, in evidenza la sezione Alpi e Prealpi Bergamasche

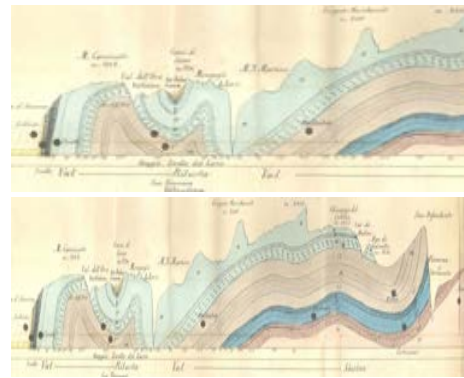


Fig.2.3 L'interpretazione, errata, di Stoppani che interpreta le Grigne come piaghe piuttosto che come scaglie

2.2 GEOLOGIA

Fin dalla metà del XIX secolo il gruppo delle Grigne ha suscitato l'attenzione di geologi e paleontologi. I primi lavori stratigrafici² risalgono a Curioni (1847), Stoppani (1857), Taramelli (1880); successivamente la discussione circa l'età delle rocce delle Grigne si allarga a numerosi studiosi stranieri: Escher von der Linth, Hauer, Gümbel, Benecké, Mojsisovics. Tuttavia solo nel 1930 lo svizzero Trümpy inquadrò correttamente la complicata stratigrafia.

Anche per quanto riguarda l'assetto strutturale e tettonico di quest'area, per decenni si sono susseguite interpretazioni tra loro anche molto diverse. Gradualmente si è radicata la certezza che il gruppo sia costituito da tre scaglie principali con superfici di scorrimento immergenti verso Nord. Già da una semplice analisi visiva, si nota come le Grigne siano costituite da una serie di blocchi disposti in modo particolare, quasi che questi siano andati accavallandosi l'uno sull'altro. In effetti le Grigne si compongono di tre scaglie sovrapposte: il Coltignone, il più basso, la Grignetta (Grigna Meridionale) intermedia e il Grignone (Grigna Settentrionale), il più alto. Tale particolare disposizione è legata alla formazione dell'intera catena delle Alpi e si suppone un legame tra i lievi terremoti che interessano il lecchese a movimenti che ancora oggi avvengono lungo queste superfici tettoniche.

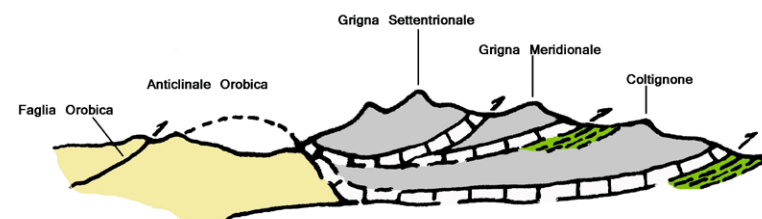


Fig.2.4 Rappresentazione delle tre scaglie di scorrimento immergenti verso Nord

Seguendo gli studi del Gruppo Mineralogico Paleontologico Lariano, è possibile ricostruire gli ambienti entro cui si sono deposte le rocce che formano le Grigne e capirne l'evoluzione nel tempo.

Le litologie più antiche costituiscono il cosiddetto "basamento scistoso-cristallino" ed affiorano tra Introbio e Prato San Pietro; al di sopra si sviluppa l'intera serie che costituisce il massiccio vero e proprio.

Nel Permiano (da 290 a 245 milioni di anni fa) l'area era occupata da una vasta pianura, solcata da fiumi che hanno deposto ghiaie e sabbie che, a causa del clima particolare, hanno assunto una caratteristica colorazione rossastra. Questi materiali, indicati

² Gruppo mineralogico paleontologico lariano, *Geologia delle Grigne. Guida alla mostra*, cicl. in proprio, Lecco 1982

con il nome di Verrucano Lombardo, affiorano alla base del Grignone, tra la Rocca di Baiedo e Prato San Pietro; sono ben visibili in corrispondenza dello sperone di roccia che porta il nome di "Sassi Rossi", presso Introbio.

Nel Trias inferiore, circa 245 milioni di anni fa, il mare ha sommerso tutta la zona: in questa occasione, sabbie e argille si sono deposte andando a costituire il Servino, ossia le rocce che affiorano nella parte settentrionale del Grignone, in particolare nella zona di Parlasco.

In seguito, la piana è stata ricoperta da ghiaie di provenienza continentale: si è così costituita la Formazione di Bellano.

In seguito hanno cominciato a svilupparsi le "piattaforme carbonatiche", che costituiscono la parte basale del Calcare di Esino detta "Membro dell'Albigo". La formazione della piattaforma carbonatica è avvenuta attraverso il processo seguente: durante il Triassico il Parco era sommerso da acque calde ospitanti numerose forme di vita (alghe, coralli...). Di questi organismi, le componenti dure, costituite per lo più da carbonato di calcio, non si decompongono dopo la morte; sott'acqua la trama di questi scheletri funge da trappola per altre particelle e possono dare origine anche ad interi arcipelaghi, come attualmente avviene alle Bahamas e in Florida. Le grandi piattaforme carbonatiche del Calcare di Esino, costituite tutta una serie di isole e di banchi semiaffioranti, si sono sviluppate durante il Triassico medio e superiore. Si sono accumulati sul fondo dapprima i carbonati che oggi formano il Calcare di Prezzo e il Calcare di Buchenstein, in seguito sabbie e argille comprendenti resti vegetali provenienti da una terra emersa a Nord.

In lembi con limitata comunicazione con il mare aperto si sono poi depositi sedimenti carbonatici e terrigeni, di colore nero per la presenza di sostanza organica non decomposta; questi hanno dato origine al Calcare di Perledo-Varenna, ricco di fossili.

Al ritiro delle acque, la piattaforma parzialmente scoperta è stata oggetto di fenomeni di corrosione di tipo carsico (Calcare Metallifero Bergamasco); le piattaforme carbonatiche sono state allora sostituite da lagune a causa del notevole aumento di materiale di origine continentale che impediva la vita di scogliera (Formazione di Gorno). Sporadicamente, in Valsassina affiora la Formazione di San Giovanni Bianco, testimonianza del ritiro del mare e della successiva formazione di vaste lagune costiere; sul fondo di queste si sono accumulati sedimenti fini di tipo argilloso; intercalati ad essi, si trovano lenti di sali, determinate dall'evaporazione delle acque marine.

Con questa fase può dirsi conclusa la storia sedimentaria delle rocce: il tempo successivo è ancora ricchissimo di eventi geologici, ma principalmente legati alla costruzione della catena alpina. Il sollevamento avviene nella successiva era cenozoica,



Fig.2.5 Verrucano Lombardo



Fig.2.6 Servino



Fig.2.7 Calcare di Esino



Fig.2.8 Calcare di Perledo-Varenna

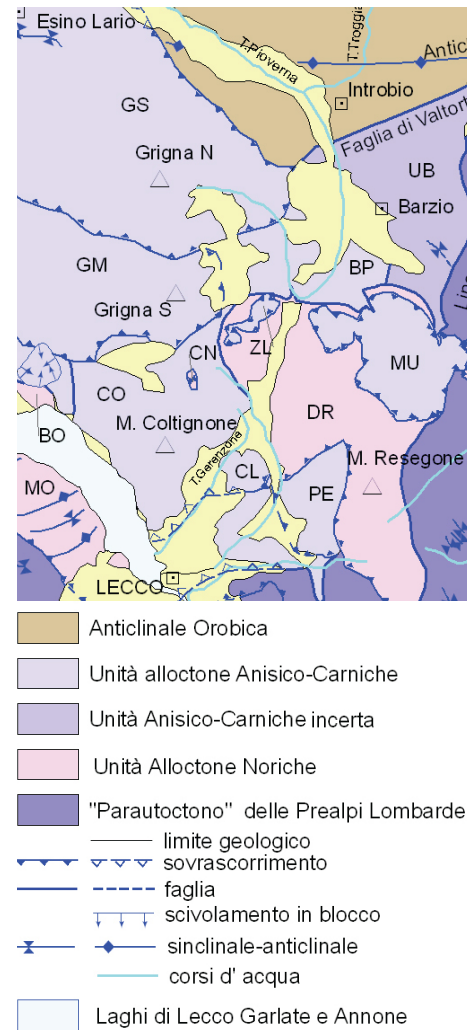


Fig.2.9 Schema strutturale del territorio lecchese come riportato nella Carta Geologica d'Italia

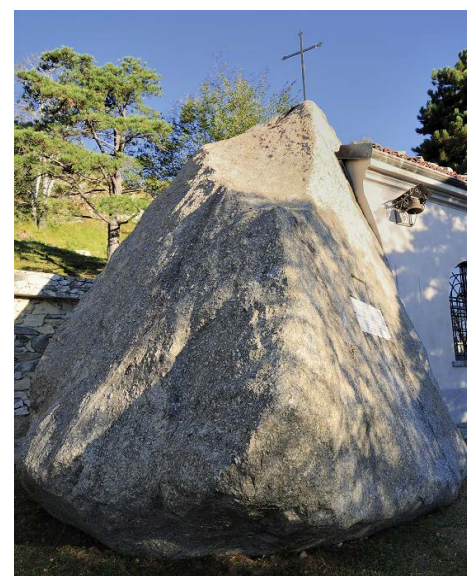


Fig.2.10 Massi erratici: il Sasso Preguda e l'annessa cappella di Sant'Isidoro sul Moregallo

o terziaria, iniziata circa 70 milioni di anni fa e completata circa 40 milioni di anni fa con la formazione di Apli e Prealpi³.

Durante i movimenti che generano le montagne, le masse rocciose vengono piegate, rotte ed eventualmente modificate. L'insieme delle litologie, ossia delle caratteristiche delle rocce, e della tettonica, ossia delle pieghe e delle fratture, durante la storia geologica di un gruppo montuoso, ne condiziona l'aspetto, ovvero la morfologia. Ogni litologia ha un comportamento differente nei confronti degli agenti erosivi e dell'alterazione: vi sono ad esempio quelle più dure e resistenti, che si rompono con facilità e danno luogo a forme aspre, spesso prive di vegetazione, con ampie pareti subverticali; un esempio è il Calcarea di Esino che forma le parti sommitali del Grignone e della Grignetta. Altre rocce sono più tenere e, di conseguenza, se sottoposte a sforzi tettonici, tendono a piegarsi piuttosto che a rompersi, e possono dar luogo a forme più dolci, con pendii regolari, in genere coperti da prati e boschi; ne sono esempio la Formazione di Wengen e il Calcarea di Buchenstein che danno luogo alle superfici prative del versante di Pasturo.

Una volta emerse, le rocce sono profondamente modificate dall'azione degli agenti atmosferici; questa azione diviene più massiccia nella successiva era quaternaria grazie alle glaciazioni. Nel territorio lecchese le quattro glaciazioni raggiunsero le quote di 1300 m s.l.m. sulle Grigne e di 875 m s.l.m. sul Monte Barro; queste misure sono state dedotte in modo preciso grazie al ritrovamento di materiale morenico. Legato a questo periodo è anche il fenomeno dei massi "erratici", blocchi di roccia eterogenei rispetto al contesto: provenendo dalla catena alpina, il ghiacciaio Abduano ha eroso i fianchi delle montagne ed ha trasportato verso meridione grosse quantità di materiali, fra queste i grossi massi che poi sono stati depositati sul territorio lecchese.

L'azione erosiva degli agenti atmosferici è continuata anche dopo le glaciazioni ed evolve ancora oggi sgretolando le parti meno massicce e più fessurate. Questa azione nel gruppo delle Grigne ha portato a risultati spesso spettacolari: guglie e pinnacoli, archi e finestre di roccia. Eccezionale, anche per le dimensioni, è la "Porta di Prada", un arco presente nei pressi della Bocchetta di Prada, ma le finestre di roccia sono numerose: per citare le principali, si ricordano quelle visibili nel Canalone Porta, all'inizio del Canalone Caimi e al Buco di Grigna. Particolare è anche la frammentazione delle forme della Grignetta che, seppur costituita della stessa dolomia di Grignone e Coltignone, manca della compattezza propria degli altri due sottogruppi. La spiegazione risiede proprio nella tipologia con cui le Grigne si sono sollevate, ovvero con lo "schiacciamento" della zolla della

³ Rota A., *Intorno al lago di Lecco. Itinerari naturalistici, panoramici e storici sulle montagne lecchesi*, Club Alpino Italiano, Milano 2010

Grignetta tra le altre due; le rocce sottoposte a pressione si sono frantumate, senza però disgregarsi: è avvenuto il fenomeno della milonizzazione che ha favorito la successiva erosione e disgregazione che ha portato alla formazione di guglie, torrioni e spuntoni⁴.

Di seguito si riportano le rocce sopra menzionate, presenti nell'intero territorio delle Grigne, così come sono presentate dal gruppo mineralogico paleontologico lariano⁵.

Basamento cristallino: la successione sedimentaria delle Grigne poggia su un basamento di rocce metamorfiche i cui affioramenti sono posti a Nord e si costituiscono di gneiss con varia composizione mineralogica e diverso grado metamorfico, micascisti talvolta ricchi di staurolite, cianite, tornaline e granati, quarziti e anfiboliti. L'aspetto tipico di queste rocce è collegato alla loro scistosità, cioè alla disposizione parallela delle lamine di mica (muscovite e biolite) che facilitano la rottura dei blocchi secondo direzioni preferenziali. Verso l'alto lago (Piona, Monte Legnone) queste rocce metamorfiche sono state intruse da filoni pegmatitici di età alpina, costituiti da feldspato e quarzo bianchi e molto ricchi di minerali accessori.

Formazione di Collio: presente con esigui affioramenti, lo spessore massimo è di circa 50 metri costituiti da porfidi quarziferi e da depositi vulcanoclastici. Queste rocce testimoniano episodi vulcanici avvenuti durante l'orogenesi Ercinica, cioè durante il sollevamento della catena montuosa che esistette prima delle Alpi e che in questa regione venne poi completamente erosa.

Verrucano Lombardo: unità facilmente riconoscibile sul terreno essendo costituita da arenarie e conglomerati rossi. Le arenarie sono sabbie cementate, mentre i conglomerati sono formati da clasti arrotondati più grossolani che in questa formazione variano solitamente tra 0,5 e 10 centimetri. I ciottoli sono prevalentemente di quarzo bianco e dai porfidi rossi che si effusero durante il Permico inferiore ricoprendo con spessore variabile buona parte della Lombardia. Lo spessore di questa formazione è estremamente variabile passando da circa 30 metri lungo il lago a Bellano a 100-150 metri lungo la Val Muggiasca e la Valsassina, ai 500 metri dei Sassi Rossi di Introbio.

Servino: quando non interessata da disturbi tettonici, questa unità ha una potenza di 280-300 metri nell'area Nord, mentre a Sud di Perlasco ha uno spessore di circa 100 metri. La litologia di questa unità è molto varia anche se essenzialmente terrigena. Vengono distinti diversi livelli in base alla presenza o meno di intercalazioni carbonatiche. Inferiormente si hanno arenarie e conglomerati molto ricchi di quarzo in ciottoli ben arrotondati; si possono poi trovare arenarie rosse e siltiti verdastre con

⁴ Rota A., *Il gruppo delle Grigne. Itinerari naturalistici, panoramici e storici sulle montagne lecchesi*, Club Alpino Italiano, Milano 2010

⁵ Gruppo mineralogico paleontologico lariano, *Geologia delle Grigne. Guida alla mostra*, cicl. in proprio, Lecco 1982



Fig.2.11 La "Porta di Prada", arco carsico naturale presso la Bocchetta di Prada



Fig.2.12 Torrioni e spuntoni in Grignetta prodotti dal fenomeno della milonizzazione

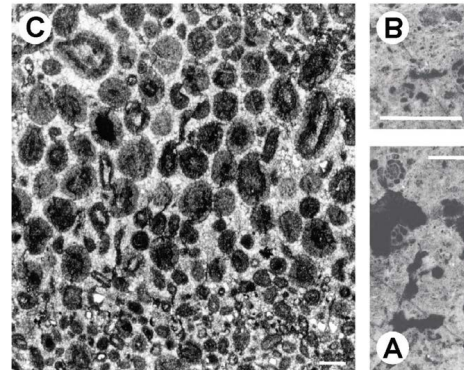


Fig.2.13 Calcare di Angolo: Val Melma, Mandello del Lario (A-B), Monte Melma, Lecco (C)



Fig.2.15 Pieghe nel calcare di Perledo-Varenna presso Mandello del Lario



Fig.2.14 Formazione di Livinallongo

intercalazioni di calcari.

Dolomia del Monte Albigo: questa unità è eteropica con il Calcare di Angolo, si è cioè deposta contemporaneamente ad esso, ma in un ambiente diverso. La potenza di questa formazione è di circa 100-150 metri. L'unità è caratterizzata da orizzonti calcarei o calcareo-dolomitici. In particolare la parte inferiore è costituita da dolomie e calcari dolomitici in banchi anche di un certo spessore (60-80 metri). La parte mediana presenta invece una prevalenza di calcari, spesso fossiliferi, in corpi vagamente lenticolari. L'unità si chiude infine con calcari dolomitici bituminosi, laminati sottilmente, neri e con parina di alterazione spesso rossa. Il contenuto paleontologico è dato spesso da alghe calcaree, pa piastre di Echinodermi, da Lamellibranchi del genere Daonella.

Calcare di Angolo: unità calcareo-dolomitica generalmente ben stratificata e che presenta, soprattutto nella parte mediana, frequenti intercalazioni arenacee. Lo spessore varia dai 30 metri da Sud Est di San Calimero ai 90 metri della Valle dei Crotti, oltre la quale subentra l'eteropia con la Dolomia dell'Albigo. La successione litologica tipica è composta da calcari in strati sottili con evidenti piastre di Echinodermi e frammenti di Lamellibranchi, sovrastati da calcari arenacei e infine da arenarie in grosse bancate. Al tetto dell'unità è presente quasi ovunque una decina di metri di calcari grigio scuro, nodulari, fasciati da marne ricche di mica; calcari nodulari possono essere presenti localmente anche nei livelli inferiori. Il contenuto paleontologico è vario e abbondante, si ricordano Mentzelia Ampla e gli Ammoniti che si conservano solo raramente.

Calcare di Prezzo: costituita da calcari marnosi con interstrati. Il colore della roccia è nero quando non è alterata, mentre in superficie appare spesso grigio-giallastra. Il contenuto paleontologico è piuttosto scarso. Gli strati tendono a divenire piano paralleli procedendo verso l'alto, mantenendo comunque la stessa composizione litologica.

Calcare di Perledo-Varenna: Questa unità è famosa soprattutto per il suo contenuto paleontologico e per l'utilizzo in edilizia, il cosiddetto "marmo nero di Varenna". Si costituisce di una successione molto potente (300-400 metri) e monotona di calcari e calcari marnosi neri. Inferiormente i calcari possono essere debolmente dolomitici, in strati sottili di 10-20 cm, con giunti argillosi derivati dall'alterazione dei livelli piroclastici. I litotipi più marnosi sono più abbondanti nell'area orientale; talvolta è presente la selce. I fossili più importanti sono pesci e rettili.

Formazione di Livinallongo: è l'unica formazione del bacino lombardo ad essere ricca di selce. La Formazione di Livinallongo è eteropica con il Calcare di Esino e presenta spessori fino a circa 80 metri. Inferiormente l'unità è costituita da calcari grigi, ben stratificati, spesso laminati internamente,

caratterizzati da selce nera in liste o nodilispesso con struttura concentrica. Seguono poi arenarie tufacee grigio verdastre (gialle per alterazione) testimonianti un'attività vulcanica nei dintorni. Tra i fossili sono molto comuni i Lamellibranchi del genere Daonella, mentre assai più rari sono gli Ammoniti del genere Protrachyceras.

Formazione di La Valle: il massimo spessore di questa unità si ha lungo il canale Cornisetta ed è pari a circa 250 metri. Si tratta per la maggior parte di arenarie a struttura gradata in strati decimetrici, alla base dei quali si possono vedere spesso doccie di erosione e solchi di trascinamenti. Sono inoltre presenti marne e marne argillose, molto spesso ricche di frustoli vegetali e frammenti carboniosi. Nella parte alta dell'unità vi sono anche intercalazioni carbonatiche sempre più potenti che documentano l'avanzata del Calcare di Esino sul bacino di deposizione della formazione di La Valle (Wengen).

Calcare di Esino: è la formazione principale del gruppo delle Grigne e costituisce tutte le cime principali, oltre a conferire loro la caratteristica morfologia. Il Calcare di Esino è costituito da una potente successione carbonatica nella quale si rinvengono dolomie e calcari dolomitici più o meno stratificati assieme a calcari ben stratificati. Lo spessore osservabile varia tra i 500 metri a Nord di Esino e i 1000 metri della Grigna Settentrionale. Il contenuto paleontologico è ricchissimo: decine di specie di molluschi (Ammoniti, Lamellibranchi, Gasteropodi), di Coralli, di Echinodermi, di Alghe. Anche dal punto di vista economico il Calcare di Esino riveste una certa importanza perché proprio sulla sua sommità si rinvengono numerose mineralizzazioni che in passato furono oggetto di coltivazione.

Calcare metallifero bergamasco: la denominazione di questa unità è legata alla presenza di un alto contenuto di ioni metallici nel suo complesso. Tuttavia solo raramente, e non nelle Grigne, si hanno concentrazioni di minerali sfruttabili economicamente, questo perché durante la storia geologica di queste rocce gli ioni metallici di queste rocce sono migrati verso il basso, andando a concentrarsi al tetto del Calcare di Esino. È questo il caso delle note mineralizzazioni dei Piani dei Resinelli e Val Calolden, di Abbadia e forse anche di quelle tra il Cainallo e i Prati di Agueglio. L'unità è costituita da calcari e dolomie grigio scuro o nero, ben stratificati, potenti circa 20 o 30 metri con intercalazioni di marne verdi e rosse.

Formazione di Gorno: in questa unità sono presenti dolomie in basso e calcari in alto ben stratificati che nella parte inferiore mostrano sottili giunti marnosi neri che divengono più importanti verso l'alto fino a prendere il sopravvento sui calcari. Nella parte alta sono presenti anche le bioturbazioni oltre, sporadicamente, a fossili (prevalentemente Echini e Lamellibranchi. Nelle Grigne questa unità ha una potenza limitata rispetto ad altre aree



Fig.2.16 Bancata di calcari scistosi stratificati dell'anisico del "Sett" al buco di Grigna

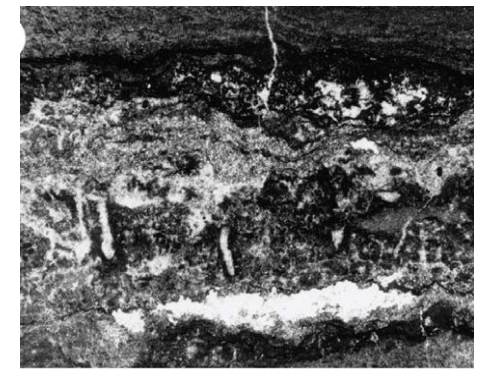


Fig.2.17 Formazione di Gorno di Nerebbio, Abbadia Lariana



Fig.2.18 Lo Zucco di Teral e il Dito Dones, a Ballabio, sono costituiti di Dolomia Principale che non è frequente nel gruppo delle Grigne

essendo circa 40 metri (Prati di Agueglio e Piani dei Resinelli). Formazione di S. Giovanni Bianco: unità costituita da arenarie, siltiti e marne di vari colorazioni, prevalentemente rosso-violaceo. Affioramenti importanti sono ai Piani dei Resinelli, nei dintorni del Rifugio Porta.

Dolomia Principale: questa unità non fa strettamente parte dell'edificio strutturale delle Grigne, tuttavia il Nibbio e il canyon di Balisio, così come il Resegone, sono costituiti da Dolomia Principale. La successione litologica è costituita esclusivamente da dolomie saccaroidi grigie e in bancate di alcuni metri per una potenza che talvolta supera un chilometro. I rari fossili che vi si rinvenivano sono solamente modelli interni dei gusci, in quanto il fenomeno della dolomitizzazione ha provocato la dissoluzione dei gusci stessi.

Argilliti di Riva di Solto: si tratta delle più recenti rocce di origine marina presenti nel gruppo delle Grigne. La loro grande erodibilità fa sì che affiorino molto raramente, essendo ricoperte o dal detrito o dalla vegetazione. L'unità è costituita da argille marnose, marne e calcari marnosi irregolarmente alternantisi. Il colore è sempre nero, anche se i litotipi più calcarei, i più scarsi, possono avere una patina di alterazione giallastra. I fossili, localmente rari e mal conservati, sono spesso rappresentati da accumuli di corrente di piccoli gusci di Lamellibranchi.

2.3 CARSISMO

Fra le particolarità delle Grigne, grande importanza è rivestita dal fenomeno del carsismo. Con il termine si intende il processo che origina una serie di fenomeni, molti dei quali si riscontrano nelle Grigne. Come descritto, nel gruppo le rocce sono principalmente di natura calcarea e dunque solubili in acque acide, ovvero le acque meteoriche. L'anidride carbonica, presente naturalmente in atmosfera, reagendo con l'acqua, forma l'acido carbonico e dà origine ad una soluzione leggermente acida. L'acqua, infatti, riesce a penetrare tra le fratture delle rocce; il calcare, inoltre, spesso si conforma a strati e permette all'acqua di penetrare sottoterra lungo complessi sistemi di "piani di strato".

Il processo, lento e continuo, ha avuto inizio nel momento stesso in cui ha avuto origine la catena montuosa, ossia con l'emersione di porzioni di territorio dal mare e il loro contatto con le acque meteoriche acide. Nel caso delle Prealpi Lombarde ciò è avvenuto circa 20 milioni di anni fa; in quel periodo il clima era caratterizzato da temperature elevate ed abbondanti precipitazioni: le piogge, scorrendo tra i piani di strato e le fratture, hanno corrosa la roccia fino a formare un complesso sistema di gallerie che ancora oggi è una peculiarità di queste montagne.

Nel circo del Mocodeno, nel versante settentrionale del

Grignone, si ha una densità di grotte e doline che è unica in Italia, con 600 manifestazioni in meno di due chilometri quadrati⁶. La zona si configura come un ampio anfiteatro di forma pressoché rettangolare e ha uno sviluppo altimetrico compreso tra 1700 e 2370 m s.l.m. (parete sotto la vetta). L'aspetto generale è quello tipico delle zone carsiche di alta montagna, con roccia nuda, doline (termine slavo che indica una depressione del terreno, un avvallamento o una piccola valle), pozzi, dossi e superfici piatte in roccia.

Per quanto riguarda le grotte, queste hanno perlopiù sviluppo verticale. Le cavità, ad oggi quasi tutte censite ed esplorate, sono note fin dall'antichità. La più conosciuta è la Ghiacciaia di Moncodeno, citata e forse visitata da Leonardo da Vinci: "E i maggiori sassi schoperti chessi trovano in questi paesi sono le montagne di Lecche e di Gravidonia inverso Bellinzona a 30 miglia allecho e quella di Mandello la quale à nella sua basa una busa diverso il lago la quale va sotto 200 schalini e qui dogni tempo è diaccio e vento". Questa grotta, studiata nel 1671 dallo scenziato danese Niels Stensen, si trova nei pressi del rifugio Bogani ed è ad oggi liberamente visitabile. La particolarità di questa caverna è quella di avere una temperatura stabilmente sotto lo zero, caratteristica che permette che il ghiaccio si generi anche in estate attraverso il congelamento dello stillicidio della volta. Per questo motivo la grotta presenta stalattiti e stalagmiti di ghiaccio che nei secoli scorsi veniva estratto e, avvolto in paglia, trasportato navigando sull'Adda fino a Milano; qui, vista la purezza e la rarità durante il periodo estivo, veniva utilizzato per produrre sorbetti.

Altra grotta citata e probabilmente visitata da Leonardo è la Ferrera, o grotta dell'Acqua Bianca. La caverna è costituita sostanzialmente da un'enorme sala di crollo divisa in due parti, lunga in totale circa 220 m e larga sino a 40. L'origine è sicuramente naturale, ma in passato la cavità è stata utilizzata come miniera per l'estrazione di idrossidi di ferro (cessata prima della seconda metà del XVI secolo, vista l'assenza di tracce di fori di mina). I segni dell'opera antropica sono largamente diffusi sia nelle morfologie (cunicoli, crateri, scalinate, scanalature, muri a secco) che nel materiale residuale (materiale frantumato, carbone e legna). L'interno della grotta è percorso da un torrente perenne che scende dalla volta e si perde poi nelle fratture tra i blocchi del pavimento. La cavità è facilmente raggiungibile e visitabile grazie alla vicinanza al sentiero che conduce da Rongio al Rifugio Elisa.

In posizione frontale alla Ferrera, sull'altro lato della valle, si apre la Ferrera di Valdevilla (Grotta del Pallone), lunga oltre 2 km e sconosciuta ai più, in quanto situata su un ripido versante lontano

⁶ Rota A., *Il gruppo delle Grigne. Itinerari naturalistici, panoramici e storici sulle montagne lecchesi*, Club Alpino Italiano, Milano 2010



Fig.2.19 La conca del Mocodeno, sul versante settentrionale del Grignone

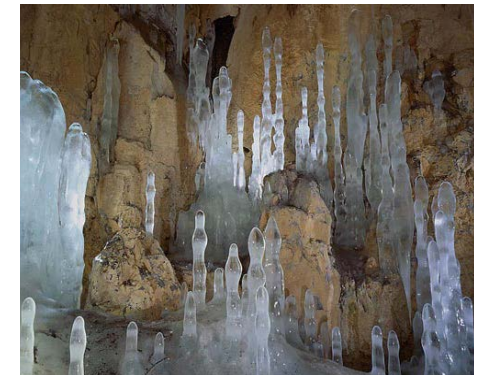


Fig.2.20 Stalattiti e stalagmiti di ghiaccio nella Ghiacciaia di Moncodeno



Fig.2.21 Ingresso alla Ferrera, o Grotta dell'Acqua Bianca



Fig.2.22 Il torrente Fiumelatte nei pressi dell'omonima frazione



Fig.2.23 Porzione della mappatura dell'abisso "W le Donne" (in giallo)

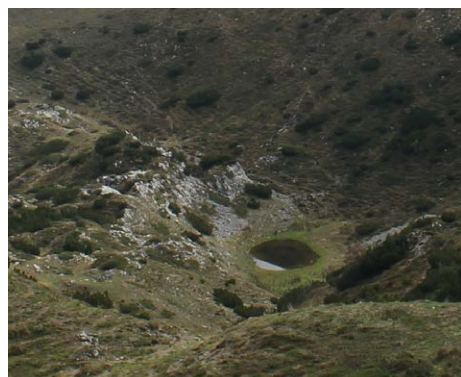


Fig.2.24 L'Alpe Campione, ricca di doline e campi solcati

dai sentieri abituali. In questa grotta sono ancora maggiormente visibili i segni dell'opera mineraria.

Benchè note da tempo immemore secoli più volte oggetto di studio il rilievo completo e dettagliato di entrambe le cavità è stato realizzato solo nel 2012 per opera di Andrea Maconi.

La grotta di Fiumelatte è la bocca della più importante risorgiva carsica della zona. Il nome deriva dalle sue acque bianche e spumeggianti che già Leonardo aveva osservato dalla sponda opposta, ospite a Bellagio del marchese Stanga. Il torrente, lungo solo 200 metri, dà il nome anche all'omonima frazione di Varenna ed è caratterizzato da andamento intermittente a carattere stagionale: la risorgiva è asciutta in inverno e attiva da marzo a novembre, salvo periodi di grande siccità. Il torrente, infatti, si attiva quando lo scioglimento delle nevi e le piogge producono una quantità di acqua superiore al normale smaltimento della sottostante sorgente Uga.

Da tempo si ipotizzava che il Fiumelatte, così come altre sorgenti del Grignone, potesse essere connesso al carsismo del Moncodeno. La conferma si è ottenuta nel 1989 grazie ad un test con traccianti colorati; i pigmenti, dispersi nell'abisso "W le Donne" che si apre sulla cresta di Piancaformia, a 2170 m s.l.m., sono stati captati all'uscita della grotta. Il tragitto complessivo compiuto dal colorante è stato di 8,5 km in linea d'aria, coprendo un dislivello di 1845 m. Oltre a dimostrare la connessione tra il "W le donne" e il Fiumelatte, questo importante esperimento ha dimostrato l'estensione dell'abisso stesso, ad oggi percorso fino alla quota di -1315 metri e quindi uno dei più profondi d'Italia. Tuttavia, vista la complessità del sistema del Releccio, ancora alta è la percentuale da esplorare per gli speleologi⁷.

Interessanti sono anche i dintorni del Monte Albiga, ove, nei pressi del rifugio omonimo, si estende un'area carsica caratterizzata da grandi doline e dossi a cupola.

L'Alpe Campione costituisce uno spettacolare anfiteatro a debole pendenza, posto a Nord della Grignetta: sono molto abbondanti le doline e i campi solcati; da qui, scendendo di quota, lungo la valle dei Grassi Lunghi si trova anche la sorgente del torrente Pioverna che, solcando la Valsassina, sfocia a Bellano dopo aver percorso il celebre orrido che ha scavato nel corso di 15 milioni di anni.

Un'altra piccola zona carsica interessante è l'Alpe di Mogafieno, estremamente ricca di doline, campi solcati e corridoi carsici, ossia canyon di piccole dimensioni larghi e profondi pochi metri, originatisi o per allargamento di grandi fratture da parte dell'acqua o per crollo della volta di preesistenti gallerie.

⁷ Aimar L., Maconi A., Marieni A., Merazzi M., Premazzi A., *Grigne. Sotto quel ramo del Lago di Como*, su "Speleologia" n°54, rivista della Società Speleologica Italiana, Bologna, Giugno 2006

2.4 PALEONTOLOGIA

I fossili sono un altro aspetto che fa del gruppo delle Grigne un'area di grande interesse scientifico. I rinvenimenti finora sono stati notevoli e ancora oggi le ricerche continuano. Tra i protagonisti delle ricerche del passato spicca l'abate Antonio Stoppani che, fra gli anni 1858 e 1860, riporta le proprie considerazioni nell'opera "Les Pétrifications d'Esino ou description des fossiles appartenant au dépôts supérieur des environs d'Esino en Lombardie"; nell'opera vengono catalogati e descritti 317 specie di fossili da lui direttamente rinvenuti e catalogati.

Come specificato nella trattazione sulla geologia delle Grigne, il rinvenimento di fossili è tipico di alcune tipologie di roccia. Gli affioramenti di Calcere di Perledo Varenna sono ricchi di Daonelle (lamellibranchi), ma vi sono stati rinvenuti anche brachiopodi, gasteropodi e cefalopodi e vertebrati come pesci e rettili. La Formazione di Gorno è ricca di frammenti di lamellibranchi, meno frequentemente di piccoli radioli di echinoidi. Il Calcere di Esino si presenta molto ricco di fossili: vi si possono osservare specialmente gasteropodi, ma anche grossi lamellibranchi, articoli di crinoidi, alghe e addirittura coralli.

La paleontologia di questa zona riserva anche delle interessanti novità, alcune emerse secoli fa, altre ancora oggi in corso di ricerca.

Il primo esemplare noto di Lariosaurus viene alla luce nel 1830 a Perledo. I reperti sono studiati e descritti da Giuseppe Balsamo Crivelli sulla rivista "Il Politecnico di Milano" nel 1839. Solo nel 1847 viene appurato che si trattava di una nuova specie (e di un nuovo genere), pertanto Giulio Curioni attribuisce al fossile il nome di Lariosaurus balsami. Si tratta di un rettile acquatico appartenente alla famiglia Nothosauridae che presumibilmente viveva nella fascia costiera, in acque poco profonde, e si spingeva anche sulla terraferma, spostandosi alla stregua degli attuali leoni marini.

In anni recenti è stato individuato sulla Grigna Settentrionale un livello fossilifero estremamente interessante dal punto di vista paleologico in quanto ha fornito almeno 15 specie di pesci, di cui tre mai individuate prima, oltre ad alcuni nuovi crostacei. Talvolta la conservazione non è ottimale, vista la superficialità dei reperti e quindi la generale alterazione legata allo scorrimento delle acque e agli sbalzi di temperatura. Di questa campagna di scavi, in corso dal 2003, colpiscono anche le dimensioni dei resti rinvenuti: alcuni esemplari di Saurichthys, un pesce simile al barracuda vissuto 235 milioni di anni fa, arrivano a misurare un metro e mezzo di lunghezza.

Le ricerche si fondano sul fortunato episodio di circa venticinque anni fa, quando Andrea Tintori, professore universitario e

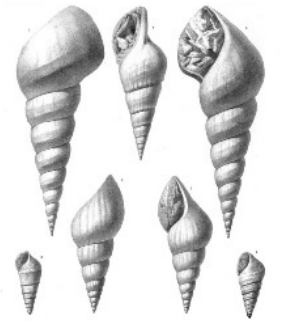


Fig.2.27 Tavola dell'opera di Stoppani con la rappresentazione di fossili delle Grigne



Fig.2.28 Laurosaurus balsami scoperto a Perledo nel 1830 da Giuseppe Balsamo



Fig.2.26 Ammonite in sezione trasversale nella grotta Topino e le Giostre, sul Grignone



Fig.2.25 Particolare della bocca del Saurichthys con i denti a cono



Fig.2.29 Ctenognathichthys bellottii rinvenuto nel gruppo delle Grigne da Tintori



Fig.2.30 La stella marina rinvenuta sul Grigone da Tintori

paleontologo, durante un'escursione sotto gli scudi del Grignone trovò il primo resto di vertebrato fossile.

Per quanto riguarda i pesci abbiamo certamente alcuni generi ben conosciuti e caratteristici del Triassico Medio, quali Habroichthys, Peltopleurus e Placopleurus. Si tratta di pesciolini di pochi centimetri, spesso molto numerosi su una singola superficie: questa caratteristica è indice di eventi catastrofici che provocarono una mortalità di massa di questi animali.

Un rinvenimento del tutto inaspettato è avvenuto nel corso di una trasmissione televisiva qualche anno fa: sulle pendici del Grignone è stato ritrovato il fossile di una stella marina. L'eccezionalità del ritrovamento è legato al fatto che le possibilità di fossilizzarsi di questi animali sono molto ridotte e difficoltose dal momento che le stelle non hanno uno scheletro rigido, ma sono composte da un'insieme di piastrine di calcite che si articolano tra loro permettendo il movimento delle braccia.

Questi organismi sono molto antichi, comparsi circa 500 milioni di anni fa; 250 milioni di anni fa, la più grande crisi biologica (quella che segna il passaggio dal Paleozoico, il Permiano, al Mesozoico, il Triassico) coinvolge anche le stelle marine provocando la scomparsa della gran parte delle forme primitive. Le nuove linee evolutive giungono senza grossi mutamenti fino ai giorni nostri. Tuttavia questo ripopolamento triassico è poco conosciuto perché ad oggi i paleontologi hanno rinvenuto e studiato solamente sei specie, raggruppate in quattro generi di cui uno solo rinvenuto fuori dalla Germania, nel Triassico superiore della Valle Brembana. L'esemplare delle Grigne rappresenta quindi la prima stella del Triassico Medio rinvenuta fuori dalla Germania e la più antica trovata in Italia.

Molto importante è anche il ritrovamento di diversi crostacei, tra i quali spiccano i resti di tilacocefali, un gruppo molto particolare che ha attirato l'attenzione tra i paleontologi negli ultimi anni. Anche altri crostacei, simili agli attuali gamberi, sono presenti sul gruppo montuoso, anche se finora non sono stati trovati esemplari ben conservati; anche in questo caso non si conosce molto di questo gruppo per il Triassico medio, per cui ogni nuovo esemplare acquista una grande importanza.

Finora non sono stati rinvenuti resti di rettili: ciò può apparire strano perché solitamente in questo periodo i rettili marini costieri erano molto diffusi. Una possibile spiegazione può risiedere nel fatto che, essendoci un gran numero di Saurichthys (simili ai barracuda), non vi fosse spazio per i rettili piscivori che sarebbero stati in concorrenza diretta.

Una raccolta paleontologica di fossili, minerali, ambientazioni naturalistiche delle fasce climatiche dal lago alla Grigna è conservata presso il Museo delle Grigne di Esino Lario.

2.5 FAUNA

Il massiccio della Grigna presenta una gran varietà di habitat e condizioni climatiche ampiamente diversificate lungo i suoi versanti: mentre il fianco valsassinese è caratterizzato da un clima tipicamente alpino, la zona che si affaccia sul Lario gode invece di temperature più miti. Per questo motivo l'area protetta che abbraccia il gruppo delle Grigne ospita un elevato numero di specie animali.

Tra i mammiferi presenti nel territorio, si incontrano quelli tipici dell'ambiente alpino e pralpino dell'arco orobico, primi fra tutti il camoscio ("Rupicapra rupicapra") e il capriolo ("Capreolus capreolus"): il primo nell'ambiente rupestre, popolando la fascia di montagna più selvaggia, il secondo più frequentemente nei boschi o nelle radure. Il cervo (*Cervus elaphus*), tra gli ungulati di maggiori dimensioni, può essere osservato specialmente nella Val d'Esino. Tra i mammiferi medio-piccoli, compare, di rado, la marmotta (*Marmotta marmotta*) che è presente forse solo all'Alpe Campione e alla Foppa del Ger. Per la conservazione della biodiversità sono importanti i Mustelidi, ovvero il tasso (*Meles meles*), la faina (*Martes foina*), la donnola (*Mustela nivalis*) e il raro ermellino (*Mustela erminea*).

Tra i roditori si incontrano frequentemente nei boschi delle Grigne lo scoiattolo (*Sciurus vulgaris*) e il ghio (*Glis glis*); più difficili da rinvenire sono il moscardino (*Muscardinus avellanarius*) e il quercino (*Eliomys quecinus*) che nei secoli passati hanno subito forti cali di popolazione a causa del continuo "ritirarsi" delle aree boscate, a favore del pascolamento e dei tagli a ceduo.

Altri mammiferi comuni sono la volpe (*Vulpes vulpes*), la lepre (*Lepus europaeus*), il riccio (*Erinaceus europaeus*), e la talpa (*Talpa europaea*).

Se la quasi totalità dei mammiferi presenti è stanziale, ovvero si limita a compiere brevi spostamenti da monte a valle con il variare delle stagioni, una piccola rappresentanza si comporta diversamente. Si tratta dei pipistrelli che, spinti dalle abitudini notturne e carnivore, possono compiere migrazioni lunghe persino qualche centinaio di chilometri. I chiroteri vivono per lo più in colonie e si insediano abitualmente all'interno di edifici e manufatti dell'uomo, oltre che nell'ambiente naturale. Va ricordato che sul territorio nazionale il numero di pipistrelli denuncia uno stato di crisi allarmante a causa di un generale peggioramento della qualità ambientale, della rimozione di alberi longevi, della modificazione dei sottotetti delle abitazioni, dell'aumento del disturbo notturno, sia acustico che luminoso; per questo motivo l'ambiente ancora intatto delle Grigne costituisce un'importante risorsa per la tutela di questi animali. Fra le presenze sul gruppo montuoso si citano il rinolofo maggiore (*Rhinolophus ferrumequinum*), il rinolofo minore (*Rhinolophus hipposideros*), il



Fig.2.31 Camoscio delle Alpi



Fig.2.34 Ermellino



Fig.2.32 Moscardino



Fig.2.33 Rinolofo maggiore



Fig.2.36 Tritone crestatto italiano



Fig.2.35 Albanella reale



Fig.2.37 Gallo forcello



Fig.2.38 Aquila reale

vespertilio di Capaccini (*Myotis capaccinii*), tutti rigorosamente tutelati dalle normative europee.

Il substrato calcareo, come specificato, alimenta la presenza di fenomeni carsici che, per natura, limitano la presenza di corpi d'acqua superficiale, e quindi di ambienti umidi. Gli stagni e le pozze d'alpeggio esistenti costituiscono pertanto ecosistemi di assoluto pregio e interesse ambientale. In questi contesti si può trovare il tritone crestatto italiano (*Triturus carnifex*) che rappresenta l'anfibio di maggior interesse e rilievo naturalistico. I Rettili, che invece sono adattati alla vita in aree asciutte, in particolare con la presenza diffusa di affioramenti rocciosi, ritrovano sulle Grigne una molteplicità di ambienti ideali per insediarsi stabilmente. Sono molto diffuse la lucertola muraiola (*Podarcis muralis*), il ramarro occidentale (*Lacerta bilineata*), tipico degli ambienti più caldi, e il biacco (*Coluber viridiflavus*). Per contro, la vipera comune (*Vipera aspis*) è piuttosto rara, mentre il marasso (*Vipera berus*), l'altra tipologia di vipera riscontrabile in Lombardia, non sembra più presente in Grigna. L'area montuosa del gruppo delle Grigne ha caratteristiche ottimali anche per lo svernamento dell'avifauna: nei mesi più freddi si contano quasi un centinaio di specie di uccelli, tra le quali ve ne sono parecchie molto significative e importanti perché piuttosto rare. Fra queste si annovera l'albanella reale (*Circus cyaneus*), che nei mesi più freddi caccia in prati, praterie e pascoli soleggiate, ambienti aperti pure frequentati dalla coturnice (*Alectoris graeca saxatilis*) e dalla starna (*Perdix perdix italica*). Il falco pellegrino (*Falco peregrinus*), che è quasi estinto in Lombardia, e il gufo reale (*Bubo bubo*) svernano invece nelle porzioni più occidentali del massiccio delle Grigne, presso le pareti che si affacciano sul lago che è un habitat di estrema rilevanza per le fasi di nidificazione di questi rapaci. Il picchio nero (*Dryocopus martius*) e la civetta capogrosso (*Aegolius funereus*) prediligono invece le foreste di conifere di alta quota, con vecchi esemplari di larice o faggio, nei quali il primo scava le proprie tane, utilizzate poi dalla civetta per la nidificazione. Il caratteristico gallo forcello (*Tetrao tetrix tetrix*) è un galliforme che richiede, a seconda delle stagioni, diverse tipologie di boschi, ricercando una certa abbondanza di insetti e frutti per alimentare la prole.

Il rapace più grande presente sul massiccio della Grigna, ma anche su tutte le montagne lecchesi, è l'aquila reale (*Aquila chrysaetos*): questi animali si organizzano in coppie che durano per tutta la vita e ciascuna occupa un territorio molto vasto, che dipende direttamente dalla disponibilità di cibo reperibile, in particolare durante la fase riproduttiva. Al contrario delle specie che svernano nel territorio lecchese, ne esistono altre che in inverno lo abbandonano in cerca del caldo dell'Africa: il nibbio bruno (*Milvus migrans*) è fra queste; frequenta i boschi posti su

pareti e versanti ripidi e poco accessibili, dove nidifica anche su roccia. Il falco pecchiaiolo (*Pernis apivorus*) è un uccello raro che ha la peculiarità di nutrirsi esclusivamente di vespe, o pecchie, dalle quali deriva il suo nome.

L'emblema della conservazione dell'avifauna è poi il re di quaglie (*Crex crex*): si tratta di una specie legata alla presenza di prati grassi da sfalcio nei quali compie tutto il ciclo riproduttivo, pertanto è fondamentale che sulle Grigne si siano preservati questi ambienti. Negli stessi habitat possiamo trovare anche la quaglia (*Coturnix coturnix*), l'allodola (*Alauda arvensis*), il calandro (*Anthus campestris*) e il codirossone (*Monticola saxatilis*). Degni di nota sono pure il succiacapre (*Caprimulgus europaeus*), con abitudini notturne, e l'averla piccola (*Lanius collurio*), per contro attiva durante il giorno. Rari sono i rapaci notturni come l'astore (*Accipiter gentilis*), il barbagianni (*Tyto alba*), così come quelli diurni quali la poiana (*Buteo buteo*) e l'astore (*Accipiter gentilis*).

Tra gli anfibii, si annoverano all'interno del territorio delle Grigne diverse specie di rane e rospi, nonché la salamandra maculata (*Salamandra salamandra*), tipico abitante delle montagne lecchesi.

Non vanno dimenticati gli insetti, moltitudine di abitanti dei vari habitat del gruppo delle Grigne, anche di quelli ad alta quota. Da segnalare un coleottero che compare sul Grignone tra i 1900 e i 2200 m s.l.m. (*Cychrus cylindricollis*), dove vive in associazione con una chiocciola dal guscio appiattito (*Helix frigida*) di cui si nutre. Questo coleottero viene scoperto proprio nella parte alta del Circo di Moncodeno nella seconda metà dell'Ottocento e viene volgarmente chiamato Carabo delle Grigne; oggetto di catture degli alpigiani locali per soddisfare le richieste di collezionisti e musei, questo animale era quasi giunto all'estinzione e attualmente è molto raro anche se la sua popolazione è in aumento.

Numerose sono le farfalle come il macaone (*Papilio machaon*) dalle grandi ali gialle bordate di nero e come la pavonia maggiore (*Saturnia pyri*) la più grande farfalla europea avente sulle ali il disegno di quattro occhi che richiamano quelli della civetta e la proteggono dai predatori.

Anche tra i molluschi si ricordano animali interessanti, soprattutto le chioccioline d'alta quota sopravvissute alle glaciazioni sulle cime delle Prealpi rimaste scoperte dai ghiacci (*Clausilia brembina*, *Delina itala clavata*).



Fig.2.42 Re di quaglie



Fig.2.41 Salamandra maculata



Fig.2.40 Carabo delle Grigne



Fig.2.39 Pavonia maggiore



Fig.2.44 Carpino nero



Fig.2.43 Pino mugo



Fig.2.45 Maggiociondolo



Fig.2.46 Gladiolo

2.6 FLORA

Il gruppo delle Grigne presenta ancora una ricca vegetazione con specie anche botanicamente interessanti; così come sugli altri rilievi del Triangolo Lariano, su queste montagne è presente una certa differenziazione della vegetazione in funzione dell'altitudine, dell'esposizione e della natura del terreno.

Le pendici delle montagne sono ricoperte prevalentemente da latifoglie: roveri (*Quercus petraea*), roverelle (*Quercus pubescens*), castagni (*Castanea sativa*), carpini neri (*Ostrya carpinifolia*), aceri (*Acer pseudoplatanus*), frassini (*Fraxinus excelsior*) e robinie (*Robinia pseudoacacia*) sono gli alberi più comuni nelle fasce medio basse. Le quote più elevate sono raggiunte dal faggio (*Fagus sylvatica*) e dalla betulla (*Betula pendula*), entrambi presenti fino circa i 1500 m s.l.m..

Meno diffuse sono le aghifoglie, decimate dallo sfruttamento incontrollato dei secoli passati. L'unico esempio di bosco spontaneo di conifere, peraltro di una certa entità in quanto il più meridionale sull'intero arco alpino per quanto riguarda questa specie, è il lariceto del Moncodeno. Sviluppandosi sul versante settentrionale del Grignone, questo bosco è sopravvissuto probabilmente perché posizionato in una zona sconveniente per il trasporto del legname a valle. Le altre aghifoglie, ovvero abeti (*Picea abies*), larici (*Larix decidua*) e pini (*Pinus excelsa*), sono presenti in macchie di limitata estensione, per lo più impiantate dal Corpo Forestale o da privati in tempi recenti.

Il pino mugo (*Pinus mugo*) è diffuso abbondantemente anche ben oltre il limite superiore del bosco, sia in modo isolato che in piccole macchie. In alcune zone il sottobosco è ricco di maggiociondolo (*Laburnum anagyroides*), "eghen" nel dialetto locale, riconoscibile per la fioritura in grappoli giallo-oro, e spesso si trova l'agrifoglio (*Ilex aquifolium*). Altre specie di piccoli arbusti sono la rosa selvatica (*Rosa canina*), il pungitopo (*Ruscus aculeatus*), il corallino (*Euonymus europaeus*), il fior di stecco (*Daphne mezereum*) che riveste i propri rami di fiori rosallilla, infine l'erica (*Erica carnea*), assai diffusa in tutto il gruppo montuoso.

Di grande rilevanza è la diversità floristica che comprende ciclamini, orchidee, viole, campanule, anemoni, primule, genziane, ranuncoli, aconiti a molti altri ancora. Fra le specie meno comuni si ricordano i gigli rosso e martagnone (*Lilium croceum* e *Lilium martagnon*), il gladiolo (*Gladiolus palustris*), l'iris (*Iris graminea*), la frassinella (*Dictamnus albus*), la clematide (*Clematis alpina*) e la campanula tirsoide (*Campanula thyrsoides*).

Dal punto di vista botanico, tuttavia, la parte della vegetazione delle Grigne che desta maggior interesse è la flora rupicola, quella cioè che comprende specie che sono capaci di vivere in

ambienti ostili alla vita quali costoni rocciosi, macereti e fessure delle pietre. Nel territorio delle Grigne, infatti, oltre a quasi tutte le specie calcifile si trovano parecchi endemismi esclusivi delle Prealpi calcaree insubriche. Si tratta perlopiù di specie che durante le glaciazioni, spinte sempre più a Sud dall'avanzata dei ghiacci, avevano trovato rifugio nelle zone più alte di queste montagne e pertanto possono essere considerate dai botanici odierni dei "relitti glaciali". Peraltro il fatto che queste montagne siano circondate dalla Pianura Padana a Sud e da rocce acide sugli altri versanti, ha fatto sì che queste specie non abbiano potuto diffondersi sui gruppi montuosi intorno e siano prerogativa delle Grigne.

Fra gli endemismi più importanti sono comprese la campanula insubrica (*Campanula raineri*), detta anche dell'Arciduca in onore all'Arciduca Raineri, vicerè del Lombardo Veneto (1818-1848) e il garofano di Elisabetta (*Silene alisabethae*), detta anche della viceregina in onore alla moglie di Raineri. Altre tipicità floristiche sono la viola di Duby (*Viola dubyana*), la sassifraga di Vandelli (*Saxifraga Vandellii*) che è stata scoperta proprio sulla Grignetta dal famoso botanico padovano; l'aglio insubrico (*Allium insubricum*), esclusivo delle montagne lecchesi e comasche; altre ancora sono l'alsine della Grigna (*Minuartia grigneensis*) i cui fiorellini bianchi possono essere osservati fin sulle cime più alte, la peonia (*Paeonia officinalis*). Nel 1996 è stato anche scoperto un nuovo endemismo che sembra essere esclusivo delle Grigne in quanto, scoperto sulla cima della Grignetta, è stata poi trovata anche sul Grignone, ma non si sono finora avuti riscontri positivi alle ricerche sulle altre montagne del lecchese; scoperto dal botanico svizzero Moser, questo fiore è una specie di primula (*Primula grignensis*).

Oltre a questi preziosi endemismi, molti altri sono i fiori che nascono su queste montagne, molti di essi anche rari. Si ricordano la primula "orecchia d'orso" (*Primula auricola*), il raperezolo di roccia (*Phyteuma comosum*), le silene acule (*Silene aculis*), l'Aquilegia alpina (*Aquilegia einseleana*), l'astro bellissimo (*Telekia speciosissima*), l'astro alpino (*Aster alpinus*), la potentilla persicina (*Potentilla nitida*), il ranuncolo bianco (*Ranunculus alpestris*), l'anemone a fiori di narciso (*Anemone narcissiflora*), numerose sassifraghe, tra cui la mutata (*Saxifraga mutata*), la centauro rapontica (*Rhaponticum scariosum*). Rare, non solo nel gruppo delle Grigne, sono la petrocallide (*Petrocallis pyrenaica*) e la stella alpina (*Leontopodium alpinum*), simbolo della vegetazione delle montagne.



Fig.2.48 Campanula insubrica



Fig.2.47 Sassifraga di Vandelli



Fig.2.49 Primula delle Grigne



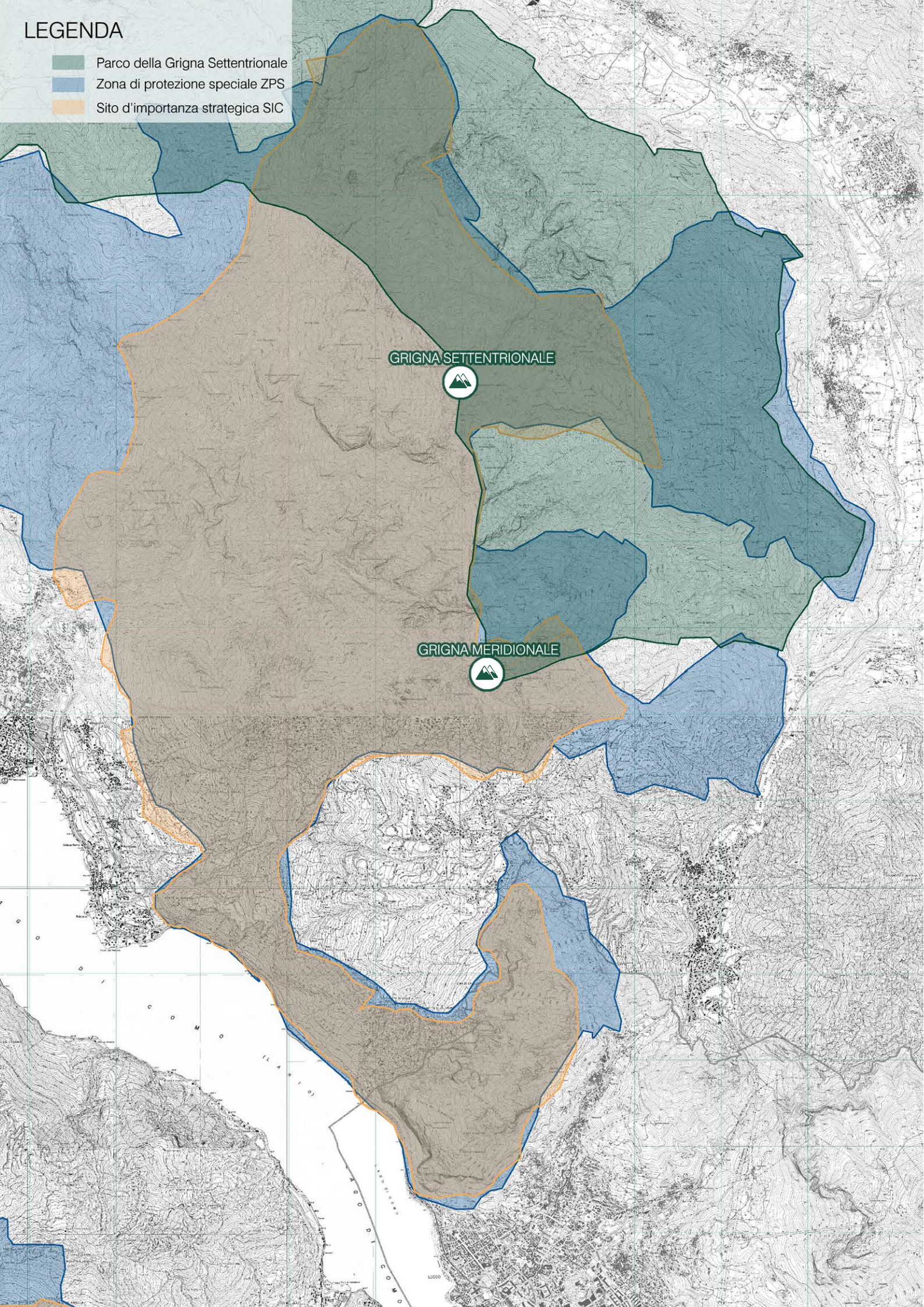
Fig.2.50 Petrocallide

INQUADRAMENTO E PUNTI DI FORZA DELL'AREA DI STUDIO

3

L'area di progetto è inserita in un contesto, quello del Gruppo delle Grigne, ad elevato valore naturalistico, che vede la presenza contemporanea di più aree protette. Il fatto che la zona sia così valorizzata e tutelata a livello Europeo ne fa percepire le potenzialità, che emergono solo a seguito di un'accurata fase di analisi e studio della storia locale, dalla quale si conclude come il sito in esame sia una culla della tradizione. Così scopriamo come le Grigne siano state la catena montuosa sulla quale è nata la storia dell'alpinismo italiano e siano tutt'oggi, un punto di riferimento per lo sport ad alta quota, grazie anche all'organizzazione di numerose manifestazioni che si ripetono ogni anno. Allontanandosi dal campo sportivo è possibile individuare un ulteriore punto di forza dell'area nell'ampia gamma di prodotti tipici creati nelle aziende agricole locali; tra questi ha certamente un ruolo primario la produzione casearia secondo le ricette tradizionali, oltre che la produzione di olio del lago DOP. Nel complesso, nel capitolo si vogliono far conoscere gli aspetti e le potenzialità meno conosciute che appartengono a queste montagne.

- Parco della Grigna Settentrionale
- Zona di protezione speciale ZPS
- Sito d'importanza strategica SIC



3.1 INQUADRAMENTO GENERALE

3.1.1 INQUADRAMENTO GRUPPO DELLE GRIGNE

Il "Gruppo delle Grigne" (chiamato più comunemente e semplicemente "Grigna" o "Grigne") è un massiccio montuoso che si eleva nel cuore delle Prealpi lombarde inserito all'interno dei confini della Provincia di Lecco, nella regione Lombardia. Esso si colloca a cavallo tra il ramo di Lecco del Lago di Como e la Valsassina, punto di separazione dal gruppo delle Alpi Orobie e dal Resegone. A Sud il gruppo è delimitato invece dalla città di Lecco. Le tre principali vette, di natura prevalentemente calcarea, della catena montuosa sono:

- La Grigna (2409 m s.l.m.), è detta anche Grigna Settentrionale o Grignone (e nota in passato come Monte Coden) ed è la vetta più alta del massiccio ;
- La Grignetta (2177 m s.l.m.), detta anche Grigna Meridionale;
- Il Monte Coltiglione – San Martino (1479 m s.l.m.), posizionato a ridosso della città di Lecco;

Oltre a queste tre, che sono da considerarsi le cime più importanti del gruppo, vanno perlomeno nominate: Pizzo della Pieve (2257 m s.l.m.), Cima Palone (2089 m s.l.m.), Sasso Cavallo (1923 m s.l.m.), Monte Pilastro (1823 m s.l.m.), Monte Palagia (1549 m s.l.m.), Pizzi di Parlasco (1500 m s.l.m.), Zucco di Pisavacca (1245 m s.l.m.), Monte San Martino (1090 m s.l.m.).

Dal punto di vista naturalistico, il gruppo montuoso presenta un eccezionale e variegato patrimonio floristico, ricco di varietà ed endemismi, varietà ed endemia che è individuabile anche tra la fauna invertebrata (Molluschi, Coleotteri e Carabidi). Le "Grigne" presentano ancora oggi una vegetazione verde e rigogliosa, con zone ecologiche intatte ed integre, molto importanti dal punto di vista paleontologico per i ritrovamenti di fossili, frammenti di vegetali, impronte di bivalve oltre che una cinquantina di specie facenti parte delle classi dei crinoidi, dei brachiopoli, dei lamellibranchi, dei gasteropodi e dei cefalopoli. Di rilievo è la componente turistico-sportiva del sito, che, essendo localizzato a distanza relativamente ridotta dai grandi centri abitati, è una delle mete più frequentate dagli escursionisti. Il turismo è favorito e facilitato dalla presenza di un gran numero di vie d'accesso (sentieri, strade, mulattiere...) che diramandosi ed inerpicandosi sui pendii raggiungono anche le quote più alte. Svariate sono le vie di arrampicata, gli itinerari alpinistici (vie ferrate e vie chiodate) e le attività speleologiche che hanno indubbiamente una certa rilevanza. La catena montuosa abbraccia infatti un territorio molto esteso che va dai Piani dei Resinelli fino a giungere ad Esino Lario, includendo anche una

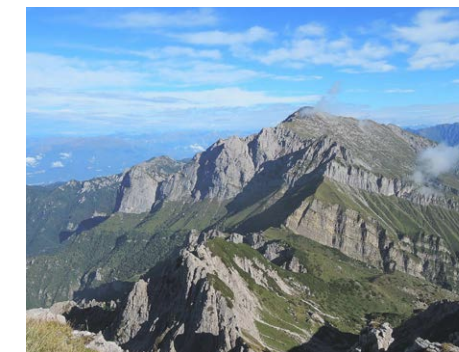


Fig.3.1 La "Grigna Settentrionale" vista dalla "Grigna Meridionale"



Fig.3.2 Il "Bivacco Ferrario" sulla cima della "Grigna Meridionale"

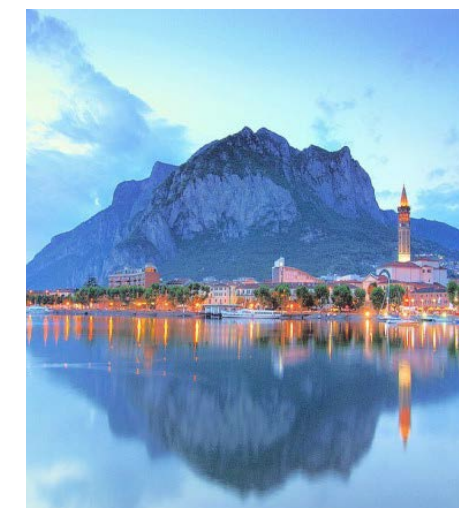


Fig.3.3 Il Monte Coltiglione - San Martino sullo sfondo della città di Lecco

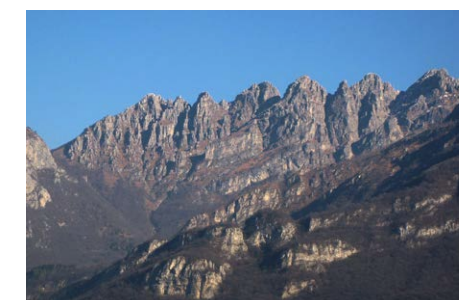


Fig.3.4 Il "Resegone", montagna simbolo della città di Lecco



Fig.3.5 Escursionisti alle prese con la ferrata "Direttissima" sulla "Grigna Meridionale"

parte della Valsassina. In questo modo gli amanti degli ambienti alpini, siano essi escursionisti, ciclisti o alpinisti, possono scegliere fra numerose vie per arrivare in vetta, anche grazie alla presenza di numerose strutture d'appoggio quali rifugi alpini e bivacchi che consentono la sosta e l'eventuale rifocillamento. Nel campo alpinistico la Grigna è conosciuta fin dagli albori di questo sport in quanto è proprio sulla Grigna Meridionale che nasce l'alpinismo lombardo. Ancora oggi queste guglie sono la scuola dei principianti e la palestra di allenamento degli scalatori esperti.

La montagna è costituita da tre versanti principali:

- Sud-Ovest, è tra i tre quello più scosceso ed interessante dal punto di vista alpinistico, scende verso il Lario e i Piani dei Resinelli;
- Est, fitto di vegetazione manifesta la presenza di prati e boschi, e degrada regolarmente verso la Valsassina;
- Nord, genera una conca di natura glaciale (Moncodeno) abbassandosi verso il Passo del Cainallo e la zona di Esino Lario.

3.1.2 VIABILITÀ

La maniera più comoda per raggiungere i punti di partenza dei sentieri che conducono alle vette della catena montuosa è l'auto, in quanto l'uso dei mezzi pubblici si rivela estremamente scomodo vista sia la scarsa frequenza degli stessi, sia la maggior durata in termini di tempo del viaggio stesso (nell'ordine del doppio). Va aggiunta, nella maggior parte dei casi, la necessità di dover attendere coincidenze anche tra mezzi di trasporto differenti (treno e autobus) con tempi morti che si rivelano spesso eccessivi. Le località da dover raggiungere per accedere ad uno degli itinerari di risalita sono: Esino Lario, Mandello del Lario, Abbadia Lariana, Piani dei Resinelli, Balisio, Pasturo, Primaluna e San Pietro. Nel caso dei Comuni di Esino Lario e San Pietro la situazione relativa al trasporto pubblico è ulteriormente peggiorata dalla presenza di una tratta completamente scoperta a partire dalla fermata ferroviaria più vicina, fatto che comporta la necessità di usufruire di un taxi per una tratta di circa mezz'ora o, eventualmente, recarsi fino alla partenza a piedi.

L'area di studio non è percorsa in maniera diretta da strade principali (così come definite dal Codice della strada in vigore), ma è lambita da strade secondarie che permettono di raggiungere l'inizio degli itinerari escursionistici. Essendo di per sé questa montagna molto frequentata, sono numerose le auto che, soprattutto nel week end, sostano generando un problema di disponibilità di parcheggio negli spiazzi antistanti

con un'affluenza veicolare che spesso supera l'offerta e con la conseguenza che le automobili vengono posteggiate a bordo strada e negli spazi utili ricavati nei prati e nei sottoboschi. Sarebbe opportuno pertanto, al fine di evitare il degrado dell'area, disporre di interventi di riqualificazione e di maggiori controlli con l'individuazione di nuovi spazi idonei.

Ulteriori accessi sono garantiti dalla viabilità di tipo agro-silvo-pastorale. Se nel versante meridionale, secondo quanto riportato nel vigente Piano VASP della CM Lario Orientale – Valle San Martino e nel PIF della CM Valsassina, Valvarrone, Val d'Esino e Riviera, mancano completamente vie di accesso carrabili e non vi è previsione di nuove realizzazioni, diverse sono le ASP esistenti nel settore della Valsassina e della Val d'Esino: carrarecce raggiungono allo stato di fatto la località Pialeral e l'Alpe Prabello in Comune di Pasturo, la Bocchetta di Calivazzo e la Bocchetta di Lierna in Comune di Lierna. Dall'analisi dei Piani VASP delle Comunità Montane interessate non si evidenziano mutamenti sostanziali negli scenari sopra descritti e gli accessi al Sito sembrano pertanto non essere oggetto di variazioni significative: è bene ricordare come l'accessibilità veicolare possa causare incremento del bracconaggio, del disturbo delle aree remote, degli incendi ecc.

3.2 AREE PROTETTE DEL GRUPPO DELLE GRIGNA

3.2.1 AREE PROTETTE NELLA PROVINCIA DI LECCO

La provincia di Lecco presenta situazioni ambientali decisamente varie, caratteristiche che condizionano l'istituzione di aree protette. Si vedono sul territorio provinciale sia delle zone pianeggianti ad elevata densità di urbanizzazione che aree montuose che al contrario presentano un elevato grado di naturalità. Generalmente la tutela della natura è ricercata attraverso l'istituzione di diversi tipi di aree protette, tra cui i principali sono:

- Parchi naturali regionali, costituiti da aree terrestri, fluviali o lacuali di valore naturalistico o ambientale, che devono rispettare i requisiti previsti dalla Legge 394/1991
- Riserve naturali, istituiti dalla regione al fine di conservare una o più specie naturalisticamente rilevanti di flora e/o di fauna;
- Oasi di protezione, istituiti dalla provincia attraverso il piano faunistico-venatorio al fine di conservare luoghi di sosta, riproduzione e cura della prole della fauna selvatica;
- Rete Natura 2000, che individua SIC (Siti di Importanza



Fig.3.6 Il "Monte Barro" area tutelata come parco naturale regionale



Fig.3.7 Come la mano dell'uomo ha modificato il paesaggio naturale nel "Parco del Curone"



Fig.3.8 Uno scorcio del Parco della Valle del Lambro

Comunitaria) e ZPS (Zone di Protezione Speciale) al fine di mantenere o ripristinare habitat naturali o specie individuate dalle direttive comunitarie 92/43/CEE "Habitat" e 79/409/CEE "Uccelli" nonché al mantenimento della diversità biologica dell'Unione Europea.

Nella sola provincia di Lecco sono stati individuati ben cinque parchi naturali, che rappresentano alcuni tra i parchi di maggior pregio a livello regionale: il Parco Adda Nord, il Parco Monte Barro, il Parco Montevicchia e Valle del Curone, il Parco della Valle del Lambro ed il Parco della Grigna Settentrionale.

Oltre a questi sono state inoltre istituite 24 oasi di protezione, distribuite nelle tre aree ambientali omogenee in cui è suddivisibile il territorio lecchese:

- La fascia collinare e morenica, a sud;
- Una unità prealpina, comprendente le aree montuose calcaree;
- Una unità alpina, nella zona del basamento cristallino.

Sono presenti infine 14 aree appartenenti alla Rete Natura 2000, rispettivamente nove SIC (Siti di importanza comunitaria, ai sensi della Direttiva 92/43/CEE "Habitat") e cinque ZPS (Zone di Protezione Speciale, ai sensi della Direttiva 79/409/CEE "Uccelli"). Gran parte delle ZPS sono localizzate in zone montuose con habitat boschivi, radure e praterie. È riscontrabile in alcuni casi una sovrapposizione, seppur parziale, tra le diverse tipologie di aree protette.

3.2.2 PARCO REGIONALE DELLA GRIGNA SETTENTRIONALE

Il "Parco Regionale della Grigna Settentrionale" è un'area protetta istituita recentemente (2005), posta ad un passo dalle cime occidentali delle Orobie, nata a seguito di numerose iniziative ad opera del CAI a partire già dal lontano 1972 allo scopo di creare un Parco che comprendesse le due Grigne e quindi l'area che si estende tra la Valsassina ed il ramo lecchese del Lago di Como, una zona di elevato interesse alpinistico e naturalistico. Sono però serviti vent'anni affinché l'idea si concretizzasse, anche a causa della lentezza che caratterizza da sempre l'iter burocratico italiano: in seguito alla proposta regionale del 1983 (L.R. 86/83), rimasto a lungo in sospeso, nel 2005 nacque finalmente sul territorio della Comunità Montana Valsassina, Valvarrone, Val d'Esino e Riviera il "Parco Regionale della Grigna Settentrionale" (L.R. 11/2005), a tutela di 5548 ha di territorio fra i comuni di Esino Lario, Pasturo, Cortenova, Parlasco, Perledo, Primaluna, Taceno e Varenna. L'area protetta si estende altimetricamente da un minimo di 470 m s.l.m. ad

un massimo di 2409 m s.l.m., misurato alla cima della Grigna Settentrionale. La gestione è affidata alla comunità montana della Valsassina, Valvarrone, Val d'Esino e Riviera di cui Giacomo Camozzini ne è presidente.

A cavallo fra lago e monti, gli scenari offerti hanno un elevato valore paesaggistico e scenografico. Si possono individuare ambienti naturali ed antropici estremamente diversificati, partendo dai piccoli borghi in pietra della Valsassina e dalle rive del lago, dove è evidente l'intervento dell'uomo sul territorio, arrivando poi, salendo, alla tranquillità delle malghe e dei pascoli erbosi fino a raggiungere, ma solo se si è disposti a camminare, le vette silenziose, in un paesaggio d'alta quota fra guglie, pareti di roccia e panorami mozzafiato. Così anche gli ecosistemi sono estremamente diversificati: il polmone verde dei boschi, le gelide acque del torrente, il riflesso del lago che sembra vincolarsi a piedi delle pareti.

Il gruppo montuoso si presenta come un massiccio roccioso i cui versanti Est e Ovest sono separati nettamente dalla catena che va da Nord a Sud. Come facilmente intuibile, il versante che si affaccia sul Lario gode di temperature più miti grazie alla vicinanza del lago, mentre quello orientato verso la Valsassina presenta un clima più tipicamente alpino. Si sono create così delle condizioni climatiche diversificate e di conseguenza tutta l'area del Parco (compresa l'area della Grigna Meridionale che, anche se in gran parte non è stata ancora istituita come area protetta, presenta le medesime caratteristiche) presenta una gran varietà di habitat e condizioni climatiche lungo i suoi versanti. Ciò favorisce la presenza di un elevato numero di specie animali, offrendo ambienti ideali sia alle specie adatte a contesti più asciutti (vista la presenza di fenomeni carsici che limitano la presenza di ambienti umidi) che ecosistemi di grande pregio ed interesse ambientale costituiti da stagni e pozze d'alpeggio. Grazie alle sue peculiari caratteristiche, l'area di pertinenza del parco è adatta allo svernamento di molte specie di uccelli, contandone nei mesi invernali quasi 100 specie, alcune delle quali piuttosto rare e sottoposte a normative di tutela a livello europeo. Oltre alle specie che scelgono la Grigna per svernare, vi sono quelle che in inverno abbandonano il parco per migrare in luoghi più caldi, come l'Africa.

Non è un caso che l'Unione Europea abbia riconosciuto ad una parte di questo territorio il titolo di "Sito di Importanza Comunitaria", ossia come elemento base della "Rete Natura 2000", ed anche per merito dell'uomo, che con il suo paziente operato ha saputo nel corso degli anni arricchire un paesaggio naturale già di per se eccezionale, attraverso la pratica dell'agricoltura di montagna, la pastorizia e la selvicoltura.

L'intera area del Parco Regionale della Grigna Settentrionale è stata oggetto di studi di geologia e paleontologia che hanno



Fig.3.9 Vista di Pasturo e del versante orientale del "Gruppo delle Grigne"

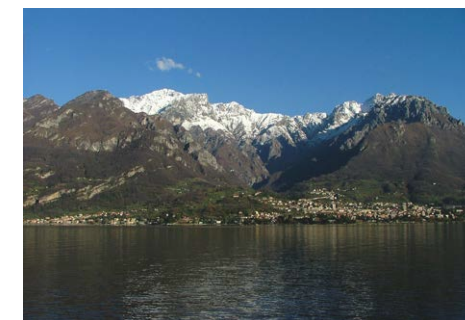


Fig.3.10 Vista del Lago di Como e del versante occidentale del "Gruppo delle Grigne"



Fig.3.11 La parete del Sasso Cavallo, alta più di 400 metri



Fig.3.12 Il canyon della Val d'Era sul "sentiero del fiume"



Fig.3.13 Porta di Prada

portato alla luce fossili di grande rilievo quali il "Lariosauro", un rettile marino trovato nei calcari di Varenna e Perledo, e le "ghiacciaie", formazioni di ghiaccio in cavità, già a suo tempo studiate da Leonardo da Vinci.

3.2.3 IL SIC "GRIGNA SETTENTRIONALE"

Il SIC "Grigna Settentrionale" è esteso su una superficie di 1617 ha all'interno dell'area della regione biogeografica Alpina, sviluppandosi in un intervallo altimetrico che va da 635 m s.l.m. fino ai 2409 m s.l.m. della cima della Grigna Settentrionale, confinando a Sud con il SIC "Grigna Meridionale" e ricadendo per interno nella ZPS "Grigne". Anche in questo caso la gestione è affidata alla comunità montana della Valsassina, Valvarrone, Val d'Esino e Riviera di cui Giacomo Camozzini è presidente.

Dal punto di vista morfologico il SIC in questione presenta grandi complessità, dovute anche questa volta al fatto che il gruppo montuoso si presenta come un massiccio in cui versanti hanno caratteristiche climatiche e di esposizione solare molto diverse. Così i versanti a meridione sono caratterizzati da scarpate calcaree e dolomiche (la parete del Sasso Cavallo è alta più di 400 metri) e molto frequentemente prive di vegetazione, mentre al contrario i versanti Nord presentano pendenze inferiori e sono coperti da boschi di latifoglie e di conifere e da distese di praterie secondarie o a pascolo.

All'interno di questa circoscrizione territoriale sono individuabili 14 habitat distinti, tra i quali quelli che risultano di maggior estensione sono le "Formazioni erbose calcicole alpine e subalpine" e i "Faggeti dell'Asperulo- Fagetum", che occupano rispettivamente il 32,51% e il 22,38% dell'area complessiva del Sito. Sono invece 9 le specie di uccelli segnalate che sono incrementate di ulteriori 10 unità dalle specie migratrici abituali. Nel SIC sono compresi alcuni degli ambienti più interessanti, naturalisticamente e paesaggisticamente parlando, del gruppo delle Grigne: dal Moncodeno, i cui fenomeni carsici sono studiati dalla comunità scientifica internazionale, ai dirupi lungo la Valle dei Mulini e la Costa del Palone, fino alle articolate incisioni che caratterizzano il settore sud-occidentale, con le valli di Sasso Cavallo, di Prada e d'Era. Buona parte della notorietà dell'area è individuabile nella sua elevata valenza paesistica che la rende meta e traguardo di numerosi turisti provenienti dal relativamente vicino bacino di utenza dell'area metropolitana lombarda. In particolare, suggestive sono le pareti rocciose che vengono sfidate dagli alpinisti per la pratica dell'arrampicata sportiva fin dagli albori di questa disciplina.

Per quanto riguarda le attività agricole e la pastorizia è evidente un declino costante che si protrae da decine di anni, fatto che porta a confinare queste zone presso il Moncodeno (Esino

Lario) e l'Alpe Pialeral (Pasturo), con l'aggiunta di residuali prati sfalciati in comune di Mandello del Lario (località Case d'Era e Pra Vascovin) a quote più basse (800-1000 m). La tutela di queste attività è di fondamentale importanza al fine di conservare alcuni habitat comunitari di prateria e pascolo e, nell'area, anche un ruolo di tipo culturale e socio economico che va oltre a quello esclusivamente ambientale.

In modo analogo, le attività forestali sono da sempre di interesse per la popolazione locale anche se solamente una minima parte dei versanti boscosi che ricoprono il SIC è sottoposta a taglio periodico.

3.2.4 IL SIC "GRIGNA MERIDIONALE"

Il SIC "Grigna Meridionale" è esteso su una superficie di 2733 ha all'interno dell'area della regione biogeografica Alpina, sviluppandosi in un intervallo altimetrico che va da 209 m s.l.m. fino a 2249 m s.l.m., confinando a Nord con il SIC "Grigna Settentrionale" e ricadendo per interno nella ZPS "Grigne". L'ente gestore del SIC è la Provincia di Lecco che ne ha predisposto il relativo Piano di Gestione.

Morfologicamente, geologicamente e naturalisticamente parlando, il SIC "Grigna Meridionale" presenta caratteristiche simili al SIC confinante sopra descritto. Anche in questo caso i versanti a Sud sono caratterizzati da scarpate calcaree e dolomiche, mentre al contrario i versanti settentrionali presentano pendenze inferiori e sono coperti da distese di boschi di latifoglie. Tra queste ultime hanno un particolare rilievo le foreste termofile di faggio, localizzate puntualmente su substrati calcarei, e quelle mesofile dell'Asperulo-Fagetum, maggiormente diffuse. Salendo di quota si incontra una vegetazione erbacea tipica delle praterie alpine su substrati carbonatici, mentre a quote minori, su pendii calcarei esposti al sole, si sviluppano prati aridi e semiaridi. Rappresentativa è anche la tipica vegetazione a casmofite che si insedia nelle fessure e nelle cenge delle pareti subverticali, specie pioniere che vedono al loro interno la presenza di numerose specie di valore conservazionistico. Generalmente è l'intero sistema a dover essere considerato di significativo interesse naturalistico, vista l'abbondanza di endemismi alpini meridionali e sudorientali, paesaggistico e geologico.

3.2.5 LA ZPS "GRIGNE"

La ZPS "Grigne" è estesa su una superficie di 7161 ha all'interno dell'area della regione biogeografica Alpina, sviluppandosi in un intervallo altimetrico che va da 205 m s.l.m. fino a 2365 m s.l.m., comprendendo nella sua estensione una parte del SIC "Grigna Settentrionale" e del SIC "Grigna Meridionale". Il sito

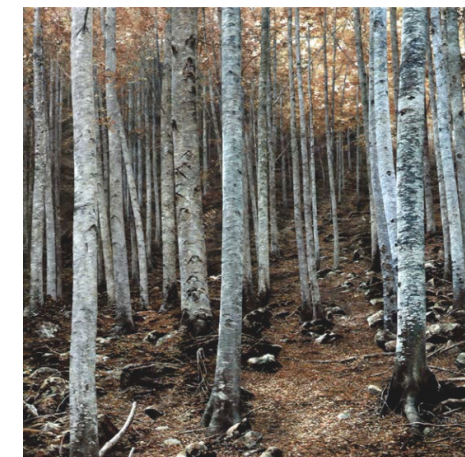


Fig.3.14 Foresta termofila di faggio localizzata su substrato calcareo



Fig.3.15 "Primula galucescens", uno degli endemismi floreali della catena montuosa



Fig.3.16 Come si presentava il 30/01/14 il rifugio Brioschi a seguito di una violenta nevicata

è ulteriormente parzialmente compreso all'interno del "Parco Regionale della Grigna Settentrionale".

Come per i SIC sopra descritti, anche la ZPS presenta una grande varietà e complessità dal punto di vista morfologico. Così, ancora una volta, i versanti a meridione sono caratterizzati da scarpate calcaree e dolomiche e molto frequentemente prive di vegetazione, mentre al contrario i versanti nord presentano pendenze inferiori e sono coperti da boschi di latifoglie e di conifere e da distese di praterie secondarie o a pascolo. Anche nella ZPS, così come nel SIC "Grigna Meridionale", le tipologie forestali più importanti sono le foreste termofile di faggio, presenti in situazioni molto localizzate su substrati calcarei, e quelle mesofile riferibili all'Asperulo-Fagetum, discretamente diffuse sul territorio. Le praterie comprendono invece sia formazioni mesofile e semimesofile, tipiche dei rilievi alpini, che prediligono suoli carbonatici alle quote maggiori, che tipologie xeriche del tipo Festuco-Brometea che si affermano su pendii calcarei ben soleggiati. La buona qualità e diversificazione degli habitat supporta una comunità faunistica estremamente ricca e diversificata, caratterizzata da specie di interesse comunitario, in particolare tra i rapaci diurni e notturni.

Elementi di criticità per il sito sono da individuare nell'elevata fruizione antropica dell'area, che dovrebbe essere regolamentata, in particolare relativamente alle attività fuori sentiero, nel pericolo di incendi, soprattutto in caso di prolungata siccità invernale, e nella progressiva chiusura delle praterie alpine che può influire sulla perdita della biodiversità globale dell'area.

3.3 ATTIVITÀ DEL GRUPPO DELLE GRIGNE

3.3.1 STRUTTURE RICETTIVE

Nel complesso del massiccio si individuano più di una decina di strutture ricettive. Queste sono aperte continuativamente normalmente nei mesi estivi mentre durante i periodi di minor accesso alle aree montane (autunno ed inverno) il loro servizio si concentra normalmente nei fine settimana.

La presenza a breve distanza di stazioni di villeggiatura montane e lacustri di buon richiamo turistico sia invernale che estivo richiede un numero elevato di posti letto e di strutture di ristorazione anche nell'area circostante. Oltre a ciò va considerato che la frequentazione del territorio dal bacino metropolitano brianzolo e milanese è particolarmente favorita dalla breve distanza che li separa: il turismo mordi e fuggi di una sola giornata o di un fine settimana riveste particolare importanza in termini numerici. L'afflusso escursionistico ed alpinistico più consistente è quello relativo ai week end più caldi

ed ai mesi di luglio e agosto, mentre d'inverno interesse discreto è rivestito dallo scialpinismo.

3.3.2 ALPINISMO STORICO E ARRAMPICATA MODERNA

Le prime attività alpinistiche di tipo escursionistico – esplorativo sulle Grigne hanno avuto luogo attorno alla seconda metà dell'800, lungo canali che, risaliti, portavano alle vette. A partire poi dagli anni '50 del ventesimo secolo si è assistito ad un notevole incremento delle attività alpine, delle vie aperte e delle difficoltà tecniche da affrontare. L'epilogo di questo accrescimento dell'interesse nei confronti della montagna ha avuto il suo culmine negli anni '80, con le prime attività di arrampicata sportiva realizzate su percorsi aventi una lunghezza relativamente limitata ma molto impegnative. Ed è proprio a seguito di questa transizione dall'alpinismo tradizionale all'alpinismo sportivo che si passa da un numero limitato di vie su un numero limitato di pareti con una lunghezza dell'ordine delle centinaia di metri, ad un numero molto elevato di vie più diffuse, ma con una lunghezza dell'ordine delle decine di metri. Di pari passo con l'incremento del numero di itinerari attrezzati, che ad oggi ha raggiunto numeri elevatissimi, vi è stato un aumento esponenziale del numero di persone che praticano questo tipo di arrampicata. L'utilizzo delle pareti da parte degli scalatori varia al variare delle condizioni atmosferiche che ne possono compromettere l'accessibilità, sia per la distanza tra le stesse e le vie di comunicazione che per il livello che è necessario superare per raggiungerle. Da aggiungere a questo aspetto oggettivo vi è il gradimento soggettivo della via stessa, che dipende dal tipo di chiodatura, di roccia e dalle difficoltà tecniche che presenta. Oltre a questi percorsi, che sono riservati ad atleti con buone capacità e attrezzatura adeguata, vi sono le vie ferrate, un compromesso tra l'arrampicata vera e propria e l'escursionismo, che sono frequentate da alpinisti con capacità tecniche non necessariamente alte.

Da una frase del grande alpinista Riccardo Cassin "...la Grigna non è una cima, la Grigna è un mondo" si intuiscono le dimensioni alpinistiche di una montagna sì conosciuta, ma "ancora tutta da scoprire". Nello specifico, tra gli alpinisti, la Grigna è conosciuta principalmente per le arrampicate al Sasso Cavallo, che nella parete sud contiene vie fino a 500 metri di dislivello. Tra queste le più famose sono la via del Det, la Cassin, la via della Luna, l'altra faccia della Luna, 10 piani, Ibis e Cavallo Pazzo. I frequentatori affermano che il panorama che si gode dalla vetta è splendido per il suo relativo isolamento e per la distanza da altre vette di simile o maggiore altezza, con una visuale che comprende l'intero arco alpino nord-occidentale, l'Oberland Bernese, il Cervino, il Monte

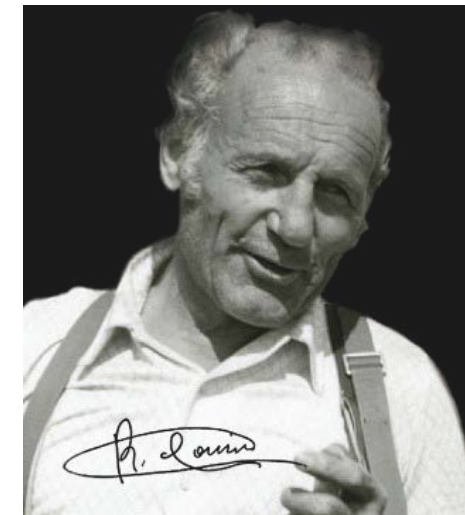


Fig.3.17 Riccardo Cassin, uno dei fondatori dell'alpinismo italiano



Fig.3.18 Uno scalatore alle prese con la via della Luna

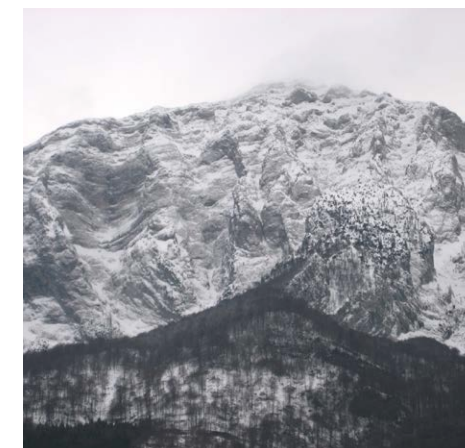


Fig.3.19 La Parete Fasana in uno scatto fotografico invernale



Fig.3.20 Eugenio Fasana, alpinista che battezzò la celebre Parete Fasana a suo nome

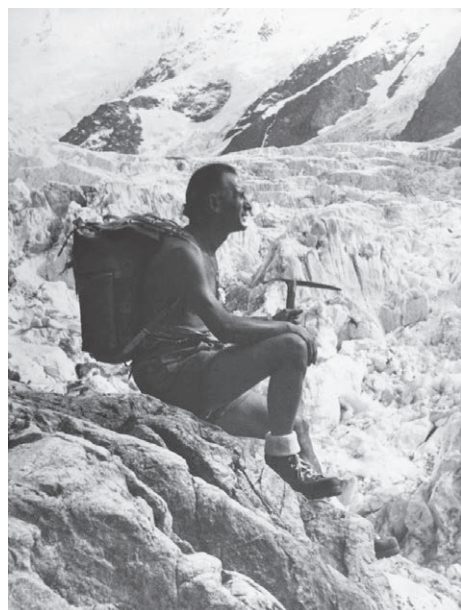


Fig.3.21 Vitale Bramani, alpinista che ha aperto circa 100 vie nell'arco alpino

Rosa fino alle vette interne svizzere e alle catene montuose di confine con il Triveneto. Oltre al Sasso Cavallo troviamo alcune tra le più alte e grandi pareti delle Prealpi lombarde: Parete Fasana, Pizzo d'Eghen, Piancaformia, Sasso di Sengg e Sasso Carbonari che circondano la Grigna Settentrionale da Sud a Nord, anch'esse pietre miliari nell'evoluzione dell'alpinismo. Le pareti del Grignone, a differenza delle più accessibili guglie della Grignetta, sono localizzate in zone meno accessibili e più remote che prevedono per il loro raggiungimento itinerari alpini molto più severi. Ciò ha permesso che queste rimanessero indisturbate dagli attacchi alpinistici dello scorso secolo, anche per il fatto che la difficoltà nel risalire pareti di oltre 500 metri è senz'altro proibitiva. Artefici delle risalite di questo stupendo calcare sono stati i veri scalatori del '900, quelli che hanno scritto la storia dell'alpinismo italiano e mondiale: Eugenio Fasana, Vitale Bramani, Riccardo Cassin, Mario dell'Oro, Nino Oppio, Pietro Pensa, Eugenio Vinante e Vittorio Panzeri sono stati i primi in grado di avvicinarsi con successo a queste ciclopiche pareti. Solo recentemente, grazie allo sviluppo di tecnologie e tecniche diverse, nuovi nomi e nuovi modi di risalire hanno interessato queste pareti.

La Grigna Settentrionale offre anche pareti che, vista la loro esposizione e struttura, riescono ad offrire il loro meglio solo nella stagione più fredda, con una tecnica di alpinismo ancora più recente ed innovativa nel suo modo di interpretare la verticalità, ossia "l'alpinismo invernale": la parete Fasana, unica nelle Prealpi con i suoi oltre 800 metri di altezza e la sua esposizione a Nord, è un serio banco di prova per gli amanti di questa specialità. A partire dagli anni '30 fino ad arrivare ai giorni nostri, i maggiori esperti di questa tecnica di scalata sono passati dalle Grigne, tracciando percorsi sempre più impegnativi, al pari delle vie su montagne ben più alte e famose. Il Grignone ha dunque dato molto all'alpinismo, scrivendo pagine importanti per questa disciplina, nascondendo nelle sue fenditure alcuni tra i percorsi più belli ed ambiti delle intere Alpi, nonché impegnativi. È possibile pertanto considerare le vie presenti su queste pareti come un patrimonio storico-alpinistico, da tutelare e tramandare.

3.3.3 ATTIVITÀ SPORTIVE INVERNALI E MANIFESTAZIONI

Nel territorio della Grigna diverse sono le possibilità invernali di percorrere vie: la Traversata alta delle Grigne ad esempio, in presenza di neve, diventa un percorso da percorrere con picozza e ramponi. La Grigna Settentrionale è impareggiabile, con buone condizioni di innevamento (soprattutto fino alle quote più basse) per lo scialpinismo: l'escursione che da Pasturo porta sulla vetta della Grigna Settentrionale offre

splendidi panorami dalla vetta e una divertente sciata. Anche l'ascensione con partenza dalla località Cainallo (Esino Lario) e meta Grignone è piuttosto frequentata. Nei pressi della medesima località è presente anche un vecchio impianto di risalita per la pratica dello sci alpino.

Il Gruppo delle Grigne è inoltre sede durante l'anno di numerose manifestazioni sportive, che vengono riproposte ciclicamente di anno in anno, tra le quali le principali sono:

- La Skymarathon "Trofeo Scaccabarozzi - Sentiero delle Grigne", una traversata delle Grigne che tocca entrambe le vette del massiccio e che si svolge ormai da qualche anno nel mese di Settembre. La gara è nata per ricordare l'alpinista Giacomo Scaccabarozzi, scomparso su questi versanti nell'agosto 1998. Il tracciato è costituito dai sentieri che vanno a raccordare gli 8 rifugi del massiccio lecchese, e che in senso orario sono: Soldanella, Rosalba, Elisa, Bietti, Bogani, Brioschi, Pialeral e Riva. Essi svolgono, oltre che base logistica per l'organizzazione, il ruolo di punto di ristoro per gli atleti. Negli ultimi anni i partecipanti sono stati oltre 500 a gara, cui vanno aggiunti i numerosi spettatori presenti lungo il percorso. In assoluto ha, con le sue quasi 5 ore, il più lungo tempo di percorrenza fra i circuiti del mondiale di Skyrunning. I record del tracciato sono dello spagnolo Kilian Jornet con 4h43'54" (2007) e di Emanuela Brizio con 5h32'01" (2008). Il tracciato è stato certificato dall'organismo "Casa delle Guide" con livello di difficoltà non superiore al 2° grado UUIA;
- La "Zacup Skyrace del Grignone", la kermesse è stata pensata per onorare la memoria di Andrea Zaccagni, deceduto mentre scalava il versante svizzero del Cervino, fratello del regista della ZacUp Alberto. E' in assoluto tra le "Sky" più tecniche e spettacolari del panorama nazionale. In alcuni punti attrezzati raggiunge una pendenza circa del 74% fino a raggiungere il Rifugio Brioschi a 2410 m s.l.m. dove tutti i concorrenti rimangono a bocca aperta per il contesto montano di alto valore naturalistico. I record del tracciato sono di Marco De Gasperi 2h50'24" (2014) e di Elisa Desco 3h28'49" (2014);
- Il "Trofeo Antonietta - Chilometro Verticale", evento organizzato dal gestore Dario Pensa in ricordo della madre Antonietta Pensa, fondatrice e gestrice dell'omonimo rifugio Antonietta al Pialleral che sostituì il vecchio rifugio 'Tedeschi' spazzato via da una enorme valanga, caduta dalle pendici del Grignone il 31 gennaio 1986 dopo le abbondanti nevicate di quell'anno. Il percorso ha uno sviluppo totalmente verticale che, partendo dal rifugio Antonietta a 1400 m s.l.m., si inerpica fino a raggiungere il Rifugio



Fig.3.22 Giacomo Scaccabarozzi, cui è dedicata la Skymarathon "Sentiero delle Grigne"



Fig.3.24 Kilian Jornet, atleta spagnolo detentore del record nel "Sentiero delle Grigne"

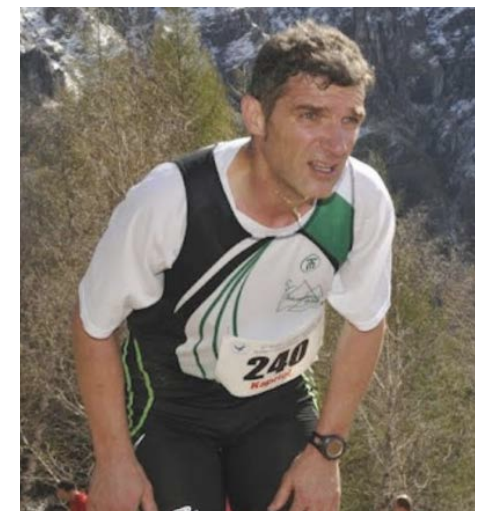


Fig.3.23 Andrea Zaccagni, deceduto mentre scalava il versante svizzero del Cervino



Fig.3.25 Gregge di ovini in prossimità dell'alpeggio Cainallo, nei pascoli del Moncodeno



Fig.3.26 Il laghetto alpino dell'Alpe Pialler, vicino al quale sorge il rifugio Antonietta

Brioschi a 2410 m s.l.m. sfruttando il ben noto sentiero estivo. Contemporaneamente si svolge la festa Rock, che prevede un concerto serale nella zona dell'Alpe Cova, con allestimento di un campeggio provvisorio a supporto dei tanti giovani che vi partecipano;

- Il "Molina/Rifugio Elisa – Trofeo Evangelista Ferrario", manifestazione che ha luogo ogni anno dal lontano 1996, in ricordo alla scomparsa di Evangelista Ferrario, ed è quindi giunto alla sua ventesima edizione. Il tracciato vede la sua partenza a Molina, frazione di Mandello del Lario, con un percorso dallo sviluppo completamente verticale che salendo sul pendio meridionale della Grignetta termina in corrispondenza del rifugio Elisa. I record del tracciato sono di Golinelli Nicola 51'14" (2011) per la categoria maschile e di Bianchi Ilaria 1h04'35" (2011) per la categoria femminile;
- Il "Grignetta Vertical", un emozionante percorso in formato 'vertical' di 3 km circa, con partenza dai Piani dei Resinelli (1278 m) ed arrivo in vetta alla Grigna Meridionale (2184 m) percorrendo i percorsi attrezzati con catene della cresta Cermenati. Il terreno del tracciato è costituito da un 95% di percorso di montagna, 3% di sentieri e 2% di asfalto. I record del tracciato sono di Golinelli Nicola 32'45" per la categoria maschile e di Giovanna Cavalli 43'45" per la categoria femminile.
- Il "Trofeo De Martini", gara in salita di Mountain bike che si tiene indicativamente la terza domenica di luglio; In occasione della festa dell'Alpe Coa (Alpe Cova) si tiene questa competizione in mountain bike con un percorso che prevede la partenza dal piazzale Baiedo di Pasturo ad una quota di 600 m fino all'arrivo in prossimità dell'Alpe Cova a quota 1400 m. Non sono noti i tempi record del tracciato in quanto si tratta di una gara non competitiva, per la quale quindi non è prevista né una premiazione finale né la redazione di una classifica.

3.3.4 ZOOTECNIA

Lungo i versanti del gruppo delle Grigne la superficie agricola rappresenta la quasi totalità delle aree gestite dall'uomo, considerato che solo una limitata parte dei boschi è soggetta ad utilizzazione. Date le caratteristiche pedoclimatiche del territorio in questione, essa è costituita quasi esclusivamente dai pascoli del Moncodeno, nel comune di Esino Lario, e dall'Alpe Pialler nel comune di Pasturo. I pochi prati sfalcati presenti si concentrano nelle aree situate alle quote più basse nel comune di Mandello del Lario, quali le località Case d'Era e Pra Vascovin (800- 1000 m s.l.m.).

L'attività agricola ha comunque una certa importanza per la

gestione del territorio, in quanto si segnala come le praterie poste al di sotto del locale limite massimo della vegetazione arborea (e soprattutto al di sotto della fascia compresa fra i 1500 m s.l.m. e i 1700 m s.l.m.) sono aggredite dalle sottostanti formazioni boschive e arbustive che stanno velocemente guadagnando terreno, favorite anche dall'elevato indice di piovosità annuale (1600 – 2000 mm di pioggia).

L'attività agricola, oltre a contribuire significativamente al mantenimento dei siti Natura 2000, è di fondamentale importanza in quanto:

- garantisce il presidio del territorio e l'esecuzione di molti di quegli interventi che assicurano allo stesso un buon assetto idrogeologico;
- mantiene la varietà del paesaggio, una risorsa importante anche sotto il profilo turistico;
- costituisce una realtà di forte attaccamento al territorio ed alle tradizioni di grande valore sociale e culturale.

Oltretutto, anche una gestione scorretta delle superfici a pascolo ed a prato, o semplicemente meno accurata (ad esempio la mancata concimazione), può determinare una modifica degli equilibri floristici con perdita di biodiversità e cambiamenti negli habitat, e potrebbero far venir meno le condizioni favorevoli alla presenza di alcuni endemismi e specie protette.

3.3.5 ATTIVITÀ AGRICOLE E RISORSA FORAGGERA

Da un'analisi territoriale dell'area appare chiaro come la scarsità di superfici pianeggianti, la quota, le condizioni climatiche ed idropedologiche, nonché la difficile accessibilità dei fondi, rendano difficile ed impegnativo lo sfruttamento di queste aree in chiave agricola. L'unico utilizzo possibile è senza dubbio lo sfruttamento delle risorse foraggere, finalizzate ad un utilizzo diretto per l'allevamento bovino ed ovicaprino che si concretizza nel semplice pascolamento, tanto più che la scarsa redditività dell'attività agricola in montagna ha innescato da tempo un trend di abbandono della pratica dello sfalcio su superfici non raggiunte dalla viabilità e difficilmente meccanizzabili.

In passato però, l'economia agro-zootecnica legata allo sfruttamento dei prati e degli alpeggi, all'allevamento ed alla caseificazione ad esso connessa, è stata la principale fonte di sostentamento di queste zone e dei sottostanti versanti. Il lavoro dell'uomo ha contribuito alla creazione di quegli habitat oggi oggetto di protezione: la necessità spingeva a sfruttare al massimo anche le zone più impervie. L'aspetto attuale della conca del Moncodeno è dovuto al disboscamento effettuato in passato, finalizzato allo sfruttamento del legname ed alla



Fig.3.27 Quartirolo di Monte, uno dei formaggi tipici della regione Lombardia



Fig.3.28 Taleggio, formaggio molle a crosta lavata

creazione delle aree pascolive, oggi quanto meno sotto utilizzate. La naturale evoluzione della vegetazione porterebbe, senza interferenze da parte dell'uomo, alla progressiva ricolonizzazione da parte del lariceto, che in diverse decine di anni andrebbe a coprire tutta gran parte dell'area fino ai 1.800 – 1.900 metri di quota. Trenta - quarant'anni basterebbero invece al faggio ed al pino mugo per tornare ad occupare praterie da fieno e formazioni erbose calcicole sul versante di Pasturo.

A testimonianza della forte tradizione agricola del territorio resta la figura del "bergamino", tipica della Valsassina e delle vicine valli bergamasche. Si tratta di imprenditori impegnati nell'allevamento, nella trasformazione del latte, ma anche nella commercializzazione di formaggi e bestiame che praticavano la transumanza trascorrendo l'inverno nella vicina pianura lombarda e tornando all'inizio della primavera alla montagna d'origine. Vi erano poi i contadini-pastori che rimanevano tutto l'anno nelle valli alpine e praticavano forme di attività agro-silvo-pastorali finalizzate all'autoconsumo.

3.3.6 RISORSA FORAGGERA

Come già accennato, le maggiori superfici foraggere utilizzate ancora oggi sono state ottenute dall'uomo attraverso l'eliminazione della foresta, il dissodamento e l'utilizzo degli animali al pascolo per raggiungere e mantenere favorevoli equilibri floristici. La modalità di sfruttamento della risorsa foraggiera, sfalcio dei prati o pascolo, dipende da diversi fattori: storicamente è stata la quota, e la conseguente diversa produttività delle superfici, a fare la differenza maggiore. Oggi incidono altri fattori, quali la pendenza, l'accessibilità, la possibilità di utilizzare mezzi meccanici e la disponibilità di manodopera. Quando le condizioni si fanno difficili lo sfalcio non è più conveniente dal punto di vista economico: all'allevatore costa meno acquistare foraggi coltivati in pianura che utilizzare i terreni a disposizione.

Va detto che gli agricoltori di montagna sono ancora lontani dall'acquisire una vera mentalità imprenditoriale, pertanto spesso l'attaccamento al territorio ed ai valori della tradizione fanno sì che continuino a mantenere la pratica dello sfalcio anche andando contro i loro stessi interessi economici.

Date le caratteristiche dell'area, la pratica dello sfalcio è stata da sempre secondaria rispetto al pascolo, oggi è quasi completamente scomparsa e a volte nemmeno finalizzata alla fienagione, quanto piuttosto a mantenere "puliti" piccoli appezzamenti di privati ancora legati alle proprie montagne. Tale abbandono, assieme al sottocaricamento dei pascoli, determina un progressivo impoverimento delle risorse foraggere e lascia spazio all'avanzata del bosco con conseguenze negative per il

territorio sia dal punto di vista naturalistico – ambientale che per l'assetto del territorio o ancora per quanto riguarda gli aspetti paesaggistici.

3.3.7 PRODOTTI TIPICI

È normale cercare di conoscere i luoghi che si stanno visitando anche attraverso i sapori e gli odori dei prodotti tipici del territorio. In un contesto come quello delle Grigne, questi sono il risultato di una lunga storia di tradizioni e ricette tramandate di generazione in generazione, dove è vista come imprescindibile la pratica dell'alpeggio al fine di arricchire il latte di un gusto particolare che lo rende particolarmente pregiato, come solo lo può essere un latte prodotto da bovini che pascolano nei prati fioriti offerti da queste montagne. Il tocco e la sapienza nella lavorazione dello stesso, seguendo gesti antichi al limite del rituale, garantiscono prodotti finiti quali quartiroli di monte e taleggi che stagionati poi in grotte naturali per lunghi periodi ne determinano il sapore caratteristico. Il pascolo in alpeggio delle bestie costituisce il proseguo di tradizioni antiche ed inimitabili che si traducono in formaggi di monte e caprini stagionati a seconda del risultato finale che si vuole ottenere. E non si tratta di giudizi soggettivi di persone autoctone, e quindi anche emotivamente legate al prodotto col rischio di rimanerne influenzati, in quanto si hanno numerose testimonianze scritte che attribuiscono alla Valsassina fin da tempi lontani una zootecnia alpina ed un'arte casearia dalla manifesta originalità e vivacità tecnica ed artigianale. È possibile dire che la Valsassina abbia creato nuovi tipi di lavorazioni del formaggio che sono poi usciti dai suoi confini, generando un'industria locale avente caratteristiche proprie molto interessanti. La valle ha per questo motivo avuto da sempre un ruolo di spicco nel panorama caseario italiano e non solo, anche internazionale.

Tra i principali prodotti tipici dei monti di Pasturo si annoverano taleggi, quartiroli e stracchini, saporitissimi formaggi molli di pronto consumo ottenuti da latte intero di recente mungitura. Più recente è lo sforzo di ricerche protratto dalla Comunità Montana Valsassina, Valvarrone Val d'Esino e Riviera, in collaborazione con il CNR di Milano, effettuato sullo stracchino quadro allo scopo riuscire a codificarne le modalità produttive per poter ottenere un degno riconoscimento ufficiale.

Sul versante opposto della Grigna, alla Malga Moncodeno, sono prodotti invece i classici e saporiti caprini a coagulazione acida, eventualmente aromatizzati con erbe, noci o peperoncino, oltre alle classiche formaggelle a latte intero misto vaccino e caprino con pesi variabili fra i 4kg ed i 5kg più adatti ad una lunga conservazione. La quasi totalità di questa produzione casearia nella Malga Moncodeno è localizzata nel Rifugio Bogani dove è



Fig.3.29 Caprini a coagulazione acida prodotti nel Rifugio Bogani



Fig.3.30 Polenta taragna, realizzata con farina mista di mais e grano saraceno e formaggi



Fig.3.31 Olio del lago, ottenuto da coltivazioni localizzate su terrazzamenti a lago



Fig.3.32 Il rifugio Arnaldo Bogani

possibile effettuare la degustazione degli stessi oltre che di altre produzioni locali tipiche dei monti della Valsassina. Imperdibile è la degustazione dei formaggi stessi in abbinamento a marmellate o miele, con il risultato di un'esplosione di gusti intensi sul palato che conservano al loro interno i sapori del Parco.

Allontanandosi poi dai prodotti caseari, la tradizione contadina offre alle tavole altri piatti unici quali la polenta taragna (una variante della più conosciuta polenta gialla, realizzata con farina mista di mais e grano saraceno e l'aggiunta di formaggi), le zuppe, le minestre, oltre che dolci. Tutt'oggi, dati alla mano, la maggiore produzione di carne è rappresentata dagli ovini, come dimostra il fatto che i greggi a carico di un'unica azienda di Pasturo, contano complessivamente più di 1400 capi portati al pascolo per sei mesi l'anno sulle superfici delle malghe Campione e Pialeral (anche se sfortunatamente questa produzione non rimane sul territorio dal momento che gli agnelli sono macellati più in pianura, dove avviene anche la compravendita della carne).

Da segnalare la produzione di olio del lago, ad altissima qualità organolettica, che si fregia della D.O.P. (Denominazione di Origine Protetta) "Laghi Lombardi - Lario", ottenuto da coltivazioni localizzate per la maggior parte sui terrazzamenti a lago di Perledo e Varenna. La manifestazione "Goccia d'oro", organizzato ogni anno il mese di luglio a Perledo, ne permette una degustazione guidata.

3.3.8 AZIENDE AGRICOLE

Gli alpeggi vanno a costituire un complesso sistema territoriale che va ad associare alla funzione produttiva, vista come la funzione principale, altre finalità: ambientale, paesaggistica, turistica, socio-culturale, ecc. Si tratta di una realtà multifunzionale la cui sopravvivenza dipende in maniera diretta dal mantenimento della primaria funzione produttiva che, in secoli di attività ha trasformato il paesaggio di montagna e dato solide radici alle tradizioni ed alla cultura delle popolazioni montane, e che rappresenta pertanto un patrimonio da salvaguardare per tutta l'umanità.

Preso consapevolezza di questa situazione è stata la stessa Regione Lombardia a disporre un censimento degli alpeggi e delle aziende monticanti, effettuato nel biennio 1999-2000, andando ad inserire i dati raccolti nel Sistema Informativo degli Alpeggi, alla base del Piano Regionale Alpeggi del 2004.

Ad oggi le Aziende Agricole, intese come "imprese", e quindi con una regolare iscrizione alla Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura della Provincia di Lecco, attive nelle zone di pertinenza delle Grigne sono due. Si tratta delle due attività che caricano le malghe Pialeral e Moncodeno

rispettivamente di Pasturo e Cortenova. Vi sono poi delle piccole aziende di Esino Lario che conferiscono bestiame da monticare in Moncodeno, per lo più cavalli ed occasionalmente qualche bovino in aggiunta ai caprini del caricatore. Nonostante il numero ridotto di attività, l'età anagrafica degli stessi, che supera di poco i 50 anni, fa presagire che possa essere garantita una certa continuità di gestione per almeno una decade. Tornando alle due aziende principali, queste hanno due indirizzi produttivi diversi, seppur entrambi zootecnici, e delle modalità nel gestire l'alpeggio altrettanto differenti.

La Malga Moncodeno è accessibile unicamente a piedi grazie ad un'agevole mulattiera che si percorre in un'ora e mezza circa partendo dal Vo' di Moncodeno. Di notevole estensione, ha però superfici foraggere pregiate unicamente nella zona circostante i fabbricati. I restanti pascoli sono costituiti da praterie alpine piuttosto povere che si insinuano nei macereti presenti. La malga risulta notevolmente sotto caricata, viste le difficoltà incontrate dal gestore nel reperire bovini da portare ai monti come sempre si è fatto nel passato. Ne ha risentito anche la produzione casearia. La realtà del Moncodeno rappresenta un buon esempio di integrazione agricoltura – turismo: la famiglia del caricatore gestisce anche il Rifugio Bogani, situato poco sopra le baite della Malga. Al rifugio viene conferita la quasi totalità della produzione casearia che trova così una valorizzazione adeguata, anche se le potenzialità produttive e di vendita sono però decisamente superiori alle quantità di formaggio prodotto. L'azienda di Cortenova, che carica la malga di Moncodeno, tratta l'allevamento di caprini di razza orobica, con un orientamento produttivo da carne che diventa lattiero caseario in alpeggio dove l'allevatore munge, caseifica, effettua una breve stagionatura e vende direttamente i prodotti che non riescono ad arrivare a valle attraverso una breve filiera. L'azienda fortunatamente può usufruire di locali di trasformazione del latte adeguati alla vigente normativa igienico sanitaria, molto restrittiva in materia sia dal punto di vista dei controlli da effettuare che rispetto ai requisiti dei locali; ciò è stato possibile grazie ai consistenti investimenti attuati dal comune anche grazie a fondi regionali.

La Malga Pialeral è un'area di elevatissima estensione, quasi 200 ettari di pascolo, che gode di una discreta accessibilità essendo servita da una strada agevolmente percorribile da mezzi fuoristrada. L'azienda che sfrutta la malga è un grosso allevamento di ovini, con sede legale a Pasturo. Attualmente gli ovicaprini presenti garantiscono un freno all'avanzamento delle specie arbustive ed arboree ma conducono al progressivo degrado della cotica erbosa. Questo avviene anche perché vi restano per un periodo limitato: lo stesso gregge si trasferisce poi all'Alpe Campione. Date le caratteristiche dei pascoli,



Fig.3.33 L'alpeggio dell'Alpe Campione

sarebbe auspicabile un ritorno al caricamento con bovini da latte in produzione ma le strutture non sono adeguate e necessiterebbero grossi investimenti per rendere possibile la trasformazione del latte e quindi una buona valorizzazione della produzione.

Anche la disponibilità degli animali da caricare non è scontata in quanto una selezione genetica sempre più spinta ha portato ad avere nelle stalle più avanzate animali con caratteristiche che mal si adattano agli stress che comporta l'alpeggio, per i bovini in special modo. Gli animali hanno oggi elevate esigenze alimentari, necessarie per mantenere elevate le produzioni e lo stato fisico, difficili da soddisfare in quota dove oltretutto si passa da un sistema di mungitura automatico ad uno manuale. Inoltre con l'alpeggio si ha la formazione di mandrie miste, cosa che implica la necessità di creare nuovi equilibri di dominanza, il rischio di contrarre malattie, infezioni o parassiti, etc.

Queste ed altre ragioni spingono gli allevatori a tenere in stalla per tutto l'anno gli animali migliori e, spesso, a rinunciare completamente alla pratica dell'alpeggio. Una possibile alternativa è quella di sfruttare i pascoli con animali meno esigenti dei bovini da latte: bovini da ingrasso, equini ed ovicapri ed è questo che si verifica ad esempio per la Malga Pialeral, caricata principalmente da ovini, e la Malga Moncodeno, principalmente capri su di una montagna dove non più di cent'anni fa venivano caricate centinaia di vacche in produzione.

3.3.9 AGRICOLTURA E TURISMO

Nell'arco alpino si può osservare una crescente tendenza alla cosiddetta "terziarizzazione", ossia ad un progressivo assegnare all'attività produttiva agraria un ruolo secondario all'interno dell'azienda che sviluppa attività collaterali più redditizie collegate al turismo.

Nell'area delle Grigne, come del resto in tutte le prealpi italiane, vi è un certo ritardo in questo processo che può essere giustificato da tre ragioni principali:

- In Italia il turismo è stato tradizionalmente legato ad altri tipi di ambiente (tipicamente quello marino);
- Lo sviluppo tardivo del turismo montano si è generalmente identificato con il fenomeno della cosiddetta "seconda casa", trascurabile fonte di reddito per le economie locali;
- Gli interventi di miglioramento infrastrutturale a vantaggio della qualità della vita rurale risultano in ritardo rispetto ad altri paesi dell'arco alpino.

Fa eccezione forse proprio Moncodeno dove si assiste ad un buon esempio di integrazione agricoltura – turismo: come già

accennato la famiglia del caricatore gestisce anche il Rifugio Bogani, situato poco sopra le baite della Malga, cosa che permette una valorizzazione adeguata delle produzioni casearie. La sola produzione agricola non riesce a garantire ritorni economici adeguati agli imprenditori e risulta indispensabile per il mantenimento di questa attività e dei benefici ambientali che ne derivano: far confluire in essa una quota delle risorse che possono derivare dal settore turistico.

3.3.10 ATTIVITÀ FORESTALI

Da un'analisi territoriale appare chiaro come la scarsità di superfici comode, facilmente accessibili, la quota e le condizioni fisiografiche, limitino notevolmente l'utilizzo e un conveniente sfruttamento di queste aree in chiave selvicolturale. L'unico utilizzo possibile è senza dubbio lo sfruttamento delle risorse forestali più "comode" ed economicamente o tecnologicamente di maggior valore, che risultano essere quasi ed esclusivamente le faggete nelle aree più facilmente accessibili.

Poche risultano allo stato attuale le attività produttive presenti, anche solo saltuariamente o periodicamente, legate alla filiera del legno e queste costituiscono realtà isolate e di piccole dimensioni. Sono infatti presenti alcune piccole imprese agricole di Esino Lario e alcune di Pasturo che partecipano solo marginalmente alla filiera del legno, concentrando le loro utilizzazioni all'interno dell'area stessa, unicamente nell'area più "urbanizzata", che nel contesto di Esino può essere localizzata nella conca di Moncodeno, vicino al Rifugio Bogani e all'omonima Alpe, mentre nell'areale di Pasturo si concentra in alcuni tratti di bosco attorno all'area del Pialleral.

Per quanto concerne la zona boscata di Mandello Lario, essendo la stessa praticamente quasi "inaccessibile", a parte alcune piccole utilizzazioni boschive limitrofe ad alpeggi e/o baite, relative a modesti fabbisogni stagionali, non si segnalano particolari tagli o attività forestali.

INQUADRAMENTO CLIMATICO

4

Viene di seguito proposta un'analisi delle condizioni climatiche presenti sul sito di progetto.

In questo capitolo sono stati analizzati la provenienza e l'attendibilità dei dati climatici che saranno utilizzati nelle fasi successive eseguendo un confronto con quelli misurati dalle stazioni di rilevamento dell'ARPA.

Dopo questo primo studio sono stati approfonditi i diversi parametri che caratterizzano le condizioni climatiche, in particolare è stato studiato l'andamento di temperatura, umidità relativa, radiazione solare, precipitazioni e direzione del vento.

Un altro tema che influenza le condizioni ambientali del sito è la luce naturale che è stata valutata attraverso alcune simulazioni dell'ombreggiamento del sito di progetto confrontate con alcune foto dell'area nei diversi periodi dell'anno per valutarne l'effettiva validità.

4.1 PREMESSA

In base alla classificazione climatica eseguita da W. Koppen, la penisola italiana rientra completamente nell'area del clima mediterraneo che appartiene ai climi mesotermici e più precisamente al subtropicale con estate asciutta.

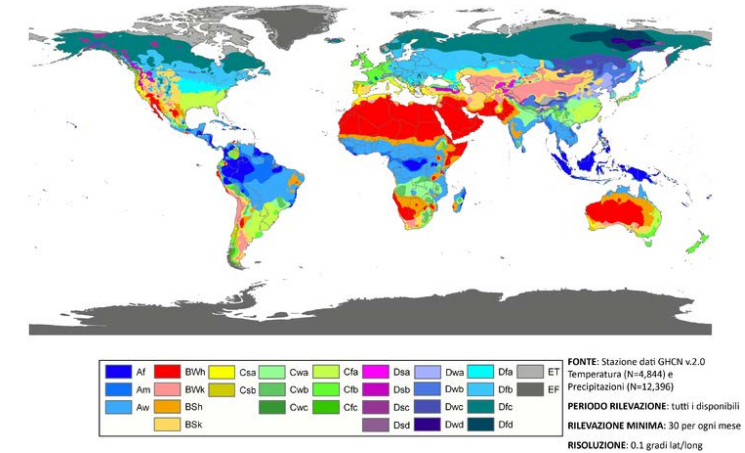


Fig.4.1 Classificazione climatica secondo W. Koppen-Geiger

A causa di numerosi fattori come l'ubicazione del territorio rispetto ai mari e al continente europeo, la struttura orografica e l'influenza della latitudine, si può affermare che accanto al tipico clima mediterraneo vi siano aree con altri tipi clima, quindi il territorio italiano può essere suddiviso ulteriormente rispettando i principi utilizzati da Koppen, come mostrato in figura.

Il clima del Gruppo delle Grigne, che si eleva all'estremità occidentale delle Alpe Orobie, può essere definito come clima temperato fresco caratterizzato da escursioni termiche piuttosto marcate e da piogge abbondanti.

Le condizioni atmosferiche sono contraddistinte da un'elevata umidità, dovuta sia all'alimentazione proveniente della pianura, sia all'attiva condensazione favorita dal sollevamento repentino delle correnti a quote attorno ai 2000 metri. In inverno, durante le situazioni di alta pressione, l'umidità è di frequente confinata alle quote più basse e non è raro lasciare Milano sotto un denso e freddo nebbione ed emergere al sole appena si oltrepassano i 500-700 metri. In queste giornate le vette calcaree delle Grigne diventano un balcone tiepido e luminoso. D'estate, con il calore che anima l'atmosfera di movimenti verticali, l'umidità risale i pendii e genera cumuli, foschie e nebbie anche alle quote più alte, rovina i panorami e genera temporali pomeridiani talora anche violenti.

Il maggior soleggiamento relativo si ha in inverno, periodo che mostra le precipitazioni più contenute, con minimo di 50 mm in gennaio e febbraio.

La neve sulle Grigne è una presenza importante nei mesi

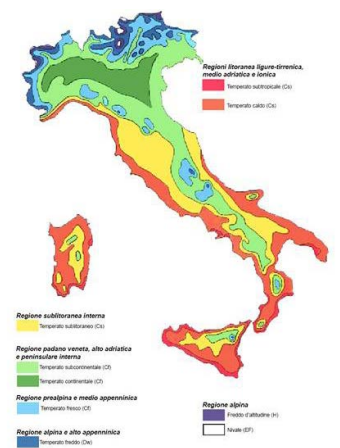


Fig.4.2 Classificazione dell'Italia secondo Koppen

invernali, da novembre ad aprile, ma, sebbene non manchino neviccate abbondanti, anche superiori a un metro di spessore in ventiquattrore, la durata del manto nevoso sui versanti ben esposti al sole è modesta, anche a causa delle quote non molto elevate.

Pure la temperatura risente dell'influenza padana, con valori non estremi, infatti, a 200 metri il valore medio annuale si aggira sui 2 gradi e una notte d'inverno può far scendere il termometro a -20, ma se la giornata è serena, i versanti sud si intiepidiscono rapidamente. D'estate, l'ombreggiamento causato dai cumuli può spesso mantenere temperature moderate.

Il vento, presenza perlopiù discreta e limitata è caratterizzato dalle brezze giornaliere lacustri (il mattutino Tivano da Nord, la pomeridiana Breda da Sud) durante il semestre estivo, ma che in qualche giorno dell'anno, specie in inverno, si sfoga in robuste tempeste di Foehn. In quei giorni le Grigne sono spesso fuori dal muro di nubi che avvolge le Alpi interne e offrono panorami grandiosi fino agli Appennini.

4.2 I DATI CLIMATICI

Per la definizione delle condizioni climatiche, data la particolarità della zona, vanno reperiti i dati relativi alla localizzazione dell'area di intervento.

L'area di progetto è situata sulla costa Curnunec (45° 55' N 9° 23' E) a Nord della Grigna Meridionale; questo territorio si trova all'interno del comune di Pasturo che è classificato all'interno della zona climatica E contraddistinto da 2980 GG.

Il monitoraggio dei dati climatici è affidato al servizio meteorologico dell'ARPA che si avvale per la rilevazione di 250 stazioni di misurazione automatiche distribuite sull'interno territorio regionale.

All'interno della provincia di Lecco sono collocate 16 stazioni di monitoraggio tra queste quelle in prossimità dell'Alpe Campione sono le stazioni di Lecco via Sora (272 m.s.l.m.) e quella dei Piani di Bobbio (1713 m.s.l.m.).

Le caratteristiche di queste due località sia per esposizione sia per condizioni climatiche sono differenti rispetto a quelle dell'area di progetto per questo motivo si è scelto di utilizzare il software "Meteonorm 7" per ottenere i dati climatici della zona in esame.

I dati relativi alle stazioni di monitoraggio saranno usati per un confronto con quelli ottenuti con il programma in modo da avere un termine di paragone per valutare le condizioni atmosferiche del sito.

Meteotest, la società sviluppatrice del programma, si avvale di circa 8300 stazioni di rilevamento in tutto il mondo e permette di ottenere i dati climatici dei diversi luoghi del pianeta interpolando

i dati delle 3 stazioni più vicine.

I dati così ottenuti sono il risultato dell'analisi statistica delle serie storiche monitorate dalle stazioni e dell'interpolazione dei diversi dati quindi approssimano le condizioni reali; in particolare i test eseguiti sul software mostrano uno scarto quadratico medio dei valori interpolati della radiazione solare pari a circa il 7% mentre per la temperatura è pari a circa 1,2°C. Per la determinazione delle condizioni climatiche della costa Curnunec Meteonorm 7 ha interpolato i dati relative a 3 stazioni di monitoraggio:

- La stazione di Cimetta a circa 56 km dalla nostra area, a quota 1672 m s.l.m.. Di questa stazione sono disponibili i valori relativi a un primo periodo di misurazione che va dal 1981 al 1990 per l'irraggiamento e dal 1961 al 1990 per la temperatura e a un secondo periodo di misurazione che va dal 1991 al 2010 per l'irraggiamento e dal 2000 al 2009 per la temperatura.
- La stazione del San Bernardino a circa 62 km dalla nostra area, in una depressione a quota 1639 m s.l.m.. Di questa stazione sono disponibili i valori relativi a un primo periodo di misurazione che va dal 1981 al 1990 per l'irraggiamento e dal 1961 al 1990 per la temperatura e a un secondo periodo di misurazione che va dal 1991 al 2010 per l'irraggiamento e dal 2000 al 2009 per la temperatura.
- La stazione di Samedan a circa 76 km dalla nostra area, a quota 1705 m s.l.m.. Di questa stazione sono disponibili i valori relativi a un primo periodo di misurazione che va dal 1981 al 1990 per l'irraggiamento e dal 1961 al 1990 per la temperatura e a un secondo periodo di misurazione che va dal 1991 al 2010 per l'irraggiamento e dal 2000 al 2009 per la temperatura.

Sono stati scelti i dati che si riferiscono al secondo periodo di misurazione poiché, per il primo periodo, non erano disponibili i dati relativi alla velocità del vento.

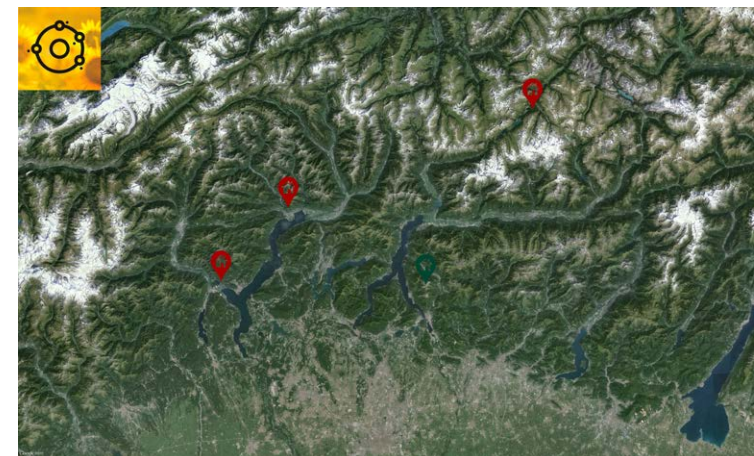


Fig.4.3 Stazioni di monitoraggio

Dal confronto con i dati misurati dalle stazioni dell'ARPA di Bobbio e Lecco, come ci si può aspettare, emerge che i dati relativi all'Alpe Campione non si discostano molto da quelli monitorati a Bobbio mentre da quelli di Lecco si discostano maggiormente in particolare per quanto riguarda le temperature medie mensili.

Nella comparazione dei dati vengono presi in esame i valori medi mensili dei parametri principali (temperatura, umidità relativa, radiazione globale e velocità del vento).

La temperatura media mensile della costa Curnunecch risulta

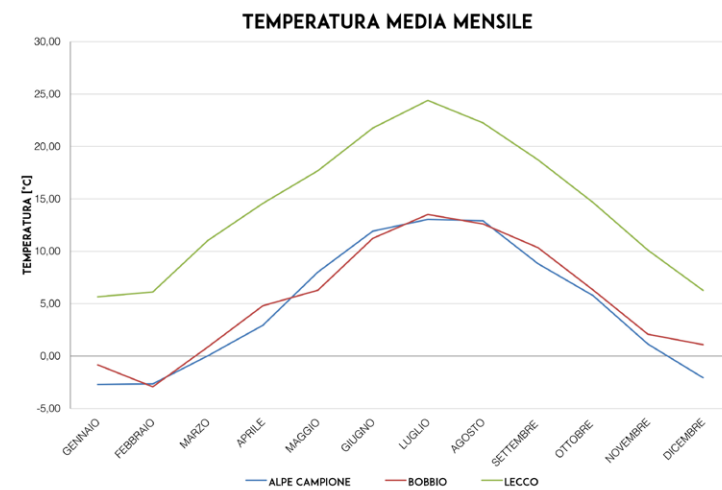


Fig.4.4 Grafico confronto delle temperature medie mensili dei tre siti in esame

essere qualche grado inferiore rispetto a quella misurata dalla stazione di Bobbio, dovuta probabilmente dalla maggior altitudine del sito di progetto, mentre è notevolmente diversa da quella di Lecco che risulta essere maggiore anche di 10°C. L'umidità relativa dell'area di progetto non si discosta di molto da quella rilevata dalle due stazioni dell'ARPA, le principali

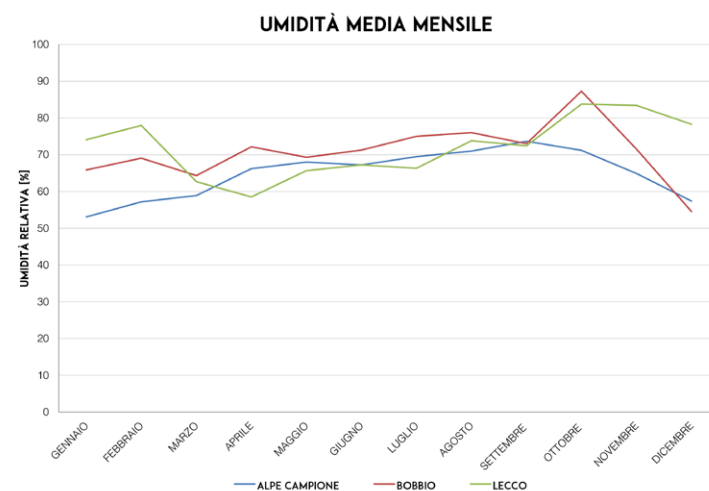


Fig.4.5 Grafico confronto dell'umidità relativa medie mensili dei tre siti in esame

differenze si riscontrano nei mesi di Gennaio, Febbraio e Ottobre. La radiazione solare risulta essere maggiore rispetto a quella monitorata delle stazioni sia di Bobbio sia di Lecco questo

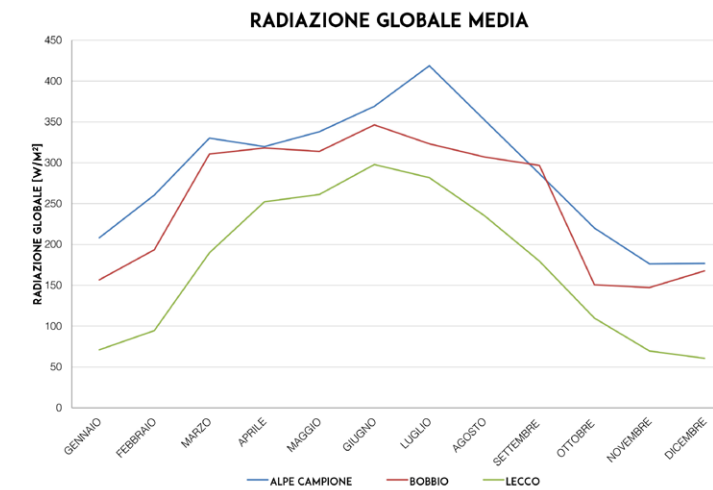


Fig.4.6 Grafico confronto delle radiazioni solari globali medie mensili dei tre siti in esame

probabilmente è dovuto alla diversa esposizione e alle ombre. Dal confronto emerge che i dati ottenuti per interpolazione con l'ausilio del software Meteonorm 7 sono paragonabili con quelli misurati dalle stazioni dell'ARPA. La principale differenza tra i dati calcolati e quelli misurati la riscontriamo nella velocità media del vento che sulla costa Curnunecch risulta essere maggiore di circa 1 m/s da quella misurata a Bobbio.

Date le ridotte differenze, con i dati monitorati, per le successive analisi verrà utilizzato il file climatico ottenuto con il software,

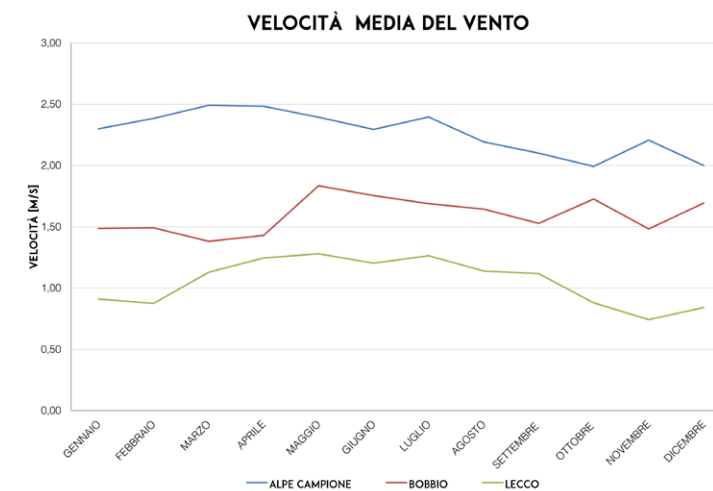


Fig.4.7 Grafico confronto delle velocità del vento medie mensili dei tre siti in esame

ponendo attenzione nelle successive valutazioni dei diversi parametri per quanto riguarda il vento e le precipitazioni.

4.3 ANALISI CLIMATICA

Il file climatico così ottenuto è stato utilizzato per la caratterizzazione delle condizioni ambientali presenti nel sito di progetto mediante grafici e diagrammi.

Per lo studio dei dati sono stati utilizzati il software Trnsys 17 e l'applicazione Weather tool di Ecotect Analysis, permettendo di avere i dati orari ottenuti tramite simulazioni dinamiche.

L'Alpe Campione ha una temperatura media annuale di 4,76 °C con un'umidità relativa media del 65%; Luglio, con una temperatura media di 13,04 °C, è il mese più caldo mentre Gennaio, con una temperatura media di -2,71 °C, è il mese più

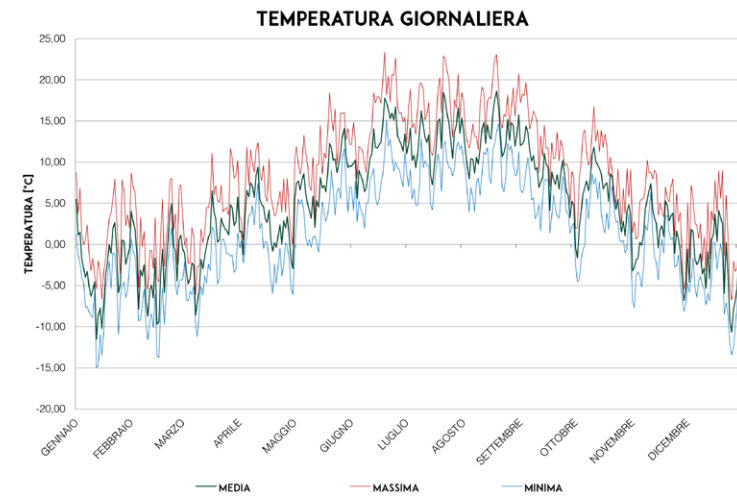


Fig.4.8 Grafico delle temperature medie giornaliere

freddo.

Il periodo estivo che va da Giugno ad Agosto è caratterizzato da una temperatura media stagionale di circa 12 °C, con massime poco al disopra dei 23 °C e minime che durante la notte raggiungono circa i 6 °C. Il periodo invernale invece

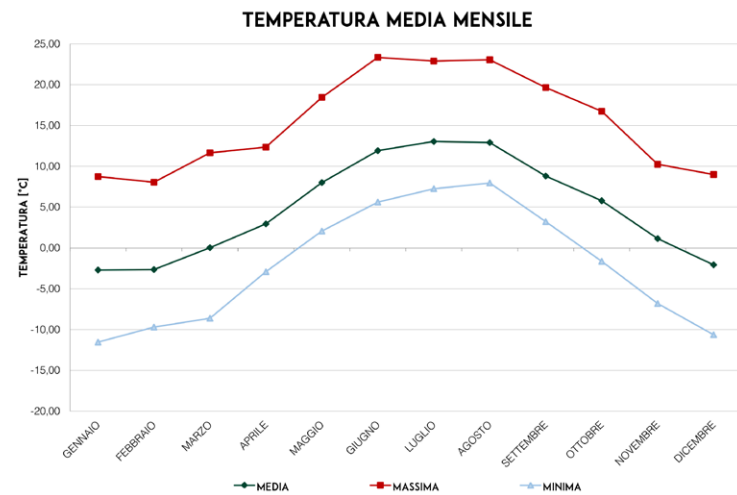


Fig.4.10 Grafico delle temperature medie mensili; confronto tra la temperatura media, la massima e la mese

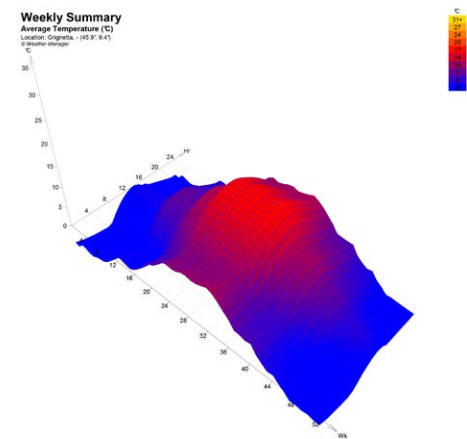


Fig.4.9 Temperatura media settimanale

è caratterizzato da una temperatura media stagionale poco al disopra di 0 °C, con massime di circa 10 °C e minime che raggiungono -11 °C.

Approfondendo lo studio delle temperature emerge come la temperatura media annuale delle ore diurne è di 6,27 °C mentre quella delle ore notturne è di 3,46 °C. Luglio, il mese più caldo, ha una temperatura media diurna di 14,93 °C, mentre quella

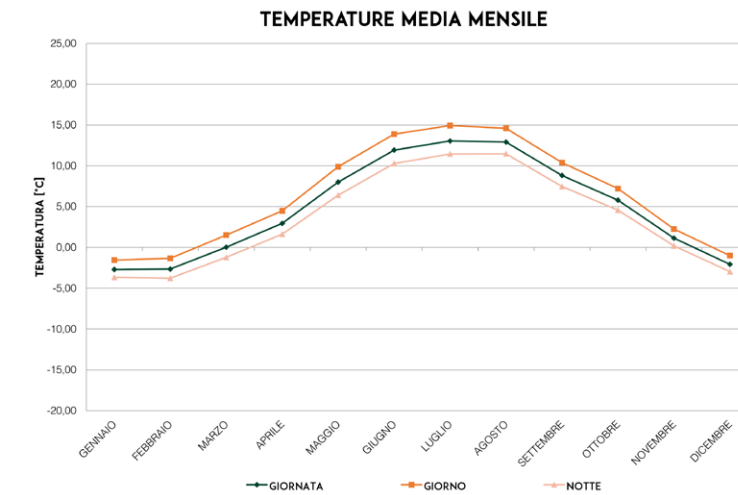


Fig.4.11 Grafico delle temperature medie mensili; confronto tra la temperatura media mensile e la media del giorno e della notte

notturna di 11,46 °C. A Gennaio invece quella diurna è pari a -1,55 °C mentre quella notturna è di -3,67 °C.

L'umidità relativa media del sito di progetto va da un minimo del 53% a Gennaio a un massimo del 73% di Settembre.

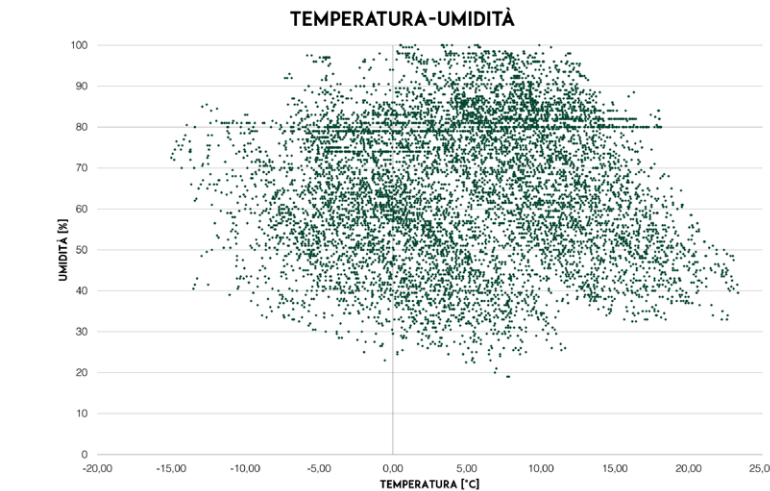


Fig.4.12 Grafico delle temperature medie giornaliere

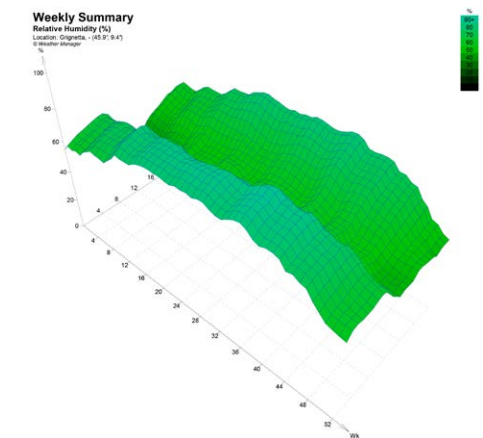


Fig.4.13 Umidità relativa

Sulla costa Curnunec la radiazione solare media annuale è di 0,26 kW/m², con il massimo misurato nel mese di Luglio pari a 0,42 kW/m² e con il minimo di 0,18 kW/m² misurato nel mese di Dicembre.

La radiazione solare media annua incidente su un piano verticale

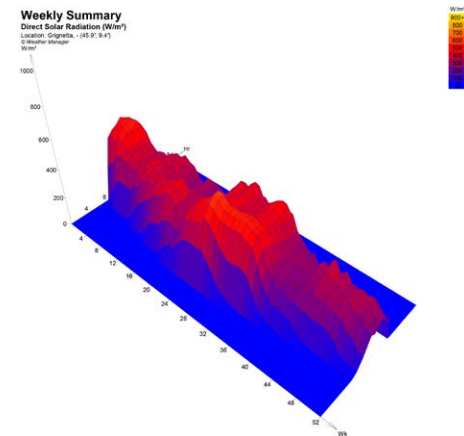


Fig.4.15 Radiazione solare diretta

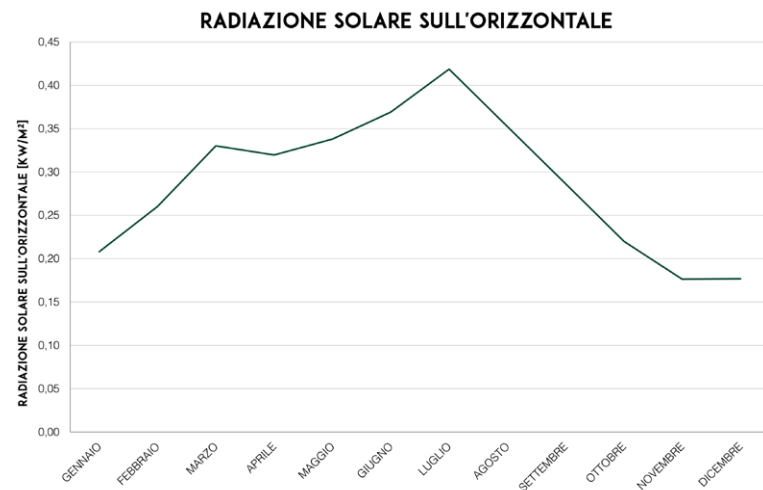


Fig.4.14 Grafico della radiazione solare media mensile;

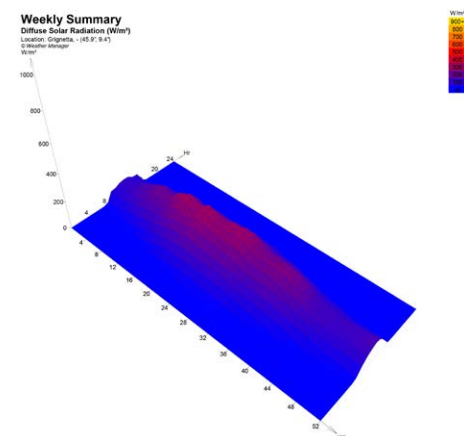


Fig.4.16 Radiazione solare diffusa

normale all'azimut solare è di 0,27 kW/m², con il massimo di 0,55 kW/m² corrispondente a un azimut di 180°. Come ulteriore analisi si è valutato la frequenza oraria dei diversi azimut da cui emerge che tra 165° e 180° si hanno 8% di tutte le ore di luce dell'anno. La frequenza massima delle ore, pari al 9% delle ore di luce, corrisponde ad un azimut tra i 120° e 135° a cui corrisponde una radiazione solare media di 0,40 kW/m².

Quest'analisi è stata eseguita anche nel periodo invernale, dove la radiazione solare media incidente sul piano è di 0,23 kW/m², con il massimo di 0,58 kW/m² corrispondente ad un azimut di 180°. Dalla valutazione della frequenza oraria dei diversi azimut emerge che tra 165° e 180° si hanno il 10% di tutte le ore di luce. Invece se si considera un azimut che va da 120° a 135° si hanno il 15% di tutte le ore con una radiazione media di 0,27 kW/m². Nel periodo estivo invece la radiazione solare media incidente sul piano è di 0,27 kW/m², con il massimo di 0,48 kW/m²

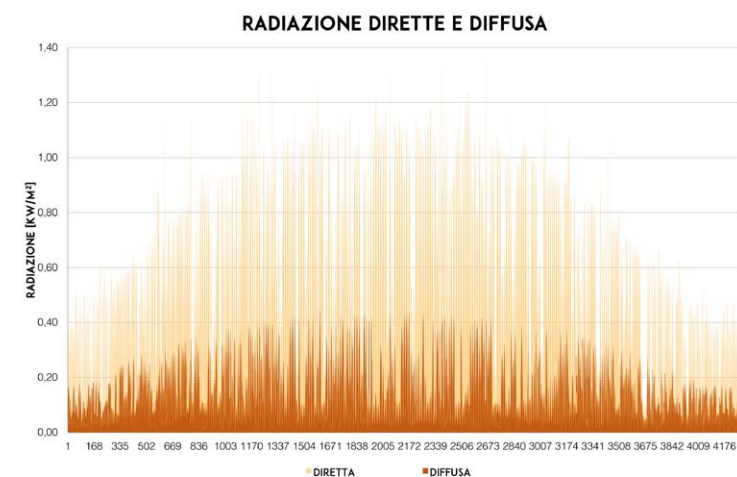


Fig.4.17 Grafico della radiazione solare media mensile;

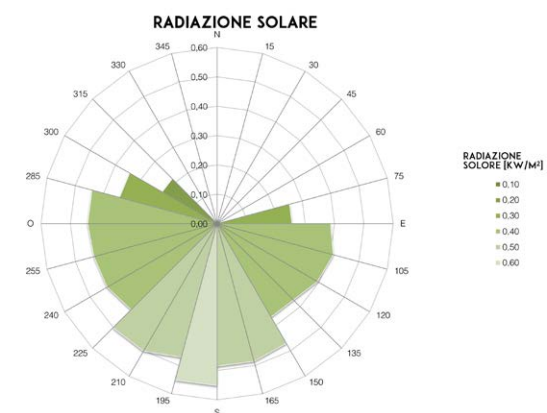


Fig.4.18 Grafico della distribuzione della radiazione solare nell'arco di un anno

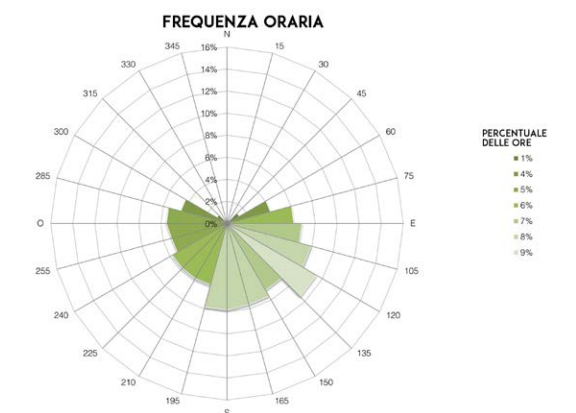


Fig.4.19 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nell'arco di un anno

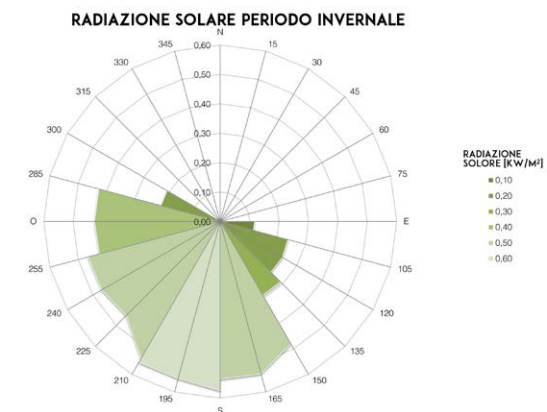


Fig.4.20 Grafico della distribuzione della radiazione solare nel periodo invernale

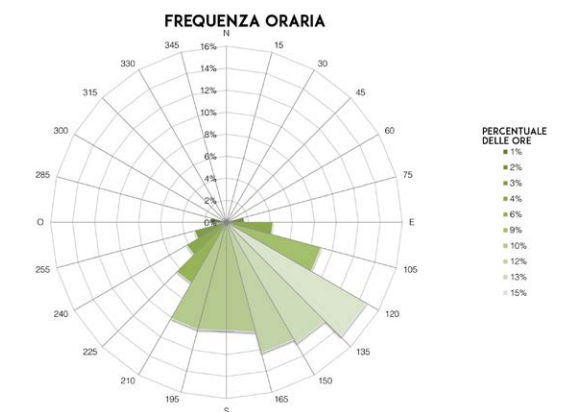


Fig.4.21 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nel periodo invernale

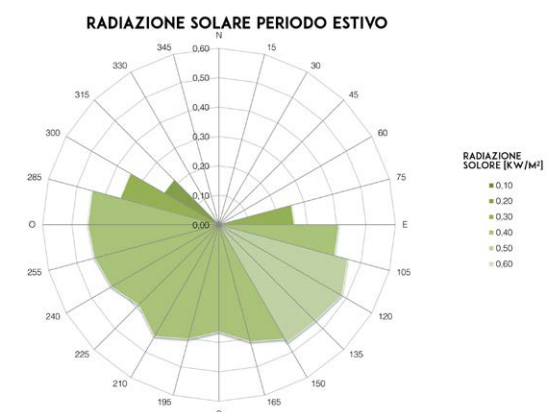


Fig.4.22 Grafico della distribuzione della radiazione solare nel periodo estivo

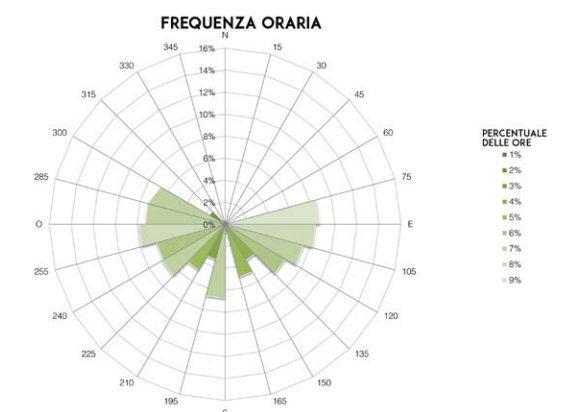


Fig.4.23 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nel periodo estivo

corrispondente ad un azimut di 120°. Dalla valutazione della frequenza oraria dei diversi azimut emerge che tra 105° e 120° si hanno 8% di tutte le ore di luce. Invece se si considera un azimut che va da 75° a 90° si ha il 9% di tutte le ore con una radiazione media di 0,33 kW/m².

Il sito di progetto si caratterizza da venti che soffiano principalmente da E e da NE, con velocità media di 2,27 m/s e massime che possono raggiungere anche i 13 m/s.

L'area è caratterizzata da precipitazioni abbondanti nei mesi

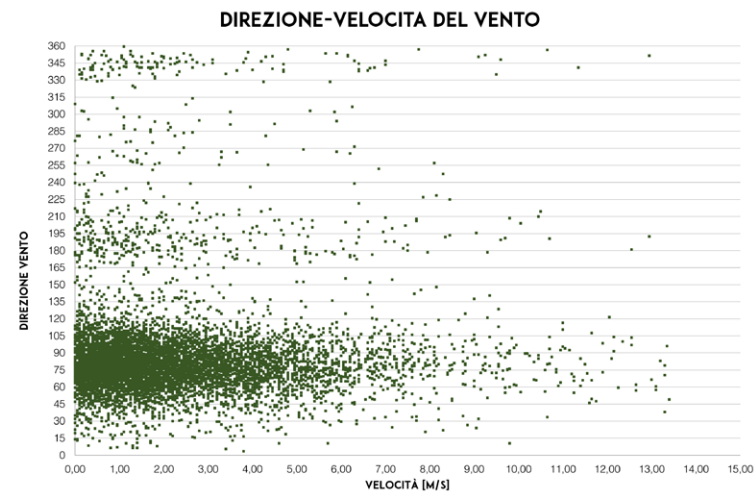


Fig.4.24 Grafico della distribuzione delle velocità del vento

estivi con mediamente 160 mm. Mentre nei mesi invernali le precipitazioni sono a carattere nevoso con mediamente 180 mm di manto nevoso sul suolo.

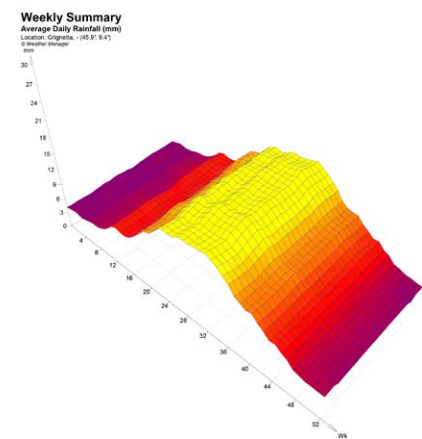


Fig.4.25 Precipitazioni media

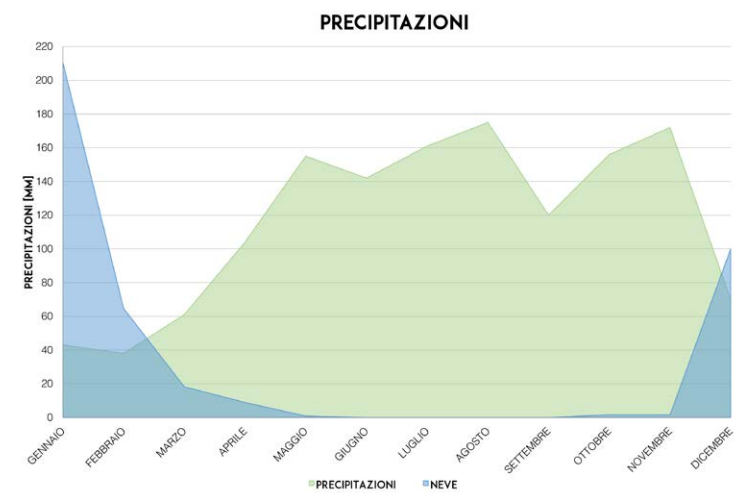


Fig.4.26 Grafico della distribuzione delle precipitazioni

	TEMPERATURA			UMIDITÀ MEDIA	RADIAZIONE MEDIA	PRECIPITAZIONI		VENTO VELOCITA'
	MEDIA	MASSIMA	MINIMA			MEDIA	TOTALE	
	°C	°C	°C	%	kW/m²	mm	mm	m/s
GENNAIO	-2,71	8,75	-11,54	53,08	0,21	0,06	43	2,30
FEBBRAIO	-2,66	8,05	-9,70	57,17	0,26	0,06	38	2,38
MARZO	0,03	11,65	-8,61	58,88	0,33	0,08	61	2,49
APRILE	2,94	12,35	-2,91	66,21	0,32	0,14	104	2,48
MAGGIO	8,01	18,45	2,07	68,00	0,34	0,21	155	2,39
GIUGNO	11,93	23,35	5,61	67,23	0,37	0,20	142	2,29
LUGLIO	13,04	22,90	7,25	69,49	0,42	0,22	161	2,40
AGOSTO	12,91	23,05	7,96	71,00	0,35	0,24	175	2,19
SETTEMBRE	8,82	19,65	3,22	73,68	0,29	0,17	120	2,10
OTTOBRE	5,78	16,75	-1,64	71,22	0,22	0,21	156	1,99
NOVEMBRE	1,14	10,25	-6,81	64,90	0,18	0,24	172	2,21
DICEMBRE	-2,07	9,00	-10,64	57,39	0,18	0,09	70	2,00
ASSOLUTA	4,76	23,35	-11,54	64,86	0,29	0,16	1397	27,24

Fig.4.27 Tabella riepilogativa

4.4 ANALISI DELLA LUCE NATURALE

Un ulteriore studio per comprendere le condizioni ambientali del sito è l'analisi dell'illuminazione naturale dell'area.

Quest'analisi permette di definire le zone con maggiore potenzialità di risorse passive in termini di soleggiamento invernale e di protezione dal surriscaldamento estivo, in funzione delle ostruzioni presenti sul territorio.

Tra i parametri che bisogna considerare nel comfort abitativo, oltre che il benessere termo-igrometrico e acustico c'è anche il comfort visivo, che viene raggiunto attraverso una progettazione integrata tra illuminazione naturale e artificiale.

La luce naturale è contraddistinta da una grande componente d'incertezza e di variabilità che dipende dalle condizioni meteorologiche, dall'ora, dal periodo dell'anno, dalla posizione geografica del sito e da eventuali ostruzioni esterne. Per garantire un adeguato livello di comfort visivo in ogni momento è comunque necessario fare ricorso alla luce artificiale. Un'adeguata illuminazione naturale contribuisce al risparmio energetico poiché può fornire oltre illuminamento richiesto anche carichi termici gratuiti in grado di ridurre il fabbisogno energetico durante il periodo invernale.

Per lo studio delle ombre presenti sul sito di progetto è stato utilizzato il software Ecotect Analysis, permettendo di ottenere

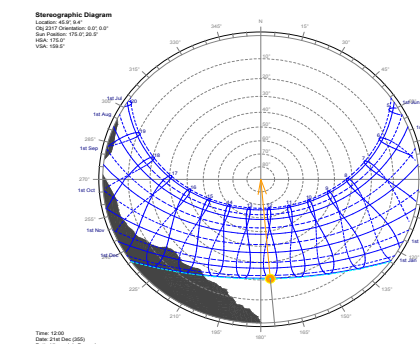


Fig.4.28 Diagramma stereografico

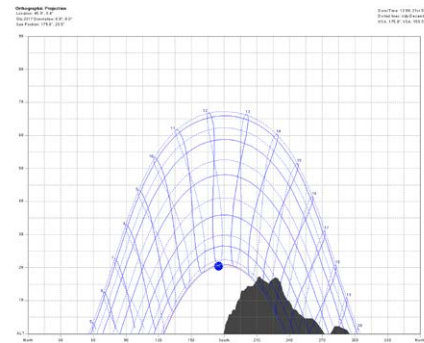


Fig.4.29 Proiezione ortografico

i dati riguardanti la presenza di ostacoli che possono generare ombre nel sito di progetto.

Dall'analisi emerge come la cima della Grigna Meridionale sia un elemento di criticità in grado di generare ombre sul sito di progetto nei mesi invernali. Tale ombra risulta essere più rilevanti nei mesi di Dicembre e Gennaio in cui il sito rimane in ombra delle prime ore del pomeriggio.

Lo studio dell'ombreggiamento del sito nei diversi periodi dell'anno in particolare in corrispondenza degli equinozi mostra che sull'area sono presenti ombre portate solo nelle ore conclusive della giornata.

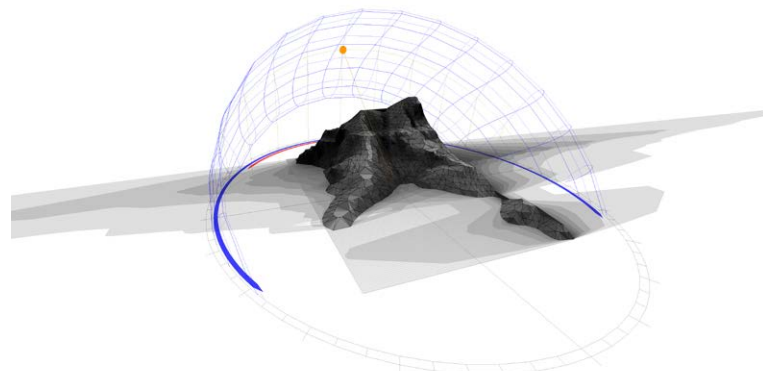


Fig.4.30 Shadow range dell'equinozio d'autunno 21 Settembre (6-18)

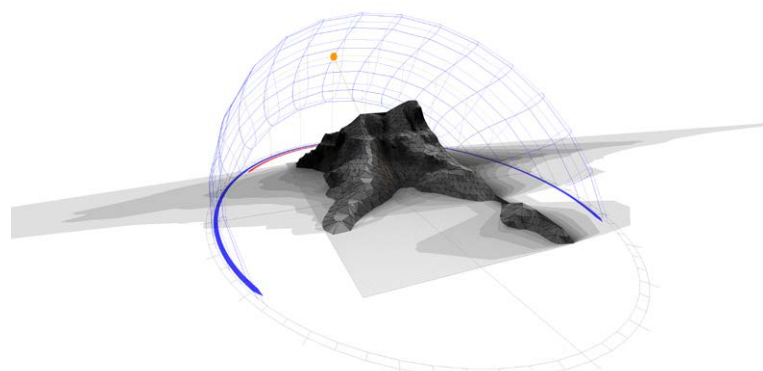


Fig.4.31 Shadow range dell'equinozio di primavera 21 Marzo (7-19)

Nei solstizi si nota che in corrispondenza di quello d'estate non sono presenti ombre nell'area di progetto, mentre in quello d'inverno il sito risulta essere in ombra per gran parte della giornata.

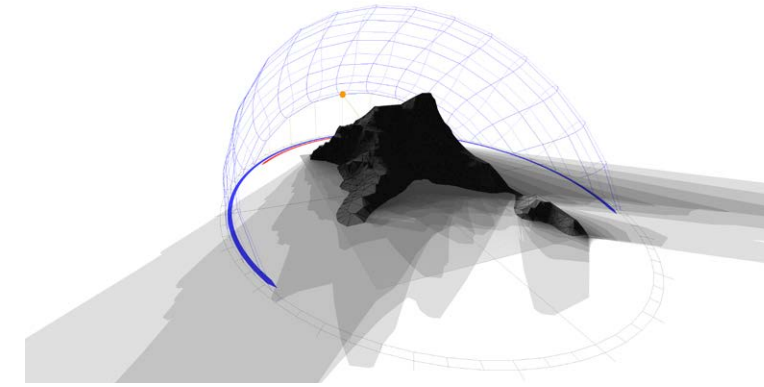


Fig.4.32 Shadow range del solstizio d'inverno 21 Dicembre (8-16)

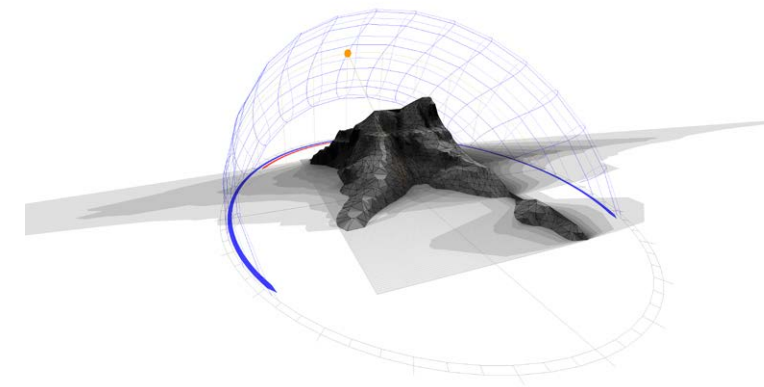


Fig.4.33 Shadow range del solstizio d'estate 21 Giugno (5-20)

Come verifica della bontà del modello, utilizzato per lo studio, e delle analisi fatte con il software, sono state raffrontate le ombre, ottenute con il programma nei periodi più critici dell'anno, con le immagini dell'archivio 2014-2015 della webcam posta sul rifugio Brioschi.

Questo raffronto è stato fatto il giorno ventuno dei mesi da Settembre a Marzo in corrispondenza dell'ora in cui sulla zona di progetto è presente l'ombra portata della Grignetta.

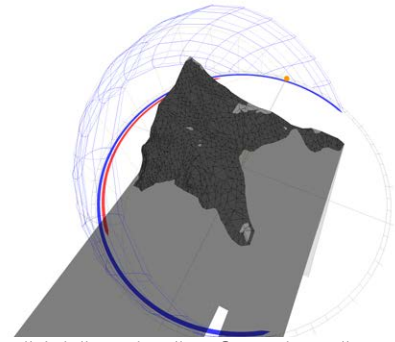


Fig.4.34 Analisi delle ombre il 21 Settembre alle 18:15



Fig.4.35 Immagine della Webcam del Brioschi il 20 Settembre alle 18:20

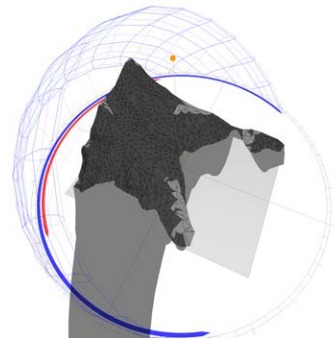


Fig.4.36 Analisi delle ombre il 21 Ottobre alle 16:15



Fig.4.37 Immagine della Webcam del Brioschi il 22 Ottobre alle 16:25

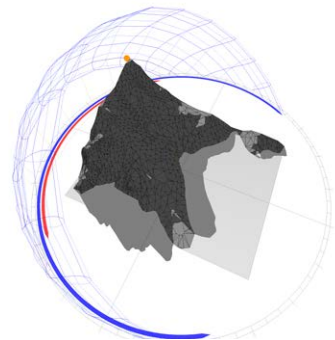


Fig.4.38 Analisi delle ombre il 21 Novembre alle 14:45



Fig.4.39 Immagine della Webcam del Brioschi il 14 Novembre alle 13:15

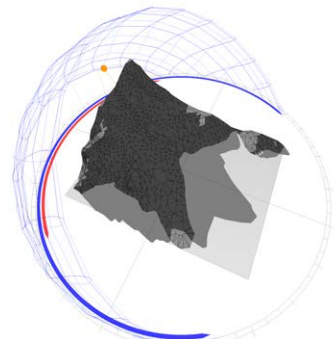


Fig.4.40 Analisi delle ombre il 21 Dicembre alle 14:15



Fig.4.41 Immagine della Webcam del Brioschi il 21 Dicembre alle 13:45

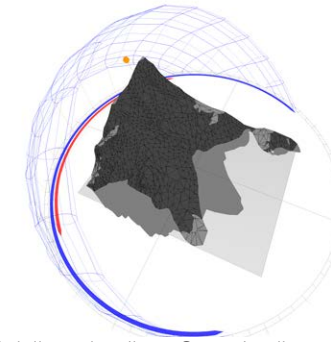


Fig.4.42 Analisi delle ombre il 21 Gennaio alle 14:30



Fig.4.43 Immagine della Webcam del Brioschi il 25 Gennaio alle 14:25

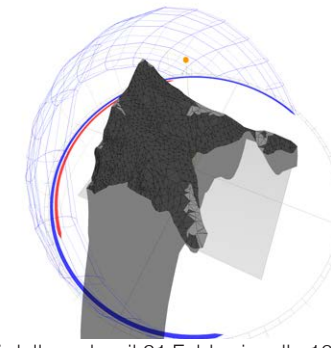


Fig.4.44 Analisi delle ombre il 21 Febbraio alle 16:45



Fig.4.45 Immagine della Webcam del Brioschi il 22 Febbraio alle 15:40

CASI STUDIO

5

Viene di seguito proposta un'analisi dei rifugi realizzati sull'arco alpino che si pongono come obiettivo l'autosufficienza in termini energetici.

Di queste strutture sono state analizzate le diverse strategie impiegate sia per la riduzione delle dispersioni di calore sia per la produzione di energia elettrica o termica da fonti rinnovabili.

- 1 Monte Rosa Hütte
- 2 Rifugio Gouter
- 3 Tracuit Hütte
- 4 Rifugio Olperer Hütte
- 5 Rifugio Gonella
- 6 Rifugio Mollino
- 7 Rifugio Piz Boè
- 8 Topalihütte
- 9 Rifugio Schiestlhaus
- 10 Capanna Cristallina



5.1 I RIFUGI ALPINI CONTEMPORANEI

Il progetto dei rifugi alpini è diventato un campo di sperimentazione che si interroga non solo sul rapporto tra l'edificio e il paesaggio, ma anche sulla sostenibilità e la compatibilità ambientale, sull'efficienza energetica e sulla prefabbricazione.

Dal punto di vista architettonico si riscontra nei progetti contemporanei una continua astrazione della forma architettonica che introduce nuovi valori derivanti dalla dialettica tra edificio e paesaggio circostante, tra contesti locali e tendenze internazionali in grado di generare nuove forme e modalità compositive.

Le nuove realizzazioni negli ambienti montani trasformano il rifugio in un vero e proprio landmark che legittima in virtù della sua forma pura o attraverso il rimando metaforico alle forme geologiche. Nel rifarsi alle forme e delle rocce questi nuovi rifugi si pongono in continuità con il paesaggio alpino e diventano l'occasione per reinventare l'ambiente montano.

Vi sono inoltre alcune realizzazioni che guardano sia alla contemporaneità per le forme e i suoi elementi compositivi, sia alla tradizione costruttiva locale.

L'evoluzione dell'architettura del rifugio contemporaneo sta nella sua concezione non più come ricovero e come un ambiente chiuso in sé, ma come uno spazio luminoso e aperto sulle montagne circostanti.

Nelle progettazioni dei rifugi viene data grande attenzione agli aspetti di sostenibilità e di autonomia dal punto di vista energetico dell'edificio.

Dal punto di vista energetico le strutture vengono dotate oltre che da un impianto solare termico, di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica accoppiati con sistemi di cogenerazione alimentati da fonti rinnovabili.

Per quanto riguarda il reperimento dell'acqua si fa ricorso a fonti in prossimità degli edifici o alla raccolta delle acque meteoriche e dello scioglimento della neve. Questa tema introduce alcuni problemi relativi allo stoccaggio delle acque che deve avvenire in ambienti isolati.

Questi elementi considerati da sempre solo dal punto di vista tecnico diventano centrali anche dal punto di vista dell'architettura.



Fig.5.1 Localizzazione Monte Rosa Hütte



Fig.5.2 Monte Rosa Hütte



Fig.5.3 Zona pranzo Monte Rosa Hütte

5.2 MONTE ROSA HÜTTE

LOCALITÀ: Zermatt Svizzera;
 QUOTA: 2883 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Bearth & Deplazes Architekten;
 COMMITTENTE: club alpino svizzero (CAS);
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2008-2009;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 2,5 - 3 h;
 POSTI LETTO: 120;
 STRUTTURA: prefabbrica in legno;

5.2.1 IL PROGETTO

Il Monte Rosa Hütte è arroccato sul bordo di una ripida salita, cosa che gli permette di integrarsi alla perfezione con il vasto ambiente alpino, facendolo somigliare ad uno sperone roccioso. L'accesso all'Hütte avviene quasi esclusivamente a piedi lungo sentieri su roccia, su terreni coperti di neve e l'ultimo tratto attraverso una ripida salita.

La struttura può ospitare fino a 120 persone nei sui 5 piani. Al suo interno si trovano al piano terra una cucina, una zona pranzo e una grande sala comune concepita come un'area di socializzazione; nel resto della struttura si trovano le camere e i servizi igienici, ambienti collegati attraverso una scala che si sviluppa lungo il perimetro della struttura.

Il design del Monte Rosa Hütte esteticamente è austero come il paesaggio che lo circonda.

L'edificio ha la forma di un poligono irregolare costituito da dieci segmenti creati da travi incrociate poste radialmente, in modo da assomigliare ad una arancia con la scorza tagliata grossolanamente. I suoi cinque piani sono intersecati ad angoli asimmetrici. La forma è stata progettata per essere il più possibile efficiente, ottimizzando il volume per ridurre l'area superficiale, riducendo così al minimo l'esposizione della struttura al vento e alla neve ma allo stesso tempo fornendo più spazio per gli ospiti. Dieci fondazioni radicano la struttura nella roccia e sostengono una piastra stellare in acciaio che dà sostegno ai muri radiali. Il tetto riflettente rispecchia la maestosità del luogo, fornendo preziosa energia solare all'edificio.

Per il nuovo rifugio, sono stati utilizzati materiali da costruzione rinnovabili e componenti di altissima qualità.

All'interno ispirandosi ai tradizionali hütte di montagna, gli architetti hanno scelto di impiegare i legni del luogo, abete rosso e abete, approvati dall'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM).

Il team di progettazione ha dedicato con particolare cura al selezionare i materiali da costruzione a basso impatto ambientale, che potessero essere trasportati facilmente e in modo efficiente.

Poiché vi erano scarse risorse idriche ed energetiche per costruire in loco, è stato necessario prefabbricare molti dei componenti. Dopo aver testato diversi materiali, i progettisti hanno selezionato un pacchetto isolante composto da un foglio di alluminio con un pannello isolante in lana minerale e legno compensato di abete a tre strati; con soli 30 cm di spessore, questa struttura è la scelta più efficiente in termini di isolamento, contribuendo inoltre a diminuire il fabbisogno di calore.

5.2.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

L'ambiente del Monte Rosa Hütte è caratterizzato da condizioni estreme: senza elettricità, senza acqua, senza strade e senza sentieri; la struttura doveva essere indipendente e in grado di produrre energia in loco.

Il design dell'Hütte ha permesso di ottenere una struttura autosufficiente al 90%.

Per permettere all'edificio di ottenere una propria sorgente il team ha scavato il granito al fine di creare un serbatoio, di capienza 200 metri cubi, costruito sotto la barriera del permafrost per prevenire il congelamento dell'acqua di fusione. Per preservare l'ambiente naturale è stato costruito un impianto di trattamento delle acque reflue in modo da poter riutilizzare le acque grigie nei WC permettendo di risparmiare le risorse idriche.

Un'attenzione particolare è stata posta nel posizionamento delle finestre a nastro che fanno fluire i raggi solari all'interno contribuendo al riscaldamento dell'ambiente.

L'energia consumata dall'edificio proviene principalmente dai pannelli fotovoltaici e dai collettori termici. Durante periodi prolungati di oscuramento o in condizioni di alte richieste di energia viene poi utilizzato un impianto di cogenerazione alimentato da olio di colza.

Il Monte Rosa Hütte ha ottenuto la certificazione MINERGIE-P da parte della Confederazione svizzera e dai cantoni svizzeri, per via dell'ermeticità "high-grade" del suo involucro e per il rinnovo continuo dell'aria nell'edificio, grazie ad un sistema di ventilazione ad alta efficienza energetica. La struttura ospita un laboratorio di ricerca all'avanguardia in grado di misurare autonomamente l'efficienza dell'edificio; dispone inoltre di un sistema di gestione dell'energia talmente sofisticato da poter considerare le condizioni meteo ed il numero di ospiti durante il calcolo del consumo energetico.

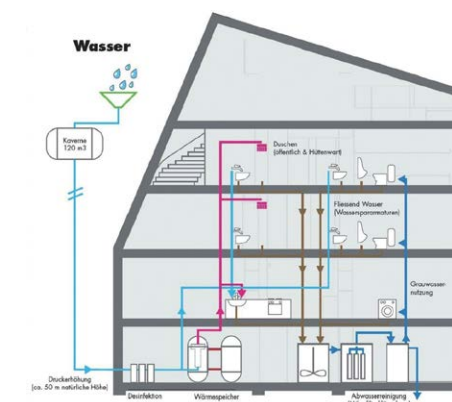


Fig.5.4 Impianto trattamento acque Monte Rosa Hütte

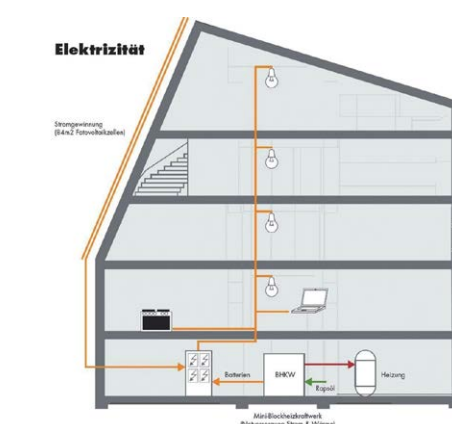


Fig.5.5 Impianto fotovoltaico Monte Rosa Hütte

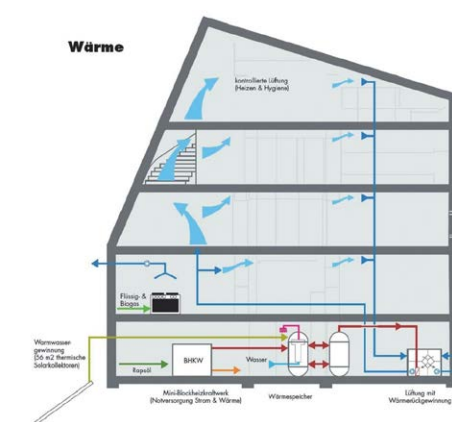


Fig.5.6 Impianto di ventilazione Monte Rosa Hütte

5.2.3 SOLUZIONI DISTRIBUTIVE

Al Monte Rosa Hütte si accede al piano terra dalla terrazza panoramica; a questo piano oltre a una hall d'ingresso si

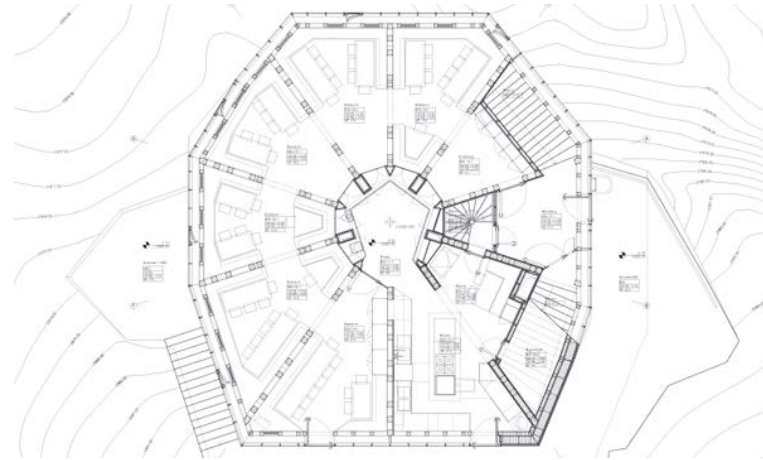


Fig.5.7 Pianta piano terra del Monte Rosa Hütte

trovano la cucina e la sala da pranzo.

Al piano interrato invece trovano spazio i locali di servizio necessari al corretto funzionamento del rifugio oltre ad alcune

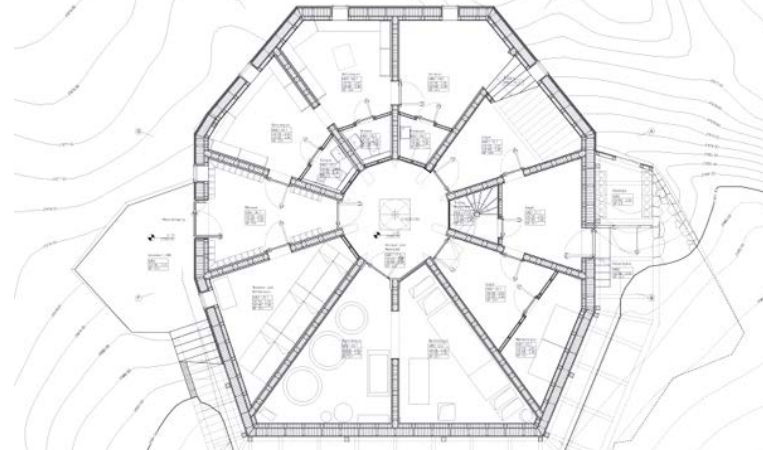


Fig.5.8 Pianta piano seminterrato del Monte Rosa Hütte

camere.

Ai piani superiori trovano spazio le camere per gli ospiti del rifugio che possono ospitare da un minimo di 6 persone a un massimo di 8 persone. I piani primo e secondo sono presenti i bagni comuni per tutti gli ospiti del rifugio.

Al piano primo è presente anche l'alloggio del custode con i propri servizi igienici e la zona notte composta da due camere da letto; l'alloggio inoltre è dotato di una scala interna che lo mette in comunicazione diretta con la cucina al piano terra.

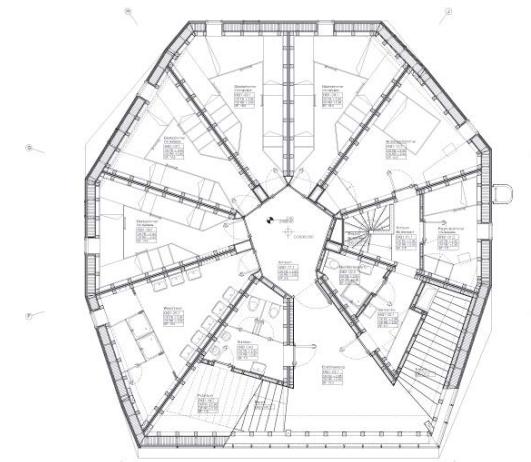


Fig.5.9 Pianta piano primo del Monte Rosa Hütte

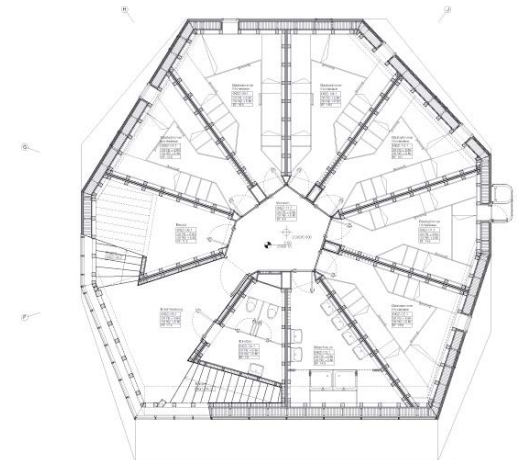


Fig.5.10 Pianta piano secondo del Monte Rosa Hütte

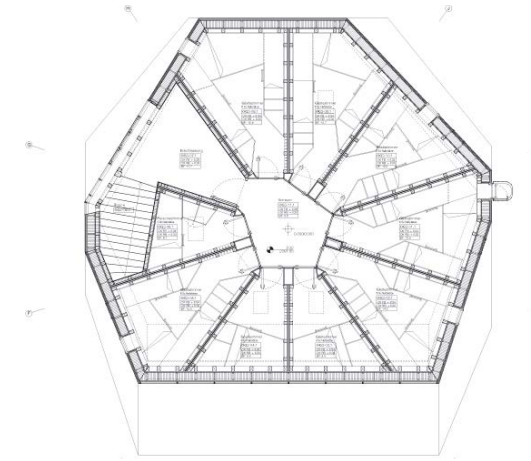


Fig.5.11 Pianta piano terzo del Monte Rosa Hütte

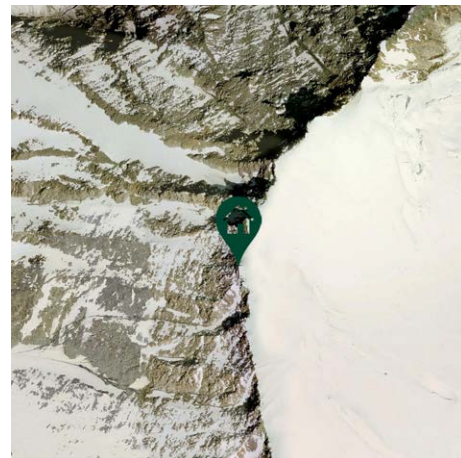


Fig.5.12 Localizzazione Rifugio Gouter

5.3 RIFUGIO GOUTER

LOCALITÀ: Saint Gervais les Bains Francia;
 QUOTA: 3835 m s.l.m.
 PROGETTISTA: studio Groupe-H;
 COMMITTENTE: Club alpino francese (CAF);
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2011-2013;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 4 - 5 h;
 POSTI LETTO: 120;
 STRUTTURA: Legno e acciaio;

5.3.1 IL PROGETTO

Il rifugio del Gouter è posizionato a 3835 m di quota, a 4 ore dalla vetta del Monte Bianco che si raggiunge tramite un difficoltoso e arduo percorso alpino.

La struttura ricettiva è destinata ad accogliere gli appassionati di alpinismo che raggiungono queste località in alta quota, considerando che in questi territori è stato disposto da un decreto ministeriale il divieto assoluto di bivacco e di qualsiasi tipo di accampamento notturno all'aperto, per motivi di sicurezza e responsabilità sociale e ambientale.

Alla base del progetto si trova il concetto di eco-sostenibilità, per questo motivo sono state impiegate le tecnologie più avanzate per ridurre al minimo l'impatto ambientale di quest'opera.

Il progetto del rifugio è stato sviluppato dall'architetto di Ginevra Hervé Dessimoz dello studio Groupe-H, una pianificazione complessa sia dal punto di vista strutturale che da quello estetico che ha portato alla realizzazione di una struttura ovoidale con il cuore in legno e l'involucro in acciaio inossidabile con una superficie di 684 m² che si distribuisce su 4 livelli e che è capace di ospitare fino a 120 posti letto.

La costruzione avveniristica dalla forma ovoidale, sospesa su un picco che raggiunge i 1500 m di altezza, è stata rivestita con pannelli in acciaio inox con isolamento termico in fibra di vetro riciclata che consente alle raffiche di vento di scivolare sui fianchi per spingere la neve dietro all'edificio, nel bacino che serve per la produzione dell'acqua.

L'edificio è stato concepito per limitare l'impatto ambientale e per una gestione dei consumi energetici intelligente, attraverso l'impiego di sistemi solari termici, fotovoltaici e di biomasse.

La struttura costituisce una sfida contro le leggi della natura dato che la struttura deve avere caratteristiche di comfort e sicurezza in un luogo dove il vento soffia fino a raggiungere i 300 Km/h di velocità e dove la neve scende copiosa durante quasi tutto l'anno.



Fig.5.13 Rifugio Gouter



Fig.5.14 vista sul picco del Rifugio Gouter

5.3.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

L'obiettivo dei progettisti era di rendere il rifugio quanto più possibile autosufficiente, ad eccezione del gas necessario per la cottura degli alimenti che continuerà a essere trasportato da valle.

Per raggiungere quest'obiettivo sono state combinate le strategie passive caratterizzate da una riduzione delle dispersioni ottenute attraverso un iperisolamento della struttura con l'utilizzo di pannelli di fibra di legno riciclato, con un sistema impiantistico altamente efficiente.

Il fabbisogno energetico è soddisfatto attraverso un impianto fotovoltaico integrato con il rivestimento della struttura e attraverso un impianto a biomassa che soddisfa la maggior parte del fabbisogno di energia termica.

Inoltre l'edificio presenta un sistema di recupero e trattamento delle acque reflue oltre ad un bacino di raccolta delle acque derivanti dallo scioglimento della neve.

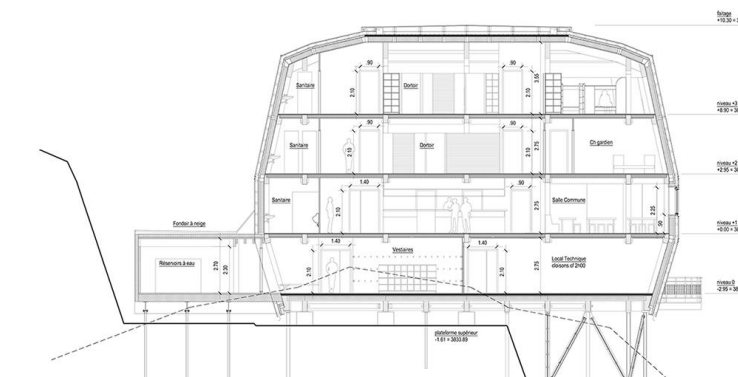


Fig.5.15 Sezione Rifugio Gouter

5.3.3 SOLUZIONI DISTRIBUTIVE

L'ingresso al rifugio avviene dal piano seminterrato dove, oltre a uno spazio spogliatoi dove gli ospiti possono lasciare gli zaini e gli sci, trovano spazio i locali impiantistici necessari per il

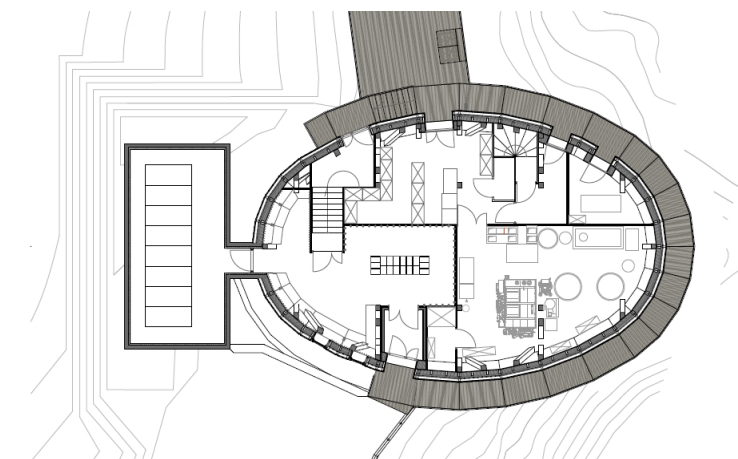


Fig.5.16 Pianta piano seminterrato del rifugio Gouter

funzionamento del rifugio.

Il piano terra ospita una hall d'ingresso alle spalle della cucina che dà sulla sala da pranzo.

Al piano è presente anche gli spazi a servizio degli ospiti tra cui

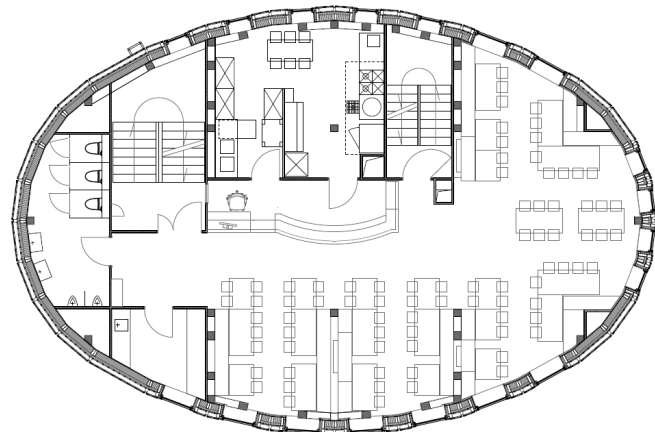


Fig.5.17 Pianta piano terra del rifugio Gouter

un infermeria.

Ai piani superiori sono presenti le camere degli ospiti del rifugio che vanno da un minimo di 6 a un massimo di 8 persone. Il rifugio oltre alle camere più piccole presenta 3 camerate che vanno da un minimo di 16 a un massimo di 24 persone.

A ogni piano è presente un bagno comune per tutto il piano.

Al primo piano trova posto anche l'alloggio del custode con un bagno privato e tre camere per il personale del rifugio.

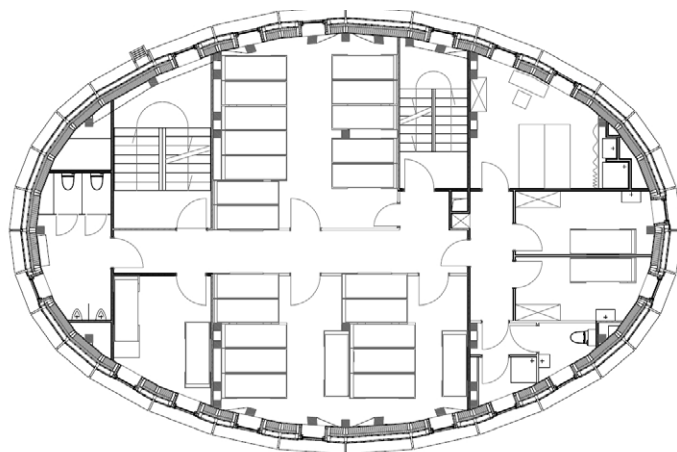


Fig.5.18 Pianta piano primo del rifugio Gouter

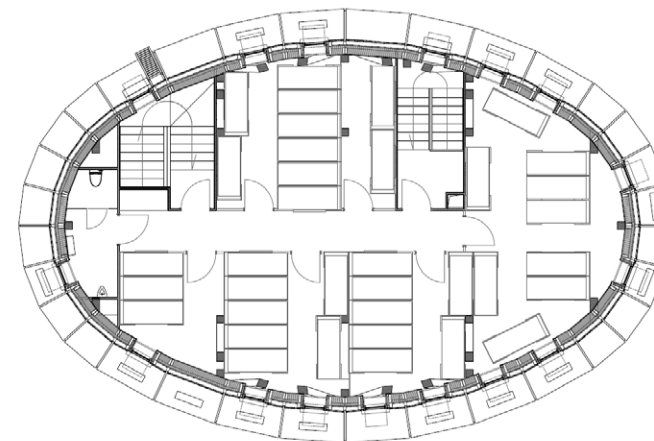


Fig.5.19 Pianta piano secondo del rifugio Gouter

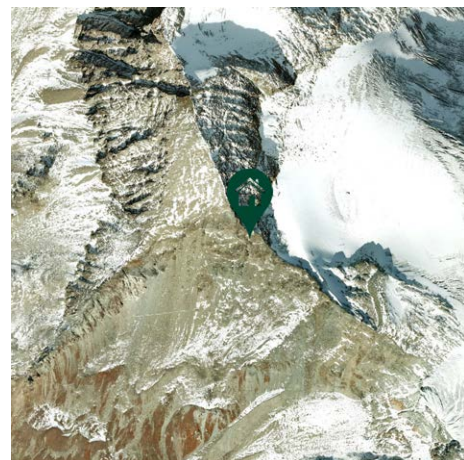


Fig.5.20 Localizzazione Tracuit Hütte

5.4 TRACUIT HÜTTE

LOCALITÀ: Tracuit, Switzerland;
 QUOTA: 3256 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Savioz Fabrizzi Architectes;
 COMMITTENTE: Club alpino svizzero (CAS);
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2013;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 4,5 - 6 h;
 POSTI LETTO: 116;
 STRUTTURA: Legno prefabbricata;

5.4.1 IL PROGETTO

Il rifugio Tracuit si trova nel cuore delle Alpi vallesane; questa posizione lo rende il punto di partenza ideale per scalare il Bishorn, il Weisshorn e il Tête de Milon.

Il rifugio è stato costruito nel 1929 e ampliato più volte per far fronte ad un costante aumento del numero di persone e ai livelli attesi di comfort. Gli attuali requisiti in materia di salute e sicurezza, strutture, e la protezione ambientale ha fatto sì che la capanna avesse bisogno di essere ampliata e completamente ristrutturata.

Dato che questi interventi risultavano troppo onerosi sia in termini economici sia in termini di tempo, il club ha deciso di sostituire la capanna esistente con un nuovo rifugio.

La natura del luogo, tra una scogliera e un ghiacciaio, ha definito la posizione e la forma della nuova capanna, che è costruito lungo la cresta sopra la scogliera, in raccordo con la topografia del sito.

La facciata sud dell'edificio si estende dalla scogliera e funziona come un grande collettore solare, essendo rivestita in pannelli in acciaio inox nei quali sono integrati i pannelli solari per sfruttare al massimo l'energia solare. Le altre facciate, anche esse rivestite in acciaio inox, riflettono il paesaggio circostante.

A questa altezza i metodi di costruzione dovevano essere adattati alle condizioni climatiche avverse e ai mezzi di trasporto disponibili. Poiché il trasporto del calcestruzzo è particolarmente costoso, il suo uso è stato ridotto al minimo e limitato in gran parte alle singole fondazioni.

Il nuovo rifugio presenta un telaio strutturale in legno isolato e rivestito con pannelli in acciaio inox. Le componenti dell'edificio sono state prefabbricate in fabbrica e trasportate in elicottero per l'assemblaggio in loco. Pannelli di rivestimento in acciaio inossidabile proteggono il tetto e pareti esterne dagli agenti atmosferici.

Le pareti Est, Ovest e Nord presentano poche aperture, in questo modo si riducono notevolmente le dispersioni di calore e si ottiene una ventilazione naturale ottimale.



Fig.5.21 Vista del Tracuit Hütte



Fig.5.22 Accesso al Tracuit Hütte

La parete rivolta a Sud, invece, presenta grandi finestre che consentono ai raggi solari di penetrare all'interno degli ambienti andando a riscaldarli.

5.4.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Le condizioni climatiche ostili hanno spinto i progettisti a realizzare una struttura compatta che insieme all'isolamento delle pareti riesce a ridurre le perdite di calore.

Un'altra tecnica impiegata per rendere autosufficiente il rifugio è l'ottimizzazione dei guadagni solari attraverso grandi aperture rivolte a Sud. La radiazione solare viene utilizzata anche per la produzione di energia elettrica grazie ai pannelli solari integrati nell'architettura del rifugio.

La ventilazione naturale all'interno dell'edificio è facilitata dalla presenza di rade aperture sulla facciata Nord dell'edificio.

5.4.3 SOLUZIONI DISTRIBUTIVE

L'ingresso al rifugio avviene dal piano terra dove è presente anche uno spazio deposito in cui gli ospiti possono lasciare gli sci e la loro attrezzatura. A questo piano trovano spazio la sala da pranzo e la cucina del rifugio, oltre all'alloggio del custode.

In questo rifugio per ottimizzare il consumo energetico del periodo invernale è stata predisposta una parete vetrata che una volta chiusa permette di dividere la sala in modo tale da dover scaldare solo una parte del rifugio.



Fig.5.23 Pannelli fotovoltaici integrati nella facciata del Tracuit Hütte

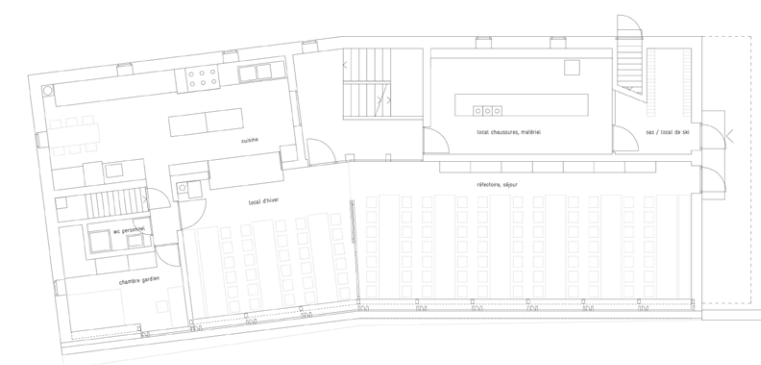


Fig.5.24 Pianta piano terra del Tracuit Hütte

Il rifugio presenta due piani seminterrati che vanno a poggiarsi sul pendio. Al primo piano seminterrato sono stati posizionati i servizi igienici per tutto il rifugio oltre agli spazi necessari per gli impianti e i locali deposito del rifugio. Al secondo piano seminterrato sono posizionati i serbatoi e gli impianti per lo smaltimento delle acque di scarico del rifugio.

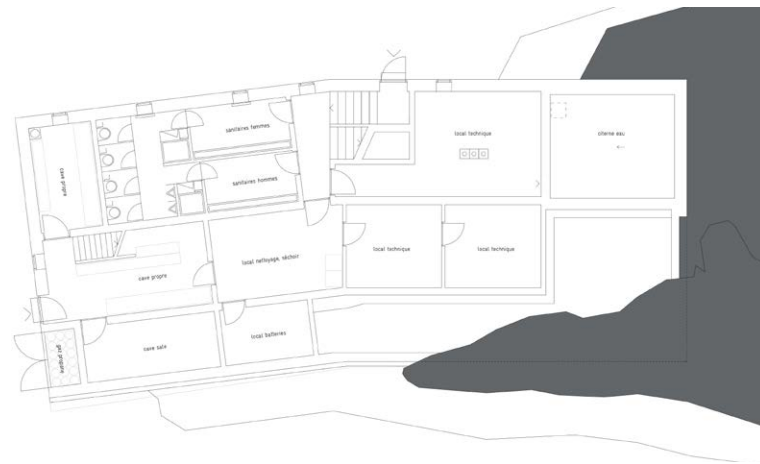


Fig.5.25 Pianta piano primo seminterrati del Tracuit Hütte

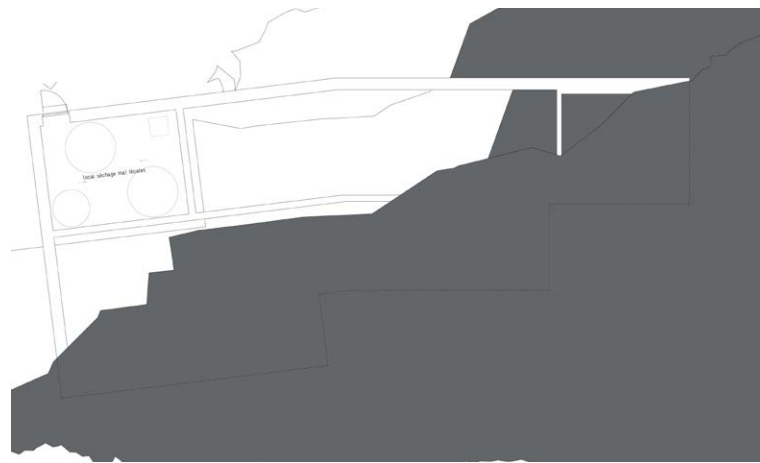


Fig.5.26 Pianta piano secondo seminterrato del Tracuit Hütte

Al primo piano sono presenti le camere per gli ospiti che vanno da un minimo per 4 persone a un massimo di 12 persone. Oltre alle camere è presente anche una camerata da 24 persone.

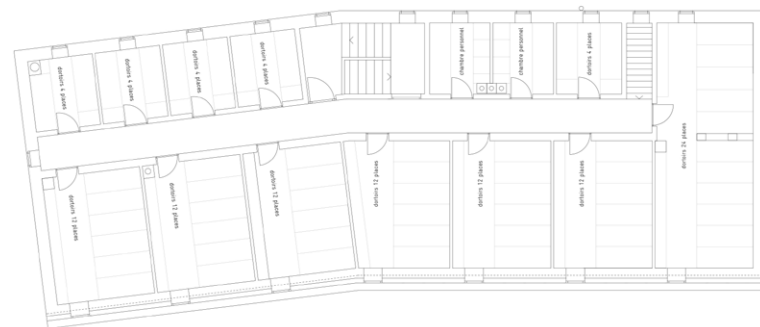


Fig.5.27 Pianta piano secondo seminterrato del Tracuit Hütte

5.5 RIFUGIO OLPERER HÜTTE

LOCALITÀ: zillertal Austria;

QUOTA: 2389 m s.l.m.

PROGETTISTA: Architekten Hermann Kaufmann;

COMMITTENTE: Deutscher Alpenverein;

PERIODO DI COSTRUZIONE: 2007;

TIPOLOGIA: rifugio alpino;

ACCESSIBILITÀ: 4,5 - 6 h;

POSTI LETTO: 60;

STRUTTURA: Legno prefabbricata;



Fig.5.29 Facciata sud del Olperer Hütte

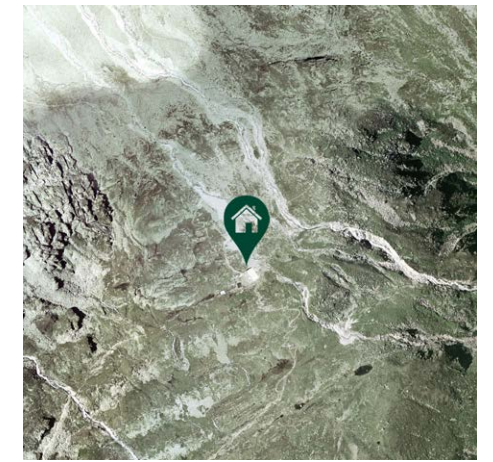


Fig.5.28 Localizzazione Olperer Hütte

5.5.1 IL PROGETTO

Il nuovo rifugio è stato realizzato in sostituzione della capanna esistente realizzata con pietre trovate in sito. Per questa nuova costruzione è stata scelta la come modalità di costruzione la prefabbricazione delle varie componenti che poi sono state trasportate in quota. La struttura sfrutta le potenzialità offerte dal legno lamellare che, oltre al peso contenuto che ne facilita il trasporto, offre anche un buon grado d'isolamento degli ambienti.

L'edificio presenta al piano terra gli spazi necessari per il lavoro quotidiano: cucina centrale, dispensa, locali accessori e sala per gli ospiti con una grande finestra panoramica aperta sulla valle. Al primo piano sono poste camere dall'arredo semplice per gli ospiti che pernottano.

A questo corpo si contrappone un secondo edificio più piccolo che ospita al suo interno il locale invernale, questo elemento presenta pareti intelaiate, fatto che fa sì che l'ambiente si riscaldi molto rapidamente.

L'edificio principale ha una forma compatta e un orientamento ottimale verso il sole per adattarsi al meglio alle condizioni atmosferiche in alta quota.

Obiettivo massimo della nuova costruzione del rifugio Olperer era sviluppare un edificio possibilmente semplice in cui sia la quantità che il numero di materiali da costruzione necessari



Fig.5.30 Olperer Hütte

fossero ridotti al minimo.

Per questo motivo la struttura in legno che costituisce sia le pareti sia il tetto è rivestita da scandole in legno, un rivestimento che nel corso del tempo si "stagiona" e si accosta cromaticamente al grigio delle rocce.

La costruzione sorge su un basamento in muratura in pietra naturale che funge sia da terrazza sia da supporto per l'edificio in legno che sporge per 2,5 m sul pendio sottostante.

5.5.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

L'ambiente dell'Olperer Hütte è caratterizzato da condizioni estreme: senza elettricità, senza acqua e senza strade; la struttura doveva quindi essere indipendente e in grado di produrre energia in loco.

Il design del Hütte ha permesso di ottenere una struttura autosufficiente al 90%.

Per permettere all'edificio di ottenere una sorgente autonoma, il team ha scavato la roccia al fine di creare un serbatoio.

Per preservare l'ambiente naturale è stato costruito un impianto di trattamento delle acque reflue che riusa l'acqua di scarico, permettendo di risparmiare risorse idriche.

5.5.3 SOLUZIONI DISTRIBUTIVE

La struttura è accessibile direttamente dal piano terra dove trovano spazio oltre a una hall d'ingresso anche gli spazi cucina e gli spazi servizi. La sala da pranzo posta nel punto più panoramico dell'intero rifugio è frazionabile in due spazi più piccoli per rispondere alle diverse utenze che fruiscono del rifugio.

Al piano terra è presente anche una struttura separata che funge dal locale invernale in cui trovano posto fino a 8 persone che hanno a disposizione, oltre ai servizi igienici, anche una piccola zona giorno.

Al piano primo sono presenti le camere che vanno da un minimo di 4 persone a un massimo di 6 persone con un unico spazio per servizi comuni per tutti gli ospiti.

A questo piano è presente anche l'alloggio per il gestore e i suoi collaboratori.

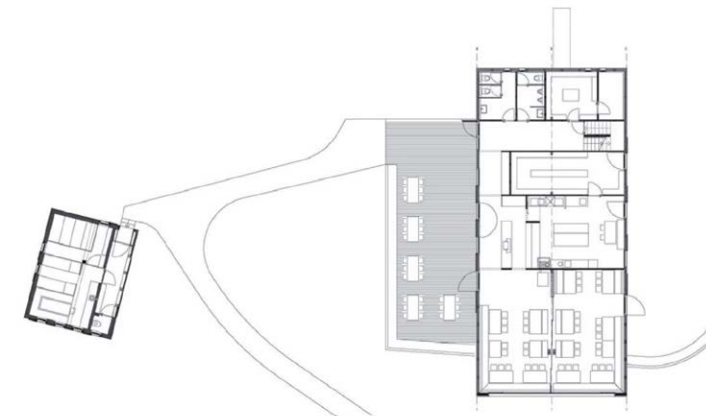


Fig.5.31 Pianta piano terra del Olperer Hütte

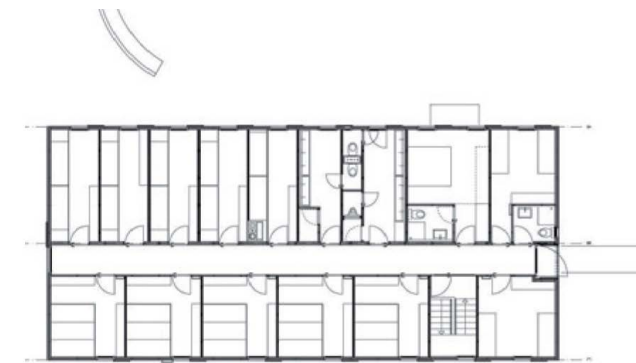


Fig.5.32 Pianta piano primo del Olperer Hütte

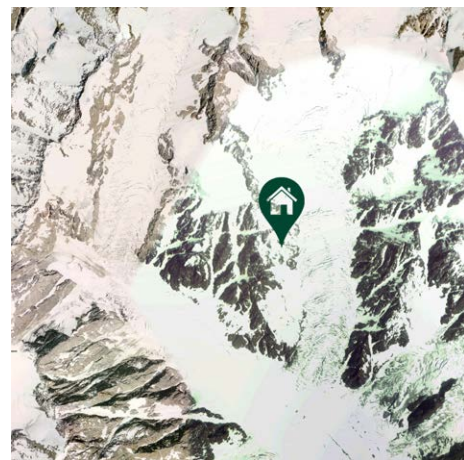


Fig.5.33 Localizzazione Rifugio Gonella



Fig.5.34 Rifugio Gonella



Fig.5.35 Rifugio Gonella

5.6 RIFUGIO GONELLA

LOCALITÀ: Courmayeur Valle d'Aosta;
 QUOTA: 3071 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Antonio Ingegneri;
 COMMITTENTE: club alpino italiano (CAI);
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2008-2009;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 3 - 4,5 h;
 POSTI LETTO: 50;
 STRUTTURA: prefabbrica in legno;

5.6.1 IL PROGETTO

La nuova costruzione del rifugio Gonella sfrutta la disposizione orografica della cresta rocciosa esistente, disponendosi sul terreno con un andamento planimetrico che allontanandosi dal costone roccioso a monte facilita il naturale smaltimento sui pendii sottostanti delle precipitazioni nevose e di eventuali cadute di pietre dalle soprastanti rocce anche con l'aiuto di un deviatore metallico.

Sul piano visivo il volume del rifugio, curvo verso valle, riprende le linee di livello della cresta su cui sorge ricolmando il vuoto creato dallo spianamento che fece posto all'edificio precedente. La parete frontale inclinata prosegue il filo e forma un angolo con la falda del tetto che si ricollega alla frastagliatura propria dei massi che creano lo skyline delle Aguilles Grises. La spezzata di quest'ultimo è stata il concetto conduttore della composizione dell'elemento edilizio. Pareti e tetto del semplice volume in progetto sono state piegate ed inclinate dalla verticale eliminando così le intersezioni ad angolo retto che lo avrebbero reso più dissonante rispetto alla sequenza di giaciture leggibili sul sito.

Attraverso una scala esterna si ha accesso al nuovo fabbricato principale, a tre piani fuori terra, a pianta rettangolare in cui sono ubicati i locali di soggiorno, cucina, camerate e servizi del nuovo rifugio.

Tale intervento rappresenta un miglioramento delle condizioni attuali non solo dal punto di vista estetico, ma soprattutto funzionale in quanto sono garantiti al meglio le condizioni di sicurezza ed agibilità. Finalmente il lato italiano del Monte Bianco offrirà garanzie e servizi analoghi a quelli presenti sul lato francese.

Il rifugio è costituito da due semplici materiali: il legno e il metallo; il primo forma l'ossatura delle pareti e lo rende isolato, elastico e leggero; la lamiera metallica lo protegge dalle intemperie e dall'azione dei raggi UV, vestendolo di un manto grigio ed argenteo come le rocce che lo circondano.

La struttura del nuovo Gonella è costituita da telai in legno lamellare di elevata resistenza, da solai e pareti costituiti da un sandwich di vari strati di legno e isolante permettendo di realizzare una costruzione molto robusta, particolarmente leggera e soprattutto capace di tollerare forti deformazioni, che il terreno in perenne movimento impone a qualsiasi struttura in quota. Un altro vantaggio di questo sistema costruttivo è il suo limitato peso che facilita le fasi di trasporto e montaggio della struttura.

5.6.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Il rifugio si trova in un sito caratterizzato da condizioni particolarmente estreme e si pone l'obiettivo di raggiungere un altissimo standard di efficienza energetica.

L'edificio è reso il più possibile autonomo per quanto riguarda le fonti energetiche attraverso la riduzione dei consumi e lo sfruttamento degli apporti passivi derivanti dai carichi interni e soprattutto dall'irraggiamento solare.

Per ottenere tali risultati l'involucro del rifugio è isolato con due strati di diversa densità e i serramenti hanno prestazioni molto elevate, permettendo di massimizzare i guadagni solari e minimizzare le dispersioni verso l'esterno.

Particolare attenzione è stata posta nell'inserire accorgimenti che permettano il guadagno passivo di energia senza necessità di impianti. Ne sono un esempio i pannelli solari ad aria che, grazie alle temperature elevate raggiunte nelle ore soleggiate, permettono di convogliare aria calda verso l'interno della struttura, aria che è poi utilizzata per preriscaldare le camere e la stanza del gestore.

L'ulteriore elemento di efficienza è l'impianto di ventilazione controllata che, tramite sensori di temperatura e di CO₂, gestisce il ricambio dell'aria interna attraverso il passaggio in un recuperatore ad alta efficienza che recupera il 95% del calore dell'aria espulsa riducendo le dispersioni per ventilazione.

L'impianto per la produzione di calore finalizzato al riscaldamento utilizza energia rinnovabile ed è costituito da una stufa con combustibile legnoso.

L'impianto di produzione dell'energia elettrica è costituito da 30 moduli fotovoltaici e da un piccolo generatore a combustibile fossile per sola emergenza.

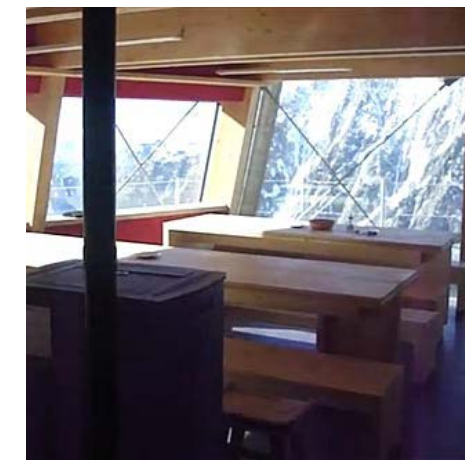


Fig.5.36 Zona pranzo del Rifugio Gonella



Fig.5.37 Localizzazione Rifugio Mollino



Fig.5.38 Rifugio Mollino

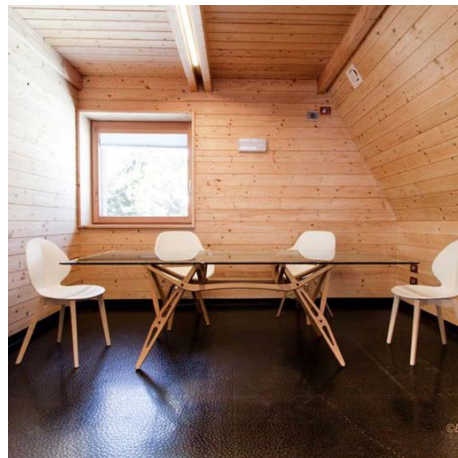


Fig.5.39 Zona pranzo Rifugio Mollino

5.7 RIFUGIO MOLLINO

LOCALITÀ: Gressoney Saint Jean Valle d'Aosta;

QUOTA: 2050 m s.l.m.

PROGETTISTA: Carlo Mollino, Politecnico di Torino;

COMMITTENTE: Comune di Gressoney Saint Jean, Politecnico di Torino;

PERIODO DI COSTRUZIONE: 2010-2011;

TIPOLOGIA: rifugio alpino;

ACCESSIBILITÀ: 3 - 4,5 h;

POSTI LETTO: 50;

STRUTTURA: prefabbrica in legno;

5.7.1 IL PROGETTO

Il rifugio è stato promosso dal Dipartimento di Architettura e Design del Politecnico di Torino.

Questa nuova struttura è stata costruita grazie al Comune di Gressoney Saint Jean che ha sostenuto l'iniziativa culturale.

L'edificio sorge sulle piste del Weissmatten, a quota 2.050 m, nel quadro di una azione di valorizzazione del comprensorio sciistico oggi Monterosa Ski.

L'architettura sviluppata su modello del progetto "Casa Capriata" per la X Triennale di Milano (1954), una delle case ideali di Carlo Mollino rimasta opera incompiuta, è stata realizzata a distanza di sessant'anni, con l'intento di evidenziare il valore e l'attualità del progetto originario come manifesto sull'innovazione tecnologica e la prefabbricazione edilizia.

La scelta di realizzare un edificio a basso consumo energetico, con tecniche innovative a livello impiantistico, in grado di eliminare il fabbisogno di combustibile fossile, è stata perseguita in coerenza con la variante al progetto Casa Capriata elaborata da Carlo Mollino nel 1951 nell'ambito del concorso Vetroflex-Domus.

Distribuita su tre piani, la costruzione ospita al primo piano il soggiorno-pranzo con circa 50 coperti, la cucina, un servizio e un piccolo disimpegno per il deposito degli sci a fianco dell'ingresso; al secondo piano due camere e un bagno; il terzo piano, di minuscole dimensioni, è occupato da due camere e da una serie di armadi.

Il rifugio è un'architettura aerea sollevata dal suolo realizzato secondo gli standard previsti dal protocollo CasaClima classe A Gold con una struttura lignea. Per l'isolamento delle chiusure composte dal tetto a falda, dalle pareti verticali e dal solaio del piano terra sono stati impiegati pannelli di lana di vetro che garantiscono un elevato grado d'isolamento termico e acustico uniti con due membrane che fungono da freno al vapore e da strato di tenuta all'aria che evita la formazione di condense all'interno delle strutture in legno.

5.7.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Un elemento di sperimentazione è costituito dagli aspetti impiantistici relativi all'impianto di ventilazione meccanica che garantisce aria fresca in modo affidabile e costante in tutta la casa.

Il sistema di ventilazione meccanica recupera il calore e l'umidità dall'aria estratta dai vari ambienti. Il cuore del sistema è il recuperatore di calore entalpico che con il suo speciale rivestimento assorbente sottrae energia termica e vapore acqueo all'aria estratta. Se necessario, essi vengono trasmessi all'aria di mandata giungendo quindi nelle quantità desiderate all'interno dell'edificio.

In virtù delle sue capacità di recupero del calore e dell'umidità il sistema assicura un'elevata economicità riducendo i costi energetici grazie al recupero del calore e dell'umidità e abbassa i costi di esercizio grazie a una costante regolazione in base al fabbisogno e rende superflui sia il preriscaldamento dell'aria sia condotti di evacuazione della condensa.

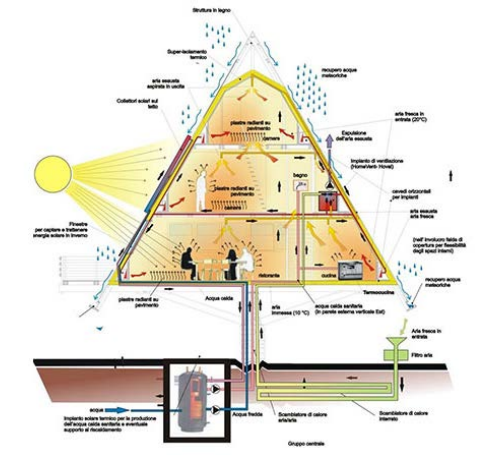


Fig.5.40 Schema impiantistico Rifugio Mollino



Fig.5.41 Impianto fotovoltaico Rifugio Mollino

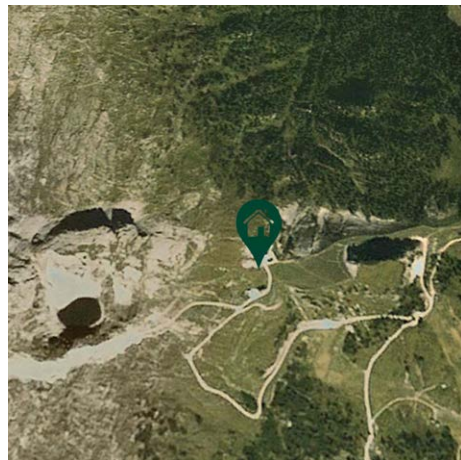


Fig.5.42 Rifugio Piz Boè



Fig.5.43 Rifugio e funivia Piz Boè

5.8 RIFUGIO PIZ BOÈ

LOCALITÀ: Corvara Trentino;
 QUOTA: 2190 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Architetti Mair & Dorfmann;
 COMMITTENTE: --
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2014-2015;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: --
 POSTI LETTO: 12 camere;
 STRUTTURA: --

5.8.1 IL PROGETTO

Il nuovo rifugio a monte della cabinovia Boè a 2.190 metri d'altezza è un mix tra tradizione e tecnologia.

Il rifugio Piz Boè Alpine Lounge è costruito con materiali semplici e naturali, come il legno e la pietra dolomitica che ne caratterizzano l'ambiente sia interno che esterno.

La nuova struttura ha una forma bassa che si sottopone alla montagna a causa della sua posizione esposta alle intemperie e ne riduce l'impatto visivo all'interno di un paesaggio sottoposto alla tutela ambientale.

Insieme ai corpi esistenti della stazione funivia e a un padiglione, il nuovo ristorante forma un cortile con terrazza a riparo dal vento e lascia libera la vista verso il magnifico panorama montano circostante.

La parte interna si divide tra Ristorante Gourmet con 40 posti a sedere ed un self service di alta qualità con circa 160 posti a sedere.

Il cuore della struttura è composto dalla Lounge Bar: comode poltrone e tavoli alti con al centro un caminetto a legna per regalare momenti di relax tra una sciata e l'altra.

Il bancone in stile moderno lungo 20 metri, collega l'interno con l'ampia terrazza esterna dove si trovano circa 200 posti a sedere.

La struttura si caratterizza non solo per la struttura che si integra nel paesaggio circostante ma soprattutto per l'ampia vetrata di 34 metri con vista panoramica su tutta l'Alta Badia, conferisce al Piz Boè una carattere unico nel suo genere.

KlimaHotel è un certificato di qualità dell'Agenzia Casa Clima, che da anni opera per il miglioramento qualitativo degli edifici. Partita dalla Provincia Autonoma di Bolzano, di cui è emanazione, rappresenta oggi il più elevato standard qualitativo per la progettazione e realizzazione di edifici a basso impatto ambientale. Il risultato è un netto abbattimento delle emissioni di CO₂, grazie ad una minore dispersione dell'energia termica, ovvero ad una maggiore efficienza energetica.

L'utilizzo di un triplo vetro permette al progetto di raggiungere i più alti standard di risparmio energetico ottenendo la classificazione casa clima classe B garantendo il rispetto e la valorizzazione dell'ambiente circostante.



Fig.5.44 Rifugio Piz Boè

5.8.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

La sfida principale del rifugio Piz Boè è costituita dalla riduzione delle dispersioni di calore attraverso le parti trasparenti della struttura.

Gli architetti William Mair e Albert Dorfman di Bressanone hanno utilizzato un serramento che ha un $U_f = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ e vetro triplo con $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ con stati basso emissivi all'interno del vetrocamera ottenendo un sistema di facciata che ha $U_w = 0,65 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La sfida particolare di questo progetto prestigioso è consistito nell'altitudine del cantiere (oltre 2000 metri) e nella logistica e nel montaggio delle grandi vetrate terra-cielo.

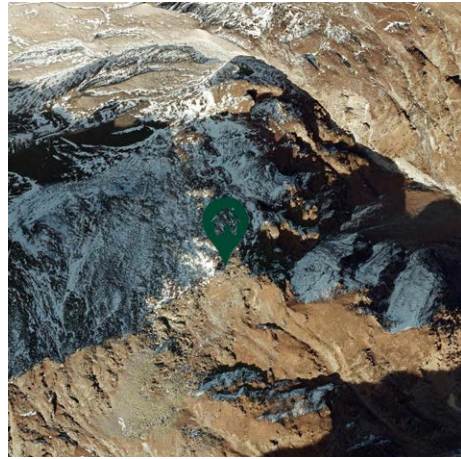


Fig.5.45 Localizzazione Topalihütte

5.9 TOPALIHÜTTE

LOCALITÀ: Sankt Niklaus Svizzera;
 QUOTA: 2674 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Meier associés architectes;
 COMMITTENTE: Club alpino svizzero (CAS);
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2001-2003;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 4,5 - 6 h;
 POSTI LETTO: 44;
 STRUTTURA: Legno prefabbricata;

5.9.1 IL PROGETTO

Il rifugio Topali Hütte è stato costruito sui resti del vecchio rifugio eretto nel 1916 e distrutto da un incendio nel 1998 in un'area raggiungibile solo a piedi.

Il nuovo edificio ha una struttura modulare prefabbricata in legno rivestita in pelle sottile di acciaio inossidabile, studiata sulla base delle dimensioni di 72 cm e 36 cm dei pannelli.

L'hutte è una struttura a pianta rettangolare che si sviluppa su due piani fuori terra nella quale si trovano al piano terra la cucina ed un salone con vista sul Massiccio del Mischabel, mentre al piano superiore è presente la zona notte che è in grado di ospitare fino a 44 persone contemporaneamente suddivise in camere da 4, 6 e 10 persone.

Le finestre sono parte integrante del programma modulare e si inseriscono perfettamente in un vuoto strutturale. L'aspetto casuale generato dalla posizione delle finestre non esprime una dichiarazione di design, ma è il risultato dello studio spazio interno per soddisfare al meglio le richieste funzionali dei diversi ambienti.

Il risultato del progetto ha come risultato un fragile contenitore in acciaio inox all'interno del suo sublime ambiente naturale nel quale si colloca, come un pezzo di Land Art .



Fig.5.46 Topalihütte



Fig.5.47 Facciata sud del Topalihütte

5.9.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Il progetto del Topalihütte cerca di raggiungere l'autosufficienza dal punto di vista energetico e il rispetto dell'ambiente nel quale è inserito.

Le strategie applicate per la realizzazione dell'edificio sono la riduzione delle dispersioni e la produzione di energia da fonti rinnovabili. La riduzione delle dispersioni è stata ottenuta grazie un involucro costituito da un telaio in legno rivestito da una pelle in acciaio inox e iperisolato.

La produzione di energia necessaria è affidata a pannelli fotovoltaici appesi a una griglia metallica sul lato più soleggiato rendono il rifugio autosufficiente, mentre l'acqua è assicurata dai vicini ghiacciai.



Fig.5.48 Impianto fotovoltaico Topalihütte

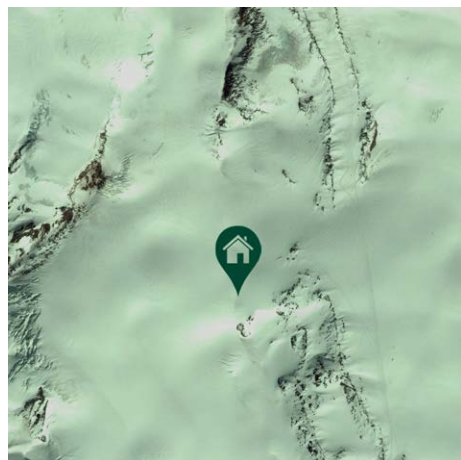


Fig.5.49 Localizzazione Leaprus 3912

5.10 LEAPRUS 3912

LOCALITÀ: Monte Elbrus, Switzerland;
 QUOTA: 3912 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Leapfactory;
 COMMITTENTE: North Caucasus Mountain Club;
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2013;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: --
 POSTI LETTO: 49;
 STRUTTURA: prefabbricata;



Fig.5.50 Leaprus 3912

5.10.1 IL PROGETTO

Il monte Elbrus è un vulcano inattivo e si trova al centro della catena settentrionale del Caucaso, in territorio russo, a metà strada tra il Mar Nero e il Mar Caspio.

La realizzazione di LEAPrus 3912 è promossa da North Caucasus Mountain Club, società russa che opera per lo sviluppo turistico della regione montuosa del Caucaso settentrionale; LEAPrus 3912 è il primo passo per la riorganizzazione dell'ospitalità sul monte Elbrus.

L'insediamento è situato lungo la via normale di salita alla montagna, sull'immenso ghiacciaio del versante meridionale, a poche centinaia di metri dallo storico rifugio Priut 11 (distrutto da un incendio negli anni '90 del secolo scorso e mai più ricostruito). La nuova stazione ricettiva è organizzata in quattro edifici completamente prefabbricati. Le strutture modulari sono state progettate e costruite in Italia da LEAPfactory e in seguito trasportate in Russia. L'installazione sulle pendici dell'Elbrus è avvenuta in pochi giorni nel mese di luglio; i moduli sono stati poi elitrasportati e assemblati da un team di tecnici specializzati dell'azienda.

Nei primi giorni di settembre, dopo il set-up finale degli impianti tecnologici, il rifugio ha avviato la sua attività e ospita 49 posti letto con soggiorno-ristorante, cucina, servizi igienici, reception e alloggio per gli addetti.

Le strutture della nuova stazione alpina sono realizzate con materiale composito sintetico di altissima qualità, dotate di tecnologie all'avanguardia nel campo della sostenibilità ambientale.

5.10.2 SOLUZIONI SOSTENIBILI

Ottenere la migliore prestazione possibile in termini di efficienza energetica e comfort abitativo è stato l'obiettivo principale per raggiungere l'autosufficienza del nuovo insediamento sulla montagna più alta d'Europa. Gli involucri strutturali ad altissima efficienza contribuiscono alla riduzione drastica del fabbisogno energetico. In loco si provvede a illuminazione, riscaldamento e trattamento dell'aria interna, acqua calda sanitaria e un sistema di monitoraggio e comando remoto di tutti gli apparati; ciò avviene mediante:

- un impianto ibrido autonomo per la produzione di energia, ad alta efficienza ed integrazione tra le fonti utilizzate, con un innovativo parco di accumulo ecologico al sodio;
- uno specifico sistema di ricircolo dell'aria interna con recupero termico;
- illuminazione a led;
- riscaldamento a pavimento adatto a rispondere alle bassissime temperature esterne;
- un sistema di fusione della neve per la fornitura di acqua per l'impianto idrico-sanitario;
- un depuratore delle acque reflue, specifico per l'alta quota, che consente di abbattere quasi totalmente la dispersione di inquinanti organici nell'ambiente;
- l'intero sistema è regolato e controllato, anche da remoto via satellite, agevolando una gestione efficace della struttura durante l'intero arco dell'anno.



Fig.5.51 Modulo zona giorno Leaprus 3912



Fig.5.52 Modulo zona notte Leaprus 3912

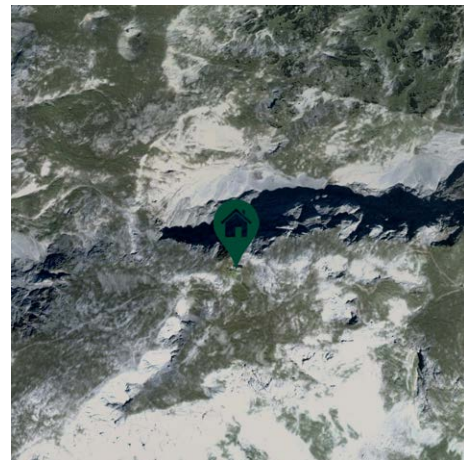


Fig.5.53 Localizzazione Rifugio Schiestlthaus



Fig.5.54 Rifugio Schiestlthaus



Fig.5.55 Rifugio Schiestlthaus

5.11 RIFUGIO SCHIESTLHAUS

LOCALITÀ: Hochschwab gruppe, Austria;
 QUOTA: 2154 m s.l.m.
 PROGETTISTA: Trebersburg & Partner;
 COMMITTENTE: Österreichischer Touristenklubb;
 PERIODO DI COSTRUZIONE: 2013;
 TIPOLOGIA: rifugio alpino;
 ACCESSIBILITÀ: 3 - 3,5 h;
 POSTI LETTO: 65;
 STRUTTURA: Telaio in legno;

5.11.1 IL PROGETTO

Il primo rifugio realizzato con le caratteristiche della casa passiva è situato sullo Hochschwab, a un'altitudine di 2154 m s.l.m.. Esso si basa su una concezione ecologica totale: costruzione in legno secondo gli standard della casa passiva, autosufficienza energetica grazie all'uso di energia solare, depurazione biologica delle acque reflue e utilizzo dell'acqua piovana. Il progetto nasce dall'idea di impiegare sistemi solari in luoghi caratterizzati da una difficile accessibilità, da un buon irraggiamento solare e da un'elevata sensibilità ecologica. Esso è inoltre pensato come progetto pilota e dimostrativo, nel quale vengono testati una tecnologia sostenibile ed ecologica e una progettazione intelligente dello spazio in condizioni estreme. Ciò che rende particolari i rifugi alpini, rispetto agli usi edilizi convenzionali, è che la quantità di utenti oscilla fortemente a seconda del periodo dell'anno, del giorno della settimana, della stagione turistica e delle condizioni meteorologiche. Per questo motivo è stato sviluppato un concetto edilizio flessibile: al centro un nucleo riscaldabile costantemente, intorno a questo un'ulteriore zona che può essere riscaldata a seconda delle necessità e una zona più esterna non riscaldata adibita a locali di servizio. Dal momento che non sono presenti, a una distanza ragionevole, sorgenti con portata d'acqua sufficiente, dal tetto viene raccolta acqua piovana, che viene poi immagazzinata e predisposta all'uso. L'acqua calda e la corrente elettrica sono prodotte tramite collettori e pannelli solari perfettamente integrati nel piano architettonico del rifugio. Il riscaldamento degli spazi avviene mediante la tecnologia della casa passiva, vale a dire gli ambienti dove si soggiorna sono riscaldati esclusivamente tramite le fonti di calore interne e l'immissione di aria calda attraverso l'impianto di ventilazione. Ad eccezione di quelle presenti nei locali adibiti al lavaggio e all'asciugatura, nell'edificio non sono previste altre superfici radianti. Il restante fabbisogno di calore per il riscaldamento, pari a 13 kWh/m²a, è garantito mediante il recupero di calore dal serbatoio di acqua calda.

5.11.2 SOLUZIONI DISTRIBUTIVE

La struttura è accessibile direttamente dal piano terra dove trovano spazio, oltre a una hall d'ingresso, anche gli spazi cucina e la sala da pranzo che sono posizionate tutte lungo la facciata Sud, mentre gli spazi rivolti a Nord sono quelli distributivi e i servizi igienici e gli spazi deposito per le attrezzature degli utenti

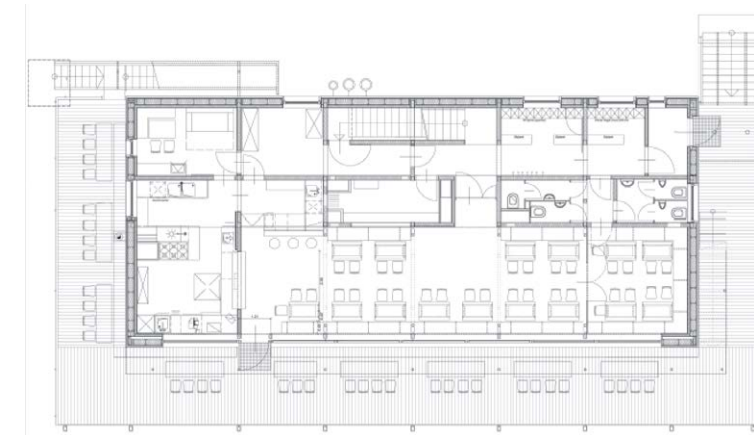


Fig.5.56 Pianta piano terra del rifugio Schiestlthaus

del rifugio.

Al primo piano sono presenti le camere per gli ospiti che vanno da un minimo di 4 a un massimo di 8 persone. Al piano sono presenti anche gli spazi per i servizi comuni a tutti gli ospiti oltre all'alloggio del gestore e dei suoi collaboratori.

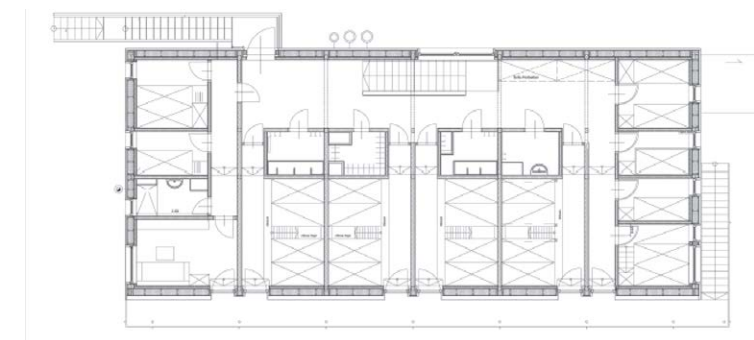


Fig.5.57 Pianta piano terra del rifugio Schiestlthaus

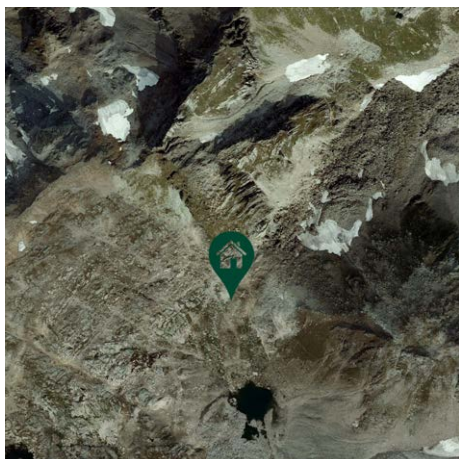


Fig.5.58 Localizzazione Capanna cristallina



Fig.5.59 Capanna Cristallina



Fig.5.60 Facciata in larice della Capanna Cristallina

5.12 CAPANNA CRISTALLINA

LOCALITÀ: Bedretto Svizzera;

QUOTA: 2568 m s.l.m

PROGETTISTA: Baserga & Mozetti architetti;

COMMITTENTE: Club alpino svizzero (CAS);

PERIODO DI COSTRUZIONE: 2001-2002;

TIPOLOGIA: rifugio alpino;

ACCESSIBILITÀ: 2 - 3 h;

POSTI LETTO: 120;

STRUTTURA: Legno e acciaio;

5.12.1 IL PROGETTO

Il sito considerato per l'edificazione della nuova Capanna Cristallina è la zona del Passo del Cristallina a 2568 m.s.l.m.

L'ubicazione della capanna rispecchia la volontà di non costruire sulla fragile topografia del passo ma di occupare un terrazzo adiacente orientato verso Sud, ma comunque visibile da Nord.

La scelta di un edificio allungato parallelo alla pendenza orografica allude all'immagine della Barchessa Alpina (stallone). L'astrazione volumetrica e la riduzione degli elementi formali testimoniano la ricerca di un rapporto dialettico con il contesto naturale.

Uno zoccolo, formato con pietre recuperate dalla vecchia Capanna Cristallina e con materiale di scavo, diventa la terrazza a Sud.

Nel piano seminterrato in calcestruzzo armato sono organizzati l'ingresso principale con i locali annessi: i bagni, i locali tecnici e i depositi.

L'involucro degli spazi abitativi è costituito da elementi in legno prefabbricati ed assemblati sul posto.

La sporgenza del volume ligneo indica e protegge l'entrata principale. Al piano terra collegato con la terrazza i soggiorni si sviluppano attorno alla cucina e all'appartamento del custode, mentre le camere si trovano al piano superiore. Oltre agli spazi per il personale, sono previsti 120 posti letto ed altrettanti a sedere.

Le facciate sono in tavole di larice massiccio, le pareti interne degli spazi abitativi sono in lastre di abete mentre quelle delle zone di circolazione sono in rivestite in gesso.

Il piano seminterrato in calcestruzzo isola la parte abitativa dal terreno, mentre l'involucro leggero possiede un'elevata coibentazione termica ed una ridotta inerzia termica per un rapido riscaldamento, riducendo inoltre la mole dei trasporti e conseguentemente dei costi.

SITO DI PROGETTO

6

Il capitolo tratta delle motivazioni che hanno spinto ad ipotizzare come sito di progetto l'area dell'Alpe Campione ed all'interno dell'area stessa il perché della localizzazione nella parte terminale della "Costa Curnunec".

In secondo luogo si presenta lo studio dei rifugi presenti nel territorio lecchese. Questa analisi, indispensabile per acquisire una conoscenza esatta del luogo, è stata condotta attraverso un'indagine diretta ai gestori; i risultati sono stati sintetizzati per permettere di definire le strategie da impiegare nel rifugio.

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Tornando a considerare i comuni dai quali partono i principali sentieri di risalita (Esino Lario, Mandello del Lario, Abbazia Lariana, Piani dei Resinelli, Balisio, Pasturo, Primaluna e San Pietro), si può affermare che gli stessi conducono in maniera diretta alla traversata alta, un percorso di lungo sviluppo, vario ed altamente panoramico, che presenta difficoltà al limite tra l'escursionismo e l'alpinismo facile. Il percorso permette di salire entrambe le cime delle Grigne, rendendo di fatto questa cresta un elemento di raccordo tra tutte le escursioni, e quindi un luogo baricentrico dalla forte valenza attrattiva. Quest'itinerario fa da spartiacque tra il versante della catena montuosa che scende fino al ramo di Lecco del lago di Como e quello opposto che invece scende fino alla Valsassina, sviluppandosi di fatto lungo tutta la cresta del Gruppo delle Grigne.

Da un'analisi sulla localizzazione dei rifugi esistenti si è potuto notare come di fatto vi sia la presenza di un buon numero di strutture ricettive, per l'esattezza sei, posizionate in prossimità delle vette principali, o comunque poste ad una quota abbastanza elevata (quello posto ad una quota inferiore, il rifugio Antonietta al Pialleral, si trova ad un'altitudine di 1390 m s.l.m.). Così si ha un rifugio posto direttamente sulla vetta principale, il Brioschi, ad un quota di 2403 m s.l.m., che soddisfa quel bacino di utenza disposto ad affrontare un'escursione impegnativa, non tanto dal punto di vista tecnico e della difficoltà, quanto da quello del dispendio energetico e della resistenza fisica, per godere di quella visuale panoramica a 360 gradi che solo una cima può dare. Questo viene raggiunto partendo principalmente da Colle di Balisio e seguendo un sentiero che si inerpica sul versante orientale per una durata che può variare tra le 3,30 e le 4,30 ore in base alla preparazione atletica. Seguendo questo sentiero si incontra, dopo 1,45/2,15 ore, il rifugio Antonietta al Pialleral, che può quindi essere utilizzato come punto di appoggio e di pausa e rifocillamento in un'eventuale ascensione fino alla vetta. Di fatto si tratta di un rifugio più alla portata di un'utenza con poche pretese escursionistiche, in quanto lo stesso può essere raggiunto con veicoli a motore da una strada agropastorale, previo ottenimento di un permesso da parte del Comune di Pasturo; se pur in un contesto privilegiato, questo rifugio non gode di quelle viste mozzafiato che si possono apprezzare alle quote più elevate. Leggermente più a Nord del Brioschi, ma posizionato sul versante occidentale ad una quota di 1719 m s.l.m., troviamo il rifugio Bietti-Buzzi, anch'esso caratterizzato da magnifici scorci visivi apprezzabili anche dall'interno grazie alle grandi vetrate. Questo è raggiungibile da Esino Lario con una camminata di circa 3 ore.



Fig.6.1 Vista della traversata alta con, sullo sfondo, la cima della Grignetta



Fig.6.2 Vista della traversata alta molto simile a quella della Fig.1.1 ma in periodo invernale



Fig.6.3 Chiesa del Sacro Cuore di Balisio (882 m), partenza per raggiungere il Brioschi



Fig.6.4 Rifugio Bietti-Buzzi, raggiungibile da Esino Lario



Fig.6.5 Ferrata che dalla traversata alta, superando gli Scudi, conduce al Brioschi



Fig.6.6 Ferrata che collega la traversata alta con il sentiero 10, che conduce al Rosalba

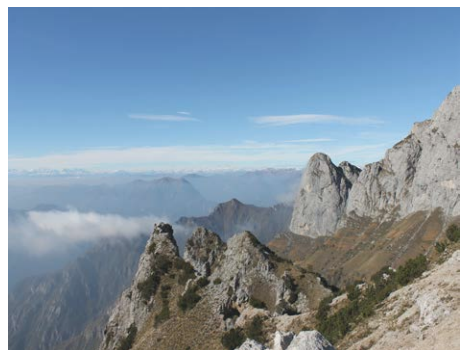


Fig.6.7 Vista del Buco di Grigna e delle catene Svizzere dalla traversata alta

Spostando lo sguardo sulla Grignetta, ci troviamo in una situazione differente rispetto al Grignone, in quanto per la sua conformazione, che vede la continua presenza di asperità e guglie, oltre che la friabilità del materiale roccioso, non propone alcun rifugio sulla sua cima, bensì un bivacco, il bivacco Ferrario, utilizzabile esclusivamente come punto di riparo e non come punto di ristoro. Questa funzione è stata demandata a due rifugi che si trovano in prossimità della vetta, uno posto più ad Ovest, il rifugio Rosalba, ad una quota di 1730 m s.l.m., l'altro posto più a Sud, il rifugio Carlo Porta, ad una quota di 1426 m s.l.m.

Per il restante sviluppo della catena montuosa, quindi sulle pendici che collegano le due vette, è vista la presenza di un'unica struttura ricettiva, sul versante che guarda verso il lago, il rifugio Elisa, posto ad una quota di 1515 m s.l.m.. Lo stesso dista però parecchio dalla traversata alta, e presuppone per il suo raggiungimento buone capacità escursionistiche e l'assenza di problemi di vertigini, in quanto vede la necessità di affrontare tratti in ferrata. Stesso discorso vale per le altre due strutture ricettive a servizio della traversata alta, il rifugio Brioschi, ad un estremo della stessa, ed il rifugio Rosalba, all'altro estremo, con un tempo di percorrenza nell'ordine delle 5/6 ore.

Di fatto il problema venuto alla luce da quest'analisi e che l'utenza che può usufruire della traversata alta sia costituita esclusivamente da escursionisti con capacità tecniche e preparazione elevata, nonostante di fatto la traversata abbia di per sé per tutto il suo sviluppo centrale una morfologia adatta anche a coloro i quali non abbiano queste caratteristiche. E' proprio su questo problema su cui si è voluto fare leva, in quanto si è avuto modo di capire quanto questo percorso esprima tutto il potenziale delle Grigne, permettendo con una sola rotazione di 360 gradi su se stessi di mettere a fuoco una miriade di meraviglie naturali: la maestosità del Grignone contrapposta alla spigolosa Grignetta, lo sviluppo lineare dell'abitato Valsassinese con il suo poderoso sfondo scenico costituito dalle Alpi Orobie e dalle Prealpi Lombarde, capitanate dal Resegone, il monte simbolo della città di Lecco, e sul versante opposto appagare l'occhio con la sensazione che provoca un'imponente montagna che si immerge in uno specchio d'acqua, il lago di Como, ad anticipare sull'orizzonte lo stagliarsi delle catene Svizzere. Decisamente questo spettacolo deve essere fruibile al maggior numero di persone possibili come confermato da chiunque ne abbia goduto almeno una volta. Muovendosi in questa direzione è stata ricercata una soluzione al problema: "Come raggiungere la traversata alta facilmente?".

L'unica maniera sarebbe quella di utilizzare un sentiero alternativo ai tre che partono rispettivamente dal rifugio Brioschi, dal rifugio Elisa e dal rifugio Rosalba, alternativa che già esiste: trattasi del sentiero 32. Questo sentiero si sviluppa in verticale partendo da

Colle di Balisio a quota 723 m s.l.m. e raggiungendo la Bocchetta di Val Mala a quota 1862 m s.l.m., localizzata proprio sulla traversata alta, prima degli Scudi, con un tempo di percorrenza nell'ordine delle 2,30/3 ore ed una difficoltà dal punto di vista tecnico elementare, in quanto non sono previsti né l'utilizzo di catene né tantomeno il passaggio su tratti esposti. Il punto di partenza è quindi dallo stesso dei percorsi che conducono al rifugio Antonietta al Pialleral ed al rifugio Brioschi, ma penetra poi nella Valle dei Crassi Lunghi, attraversando il torrente Pioverna e risalendo nel bosco fino all'Alpe Campione, un ecosistema suggestivo nel quale sparisce il bosco, che aveva caratterizzato la camminata fino a questo momento, lasciando spazio al manto erboso, ricco di endemismi floreali nella stagione estiva, con al centro un piccolo lago alpino che varia la sua portata nel corso dell'anno. Queste caratteristiche uniche hanno fatto di questa zona la meta della transumanza del bestiame nella stagione estiva, con le mandrie che da una zona avente caratteristiche simili, l'Alpe Cova, ma situata ad un'altitudine inferiore, passano ad una quota superiore riuscendo comunque a soddisfare il proprio fabbisogno alimentare. Nonostante il potenziale di questo sentiero, il 32, appaia altissimo, lo stesso risulta tutt'oggi poco battuto, quasi inutilizzato, come constatato in maniera diretta da più sopralluoghi, creando anche delle difficoltà ad interpretarne la direzione di sviluppo in alcuni tratti. Anche ricercando su internet informazioni sullo stesso si hanno solamente risultati parziali ed insufficienti. L'episodio che ha confermato questa impressione è avvenuto durante un sopralluogo all'area di progetto, quando, alla prima esperienza su quel percorso, dopo un'ora abbondante di camminata, il materializzarsi della sagoma del rifugio Antonietta al Pialleral è stata la conferma di aver sbagliato non solo sentiero, ma anche versante della Valle dei Crassi Lunghi rispetto a quello interessata. Presa coscienza della situazione, venutasi a creare appunto per la mancanza di informazione e la scarsa segnalazione del sentiero, solo la fortunata coincidenza di incrociare un escursionista proprio in questo frangente ha risolto la situazione. L'uomo, sulla settantina, si apprestava a raggiungere la vetta del Grignone per la sua 832 volta nella vita, e quindi avrebbe dovuto avere i requisiti per sapere in che punto fosse stata sbagliata la direzione, vista la sua familiarità con questa montagna. In realtà però, una decina di minuti di sterile discussione hanno confermato che non solo egli non sapeva nulla dell'esistenza del sentiero 32, ma non sapeva nemmeno cosa fosse l'Alpe Campione! Ciò ha fatto sorgere automatica la seconda domanda "Com'è possibile che un itinerario come questo, facilmente approcciabile ai più, che raggiunge un ecosistema affascinante come quello dell'Alpe Campione fino a sboccare sulla traversata alta con i suoi magnifici scorci visivi sia così poco preso in considerazione?"

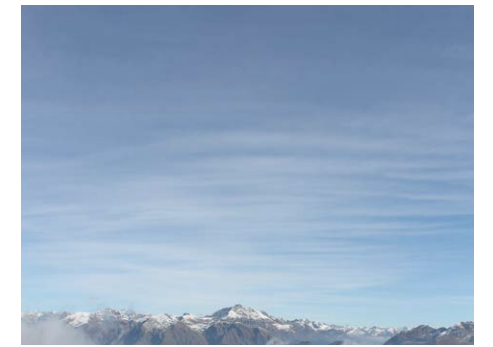


Fig.6.8 Bocchetta di Valmala, punto di arrivo del sentiero 32



Fig.6.9 Scatto nella Valle dei Crassi Lunghi, in una delle parti iniziali del sentiero 32



Fig.6.10 Claudio Ghezzi, 63 anni, recordman della Grigna con oltre 4000 salite in vetta.



Fig.6.11 Alberto Pirovano, presidente CAI Lecco e membro Commissione Lombarda Rifugi

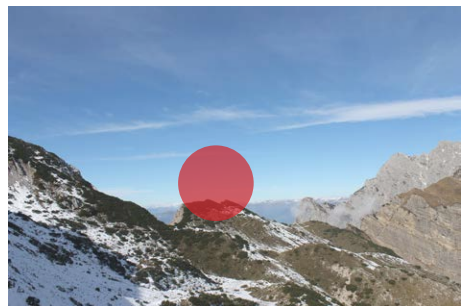


Fig.6.12 Prima ipotesi di localizzazione del rifugio, sulla traversata alta

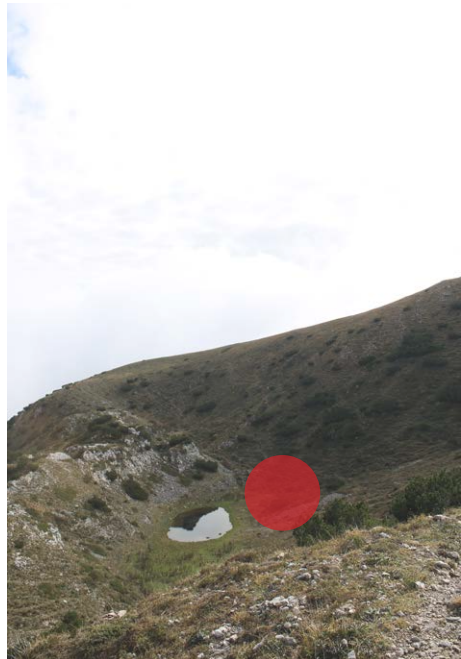


Fig.6.13 Seconda ipotesi di localizzazione del rifugio, nei pressi del lago alpino

La risposta è presumibilmente una sola: l'assenza di una struttura ricettiva al termine dell'itinerario, che comporta pertanto una camminata tra andata e ritorno nell'ordine delle 5/6 ore senza alcuna possibilità di ristoro né soggiorno. Pertanto quello che ad oggi è il problema di fondo della non conoscenza di questo sentiero, sarebbe dovuta diventare la soluzione, quindi la realizzazione di un rifugio in questa zona avrebbe permesso di risolvere contemporaneamente molteplici carenze. Oltre al discorso affrontato fino ad ora, sulla possibilità di raggiungere la traversata alta in maniera semplice, il rifugio sarebbe potuto diventare un punto di appoggio intermedio alla traversata alta stessa, riducendo il tempo di camminata dal Brioschi al Rosalba senza possibilità di ristoro dalle 5/6 ore attuali a 2,5/3 ore. Risolutivo è stato l'incontro con il presidente CAI Lecco, nonché vicepresidente della Commissione Lombarda Rifugi ed Opere Alpine, Alberto Pirovano, esperto ingegnere in impianti di produzione energetica. Questo è stato l'incipit del progetto, in quanto non solo egli si è trovato perfettamente d'accordo sul fatto che la mancanza di un rifugio nella zona individuata fosse un punto debole per lo sviluppo del turismo sulla catena delle Grigne (forse l'unico), ma ha ulteriormente rafforzato le precedenti argomentazioni con una ulteriore. È emerso il fatto che il versante lungo il quale si sarebbe dovuto realizzare il progetto si tratta dell'unico dell'intera Grignetta lungo il quale si ha la possibilità di praticare lo sport dello scialpinismo. Tutt'oggi il suo potenziale è però inespresso, appunto, per la mancanza di una struttura di supporto all'attività, problema che sarebbe però risolto con la realizzazione di una struttura ricettiva.

A questo punto restava il problema di individuare il punto esatto in cui andare a collocare il rifugio, di modo che potesse asservire alle sue multiple finalità di struttura a supporto dello scialpinismo, struttura di appoggio per la traversata alta e struttura di valorizzazione dell'ecosistema dell'Alpe Campione. L'ipotesi più immediata dal punto di vista logico era quella di andare a collocare l'edificio direttamente sulla traversata alta stessa o nell'immediata vicinanza, avendo in questo modo numerosi vantaggi dal punto di vista logistico, in quanto sarebbe stato appunto raggiungibile dal percorso nell'immediato, dal punto di vista panoramico, in quanto si avrebbe potuto godere direttamente delle splendide viste che il contesto propone, dal punto di vista energetico, in quanto si avrebbe avuto un'esposizione solare ottimale e la quasi totale assenza di ombre portate. Ma, come spesso accade nel processo di progettazione architettonica, ciò che funziona dal punto di vista pratico può non funzionare come concetto in sé; tutte le riflessioni possibili sono da affrontare dal momento in cui si pensa di realizzare un oggetto avente per forza di cose un impatto estetico e di permanenza nel tempo. È bene, pertanto, confrontarsi con rispetto con il contesto circostante. Ecco perché

è sembrata inopportuna l'idea di posizionare un nuovo rifugio direttamente sulla cresta di una catena montuosa sviluppatasi in ere geologiche, e che di per sé non rappresenta un punto di arrivo come potrebbe essere una cima, bensì un passaggio, un percorso di elevato valore naturalistico e culturale.

Anche l'opzione di andare a posizionare il rifugio nell'avvallamento al centro del quale si è venuto a creare il laghetto alpino è sembrata poco sensata; molteplici sarebbero stati i fattori negativi di cui si avrebbe dovuto tenere conto, tra i quali una quasi totale assenza di apporti solari, vista la presenza di ombre portate per la quasi totalità delle giornate, la mancanza di viste e scorci visuali sul panorama circostante, oltre che un eccessivo dislivello rispetto all'imbocco della traversata alta, di quasi 150 m, che avrebbe potuto scoraggiare l'escursionista intenzionato ad una breve tappa intermedia, o ancor peggio l'escursionista proveniente da Colle di Balisio.

La soluzione ideale è sembrata quindi l'area finale della "Costa Curnunec" (1800 m s.l.m.), la parte finale del declivio che partendo dalla cima della Grignetta, scende verso la Valsassina, di cui già si era parlato in precedenza; questo peraltro è quel versante della montagna su cui si ha la possibilità di praticare lo scialpinismo. I vantaggi quindi sarebbero stati molteplici. Innanzitutto, trattandosi appunto di una costa, ci si sarebbe trovati ad una quota rialzata rispetto al terreno circostante, col vantaggio di poter godere delle viste in direzioni delle Alpi Orobic e delle Prealpi Lombarde, quindi poter sfruttare gli scorci visuali e panoramici anche direttamente nella progettazione dell'edificio stesso, predisponendo vetrate con orientamenti e direzioni adeguate. Per il medesimo discorso si avrebbero avuti vantaggi dal punto di vista energetico, in quanto con i corretti accorgimenti architettonici si sarebbero potute creare condizioni di guadagni solari ottimali, vista la parziale assenza di ombre portate, ad eccezione di quelle generate dalla cima della Grignetta stessa (ma comunque inevitabili a meno di non posizionare la struttura sulla vetta stessa). Un altro vantaggio sarebbe stata la differenza di quota ridotta rispetto alla traversata alta, che si attesta attorno ai 50 m, di modo da non far sembrare il tragitto dal rifugio alla stessa, e viceversa, un dispendio energetico eccessivo, e da non scoraggiare quindi gli escursionisti. Come già detto, punto di forza di questa localizzazione, è il fatto che si trovi esattamente al termine dell'ipotetica traiettoria di discesa dei praticanti dello scialpinismo, rendendola quindi ideale come punto di sosta o ristoro durante l'attività, oltre che il fatto che si trovi quasi in corrispondenza del sentiero 32 di risalita da Colle di Balisio, rendendone immediato il raggiungimento. Da non dimenticare inoltre che, per motivi architettonici, è certamente più funzionale andare ad edificare su di una superficie se non orizzontale, quantomeno poco inclinata, condizione ovviamente



Fig.6.14 Terza ipotesi di localizzazione (quella più idonea), sulla "Costa Curnunec"

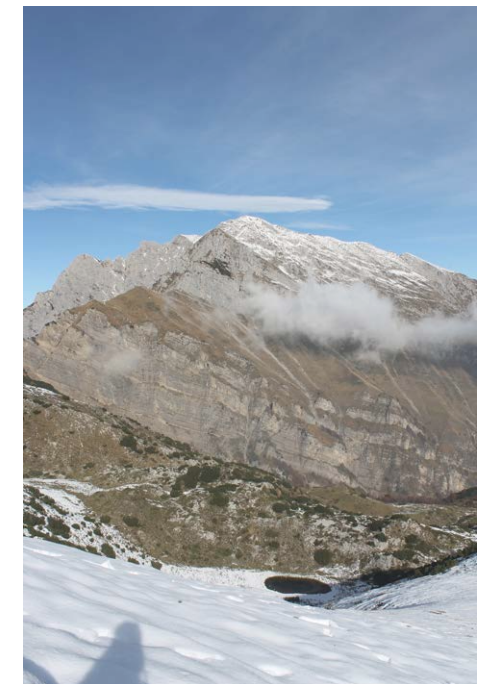


Fig.6.15 Vista in direzione della cima della Grigna dalla "Costa Curnunec"

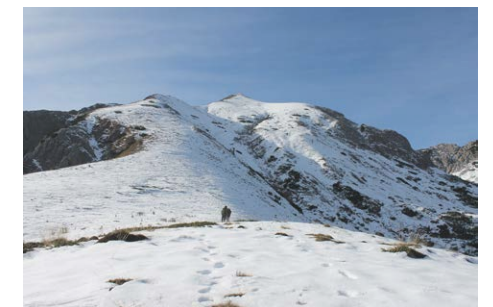


Fig.6.16 Vista in direzione della cima della Grignetta dalla "Costa Curnunec"

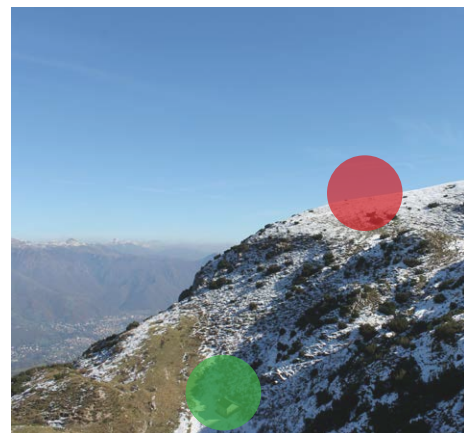


Fig.6.17 Vicinanza tra il sito di progetto (rosso) e la baita dell'Alpe Campione (verde)

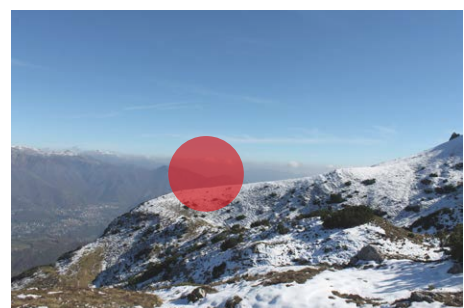
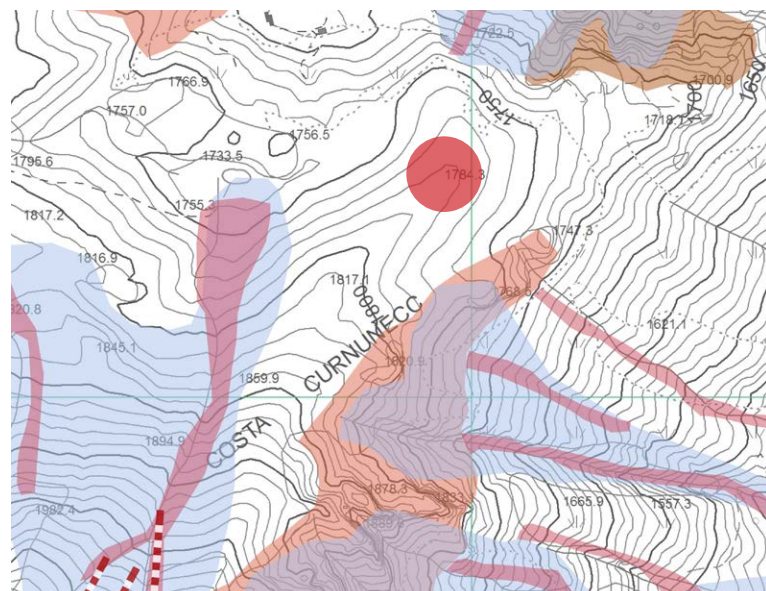


Fig.6.18 Quasi planarità dell'area di progetto, vantaggio della realizzazione costruttiva

difficilmente riscontrabile su di una montagna, ma che è invece garantita in quest'area, con una pendenza tra le più ridotte dell'intera Alpe Campione (se si esclude la zona del laghetto alpino, che comunque non era ottimale per i motivi già elencati). Da considerare anche che in questa posizione il rifugio si sarebbe trovato ad un passo dalla Malga dell'Alpe Campione, dove il bestiame proveniente dall'Alpe Cova per la pratica della transumanza sosta per la stagione estiva, rendendo possibile un eventuale sfruttamento di questa situazione (tutt'oggi inespressa) a tutto favore dell'intervento, con l'ipotesi di poter creare un punto vendita di formaggi tipici direttamente in sito. Appurato che dal punto di vista logistico e funzionale questo si trattasse del punto dell'area ideale, si è dovuto verificare che anche dal punto di vista geologico vi fosse compatibilità con la pratica edificatoria, dato che una struttura ad una quota così elevata e con pendenze importanti, per altro su una componente rocciosa deteriorabile come quella carsica che caratterizza la Grignetta, sarebbe potuto esistere il rischio di incorrere in frane/scivolamenti della roccia o valanghe. Da una lettura delle tavole della componente geologica del Comune di Pasturo si è potuto però appurare come in questa localizzazione questi problemi non sussistessero, in quanto l'area in oggetto non è ne già stata interessata da valanghe avvenute, ne è catalogata come area a probabile localizzazione di valanga potenziale. Allo stesso modo l'area non è classificata ne come zona caratterizzata da movimenti franosi attivi o quiescenti, ne tantomeno come zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana. Il substrato non è una superficie franappoggio, condizione di potenziale innesco di scivolamenti – colato in detrito del terreno H1 (pericolosità molto bassa).

- Corpo di frana per crollo
- Corpo di frana per colamento
- Corpo di frana quiescente
- Rocce particolarmente degradate
- Area interessata da valanghe
- Conoide detritico attivo

Fig.6.19 Tavola riassuntiva delle tavole della componente geologica del comune di Pasturo



6.2 INDAGINE SUI RIFUGI DEL LECCHESE

Tra le analisi indispensabili per acquisire una conoscenza esatta del luogo, non si può prescindere dallo studio dei rifugi presenti nella zona. Questo processo si rivela importante per diverse ragioni, innanzitutto perché è necessario capire ad oggi che tipo di servizi sono offerti nella provincia lecchese dalle strutture in quota, come questi si differenzino a seconda di locazione e quota, quanto l'accessibilità veicolare influisca sull'offerta. In secondo luogo è interessante conoscere quali siano le strategie seguite per provvedere al soddisfacimento dei fabbisogni termici, elettrici e idrici in strutture di montagna, il tutto con il fine di capire aspetti positivi e criticità delle strategie stesse.

Innanzitutto è stata definita l'area di indagine, identificabile con le principali montagne che si affacciano sul Lario: Resegone, Grigne, Piani d'Artavaggio, Piani di Bobbio, Val Biandino, Giumello, Legnone, Moregallo, Stazzona.

In queste zone sono stati individuati i rifugi presenti; sono state catalogate 38 strutture, per ciascuna delle quali sono stati esplicitati quota, posti letto offerti e posti per il ristoro presenti, informazioni utili per avere una prima idea di accessibilità e bacino di utenza. Per ottenere informazioni più specifiche per ogni edificio, è stato deciso di condurre una breve intervista telefonica ai gestori. Brevi e mirate domande, finalizzate a esporre con chiarezza i punti che necessitavano risposta, sono state formulate a 24 delle strutture sopra elencate, avendo cura di selezionare per intero l'offerta di rifugi sulle Grigne, che è l'area di progetto, e quindi un campione rappresentativo su ciascuna delle altre località.

Innanzitutto sono state fatte delle domande preliminari per inquadrare meglio il tipo di rifugio: altimetria di localizzazione, periodo di apertura e modalità di accesso per il gestore.

Con la prima domanda si è potuto eseguire un confronto sulla distribuzione altimetrica delle strutture analizzate: tutte comprese tra i 900 e i 2400 m s.l.m., la quota spartiacque per servizi offerti, diverse modalità di soddisfacimento dei fabbisogni e accessibilità può essere presa intorno ai 1600 m s.l.m..

Relativamente al periodo di apertura, la maggior parte dei rifugi esercita continuativamente ogni giorno tra Giugno e Settembre, mentre riserva l'apertura invernale ai soli week-end. Solo alcune strutture rimangono aperte ogni giorno dell'anno e sono o quelle direttamente raggiungibili da strada anche dai clienti (Pian dei Resinelli, Giumello), o quelle poste in località con impianti sciistici (Piani di Bobbio, Piani di Artavaggio).

L'accessibilità mostra la prevalenza di possibilità per il gestore di raggiungere il luogo di lavoro direttamente con auto fuoristrada, modalità che semplifica le operazioni di approvvigionamento; nelle località sciistiche sono presenti funivie, ma si constata una



Fig.6.20 Area di indagine con evidenziati i 38 rifugi suddivisi per località

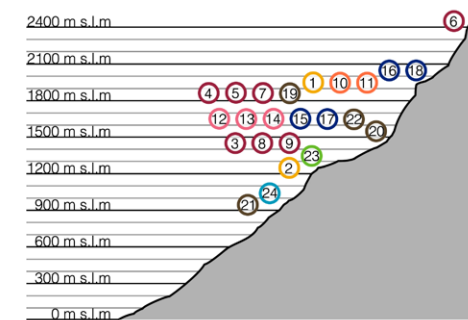


Fig.6.21 Distribuzione altimetrica dei rifugi analizzati



Fig.6.22 Periodi di apertura dei rifugi oggetto dell'indagine

ESCLUSIVAMENTE A PIEDI



AUSILIO DI FUNIVIA



AUSILIO DI AUTO



Fig.6.23 Modalità di accesso ai rifugi per i gestori

percentuale rilevante di rifugi in cui il gestore può raggiungere il rifugio solo a piedi, come nel caso del sito di progetto. Tali rifugi sono la maggior parte di quelli presenti sulle Grigne, sul Pizzo dei Tre Signori e sul Resegone.

Le domande successive sono state mirate a conoscere nello specifico di ogni rifugio le modalità con cui si ottengono energia elettrica, energia termica per il riscaldamento, acqua e acqua calda sanitaria.

I risultati sono stati riassunti in tabella in modo da poter eseguire dei confronti e delle distinzioni.

RIFUGIO	ENERGIA ELETTRICA			RISCALDAMENTO		APPROVVIGIONAMENTO IDRICO			ACQUA CALDA SANITARIA			
	Allacciamento alla rete	Fotovoltaico	Gruppo elettrogeno	Caldaia	Stufa/camino	Allacciamento alla rete	Sorgente	Acqua piovana	Caldaia	Termocucina	Boiler a gas	Solare termico
1 AZZONI		✓			✓			✓			✓	✓
2 ALPINISTI MONZESI		✓	✓		✓		✓	✓			✓	✓
3 ANTONIETTA AL PIALERAL		✓		✓	✓	✓			✓			
4 BETTI BUZZI		✓	✓		✓			✓			✓	
5 BOGANI		✓			✓			✓			✓	
6 BRIOSCHI		✓			✓			✓				✓
7 ROSALBA		✓			✓			✓			✓	
8 SOLDANELLA	✓			✓	✓	✓	✓		✓			
9 CARLO PORTA	✓			✓	✓		✓		✓			
10 CAZZANIGA MERLINI	✓			✓	✓			✓	✓			
11 NICOLA	✓			✓	✓			✓	✓			
12 BUZZONI		✓	✓		✓		✓			✓		
13 RATTI CASSIN	✓			✓				✓	✓			
14 SORA CASARI	✓				✓	✓			✓			✓
15 CASERA VECCHIA DI VARRONE		✓	✓		✓		✓			✓		
16 GRASSI		✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓	
17 MADONNA DELLA NEVE	✓				✓		✓		✓			
18 SANTA RITA	✓				✓		✓				✓	
19 GRIERA		✓	✓	✓	✓		✓		✓			
20 SHAMBALA	✓		✓	✓	✓	✓						✓
21 SAN GRATO	✓			✓	✓	✓			✓			
22 SCOGGIONI		✓	✓		✓		✓			✓		
23 MOTTAFOIADA		✓	✓		✓	✓					✓	
24 CONSIGLIERE MARISA	✓			✓	✓		✓		✓			

Tab.6.1 Tabella riassuntiva dei risultati dell'indagine sui rifugi

Per quanto riguarda l'energia elettrica, un terzo dei rifugi censiti hanno l'allacciamento diretto alla rete nazionale, per cui non hanno problemi di autoproduzione in loco; sono di solito i rifugi posti su strade o in località abitate (Giumello, Pian dei Resinelli) o nelle zone sciistiche (Piani di Bobbio, Piani di Artavaggio). Un terzo dei rifugi, invece, ha produzione dell'energia elettrica a mezzo di pannelli fotovoltaici e gruppo elettrogeno di supporto a idrocarburi (con prevalenza di quelli a benzina su quelli diesel). Il restante terzo del totale è formato dai rifugi aventi solo fotovoltaico per la produzione e, in un numero minore di rifugi, la compresenza di allacciamento alla rete e gruppo elettrogeno di supporto.

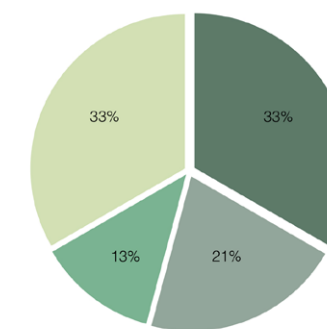
Per quanto riguarda il fabbisogno termico, il 54% degli intervistati ha affermato di avere solo stufe o camini alimentati da biomasse. Vista la rilevanza di tale percentuale, è sembrato doveroso approfondire questo tema: è emerso che la maggior parte dei rifugisti provvede alla raccolta della legna nelle vicinanze della struttura, circa il 30% invece non ha vicinanza di boschi (sono soprattutto i rifugi alle quote maggiori) e quindi provvedono al trasporto legna a mezzo di elicottero; solo il 17% usa il pellet come biomassa a posto della legna. Oltre ai rifugi che usano solo biomassa per il riscaldamento, ce ne sono alcuni (17%) che hanno caldaia e altri (29%) che dispongono in contemporanea di stufe o camini e impianto alimentato a caldaia. Analizzando lo specifico delle caldaie, la metà sono alimentate a biomassa, dimostrando ancora l'importanza del legname e dei suoi derivati per il riscaldamento in alta quota; il 29% dei rifugi (tutti raggiungibili da strade carrabili) hanno impianti a GPL, mentre il 21% ha caldaie alimentate a diesel, le più inquinanti.

Relativamente all'approvvigionamento idrico, si ha avuto una certa differenziazione. Il 43% delle strutture ha l'allacciamento alla rete degli acquedotti, il 29% utilizza sorgenti poste nelle vicinanze del rifugio, mentre la minoranza, il 9% ricorre al metodo più complesso, ovvero alla raccolta delle acque meteoriche. Quest'ultima modalità viene eseguita in particolare nelle località a quote maggiori o dove il substrato carsico annulla la presenza di sorgenti. Il 19% dei rifugi utilizza una combinazione delle diverse tipologie di approvvigionamento elencate.

Relativamente alla produzione di acqua calda sanitaria, per la maggior parte dei casi (37%) questa avviene mediante caldaia; altro mezzo predominante (25%) è il boiler elettrico, mentre il 17% utilizza termocucina. Nella minor parte dei rifugi (8%) si riesce a coprire il fabbisogno di acqua calda sanitaria con soli pannelli solari termici, mentre si hanno in diversi casi combinazioni di strategie di produzione.

In conclusione si può affermare che le modalità con cui sono soddisfatti i fabbisogni all'interno dei rifugi del territorio lecchese sono quelle tipiche della tradizione. Non essendo presenti edifici

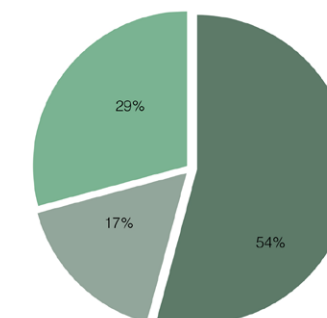
ENERGIA ELETTRICA



- Allacciamento alla rete
- Fotovoltaico
- Rete-gruppo elettrogeno
- Fotovoltaico - gruppo elettrogeno

Fig.6.24 Ripartizione sulle modalità di approvvigionamento dell'energia elettrica

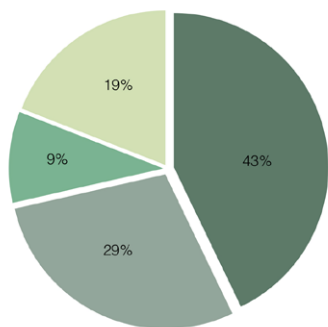
RISCALDAMENTO



- Stufa/camino
- Caldaia
- Entrambe

Fig.6.25 Ripartizione sulle modalità di soddisfacimento del fabbisogno per il riscaldamento

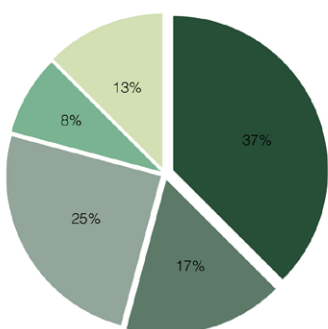
APPROVVIGIONAMENTO IDRICO



- Allacciamento alla rete
- Sorgente
- Raccolta
- Più fonti

Fig.6.26 Ripartizione sulle modalità di approvvigionamento idrico

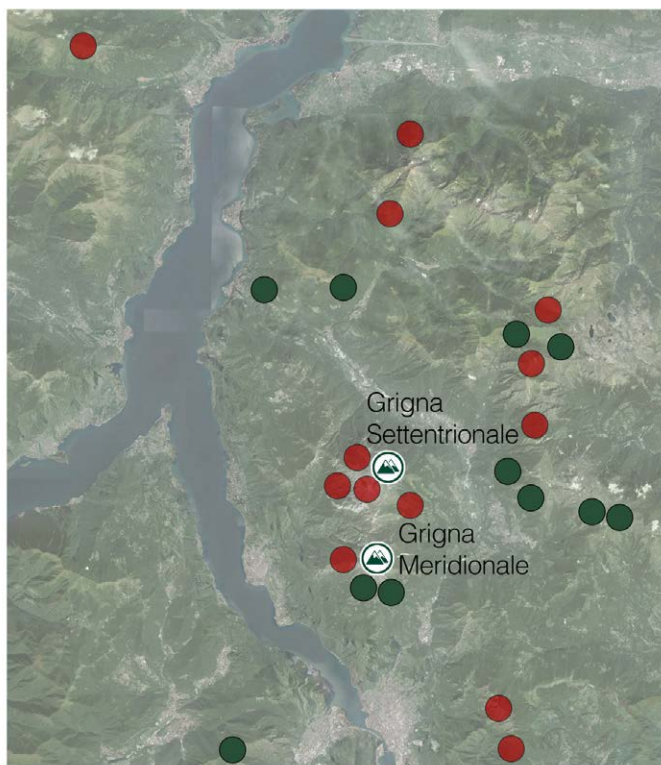
ACQUA CALDA SANITARIA



- Caldaia
- Termocucina
- Boiler

Fig.6.27 Ripartizione sulle modalità produzione di acqua calda sanitaria

di nuova costruzione, non esistono esempi di rifugi in zona in cui le modalità di produzione siano in tutti i campi le più innovative, efficienti e sostenibili dal punto di vista ambientale. Si riscontra, piuttosto, degli interventi di sostituzione di alcuni componenti, come il diffondersi di caldaie a biomassa. Invece ormai risulta una prassi nei rifugi isolati l'installazione di pannelli fotovoltaici per la produzione elettrica, lasciando a generatori ausiliari tradizionali il solo compito di supporto in casi eccezionali.



- Allacciamento alla rete
- Autoproduzione

Fig.6.28 Ripartizione sulle modalità produzione dell'energia elettrica

PROGETTO ARCHITETTONICO

7

Il capitolo descrive il processo che ha portato alla determinazione dell'architettura del rifugio.

Si descrivono gli obiettivi generali della progettazione, diretta derivazione delle analisi preliminari effettuate; si definiscono le strategie utili al raggiungimento di tali obiettivi e quindi le azioni per mezzo delle quali si attuano tali strategie.

Viene percorso in modo sistematico il processo costitutivo delle forme riportando le analisi e gli strumenti utilizzati per prendere le decisioni in merito.

Si spiega, quindi, la distribuzione delle funzioni all'interno dell'edificio fornendo dettagli della conformazione planimetrica del rifugio.

Vengono analizzati in maniera singola i prospetti evidenziando come il processo di progettazione si sia svolto di pari passo sul piano planimetrico, in alzato e come visione tridimensionale.

Si descrive la metodologia con cui sono state svolte le analisi preliminari alla scelta dei materiali da utilizzare per la progettazione e si riassumono le caratteristiche di quelli selezionati.

Si analizza infine la progettazione degli spazi esterni dell'edificio, luoghi fondamentali per assolvere funzioni indispensabili.



7.1 OBIETTIVI, STRATEGIE, AZIONI

Necessaria premessa alla progettazione del manufatto architettonico è stata la definizione precisa delle funzioni da espletare attraverso l'intervento e la determinazione dei fruitori. Seguendo l'iter progettuale, a partire dalle analisi preliminari si sono definiti gli obiettivi generali che si intendono soddisfare con il progetto:

- Sviluppo dell'area Alpe Campione e Gruppo delle Grigne;
- Valorizzazione del paesaggio, nell'accezione completa;

Fig.7.1 Sviluppo di vari tipi di socialità in un ambiente montano. L'obiettivo dello sviluppo dell'area si muove attraverso tre strategie, ovvero lo sviluppo delle offerte turistiche, la creazione di nuove prospettive economiche e la pubblicizzazione di questa particolare area montana del territorio lecchese. Tra le azioni con cui si intende tradurre in pratica queste strategie innanzitutto prevale la creazione di un nuovo polo ricettivo e di ristorazione, atto a offrire i prodotti locali, soprattutto di natura gastronomica, non solo attraverso la scelta di menù specifici, ma anche attraverso uno spazio vendita ricavato nell'edificio. L'indotto economico di una nuova struttura di questo genere può essere tanto maggiore quanto più è stretta l'interazione con la rete di produttori locali e agriturismi del circondario; proprio attraverso questi tipi di legami sarebbe possibile recuperare l'antica tradizione della transumanza di bestiame nell'Alpe Campione, oggi scomoda per la mancanza di un punto di appoggio. L'impulso turistico ed economico sono da accompagnare con la promozione dell'area: nuove segnalazione dei sentieri e segnalazione di punti di interesse naturalistici (già presente, con successo, sul versante Nord del Grignone), oltre all'organizzazione all'interno del rifugio di una zona adibita a far conoscere i caratteri peculiari della zona (come fanno gran parte dei rifugi di moderna concezione). L'obiettivo della valorizzazione del paesaggio fa perno su tre strategie: la valorizzazione del patrimonio naturale, la mitigazione dell'intervento, la valorizzazione di viste e scorci panoramici. Per quanto il primo punto, flora e fauna della zona, preziosissime risorse, sono da salvaguardare; per fare questo il nuovo rifugio può essere visto sia come punto di appoggio per chi svolge questo compito, sia come punto di divulgazione al pubblico del patrimonio naturale della zona, in modo tale che la sensibilizzazione dei fruitori della montagna sia essa stessa opera di salvaguardia. A tutto vantaggio della conoscenza floristica, si prevede la creazione di orti botanici con essenze autoctone nelle vicinanze dell'edificio in modo da creare ulteriore elemento di interesse per il fruitore, ma senza alterare il contesto. La tematica della mitigazione ambientale è affrontata in ambito di progettazione dell'edificio nella misura



Fig.7.1 Obiettivo di sviluppo dell'area, strategie ed azioni per attuarlo



Fig.7.2 Obiettivo di valorizzazione del paesaggio, strategie ed azioni per attuarlo



Fig.7.3 Obiettivo di sviluppo di tematiche sociali, strategie ed azioni per attuarlo



Fig.7.4 Locandina degli eventi artistici/musicali al rifugio Brioschi previsti nell'estate 2016

in cui si rende l'edificio autosufficiente; questo significa che il rifugio non sono soddisfatti i propri fabbisogni, ma anche riesce a minimizzare il suo impatto sull'ambiente. Importanti diventano anche l'impiego di materiali a basso impatto ambientale, oltre che alla impostazione di una strategia costruttiva che permetta, una volta terminata la vita utile dell'opera, il ripristino immediato delle condizioni naturali. La valorizzazione delle viste vale in modo duplice: sia dall'edificio verso gli scorci della valle e dei monti ad Est, sia dalle altre zone delle Grigne verso l'Alpe Campione, si intende quindi armonizzare le forme dell'edificio con il pendio di Costa Curnunec.

L'obiettivo dello sviluppo di forme di socialità in un ambiente isolato come quello di alta montagna sembra paradossale. In realtà già la creazione di un nuovo polo produce di per sé il rafforzamento del legame persone- territorio e sviluppa la convivialità. Le azioni che si intendono mettere in atto per rendere effettive queste strategie sono la creazione di una sala ristoro comune e di camerate comuni per gli avventori, come di prassi nei rifugi alpini. Oltre a questi spazi di socializzazione consolidati, si prevede l'istituzione di uno spazio apposito dove occasionalmente si possono tenere incontri, organizzati dal gestore, con personalità dell'ambiente di montagna, oltre che con musicisti o studiosi di usanze locali. Questa è una tendenza emergente negli ultimi anni e particolarmente apprezzata da un pubblico settoriale che si reca appositamente in location esclusive come possono essere i rifugi alpini. Altro modo per sviluppare l'interazione sociale è l'organizzazione di attività per gruppi organizzati, ad esempio campi estivi, raduni, ecc.. Vista la vocazione dell'area, particolarmente indicata è l'istituzione, attraverso il rifugio, di un polo sportivo in quota; si prevede la possibilità di fare dell'edificio il punto di partenza per comitive guidate per escursioni/nordic walking/trail running a difficoltà crescenti, oltre che di preparazione all'arrampicata e di preparazione alle vie ferrate, riservando alla stagione invernale la possibilità di istituire corsi di avvicinamento allo scialpinismo.

In base a queste considerazioni si viene a determinare una varietà di utenze potenziali; tenere in conto delle diverse necessità di ogni gruppo di fruitori è fondamentale nella fase preliminare della progettazione architettonica per fare in modo che l'edificio abbia spazi adatti al soddisfacimento di tali bisogni. Si prevede quindi la presenza di utenti esperti, sia nella stagione invernale (scialpinismo sul versante Nord della Grignetta), sia in quella estiva (Traversata Alta, sentiero per il rifugio Elisa); per questi è da prevedere un punto di appoggio anche nei giorni di chiusura del rifugio. L'area è tuttavia facilmente raggiungibile anche da utenti inesperti, provenienti da Balisio o dal Pian dei Resinelli, che possono godere

dell'alpe oltre che di un panoramico anello che percorre una parte facile della traversata alta; sono soprattutto questi utenti che, visti i tempi di discesa a valle piuttosto lunghi per persone inesperte, possono avere necessità di permanenza in loco per la notte. Le stesse zone possono essere frequentate anche da gruppi organizzati, come esplicitato in precedenza, oltre che da squadre di soccorso alpino che possono esercitarsi in alpe sia con ostacoli naturali, sia con gli spazi aggiunti dall'intervento architettonico, fra cui una piazzola per l'elisoccorso. Dalla considerazione sugli obiettivi che il progetto intende porsi, le strategie con cui si ambisce a raggiungere gli obiettivi e le azioni per mezzo delle quali si dà attuazione alle strategie, si possono ricavare gli spazi funzionali necessari:

- spazi per la ristorazione interni al rifugio;
- spazi esterni per il consumo di vivande proprie e per relax;
- spazi per la permanenza notturna nel rifugio;
- appartamento separato per il gestore del rifugio;
- locale invernale sempre accessibile anche a rifugio chiuso;
- sala espositiva dei caratteri peculiari delle Grigne;
- sala didattica per corsi di pratiche sportive/soccorso/divulgazioni;
- punto vendita di prodotti tipici locali;
- zona attrezzata per l'esercitazione pratica di arrampicata;
- zona attrezzata per l'esercitazione pratica di via ferrata;
- area esterna con giardino botanico di specie autoctone;
- area esterna per l'atterraggio di elicotteri.

7.2 DETERMINAZIONE DEL VOLUME

Dopo lo studio della morfologia del sito e l'attenta scelta della localizzazione migliore per l'intervento (il cui processo è stato spiegato nel capitolo 6), è stato possibile prendere delle scelte in merito alla forma del manufatto.

Una volta stabilito che l'intervento avrebbe preso posto su Costa Curnunec, è stato deciso l'orientamento dell'asse prevalente dell'edificio. Questa fase ha visto come risultato finale la sintesi di considerazioni svolte su due piani: il primo attento agli esiti paesaggistici, il secondo attento ad aspetti di natura climatica (apporti solari, ombreggiamenti, depositi nevosi). L'esito è stato quello di disporre l'asse principale dell'edificio in corrispondenza di un angolo orario pari a 37,5° rispetto al Nord.

Dal punto di vista paesaggistico, questa disposizione segue l'andamento della costa su cui l'edificio si adagia; così facendo si crea un volume che è percepibile dai percorsi escursionistici della zona, essendo posto proprio sulla cresta della costa, ma allo stesso tempo non crea un fattore di disturbo della percezione del panorama di quel particolare profilo della



Fig.7.5 Disposizione dell'asse principale dell'edificio a 37,5° orari rispetto al Nord

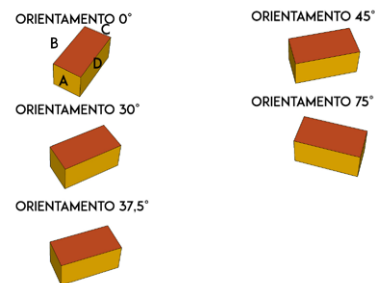


Fig.7.6 Angoli di diverso orientamento su cui sono state eseguite le simulazioni software

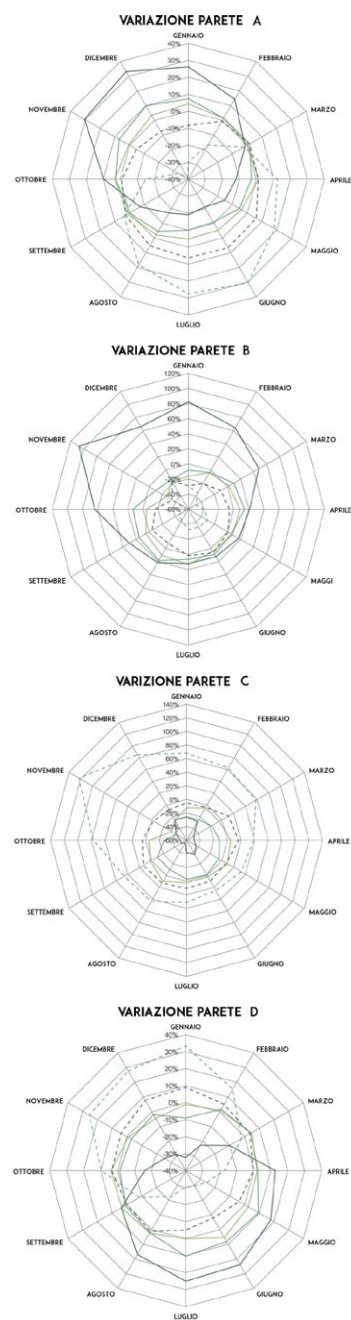


Fig.7.7 Risposta sull'arco della radiazione incidente su ogni lato al variare dell'orientamento

Grigna Meridionale in quanto si armonizza con l'andamento naturale della montagna.

Le considerazioni di natura climatica sono state fondamentali e necessarie già da queste fasi preliminari della progettazione per poter ottenere un edificio autosufficiente anche dal punto di vista energetico. Si è dimostrato indispensabile, quindi, avere un approccio sistematico relativamente ai diversi orientamenti possibili dell'edificio; è stata considerata una forma a parallelepipedo con una stratigrafia standard avente trasmittanza termica nota. Considerata l'esatta collocazione geografica dell'intervento, si sono confrontati diversi parametri di controllo (radiazione incidente sulle superfici, temperatura interna) al variare dell'orientamento (direzione Nord-Sud e, nell'ordine, procedendo da Nord in senso orario: 30°, 37,5°, 45°, 75°).

Stabilito l'orientamento dell'edificio, la determinazione del volume ha visto ancora considerazioni sia di carattere architettonico, sia di carattere energetico. Innanzitutto è stato possibile supporre delle dimensioni di massima per l'edificio, ovvero 30 m di lunghezza, 10 m di larghezza e 12 m di altezza per uno sviluppo di 900 m² su tre piani. Per quanto imprecise e riviste e modificate nel corso della progettazione, queste dimensioni derivano dallo studio degli spazi minimi necessari ai fini dell'intervento. Le metrature sono state pensate in questo primo momento di progettazione soprattutto guardando ai casi analoghi presentati nel capitolo 5, ridefinendole in base alle esigenze del caso specifico, ovvero la necessità di fornire 30 posti letto e 70 posti per la ristorazione. La scelta di non superare i tre piani fuori terra, come è stato presentato, è vantaggiosa dal punto di vista energetico. Una minore altezza è anche di minor disturbo ai fini paesaggistici; inoltre avere altezze maggiori rappresenterebbe un dispendio di risorse tecniche e tecnologiche non necessario. Dal momento che l'area non è particolarmente impervia, non serve configurarsi a torre come nel caso di alcuni rifugi alpini che devono rappresentare un "totem" ben visibile, essendo essi una meta indispensabile per la sopravvivenza in un ambiente particolarmente ostile. A questo punto si stabilisce di sollevare l'intero edificio al di sopra del terreno: non ci saranno parti del volume ricavate da scavi nel terreno. Questa scelta è stata presa in prima istanza considerando le enormi difficoltà tecniche che si incontrerebbero nel trasporto e nell'utilizzo delle macchine escavatrici in quota. In secondo luogo, si reputa imprescindibile tutelare la risorsa naturale che è la montagna stessa: l'edificio fin da queste prime fasi viene pensato come un corpo che si dispone sul suolo di Costa Curnunec, ancorandosi ad esso, ma che una volta terminata la sua vita utile possa essere smontato in tutte le sue parti e riportato via dal sito, in modo da

ripristinare in toto le condizioni naturali pre-edificazione.

Un primo taglio sul parallelepipedo rappresentativo della configurazione iniziale viene effettuato sullo spigolo copertura-prospetto Sud-Ovest con inclinazione 30° rispetto all'orizzontale. Questa superficie si rivela ottimale per il posizionamento di pannelli fotovoltaici e solari. La collocazione di questa superficie è stata studiata in modo tale che, visto da Sud-Est, il profilo dell'edificio sia sulla stessa linea degli Scudi della Grigna Settentrionale che fanno da sfondo.

Un secondo taglio è stato eseguito in direzione longitudinale sul prospetto Sud-Est con inclinazione di 20° dalla verticale a partire dalla base. Questa superficie ottimizza in particolare modo gli apporti solari durante tutto l'anno, sarà pertanto la superficie privilegiata per il posizionamento delle aperture trasparenti. L'angolo di taglio è stato scelto ancora una volta impostando un controllo relativamente a radiazione incidente e temperatura interna ottenute al variare dell'angolo di taglio (rispetto all'orizzontale: 50°, 70°, 90°, 110°). Questo studio ha evidenziato che una superficie inclinata di 50° incrementa gli apporti del 14% rispetto alla parete verticale, mentre quella di 70° ha un incremento dell'11%; si è scelta questa seconda misura perché l'angolo di 50° riduce eccessivamente il volume utilizzabile internamente e alcune tecnologie di parete non sono applicabili per tali angoli.

Altro taglio viene condotto sullo spigolo tra il prospetto Sud-Est e il prospetto Sud-Ovest, con doppia inclinazione: 38° sull'orizzontale rispetto al prospetto Sud-Ovest e 25° rispetto alla verticale. In questo modo si ottiene la superficie che in assoluto massimizza gli apporti solari nella stagione invernale; questa particolarità consente di avere all'interno un ambiente che si può distinguere dal resto del volume sia in virtù di questo dettaglio architettonico, sia per un più rapido riscaldamento invernale, caratteristiche che nell'insieme spingono per la collocazione in questa zona di una funzione particolare.

La forma ottenuta viene ulteriormente raffinata inclinando la copertura in modo tale che da una vista longitudinale sia parallela al terreno degradante verso valle; questo andamento asseconda anche in linea di massima il profilo del Grignone visto da Sud-Est. Il prospetto Nord-Est a sua volta viene inclinato rispetto alla verticale in modo da essere perpendicolare alla copertura inclinata. Con questi espedienti si vuole conferire all'edificio un carattere di slancio verso la Valsassina su cui si affaccia.

A questo punto si attuano delle alterazioni della forma finora ottenuta in modo da consentire delle scelte funzionali distinte: si vuole creare un corpo principale, le cui dimensioni sono la quota parte maggiore del totale del volume, in cui allocare i servizi base del rifugio (ristorazione, zona notte, bivacco, locali

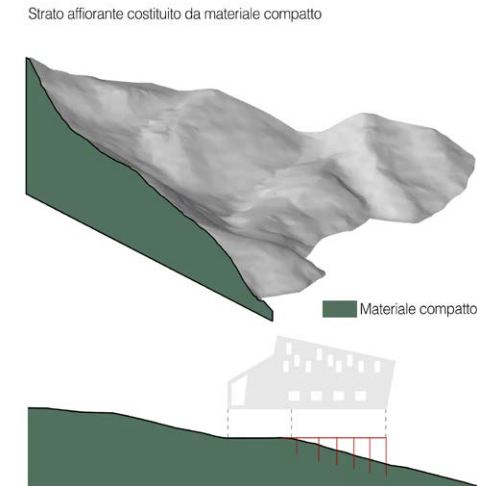


Fig.7.8 Strategia di sospensione sul suolo naturale composto da materiale compatto

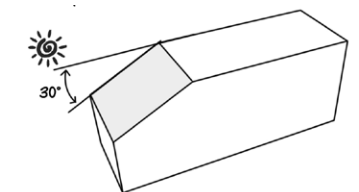


Fig.7.9 Primo taglio di 30° per il posizionamento di moduli fotovoltaici

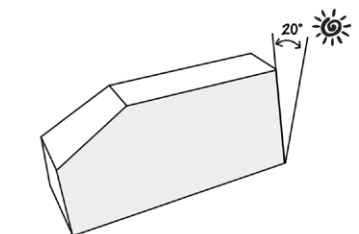


Fig.7.10 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare

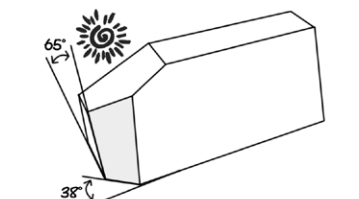


Fig.7.11 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare

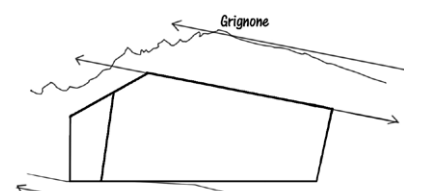


Fig.7.12 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare

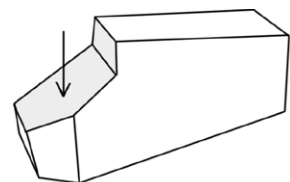


Fig. 7.13 Abbassamento della copertura là dove si prevede di creare sala espositiva/corsi

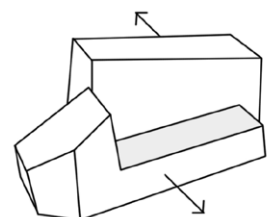


Fig. 7.14 Traslazione dei volumi lungo l'asse Sue-Est - Nord- Ovest

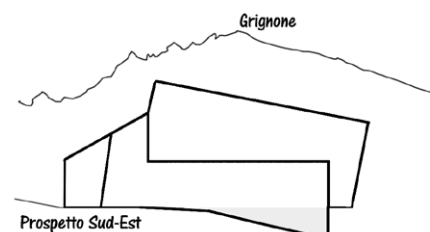


Fig. 7.15 Formazione dell'oggetto sul fronte Nord-Est



Fig. 7.16 Inserimento 3D dell'edificio nell'ambiente naturale

impianti) e un corpo secondario, più piccolo, dove collocare gli spazi peculiarità di questo rifugio, ovvero zona espositiva e sala corsi. Per questo secondo corpo, viste le funzioni particolari, si sceglie la parte del volume posta a Sud, ovvero quella comprendente il taglio a doppia inclinazione. Visto che per le destinazioni appena dette non è necessario avere lo sviluppo di due piani, la copertura viene abbassata. Per caratterizzare in modo maggiore la divisione dei blocchi principale e secondario che così si sono formati, si effettua una traslazione dei volumi lungo l'asse Sud-Est - Nord-Ovest. Si fa in modo che i due corpi restino comunque comunicanti e non separati in modo completo. Inoltre l'estrusione viene compiuta a partire dal primo piano, in modo tale da lasciare una porzione orizzontale in evidenza sul prospetto Sud-Est in corrispondenza del piano terra. Da un lato questo espediente valorizza dall'esterno la differenziazione funzionale interna del blocco principale (ristorazione al piano terra, zona notte sopra), dall'altro crea una nuova superficie, ovvero la copertura della fascia alta un piano. Questa viene inclinata di 20° diventando quindi un piano ottimale per accogliere moduli fotovoltaici. In ultimo si agisce sul volume con il fine di raffinare le linee guida seguite finora per l'elaborazione delle forme: si genera un oggetto sul fronte Nord-Est in modo tale che il piano terra e il piano primo risultino effettivamente sospesi sulla valle sottostante acuitizzando il senso di slancio verso di essa.

Si interrompe la continuità tra piano terra e il piano di attacco a terra in modo da distinguerne le funzioni e con l'intento di valorizzare la scelta tecnologica che rende l'edificio staccato dal terreno.

Il volume ottenuto è stato valutato ad ogni modifica anche attraverso schematici disegni in 3D utili a valutare soprattutto l'inserimento dell'edificio nell'ambiente naturale, anch'esso riportato per interno in tre dimensioni.

7.3 DISTRIBUZIONE PLANIMETRICA

Prima di stabilire come distribuire le funzioni all'interno dell'edificio, si è reso necessario riflettere sul punto di accesso al rifugio. È sembrato corretto minimizzare il tracciamento di sentieri nell'intorno del rifugio, in primo luogo perché la morfologia di Costa Curnunec, viste le ripide pendici, richiederebbe opere piuttosto impattanti dal punto di vista visivo; in secondo luogo nell'Alpe Campione sono già presenti numerose tracce, quindi nuovi percorsi non solo sarebbero inutili e dispersivi, ma anche invaderebbero un territorio riccamente abitato da fauna selvatica. Si è scelto di creare un solo breve sentiero di raccordo con il percorso che da Pian dei Resinelli sale fino all'Alpe Campione, circa 45 m in linea d'aria.

7.3.1 PIANO INTERRATO

Considerando l'avvicinamento da Nord-Est, che avviene da quote minori e vede il rifugio dal basso verso l'alto, è sembrato importante collocare l'ingresso all'edificio proprio su questo lato. La scelta di evidenziare in modo chiaro quale sia la meta per l'escursionista è particolarmente importante in un rifugio in quanto questa deve essere individuabile nel modo più immediato possibile, considerando che in alta quota possono verificarsi numerosi eventi avversi (neve, nebbia, pioggia) che rendono necessario un pronto riparo a chi si venga a trovare in condizioni di bisogno. Il bivacco, che rimane sempre a disposizione dei passanti (anche nei giorni di chiusura del rifugio, come prescritto dal Regolamento Regionale n°5 del 2007), è stato posizionato nel punto più vicino all'ingresso. Una prima porta, che non verrà mai chiusa a chiave, introduce all'interno di una bussola che funziona anche da deposito attrezzatura (soprattutto nella stagione invernale) e dalla quale si accede al bivacco. In questo modo anche il bivacco, come il resto dell'edificio, beneficia dell'isolamento offerto dalla bussola d'ingresso. Il locale invernale ospita 4 posti letto su due file a castello e servizio igienico comprensivo di doccia. Frontalmente all'ingresso è stato posto un piccolo punto vendita per i prodotti locali (formaggi, miele, piccole attrezzature), ben visibile attraverso le pareti completamente vetrate. Le parti restanti di questo piano, ad eccezione dello spazio distributivo e della superficie occupata dalla scala, sono destinate ad accogliere gli impianti necessari al funzionamento del rifugio. Due rampe di 10 gradini ciascuna introducono al piano superiore, fulcro principale del rifugio.

7.3.2 PIANO TERRA

Il piano terra è caratterizzato dalla presenza di un vasto open space che è destinato a sala per la ristorazione. Questo ambiente si sviluppa lungo i lati Nord-Est e Sud-Est del volume; in questo modo l'ampio ambiente, che è anche quello in cui gli avventori trascorrono la maggior parte del tempo di permanenza, risulta avere le migliori condizioni di illuminamento e di apporti solari, oltre che ad avere ampie visuali sulla catena orobica. La scala immette direttamente nella posizione centrale di questo spazio, introducendo il visitatore al piano in modo da fronteggiare la sala e il vasto panorama dalle vetrate. Ancora una volta le particolari esigenze di un rifugio di montagna hanno richiesto delle scelte altrove non necessarie. Si tratta in questo caso della necessità pensare la grande sala ristoro come frazionabile in due

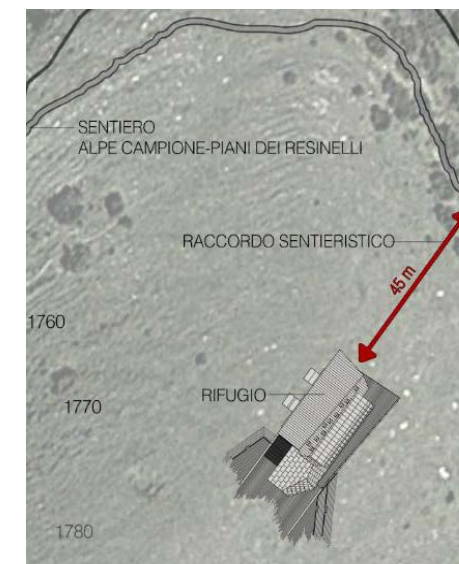


Fig. 7.17 Raccordo con il sentiero che da Pian dei Resinelli sale all'Alpe Campione

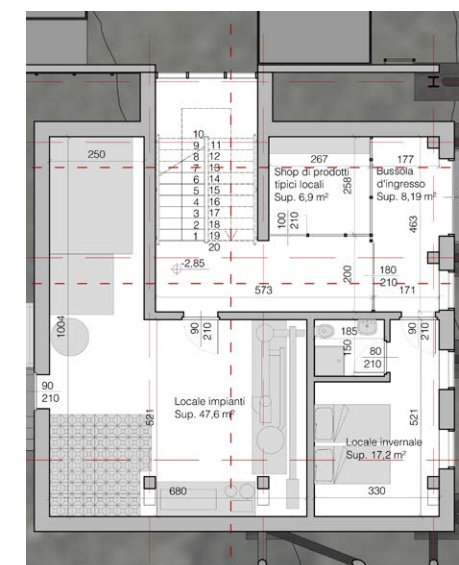


Fig. 7.18 Distribuzione planimetrica del piano interrato

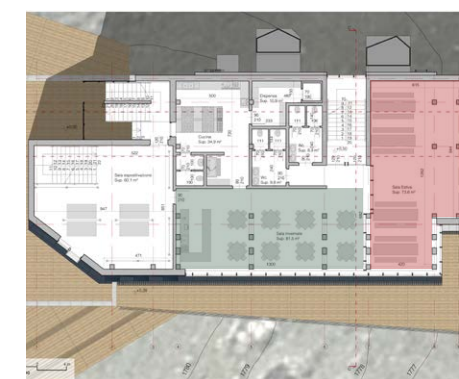


Fig. 7.19 Planimetria del piano terra e distinzione tra sala invernale (verde) ed estiva (rossa)



Fig.7.20 Piano terra: dettaglio degli spazi di servizio concentrati sul lato Nord-Ovest

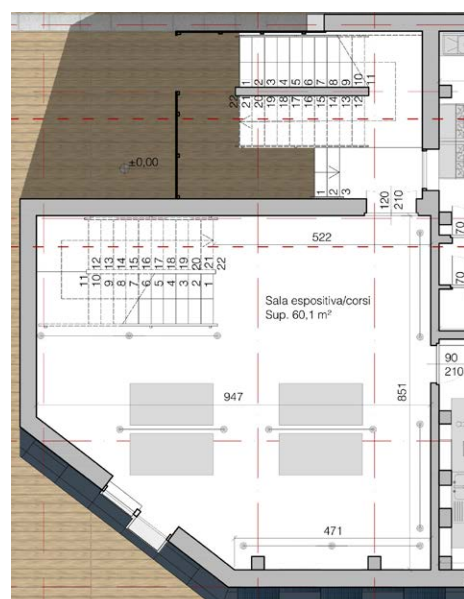


Fig.7.21 Piano terra: dettaglio della sala espositiva/corsi e del blocco scale esterno

porzioni: una adibita all'uso invernale, l'altra di supporto nella stagione estiva. Lo studio dei rifugi della zona ha evidenziato come la presenza invernale sia consistentemente minore rispetto a quella estiva; per minimizzare i consumi energetici risulta quindi indispensabile creare una divisione tra i due spazi, lasciando la porzione di pianta compresa tra la scala e la facciata Nord-Est ad uso estivo. Così facendo nel periodo invernale, quando cioè viene attuato il frazionamento, la scala introduce direttamente nello spazio adibito a sala invernale, a sua volta comunicante con cucina e servizi igienici. Per non alterare la percezione del vasto ambiente formato dalle due sale, la partizione è stata pensata come una parete trasparente di cui una metà è scorrevole. In questo modo si gestisce in modo rapido l'ampliamento dei posti per la ristorazione e si garantiscono ottimali condizioni di illuminamento e di vista su tutta la catena montuosa anche a divisione attuata. Sul lato Nord-Ovest, il più sfavorevole per l'apertura di vetrate, si concentrano i servizi igienici e gli spazi cucina. I bagni, divisi a seconda del genere, sono posti vicino alla scala che arriva dal piano sottostante, consentendone in questo modo la fruizione senza dover entrare necessariamente nella sala. Gli ingressi ai servizi igienici sono stati tuttavia nascosti dietro un parete per non avere affaccio diretto sulla sala da pranzo. Gli spazi cucina seguono le prescrizioni di metratura minime prescritte da norma, con spazio lavaggio separato e vicino alla porta che comunica con la sala. Il locale dispensa è separato dalla cucina attraverso una porta, come prescritto da norma; ospita anche la cella frigorifera necessaria. Dal momento che il Regolamento Regionale n°5 del 2007 obbliga a disporre nel rifugio di servizi igienici separati per i dipendenti, il bagno è stato collocato in modo tale che sia accessibile solo al personale interno agli spazi cucina, creando l'opportuna separazione mediante doppia porta. Al termine della sala, sulla parete di separazione con la sala espositiva, è stato posizionato un bancone da bar in modo tale da creare una zona per la somministrazione di cibi e bevande di rapida preparazione, senza dover ricorrere alla cucina. Altro spazio del piano terra è la sala espositiva/sala corsi. Quest'area è particolarmente importante all'interno del rifugio e per questo è stata posizionata nel blocco secondario di più piccole dimensioni, in modo da avere un carattere del tutto proprio. L'accesso alla stanza è permesso sia dall'interno, ovvero in comunicazione diretta con la sala da pranzo invernale, sia direttamente dall'esterno nella bella stagione, attraverso una porta sul fronte Nord-Ovest. Questa seconda uscita (che funge anche da via di fuga), immette nel blocco delle scale esterne che scendono dal piano superiore, creando una zona di deflusso coperta e protetta dalle intemperie. La sala è sprovvista di arredi fissi proprio in virtù della sua

polivalenza: totem e tavoli espositivi possono essere spostati in modo pratico non appena vi sia la necessità di occupare la sala con sedie o di averla completamente sgombra. In questo modo si possono ospitare i corsi di avvicinamento alle varie pratiche sportive (escursionismo, scialpinismo, arrampicata), i corsi per il personale del soccorso alpino, incontri diurni o serali con esperti invitati dal rifugista, o piccoli concerti. Una scala interna alla stanza porta al soppalco adibito anch'esso a spazio espositivo finalizzato alla creazione di un piccolo museo delle Grigne, ovvero un luogo che spieghi le molteplici peculiarità di questo gruppo montuoso posto nel cuore stesso delle montagne.

7.3.3 PIANO PRIMO E SOPPALCO

Il piano primo vede un cambio di funzione: in questo modo si lasciano i piani seminterrato di ingresso e primo a fruizione di chiunque arrivi al rifugio, le parti superiori solo a chi pernotta nella struttura. Così facendo si permette a chi si sofferma per la notte di avere spazi più isolati dove riposare. La scala che dal piano terra porta al piano primo è compresa nello stesso vano di quella che dal seminterrato porta al piano terra. Visti i 4,80 m di altezza di interpiano tra piano terra e piano primo, sono necessarie tre rampe da 10 scalini ciascuna; in questo modo il senso di sbarco a questo piano è invertito rispetto a quello del piano sottostante e si può ottenere uno spazio distributivo orizzontale su lato Nord-Ovest, lasciando alle camere il fronte opposto Sud-Est, che è esposto in modo migliore ai raggi solari. Anche per il piano primo è stata fatta la medesima considerazione valida per il piano terra di frazionamento di parte estiva e parte invernale. La separazione è stata attuata in corrispondenza della partizione della sala ristoro sottostante, ovvero al limite Nord-Ovest del vano scala: in questo modo si creano effettivamente due porzioni di edificio, minimizzando le dispersioni tra zone termiche diverse. Nella porzione estiva di questo piano sono situate due camere da 6 persone ciascuna su letti a castello. Questa tipologia di camera è quella maggiormente utilizzata nei rifugi alpini di moderna concezione, presentati nei casi studio del capitolo 5. La prassi dei rifugi di vecchia concezione era quella di avere solo un'unica grande camerata ospitante decine e decine di persone, con conseguenti inevitabili condizioni di discomfort. La nuova tendenza permette ad ogni gruppo di escursionisti di occupare per intero la stanza o al massimo di dividerla con un altro gruppo. In questo modo gli occupanti godono di condizioni di comfort migliori e l'organizzazione nella stanza è molto più libera rispetto alle regole della camerata.



Fig.7.22 Sezione che mostra le diverse altezze di interpiano

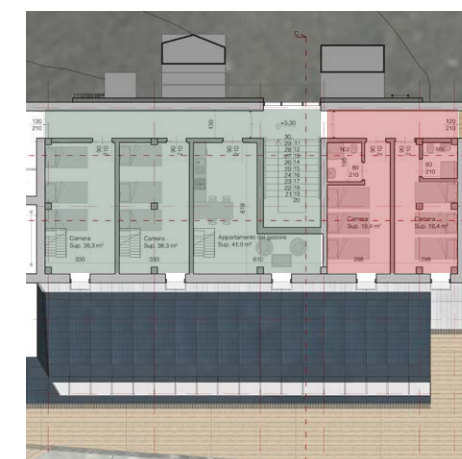


Fig.7.23 Planimetria del piano primo e distinzione tra parte invernale (verde) ed estiva (rossa)

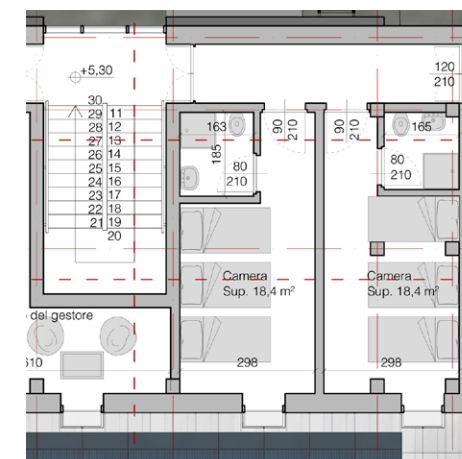


Fig.7.24 Piano primo: dettaglio delle due camere da 6 persone posizionate nella parte estiva



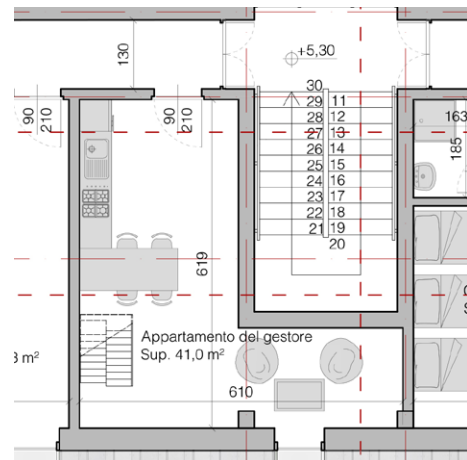


Fig.7.25 Piano primo: dettaglio dell'appartamento del gestore

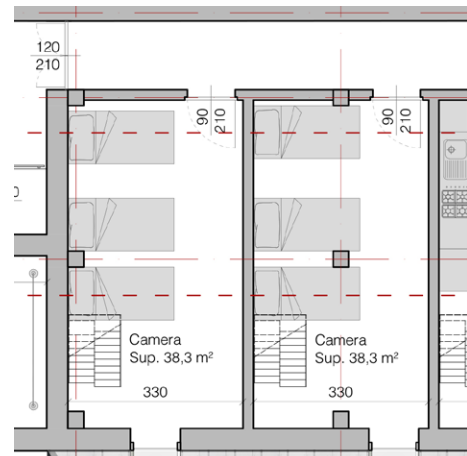


Fig.7.26 Piano primo: dettaglio delle camerate da 10 persone



Fig.7.27 Soppalco: dettaglio dell'appartamento del gestore e delle camerate da 10 persone

Ogni camera ha i propri servizi igienici comprensivi di doccia. Dall'altro lato della scala, nella parte che rimane sempre pronta all'uso anche in inverno, sono posti l'appartamento del gestore del rifugio e due piccole camerate. L'appartamento del gestore vede angolo cottura e spazio giorno in un ambiente open space; una scala salva spazio interna all'appartamento conduce al soppalco dello stesso dove è posta la camera con letto matrimoniale e il servizio igienico sul lato Nord-Ovest. L'illuminamento degli ambienti, sia del piano che del soppalco, è garantito dalle finestre da tetto accoppiate due a due e disposte ad altezze diverse sul prospetto Sud-Est. Le piccole camerate, ognuna capace di ospitare 10 persone, sono state ritenute necessarie per diversi motivi: il primo l'esigenza di garantire un certo numero di posti letto anche nella stagione invernale quando la partizione dell'edificio è attiva. Il secondo motivo è stato quello di pensare di destinare questi spazi ai frequentatori dei corsi sportivi. Soprattutto nel caso di corsi per bambini o ragazzi, è necessario avere la disponibilità di posti letto per tutti i partecipanti con divisione per genere. Analizzando il numero che di consueto si accetta per organizzare corsi di questo tipo, è emerso necessario fornire 10 posti letto per i maschi e altrettanti 10 per le femmine. Le due camerate si configurano, quindi, nello stesso modo: ingresso con 3 letti a castello, scala salva spazio per salire al soppalco e altri 2 letti a castello a questo livello, dove sono anche posti i servizi igienici comprensivi di doccia. La modesta capienza di queste camerate e il fatto che i posti letto siano divisi su due livelli diversi garantisce che gli utenti godano di una certa tranquillità. Nel totale sono stati previsti quindi 32 posti letto, come era stato ritenuto necessario nelle fasi preliminari della progettazione in seguito alle analisi effettuate.

7.4 PROSPETTI

La determinazione dei prospetti è maturata insieme alla definizione della distribuzione planimetrica e del controllo sul modello 3D. Si possono però riassumere le linee che hanno guidato la progettazione delle forme e la scelta dei materiali.

7.4.1 PROSPETTO SUD-EST

Il prospetto Sud-Est, come già evidenziato, è quello su cui si ha la maggior incidenza solare, come dimostrato dalle simulazioni di supporto. Si sceglie fin da subito di sfruttare questa caratteristica, avendo bisogno di massimizzare gli apporti solari per abbassare quanto più possibile il fabbisogno

termico nella stagione invernale, componente predominante del consumo energetico totale in un edificio in alta quota. Si decide di valorizzare anche in prospetto la scelta presa in ambito di progettazione del volume, ovvero quella di marcare la distinzione tra il volume della sala per la ristorazione del piano terra e il blocco dei piani superiori destinati a locali notte. Questa distinzione viene eseguita innanzitutto mediante una caratterizzazione cromatica diversa: più chiara la parte superiore e molto scura la parte inferiore. La scelta di un colore tendente al nero, peraltro, favorisce l'assorbimento di energia solare e di conseguenza aiuta il riscaldamento dell'ampio volume della sala ristoro. Questo espediente è utilizzato in molti edifici posti in climi freddi, tra cui il Dronning Ingrid's Hospital e il New Tracuit Mountain Hütte. Su questo prospetto, per altro, questa accoppiata cromatica ottimizza il funzionamento dei pannelli fotovoltaici posizionati sopra la copertura della sala di ristorazione: il colore scuro, su cui sono posizionati i pannelli, come già detto assorbe radiazione, mentre la parte superiore, chiara e riflettente, fa sì che i raggi si riflettano su essa stessa irradiando i pannelli posti sotto. Per quanto riguarda la parte sotto al piano terra, ovvero il piano di raccordo tra il pendio e il piano terra, questo viene trattato riprendendo un colore chiaro ma cambiando il materiale rispetto al blocco superiore. In questo modo si acuisce la funzione di raccordo di questo volume e viene mostrata la tecnologia che sospende l'edificio sul suolo. Altro elemento che caratterizza il prospetto sono le aperture, molto diverse a seconda degli ambienti interni che devono illuminare. Il piano terra ospita su questo fronte una lunga facciata continua che prosegue per tutta la lunghezza della sala ristoro interna, permettendo una vista di pregio sulla Valsassina e allo stesso tempo consentendo l'illuminazione dell'edificio in tutta la sua profondità. La parte superiore, ovvero quella delle camere, vede l'apertura di finestre rettangolari da tetto accoppiate in verticale e sfalsate in modo tale da illuminare gli ambienti interni fino in profondità, considerando anche la presenza dei soppalchi. L'utilizzo di questa tipologia di finestre è ottimale vista la pendenza a 70° della facciata, caratteristica che la rende assimilabile ad una copertura: questo tipo di finestre garantisce una particolare tenuta all'aria e all'acqua, oltre ad essere di pratica e veloce posa in opera su controtelai monoblocco. Il volume della sala espositiva viene trattato con il medesimo carattere della striscia orizzontale del piano terra; la colorazione, quindi, è completamente scura, tuttavia si sfrutta la grande parete opaca rivolta a Sud-Est per il posizionamento di 16 moduli fotovoltaici. L'altra faccia che completa il volume della sala corsi, cioè quella a doppia inclinazione (38° sull'orizzontale rispetto al prospetto Sud-Ovest e 20° rispetto alla verticale) è quella in cui in assoluto sono massimi gli apporti

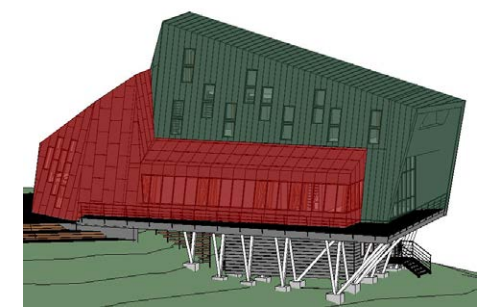


Fig.7.28 Parti trattate in modo diverso nella visualizzazione 3D



Fig.7.29 Riferimento: pareti metalliche inclinate di colore scuro nel Dronning Ingrid's Hospital



Fig.7.30 Riferimento: parete inclinata scura e fascia vetrata continua nel New Tracuit Hütte

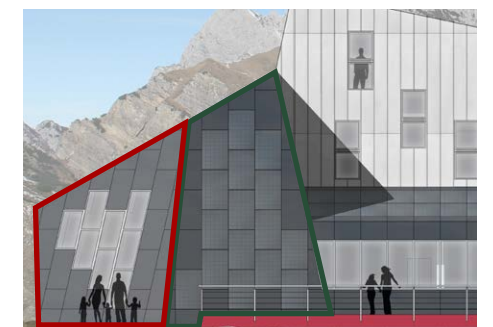


Fig.7.31 In verde la faccia con 16 moduli fotovoltaici, in rosso quella con la vetrata composta

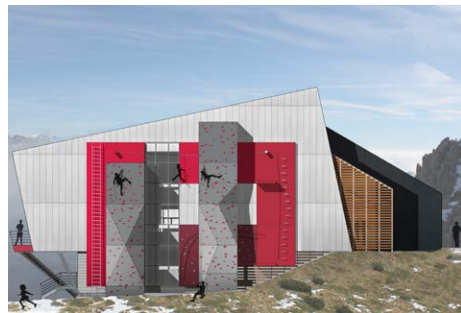


Fig. 7.32 Prospetto Nord-Ovest: la parete attrezzata spicca sul profilo piatto della parete



Fig. 7.33 Le pareti di arrampicata si distinguono per il colore grigio, il percorso di ferrata è rosso

invernali. Sfruttando questa caratteristica si decide di formare una grande superficie vetrata sfruttando l'accoppiamento in verticale e in orizzontale di finestre da tetto poste in modo sfalsato. L'impiego di questa tecnologia permette di realizzare in loco con facilità un disegno altrimenti molto complesso.

7.4.2 PROSPETTO NORD-OVEST

L'altro prospetto longitudinale ha un carattere molto diverso dalla facciata ad esso opposto. Le motivazioni che hanno portato a questa caratterizzazione sono molteplici. In primo luogo va considerato l'orientamento di questa facciata, esposta in modo totale a Nord e quasi sempre esclusa dalla radiazione solare diretta; va quindi limitata l'apertura di superfici vetrate e minimizzata la superficie disperdente: la parete, pertanto, è verticale e un'unica striscia vetrata si sviluppa in altezza ad evidenziare la distribuzione delle scale e fornendo luce alle rampe, oltre che permettendo dall'interno una vista completa della Grigna Settentrionale. Altra motivazione che ha spinto a diversificare questo prospetto è stato il fatto che questo è il lato dell'edificio che viene visto per intero nel percorso di avvicinamento dalla traversata alta e attraverso l'Alpe Campione. Si è ritenuto opportuno, quindi, posizionare proprio in questo prospetto uno degli elementi distintivi dell'edificio, che fosse individuabile fin da lontano e che identificasse il rifugio stesso: la parete attrezzata. I motivi per cui questo prospetto assume un disegno così particolare sono anche di natura funzionale: questo lato, dal momento che non ha irraggiamento solare diretto, non presenta fenomeni di abbagliamento in cui potrebbe incorrere chi arrampica su una superficie che riflette la luce solare.

La parete attrezzata diventa quindi l'elemento che conforma questo prospetto sviluppandosi in modo vivace sulla superficie di sfondo che per contrasto è stata mantenuta il più uniforme e piatta possibile. La parete è in realtà distinta in percorsi di arrampicata e percorsi di via ferrata. I primi vedono lo sviluppo in verticale di due pareti divise, ognuna di forma rettangolare divise in superfici a inclinazioni variabili per simulare possibili situazioni su roccia. Attraverso prese colorate si possono creare percorsi di salita di differenti gradi di difficoltà. I percorsi di via ferrata sono una novità nell'applicazione sulla parete di un edificio; i percorsi utilizzati sono quelli che si possono incontrare nei parchi avventura, ma combinati in modo da simulare, nello spazio ristretto della parete di un edificio, alcune tra le situazioni più probabili che si possono incontrare nelle vie ferrate delle Grigne come di altre montagne. Il percorso parte con una parte di arrampicata con fune ancorata a cui

assicurarsi, prosegue con un percorso a staffe che porta all'attacco di un ponte tibetano che in alcuni tratti passa dietro alle pareti di arrampicata, ricreando passaggi stretti; il percorso si chiude attraverso la discesa per una scala a pioli.

I percorsi di arrampicata e quello di via ferrata si distaccano dalla parete verticale retrostante proprio con l'intento di rimanere in rilievo. La distinzione viene attuata anche per mezzo del colore: il percorso di via ferrata viene caratterizzato da un vistoso colore rosso, proprio a svolgere la funzione di richiamo e di identificazione del rifugio anche da lunghe distanze, le pareti di arrampicata vengono pensate grigie per evitare disturbi visivi, come da prassi per le pareti artificiali. Il volume della sala corsi viene caratterizzato con lo stesso materiale scuro del prospetto opposto, così da creare ancora la divisione tra il blocco principale chiaro e questo volume più piccolo scuro. Il blocco delle scale esterne, posto davanti al volume della sala corsi, viene trattato in modo semitrasparente. Si opta, cioè, per garantire la copertura da pioggia e neve che ostacolerebbero la via di fuga, ma essendo la scala esterna si preferisce lasciare filtrare luce e sguardo attraverso le pareti che compongono il volume. Tutto ciò viene attuato in modo semplice mediante lamelle in legno di larice distanziate l'una rispetto all'altra.

7.4.3 PROSPETTO NORD-EST

Come già presentato, il prospetto Nord -Est è quello che viene visto dal visitatore nella fase di avvicinamento dal basso verso l'alto, per questo motivo ha bisogno di un forte carattere attrattivo. Il piano seminterrato mantiene le caratteristiche degli altri prospetti, ovvero stesso materiale e strategia di sollevamento da terra; contiene in modo ordinato le vetrate che danno luce al bivacco e l'ingresso al rifugio che avviene mediante una scala metallica per superare qualsiasi problema di accumulo di neve (semplicemente più si alza il livello di neve, meno gradini si dovranno salire). Si è reputato dover conferire un disegno chiaro e sobrio al volume contenente l'ingresso in quanto non deve destare confusione o disorientamento nei fruitori, bensì deve essere chiaramente individuabile anche in condizioni avverse. Il carattere distintivo compare invece nella parte superiore, dove il volume principale viene fatto aggettare sul basamento, fornendo in questo modo anche protezione dagli agenti atmosferici all'ingresso. L'aggetto su un basamento e la proiezione verso la valle sottostante è un tratto distintivo anche di altri rifugi come ad esempio l'Olperer Hütte e l'Argentiere Refuge.



Fig. 7.34 Blocco delle scale esterne rivestito da doghe in legno con effetto di semitrasparenza

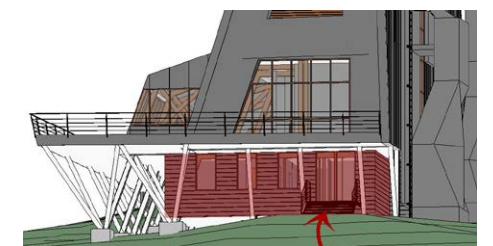


Fig. 7.35 Studio dal 3D del volume d'ingresso: forme semplici per essere facilmente visibile



Fig. 7.36 Riferimento: aggetto su basamento nell'Argentiere Refuge



Fig. 7.37 Riferimento: aggetto su basamento nell'Olperer Hütte



Fig. 7.38 La spirale spezzata rossa che incornicia il volume aggettante e forma la terrazza



Fig. 7.40 La copertura fotovoltaica del volume della sala espositiva/corsi

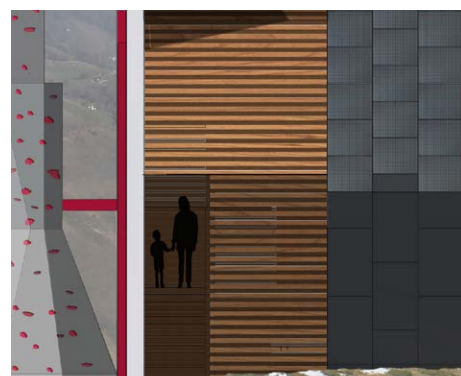


Fig. 7.39 Listelli in legno nel blocco del vano scale, vicini in copertura, distanziati in verticale

Il volume aggettante e prospiciente il vuoto viene tranciato attraverso un piano inclinato in modo che sia perpendicolare alla copertura, come spiegato in fase di determinazione del volume. Viene quindi arretrata la parete che si mantiene verticale: in questo modo si viene a creare una sorta di cornice. Questo bordo diviene un carattere distintivo: viene evidenziato mediante il medesimo colore rosso del percorso della via ferrata e viene configurato in modo tale che si sviluppi verso l'esterno, quasi ad essere una grande spirale dagli angoli spezzati. Con questo espediente si sono ottenuti diversi obiettivi, oltre a quello di rappresentare una particolare scelta estetica. Il primo è quello ricavare in questo modo una copertura aggettante sul prospetto, facendo così che esso stesso sia protetto dagli agenti atmosferici. Il secondo è rappresentato dal fatto di ottenere una superficie esterna orizzontale che funge da terrazza esterna in corrispondenza del piano terra; in questo modo si acuisce il senso di spinta verso la valle sottostante: dall'interno della sala da cui la vista si protrae attraverso la parete vetrata di fondo, fino all'esterno in cui effettivamente si rimane sospesi sulla Valsassina.

Il raccordo tra la cornice rossa e la superficie verticale vetrata viene attuato mediante una membrana in tessuto tesa su apposita sottostruttura. In corrispondenza del piano primo, venendosi a creare uno spazio tra la chiusura verticale e la membrana tessile, si è ricavato un terrazzo ad uso dei fruitori delle camere. L'affaccio da questo solaio verso l'esterno è stato ottenuto interrompendo il telo teso con una forma trapezoidale.

7.4.4 PROSPETTO SUD-OVEST

Questo prospetto, rivolto verso la Grigna Meridionale, denuncia in modo chiaro quel processo che in fase di costituzione del volume è stato chiamato traslazione sull'asse Nord-Ovest - Sud-Est. Da biquadrante questa vista, infatti, è ben individuabile il parallelismo dei lati inclinati che compongono il prospetto Sud-Est. Si distinguono, quindi, il volume del blocco principale e il volume secondario della sala espositiva/corsi. La scelta, analoga a quella descritta per gli altri prospetti, è stata quella di demarcare i due volumi attraverso l'uso di materiali diversi. Il volume più piccolo è caratterizzato dal colore scuro degli altri prospetti; una differenziazione di questo blocco consiste nell'averne un'ampia superficie coperta da moduli ibridi fotovoltaico-solare termico. Anch'essi di colore scuro, si distinguono dalle chiusure verticali per avere la superficie riflettente tipica del vetro.

Il volume del corpo principale si caratterizza per la presenza di

una cornice come fatto per il prospetto opposto, quello Nord-Est. La parte interna al bordo, invece, si configura a listelli di legno: partendo dall'alto, la parete verticale è coperta da doghe di due colori diversi accostate le une alle altre, quindi si inclinano per formare la copertura del blocco delle scale esterne e infine tornano ad assumere un andamento verticale, ma essendo inframmezzate da uno spazio d'aria, così da creare una superficie semitrasparente. Questo gioco maschera anche la finestra della cucina, necessaria ai fini normativi.

7.5 MATERIALI

La fase di scelta dei materiali, benché per motivi di praticità sia presentata separatamente dalle scelte di costituzione delle forme architettoniche, nella realtà è ad essa parallela e concorre nello sviluppo dell'aspetto estetico dell'edificio.

Come per molti altri aspetti già presentati, anche in questo caso è stato necessario impostare un lavoro sistematico volto alla conoscenza precisa di tutti gli aspetti relativi ai materiali che più possono essere adatti ad una costruzione in alta quota. Questa operazione è stata svolta per materiali isolanti, membrane e materiali da rivestimento. I primi due aspetti verranno presentati nel capitolo relativo alle scelte tecnologiche, mentre si spiega ora il processo seguito per la scelta dei materiali da rivestimento. Innanzitutto sono stati definiti i parametri da controllare, ovvero quelli che determinano la bontà o meno della scelta nell'edificazione in alta quota.

Primo parametro è il peso, valutato in kg/m^2 per permettere il confronto tra materiali diversi: vista la necessità di avere un trasporto aereo a mezzo di elicottero, si ha un vincolo sul massimo peso che può essere portato in loco con ogni trasporto. Considerati i costi di noleggio dell'elicottero, la componente di trasporto è uno dei parametri che maggiormente incidono sul costo complessivo dell'opera; si rende necessario, pertanto, minimizzare il numero di viaggi per il trasporto di materiali, e di conseguenza ridurre il peso del materiale. Un peso elevato rende complicata anche la gestione in un cantiere in quota dove la movimentazione non è agevole.

Altro parametro considerato è la resistenza agli agenti atmosferici: grandi sbalzi termici, forte irraggiamento e cicli di gelo-disgelo sono fenomeni che necessariamente si generano a queste altitudini, il materiale deve pertanto garantire la funzionalità in queste condizioni.

I tempi di posa, valutati in h/m^2 , sono fondamentali dal momento che è prioritario ridurre al minimo le tempistiche del cantiere in quota, poiché non è possibile eseguire trasporti e lavorazioni esterne nella stagione invernale.

La manutenzione è un aspetto che interessa la vita dell'edificio



MATERIALE	PESO	RESISTENZA AGLI AGENTI	TEMPI DI POSA	MANUTENZIONE	DURABILITÀ	PREZZO
ARDESIA	75 kg/ mq	Alta	0,3 h/mq	Annuale	100 anni	77 €/mq
SEPPENTINO	90 kg/ mq	Alta	0,3 h/mq	Annuale	100 anni	320 €/mq
LARICE	22 kg/ mq	Media	0,45 h/mq	Continua	15 anni	72 €/mq
CASTAGNO	25 kg/ mq	Media	0,45 h/mq	Continua	10 anni	81 €/mq
TEAK	26 kg/ mq	Alta	0,55 h/mq	Continua	15 anni	120 €/mq
FIBROCEMENTO	17,8 kg/ mq	Alta	0,40 h/mq	Ordinaria	40 anni	22 €/mq
RAME	9 kg/ mq	Elevata	0,20 h/mq	Ordinaria	100 anni	51 €/mq
ALLUMINIO	3 kg/ mq	Elevata	0,20 h/mq	Ordinaria	100 anni	47 €/mq
ACCIAIO INOX	8 kg/ mq	Elevata	0,20 h/mq	Ordinaria	100 anni	94 €/mq
ACCIAIO ZINCATO	8 kg/ mq	Elevata	0,20 h/mq	Ordinaria	100 anni	49 €/mq
ZINCO TITANIO	7 kg/ mq	Elevata	0,20 h/mq	Ordinaria	100 anni	72 €/mq

dalla sua edificazione fino alla dismissione: vista la difficoltà di accesso all'area, si devono scegliere materiali la cui manutenzione sia poco complicata, senza l'uso di macchinari complessi e a minor frequenza possibile.

Altro parametro considerato è la vita utile del materiale: scegliere un materiale a bassa vita utile costringe a eseguire lavori di sostituzione più volte nel corso della vita utile dell'edificio. Infine si analizza il prezzo di mercato del materiale, espresso in €/m², che è la componente che agisce in modo diretto sui costi della costruzione.

Tra i materiali analizzati, l'utilizzo della pietra viene scartato: nonostante la buona resistenza agli agenti atmosferici e l'altissima durabilità comprovata in secoli di utilizzo, il materiale è tuttavia troppo pesante e con tempi di posa molto elevati, oltre che con costi nettamente superiori agli altri materiali.

Le scandole lignee necessitano in generale di manutenzione molto frequente che è difficile da assicurare per l'edificio in analisi; anche i tempi di posa ne sconsigliano l'applicazione su superfici molto vaste.

Le lastre metalliche sono il tipo di rivestimento in generale preferibile per gli aspetti analizzati; il peso è nettamente inferiore rispetto a quello degli altri materiali, i tempi di posa resi bassi da sistemi completi di fissaggio a scatto o su sottostrutture apposite. La resistenza agli agenti atmosferici è massima, così come la vita utile del materiale, mentre la manutenzione si limita alla pulizia del rivestimento. Analizzando una medesima lastra fornita in materiali diversi (rame, alluminio, acciaio inox, acciaio zincato, zinco-titanio) la discriminante per la scelta è il prezzo, massimo per l'acciaio inox e minimo per l'alluminio. Anche il peso dell'alluminio si distingue da quello degli altri metalli, attestandosi in circa 1/3 del valore degli altri.

La scelta di rivestimento predominante, quindi, è l'alluminio. È questo il materiale che viene scelto per il blocco principale; si sceglie la disposizione in verticale di lastre larghe 500 mm con fissaggio a scatto. La posa in opera si attua quindi senza la necessità di viti o sigillanti, assicurando tempi veloci di montaggio e scongiurando perdite di funzionalità nel tempo dal momento che la tenuta è garantita dalla geometria delle giunzioni. Questo tipo di rivestimento è adatto sia per le coperture che per le facciate; le nervature di separazione tra lastra e lastra funzionano anche da canalina di scolo delle acque. Il materiale è calpestabile senza la posa di pannello continuo sottostante, caratteristica che consente la scelta di pannelli isolanti con corrente metallico integrato che funge direttamente da sottostruttura, come verrà dettagliato nel capitolo sulla tecnologia utilizzata.

Lo zinco titanio viene scelto per rivestire le superfici di minore ampiezza, ovvero le parti scure del piano terra e del volume



Fig.7.41 Materiale pietra scartato per l'eccessivo peso e tempi di posa elevati



Fig.7.42 Scandole lignee necessitano di tempi di posa molto lunghi



Fig.7.43 Lastre in alluminio con fissaggio a scatto su staffe plastiche e canaline metalliche

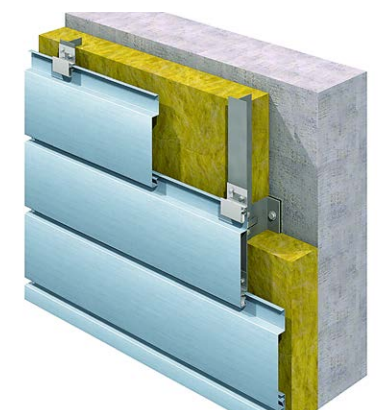


Fig.7.44 Doghe in zinco-titanio con sistema di fissaggio a scorrimento

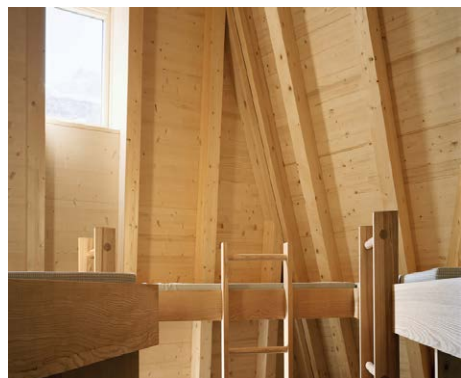


Fig.7.45 Riferimento: X-lam a vista negli ambienti interni nel Monte Rosa Hütte



Fig.7.46 Parquet in legno di larice spazzolato trattato ad olio

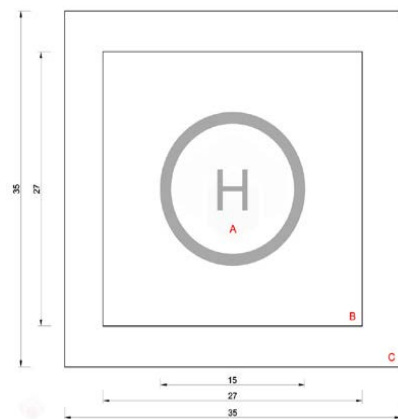


Fig.7.47 Dimensioni dell'elisuferficie come definite da normativa

della sala corsi, nonché il basamento. La scelta di questo materiale è stata fatta perchè, a differenza di altre leghe metalliche, non necessita di trattamenti nel corso della sua vita utile; inoltre i produttori possono fornire il materiale con una gamma di colori, finiture superficiali e tipologia di lastre molto vasta. Per la parte scura si sceglie un colore grigio antracite su lastre in zinco-titanio di larghezza 1000 mm ed altezza 1600 mm fissate a scatto su appositi supporti. Per la parte del basamento si scelgono doghe ad andamento orizzontale di altezza 200 mm di colore chiaro.

Internamente all'edificio si opta per la prevalenza del legno; in questo modo si ottengono tutti i vantaggi termici offerti da questo tipo di materiale, oltre a conferire un senso di calore anche alla vista. La scelta è in linea con la tradizione delle costruzioni in montagna, tuttavia si modifica la modalità con cui si attua il rivestimento: non più doghe accostate, disposte verticalmente o orizzontalmente, bensì il pannello X-lam che costituisce la parte strutturale delle pareti viene lasciato a vista. Questa caratteristica architettonica è attuata in molti rifugi moderni, tra i risultati migliori si cita il Monte Rosa Hütte. Solo alcune pareti che necessitano di passaggio impiantistico vengono rivestite di cartongesso. I pavimenti interni sono composti da parquet a doghe larghe in legno di larice spazzolato trattato ad olio; il larice è un'essenza duratura e il trattamento a olio è semplice da rinnovare e indicato per fornire protezione soprattutto nell'ambiente della sala per la ristorazione. Il senso di disposizione del parquet è longitudinale, ovvero porta la vista a dirigersi verso le grandi vetrate che chiudono la sala a Nord-Est e che si aprono sul panorama. Il vano scale interno è anch'esso costituito per intero di X-lam.

Per quanto riguarda la membrana che riveste il terrazzo sul prospetto Nord-Ovest, il materiale scelto è un tessuto in poliestere bispalmato PVC di colore grigio chiaro. Questa membrana è la più comune per usi architettonici esterni e presenta notevoli proprietà meccaniche e di resistenza alle variazioni termiche. Il colore chiaro e la semitrasparenza fanno sì che la superficie ricoperta dalle vele in tessuto sia ideale per la proiezione di scritte e immagini; queste facce possono quindi diventare in modo del tutto mutevole supporti per pubblicizzazione di eventi che si tengono al rifugio, sponsorizzazioni, proiezioni artistiche.

7.6 SPAZI ESTERNI

Anche lo spazio esterno all'edificio è stato progettato in modo tale da partecipare al progetto. Gli interventi previsti hanno seguito il criterio di minimo impatto sull'ambiente e di reversibilità. Il primo spazio la cui progettazione è stata resa

necessaria è la piazzola per l'atterraggio di elicotteri. Questo mezzo, infatti, risulta essere necessario già dalle primissime fasi di allestimento del cantiere e di trasporto in quota degli operai. ENAC (Ente Nazionale per l'Aviazione Civile) definisce gli spazi necessari alla creazione di un'elisuferficie; la zona più vicina all'area di progetto che rispetta tali caratteristiche è posta a monte del sito di costruzione, a circa 100 m. Dovrà avere superficie liscia e di conglomerato non bituminoso per non compromettere il suolo. Una volta realizzata, la piazzola rimarrà attiva anche a fase costruttiva terminata fornendo un punto di atterraggio per l'elisoccorso e per le esercitazioni del personale in quota.

Tornando nelle immediate vicinanze del rifugio, lo spazio esterno si configura come una prosecuzione del piano terra verso il suolo naturale. Sfruttando il gioco creato con il bordo a spirale del prospetto Nord-Ovest, si è formata un'ampia terrazza dalla pianta irregolare. L'irregolarità non è casuale, bensì studiata in modo tale da avere il punto di massima larghezza ad Est: da quella posizione è possibile avere una visuale completa di tutto l'arco montuoso che spazia dalla Grigna Settentrionale al Legnone, al Pizzo dei Tre Signori, al Adamello, fino al Resegone e ai piani d'Erna. Questa ampia terrazza è stata pensata per godere del panorama godendo di una posizione sempre soleggiata. La struttura che la sorregge è quella in acciaio su cui si basa il piano terra dell'edificio, tuttavia sono presenti diversi puntoni in acciaio che assorbono parte delle sollecitazioni verticali; la metodologia con cui si è arrivati alla disposizione di questi puntoni è descritta in modo completo nel capitolo dedicato alla struttura. L'impronta architettonica in questo caso si è basata sullo scegliere profili metallici diversi a seconda che la funzione strutturale fosse di scarico dell'edificio (profilo IPE) o della terrazza (tubolare a sezione circolare). Il senso di continuità tra interno ed esterno è conferito dall'utilizzo di pavimento in larice anche in esterno. Il deck in esterno viene distanziato in modo che acqua e neve possano percolare; per permettere questo il deck è posizionato su un grigliato metallico elettrosaldato. La superficie esterna in legno si protrae verso Sud-Ovest fino a incunearsi in modo irregolare nel terreno. In questo modo si intende comunicare come l'edificio sia un intervento antropico in una naturalità che rimane padrona del luogo, strategia seguita fin dall'inizio della progettazione. Il piccolo ritaglio di superficie che è stato interessato dall'intervento deve mostrarsi come un'opera dell'uomo presente oggi, ma non eterna e quindi rimovibile per restituire il luogo alla montagna.



Fig.7.48 Terrazza esterna dalla forma irregolare, con larghezza maggiore a Est

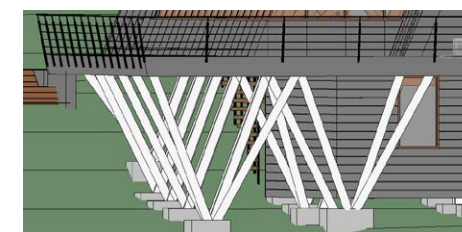


Fig.7.49 Struttura in acciaio: profili IPE e a sezione circolare

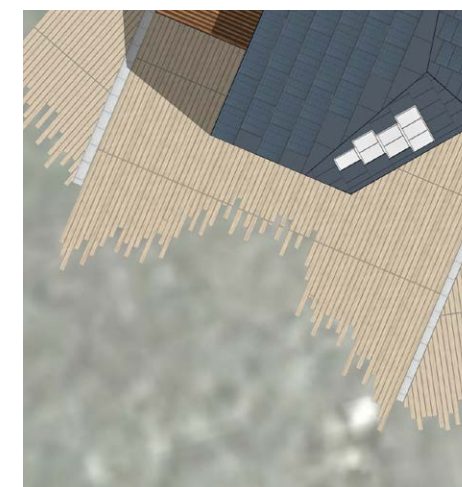


Fig.7.50 Deck in larice che si incunea nel pendio in modo irregolare





PROGETTO TECNOLOGICO

8

Viene di seguito proposta l'analisi della tecnologia costruttiva utilizzata per la realizzazione del rifugio.

Lo studio è partito dall'analisi delle sezioni correnti proposte dalla ditta Mariana Franco S.r.l., poi si è proseguito con l'analisi del comportamento delle stratigrafie con parti in legno accoppiate ad uno strato isolante in poliuretano, osservando sia il comportamento invernale sia quello estivo.

Una volta studiato il comportamento della sezione corrente, si è analizzato il comportamento termico dei nodi caratteristici degli edifici pluripiano.

Con il supporto della ditta Mariana Franco S.r.l. è stata scelta la tecnologia costruttiva più adatta per la realizzazione del rifugio. In ultimo sono state ripetute le analisi termiche sia sulle sezioni correnti sia sui nodi caratteristici del rifugio in progetto.



8.1 PREMESSA

Per la costruzione del rifugio bisogna affrontare le difficoltà dovute alle condizioni ambientali del sito di progetto e all'accessibilità all'area stessa.

Queste problematiche sono state affrontate analizzando le scelte tecnologiche più adatte al fine di limitare il numero degli approvvigionamenti e di massimizzare le prestazioni dell'involucro.

Dall'analisi dei più moderni rifugi fatta in precedenza si evince come la scelta dominante sia quella di ridurre al minimo l'utilizzo delle tecnologie costruttive tradizionali che vengono impiegate, al limite, solo per la realizzazione dell'attacco a terra dell'oggetto edilizio.

I rifugi analizzati utilizzano principalmente tecnologie costruttive a secco basate sulla prefabbricazione degli elementi costruttivi sia in acciaio sia in legno.

La prefabbricazione, che utilizza tecnologie a secco, permette di ottenere un involucro performante con una notevole riduzione di peso rispetto alle tecnologie tradizionali. In questo modo riusciamo ad ovviare alle problematiche dell'area di progetto.

La scelta della prefabbricazione permette non solo di ridurre i tempi di realizzazione dell'opera, ma anche di ottimizzare la dimensione degli elementi in funzione del carico massimo trasportabile con un elicottero standard.

Nella realizzazione del rifugio è stato scelto di utilizzare elementi prefabbricati sia in legno sia in acciaio.

Gli elementi in acciaio sono stati impiegati per risolvere le problematiche dell'attacco a terra del rifugio con la realizzazione di due piastre in acciaio ancorate a plinti in calcestruzzo su cui poggia la struttura in legno del rifugio.

8.2 IL LEGNO

La produzione della maggioranza dei prodotti per l'edilizia incide in maniera rilevante sull'inquinamento atmosferico e il conseguente effetto serra, a causa delle emissioni di anidride carbonica. Il legno è l'unico materiale dell'edilizia che quando viene prodotto non induce alcun effetto negativo sull'atmosfera in quanto gli alberi inglobano anidride carbonica sottraendola all'atmosfera e fissandola nel manufatto con un rapporto di 1,01 ton di anidride carbonica per ogni m³ di legno. La leggerezza del materiale, 5 volte inferiore al cemento armato a parità di resistenza, richiede meno impegno energetico nei trasferimenti e nelle movimentazioni in cantiere, ovvero un minore impegno di fonti energetiche non rinnovabili, potenzialmente origine di CO₂.

La facile movimentazione degli elementi costruttivi incentiva

la prefabbricazione che consente di ridurre i tempi di realizzazione in cantiere, attraverso la razionalizzazione dei processi produttivi svolti in officina.

L'impatto con il suolo, in termini di eutrofizzazione dei terreni, al contrario di quanto avviene con altri materiali, è inesistente in quanto tutte le lavorazioni sono a secco. Quest'ultima caratteristica poi incide in maniera rilevante nelle fasi di dismissione e riciclo, in quanto si riducono i costi economici e si annullano quelli ambientali proprio per le caratteristiche delle giunzioni degli elementi costruttivi, totalmente di tipo meccanico, che facilitano lo smontaggio e la raccolta dei materiali per il riciclo.

Gli attuali sistemi costruttivi in legno affondano le proprie radici nelle tecniche del passato e ne sono una loro diretta evoluzione. Una caratteristica che salta subito agli occhi è che la loro immagine è sempre stata, fino alla prima metà dell'Ottocento, fortemente caratterizzata dai diversi procedimenti costruttivi che hanno consentito una varietà di soluzioni coerenti con le tecniche.

Gli edifici in legno hanno sempre avuto una doppia valenza realizzativa riferibile a due fondamentali modi di procedere che sono il procedimento "a setti" e il procedimento "a gabbia". Nel primo caso l'organismo edilizio è pensato come generato da piani che determinano al contempo lo spazio costruito e la maglia portante. Nel secondo caso uno scheletro portante definisce una griglia strutturale nella quale si definisce lo spazio costruito.

La materializzazione del procedimento a setti è il sistema blockbau in cui i setti sono realizzati per sovrapposizione di elementi in massello. Gli elementi sono collegati con modalità differenti tra loro per garantire da un lato la sicurezza statica, dall'altro la tenuta all'acqua e all'aria.

Il procedimento a gabbia presenta una maggiore variabilità di soluzioni costruttive riferibili a due diverse tecniche funzionali e al modo di concepire il sistema costruttivo: "a telai piani" e "a telai spaziali".

Nel primo sistema l'ossatura portante dell'edificio è generata per la ripetizione lungo una direzione di telai a nodi rigidi, realizzati con due montanti e una trave principale, uniti tra loro da travi di collegamento. Esemplicativi in tal senso sono i sistemi cruck e il bay system.

Nei sistemi a telai spaziali, invece, non c'è una gerarchia di travi così definita, tanto che le orditure dei solai in campate vicine possono essere in direzioni diverse. Spesso con questa impostazione costruttiva i pilastri si interrompono ad ogni piano, non sono passanti e si può dire che l'organismo non è più generato da una gabbia che viene tamponata, ma da pannelli intelaiati che si giustappongono e generano lo spazio costruito.

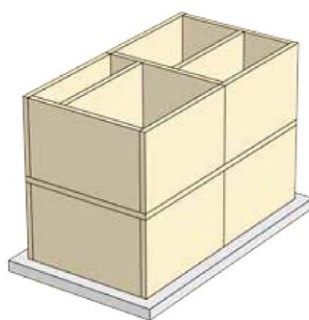


Fig.8.1 Procedimento a setti

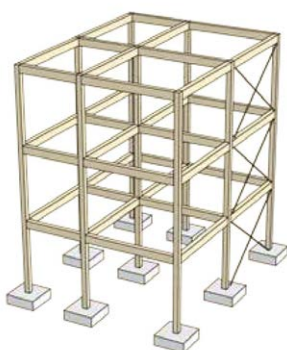


Fig.8.2 Procedimento a gabbia

Esempio in tal senso è il sistema costruttivo box frame.

Nella seconda metà del secolo XX, tutti i sistemi costruttivi in legno subiscono una profonda modificazione sia per l'introduzione di nuove macchine per la lavorazione, sia per la tendenza in atto a trasferire in officina il maggior numero possibile di lavorazioni.

Questo processo evolutivo di prefabbricazione sempre più complessa ha riguardato soprattutto la realizzazione degli edifici a pannelli intelaiati derivati concettualmente dal platform frame. L'evoluzione del sistema blockbau è, invece, più legata alle tecniche di lavorazione degli elementi costruttivi base.

Analogamente si può dire che il sistema a scheletro portante ha avuto giovamento sia dalle stesse innovazioni tecnologiche a livello di lavorazioni in officina, sia dall'impiego di elementi metallici a vista o a scomparsa per la realizzazione dei nodi.

8.3 SOLUZIONI COSTRUTTIVE

Nella letteratura tecnica si incontrano diversi modi di suddividere i vari tipi di costruzioni di legno. Attualmente il mercato delle costruzioni in legno si divide tra sistema costruttivo leggero definito a "telaio" e sistemi costruttivi massicci a pannello X-Lam. Le due famiglie coprono circa il 90% del costruito in legno. Altre soluzioni massicce come il blockhaus o blockbau, seppure rappresentino una tecnica costruttiva alpina tipica del passato, sono scarsamente richieste e non sono state considerate come soluzioni per la realizzazione del rifugio.

Le costruzioni di tipo a telaio si caratterizzano per la presenza di un'ossatura portante con montanti disposti a distanza ravvicinata e che compongono il telaio di legno. La parte portante viene rivestita con pannelli da entrambi i lati per costruire una lastra.

Le costruzioni di tipo massiccio in X-lam con legno compensato di tavole intrecciate ed incollate sono caratterizzate dall'impiego di elementi massicci piani multistrato con funzione portante, nei quali le dimensioni lungo entrambi gli assi principali sono di gran lunga maggiori dello spessore.

8.3.1 CROSS LAMINATED TIMBER PANEL

Il Cross Laminated Timber Panel detto, in maniera abbreviata, Pannello CrossLam, viene comunemente chiamato pannello X-lam.

Il pannello X-lam è in legno massiccio e composto da strati di tavole, isorientate, sovrapposti uno sull'altro ed incrociati in modo che l'andamento delle fibre delle tavole di ognuno di essi sia ruotato di 90° rispetto allo strato sottostante.

Le tavole sono generalmente di legno di conifera, come la maggior parte degli elementi lignei per carpenteria e ossature

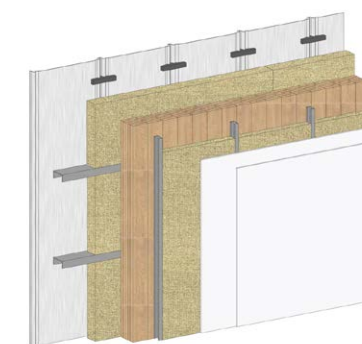


Fig.8.3 Sistema X-lam

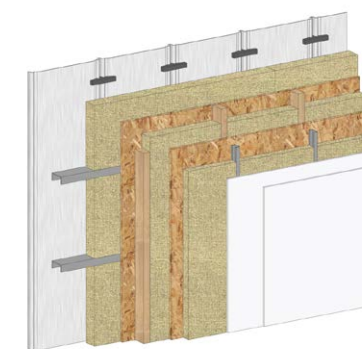


Fig.8.4 Sistema a telaio

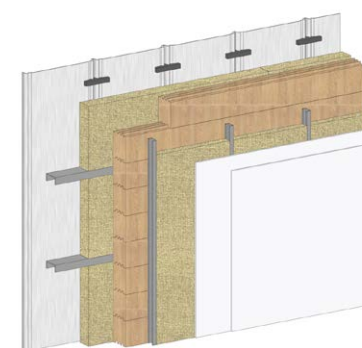


Fig.8.5 Sistema massiccio

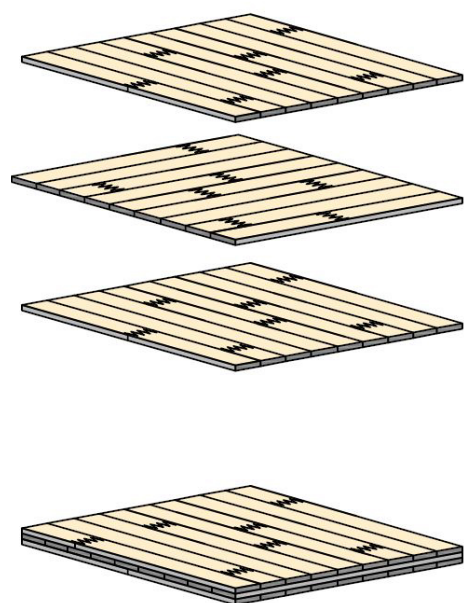


Fig.8.6 Disposizione delle tavole nei pannelli X-lam

portanti.

I singoli strati sono composti da tavole di spessore variabile compreso fra 15 e 40 mm.

La larghezza delle tavole oscilla fra gli 80 ed i 240 mm. Esse devono rispettare i medesimi criteri di quelle per la produzione di legno lamellare incollato, classificate secondo la resistenza e appartenenti alla classe C24. Le tavole possono essere fissate tramite incollaggio o chiodatura o collegate con perni. Attualmente per diminuire la presenza di agenti inquinanti nell'aria all'interno degli edifici si utilizzano adesivi poliuretaniche.

Nel caso in cui la giunzione delle tavole sia fatta con chiodi, questi ultimi sono in alluminio per evitare la rottura delle seghe durante la fase di taglio del pannello.

Le dimensioni massime dei pannelli X-lam più diffusi vedono 3 m d'altezza, mentre la lunghezza può raggiungere i 16 m e lo spessore varia da 5 a 50 cm.

È evidente che la lunghezza è in funzione delle modalità di trasporto, mentre lo spessore sarà relazionato alle prestazioni di resistenza richieste. Entro questi limiti, le dimensioni del singolo pannello possono variare, comunque, in modo notevole.

Le variazioni attendibili delle dimensioni di un pannello X-lam, nel suo piano, sono dell'ordine dello 0,1% cioè meno di 1 mm per ogni metro lineare. Per questo motivo si può affermare che i pannelli hanno un comportamento ad elemento di piastra con rigidità flessionale nelle due direzioni del suo piano. Il comportamento scatolare di un edificio in X-lam è garantito dalla giunzione tra i pannelli e tra questi e la fondazione attraverso ancoraggi certificati.

8.3.1 PANNELLI INTELAIATO

Nel sistema a pannelli intelaiati, il setto portante è costituito da un telaio leggero fatto di segati, rivestito su uno o ambo i lati con lastre a base legno (compensato strutturale, OSB, MDF) o gesso (cartongesso, gessofibra). Le finiture interna ed esterna della parete possono avere diverse soluzioni costruttive in rapporto alla destinazione d'uso. Le canalizzazioni per gli impianti sono alloggiare nell'intelaiatura o, preferibilmente, in apposita intercapedine tra il setto portante e il rivestimento di finitura interna.

In generale la parete è concepita in modo tale da attribuire a ciascun elemento che compone la strategia una specifica funzione per garantire la sicurezza statica dell'edificio, la tenuta all'aria e al vento, l'isolamento termo-acustico, la sicurezza al fuoco e la protezione dall'umidità.

La conformazione, lo spessore dei materiali e la loro disposizione dipendono dalle loro caratteristiche fisico-meccaniche.

I pannelli possono essere realizzati interamente in opera o fuori opera, con differenti livelli di prefabbricazione. Per quanto riguarda i segati, vengono impiegate sezioni standard di spessore variabile 5-8 cm, e di profondità 10-18 cm le cui dimensioni dipendono sia dalle verifiche statiche sia dallo spessore di isolante che si vuole interporre nella parete.

I montanti sono connessi fra loro mediante mezzi di collegamento semplici come graffe, viti e chiodi. I pannelli di rivestimento strutturale vengono collegati all'intelaiatura tramite chiodi ad aderenza migliorata, di diametro dai 3 ai 3,5 mm, disposti generalmente ad interasse di 100-200 mm in corrispondenza dei bordi del pannello, raddoppiati sui bordi esterni ed in prossimità delle aperture.

Nelle costruzioni intelaiate di legno il dispendio tecnico è esiguo per via dell'utilizzo sistematico di sezioni standard; le dimensioni dei pannelli, inoltre, sono di norma multiplo del passo standard dei montanti 62,5 cm.

Le modalità di costruzione di edifici a struttura intelaiata di legno sono due: piano per piano "platform frame" o impiegando elementi di altezza pari a più piani "balloon frame".

Dal momento che i montanti sono stabilizzati dal rivestimento in pannelli applicato su uno o su ambo i lati, essi possono avere dimensioni molto snelle.

8.4 STUDIO DELLE SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Per la definizione delle soluzioni tecnologiche migliori dal punto di vista delle prestazioni termiche e igrometriche, si è partiti dallo studio della sezione corrente presenti in commercio in particolare di quelle proposte dalla ditta Mariana Franco S.r.l.. Con questo partner è stato avviato un rapporto di collaborazione che ha portato l'azienda a beneficiare degli studi offerti dal Politecnico di Milano.

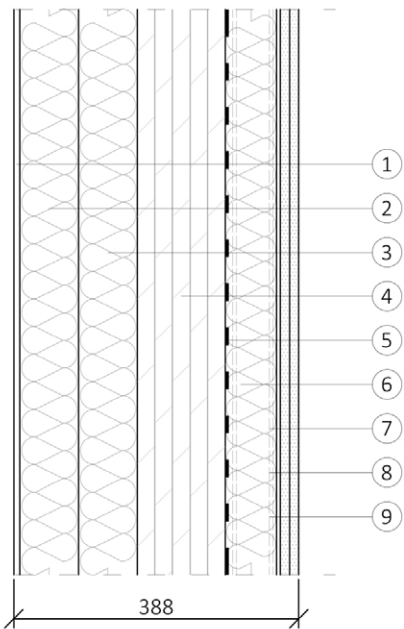
Lo studio analizza la prestazioni sia delle tecnologia a telaio sia di quella a X-lam. Non è stata presa in considerazione la tecnologia Blockbau per i motivi sopracitati.

L'analisi energetica è stata eseguita tramite simulazione termica stazionaria, dei principali dettagli tecnologici ricorrenti, sia nella configurazione a telaio che CLT.

Per ogni dettaglio costruttivo è riportata l'indicazione dei materiali, delle proprietà termiche dei componenti e le condizioni al contorno, al fine di definire sia il comportamento invernale tramite la trasmittanza termica (U) che quello estivo tramite la capacità areica interna periodica, l'attenuazione e lo sfasamento termico.

8.4.1 X-LAM ETICS

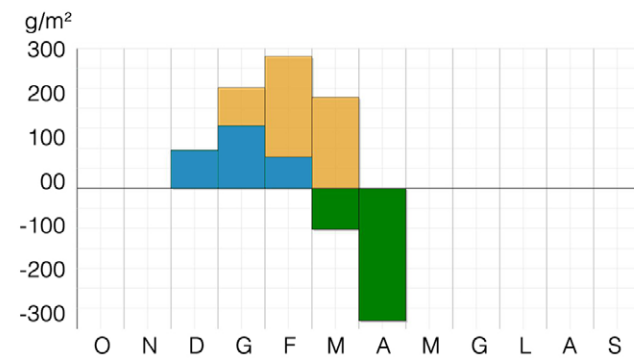
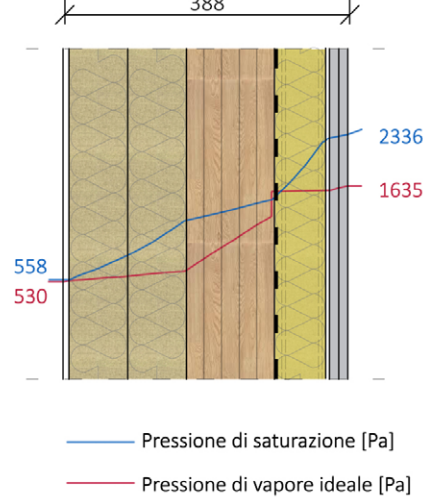
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]	8	80	80	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conduktività λ [W/mK]	0,900	0,040	0,038	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	1800	160	160	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	1000	2100	2100	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	20	3	5	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]	388								



Peso [kg]	112,43
Yie [W/m²K]	0,003
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,134	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,134	0,280	0,240	0,240

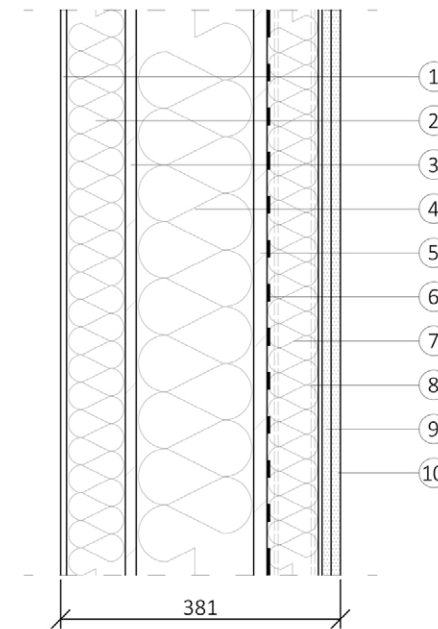
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Fattore di attenuazione	0,0194	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	217		



Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

8.4.2 TELAIO ETICS

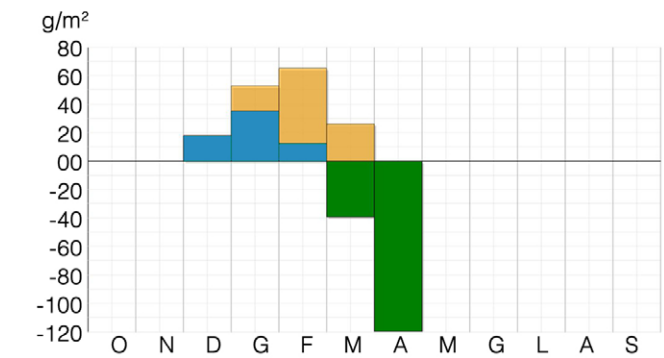
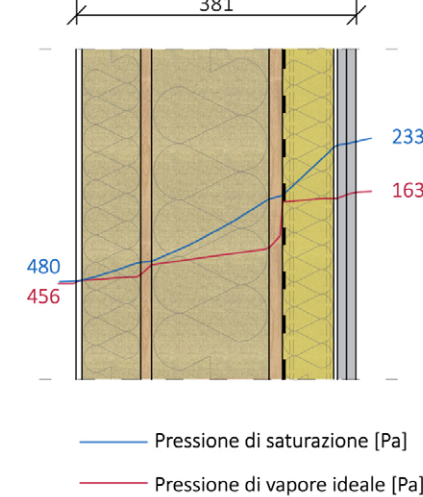
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spessore [mm]	8	80	15	160	18	0,57	70	--	12,5	12,5
Conduktività λ [W/mK]	0,900	0,040	0,130	0,037	0,130	0,220	0,035	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	1800	160	650	55	650	211	67	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	1000	2100	1700	2100	1700	1700	1030	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	20	3	3	5	40	3509	1	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale									
Spessore pacchetto [mm]	381									



Peso [kg]	71,59
Yie [W/m²K]	0,007
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,112	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,112	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Fattore di attenuazione	0,0575	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	128		



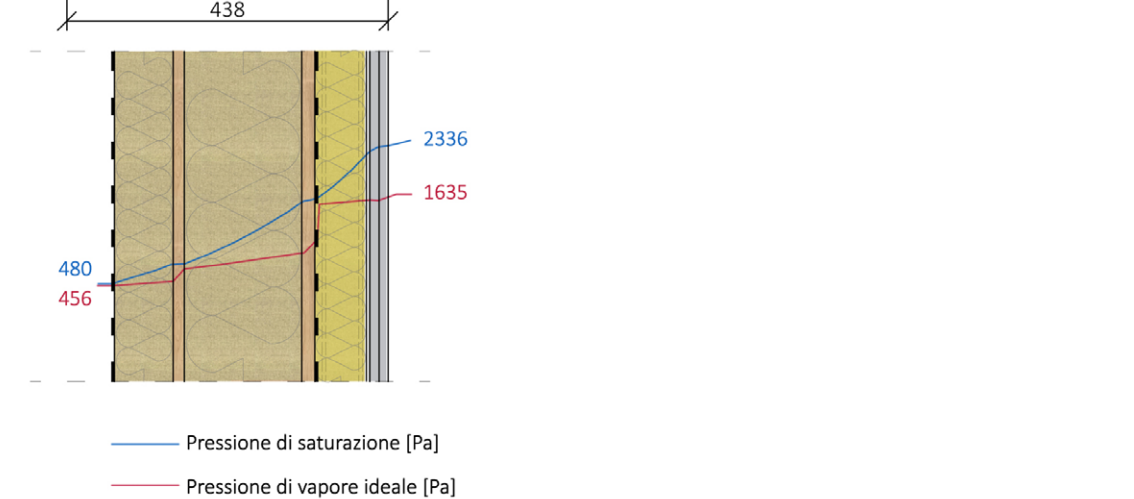
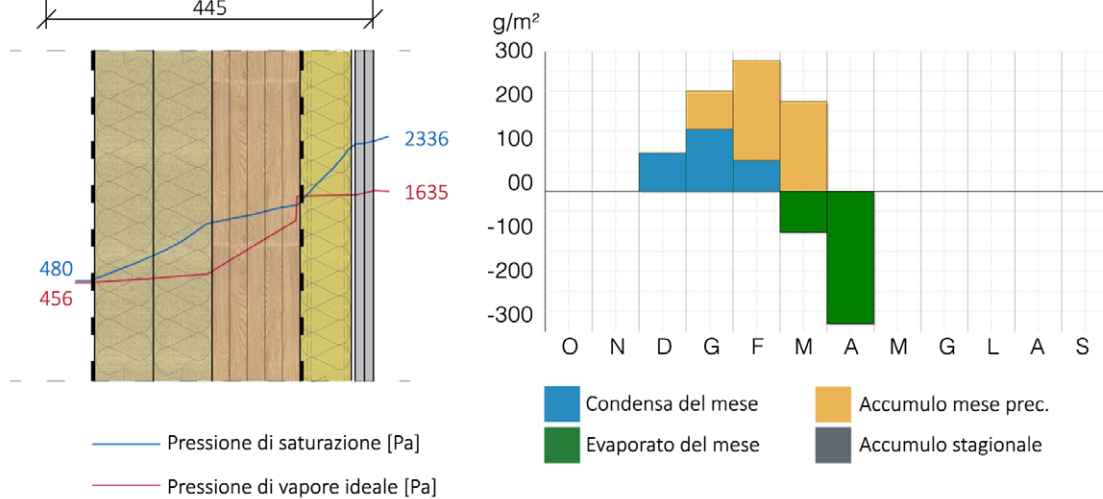
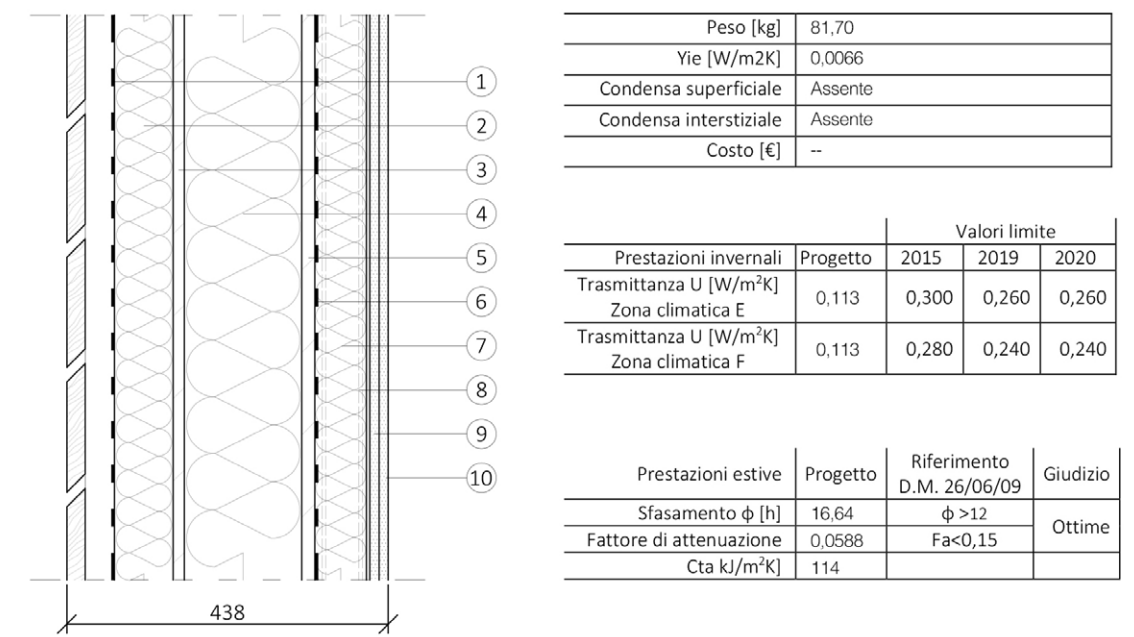
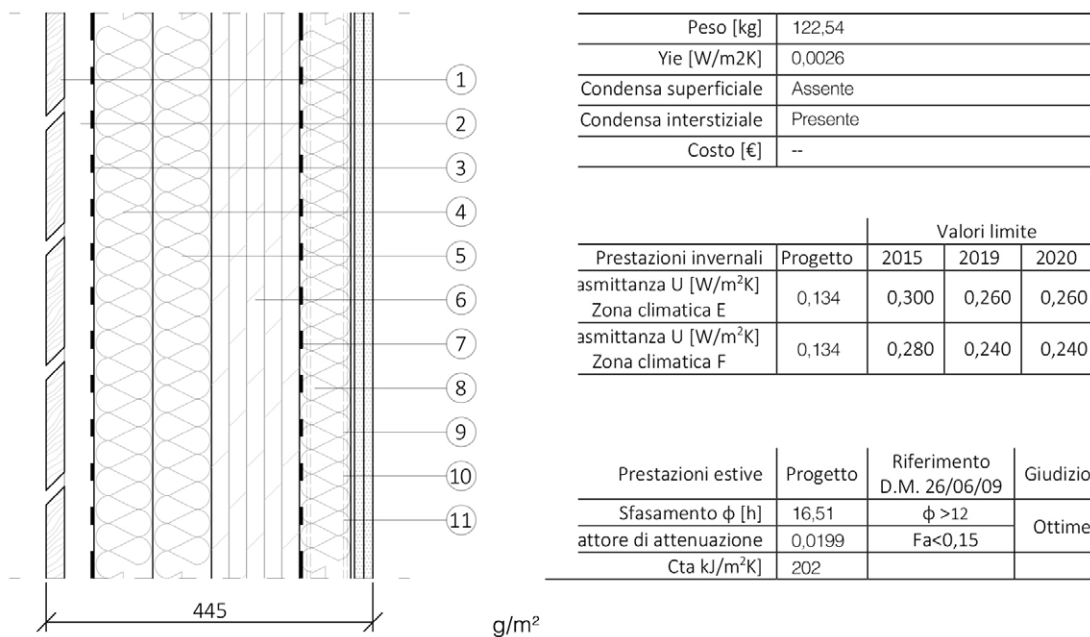
Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

8.4.3 X-LAM VENTILATO

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Spessore [mm]	25	40	0,65	80	80	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conduttività λ [W/mK]	--	--	0,22	0,040	0,038	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	--	185	160	160	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	--	1700	2100	2100	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	--	31	3	5	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale										
Spessore pacchetto [mm]	445										

8.4.4 TELAIO VENTILATO

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spessore [mm]	8	80	15	160	18	0,57	70	--	12,5	12,5
Conduttività λ [W/mK]	0,900	0,040	0,130	0,037	0,130	0,220	0,035	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	1800	160	650	55	650	211	67	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	1000	2100	1700	2100	1700	1700	1030	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	20	3	3	5	40	3509	1	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale									
Spessore pacchetto [mm]	438									

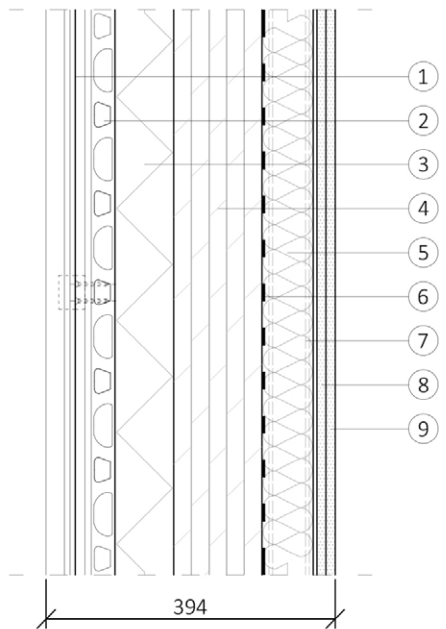


8.4.5 X-LAM ISOTEC PARETE 80

ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]	0,7	55	80	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	--	0,023	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	--	38	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	--	1400	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	--	50000	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]	394								

8.4.6 X-LAM ISOTEC PARETE 160

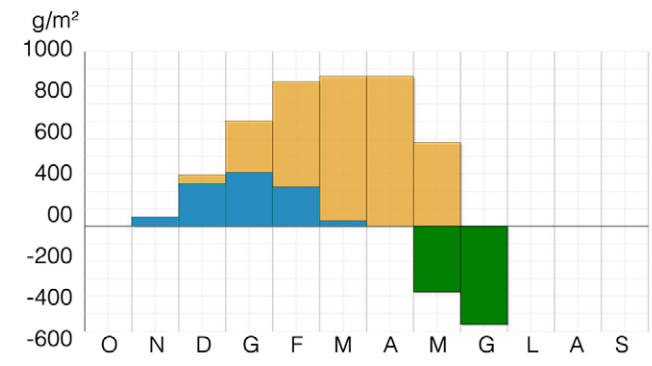
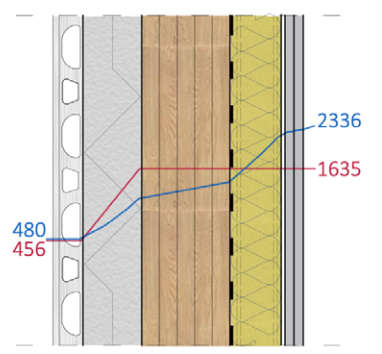
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]	0,7	5,4	160	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	--	0,023	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	--	30	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	--	1700	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	--	50000	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]	474								



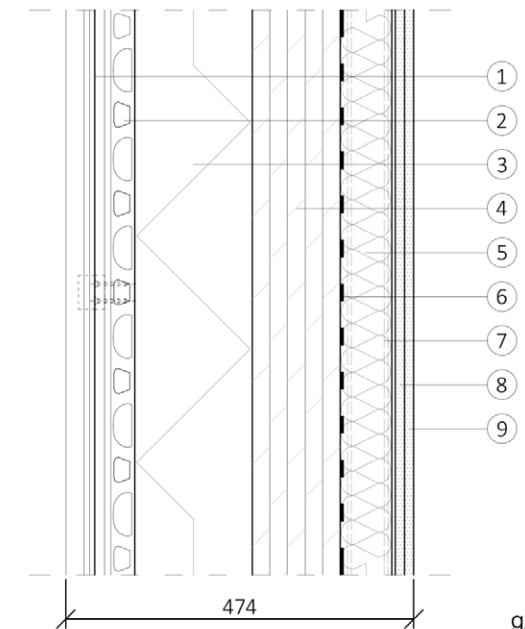
Peso [kg]	91,87
Yie [W/m²K]	0,0085
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,147	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,147	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	11,93	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,0580	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	153		



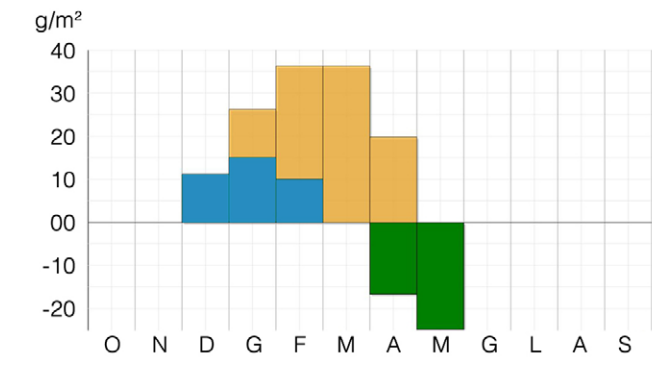
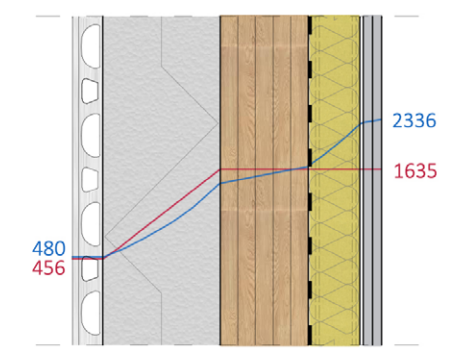
Condensa del mese (blue), Evaporato del mese (green), Accumulo mese prec. (orange), Accumulo stagionale (grey)



Peso [kg]	94,88
Yie [W/m²K]	0,040
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

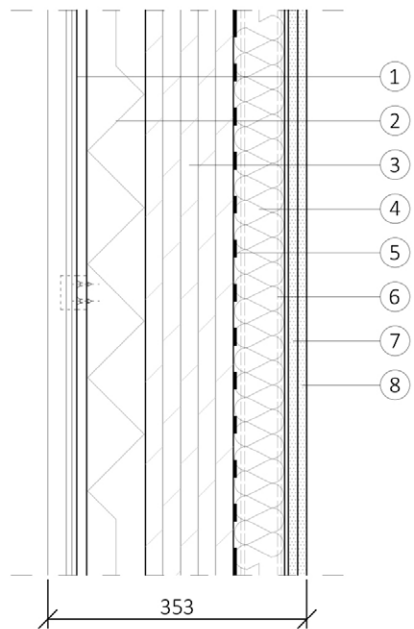
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,07	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,0410	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	157		



Condensa del mese (blue), Evaporato del mese (green), Accumulo mese prec. (orange), Accumulo stagionale (grey)

8.4.7 X-LAM ISOTEC LINEA 80

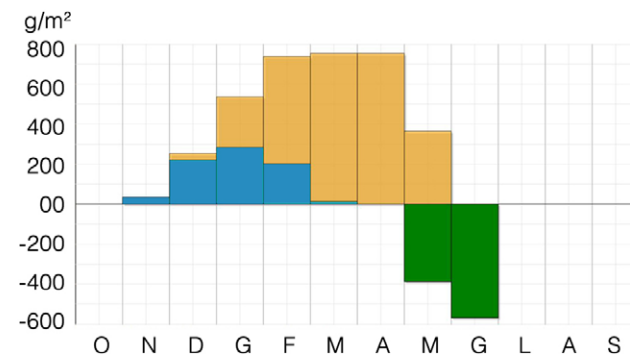
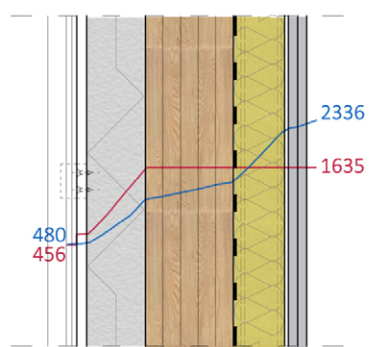
ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Spessore [mm]	0,7	80	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale							
Spessore pacchetto [mm]	353							



Peso [kg]	91,84
Yie [W/m²K]	0,0085
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,147	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,147	0,280	0,240	0,240

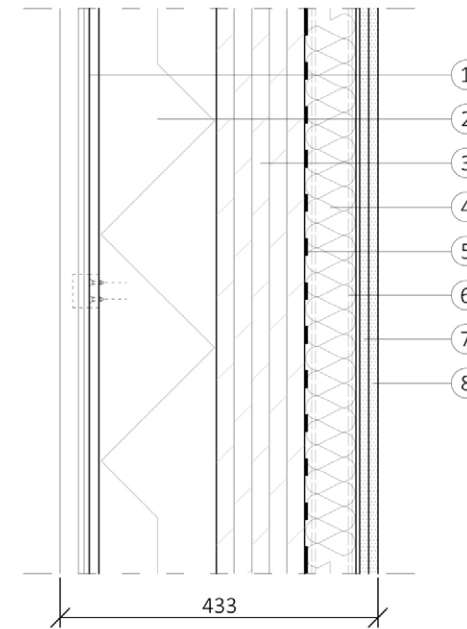
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	11,99	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,0580	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	154		



Condensa del mese (blue), Evaporato del mese (green), Accumulo mese prec. (orange), Accumulo stagionale (grey)

8.4.8 X-LAM ISOTEC LINEA 160

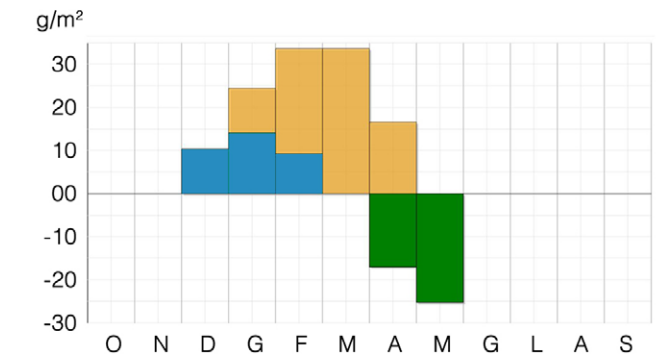
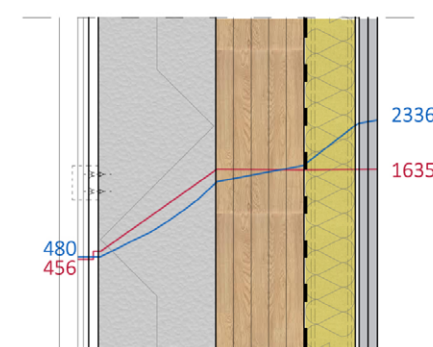
ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Spessore [mm]	0,7	160	120	70	0,57	--	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,035	0,220	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	470	40	211	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	2100	1030	1700	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	32	1	3509	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale							
Spessore pacchetto [mm]	433							



Peso [kg]	94,8
Yie [W/m²K]	0,0040
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,096	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,096	0,280	0,240	0,240

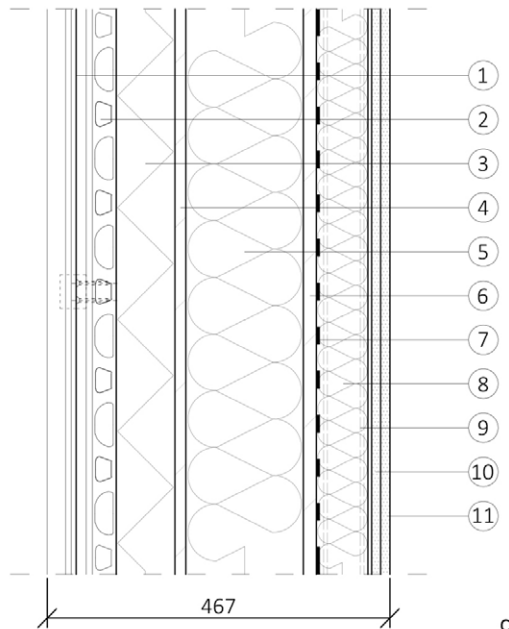
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,13	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,0410	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	159		



Condensa del mese (blue), Evaporato del mese (green), Accumulo mese prec. (orange), Accumulo stagionale (grey)

8.4.9 TELAIO ISOTEC PARETE 80

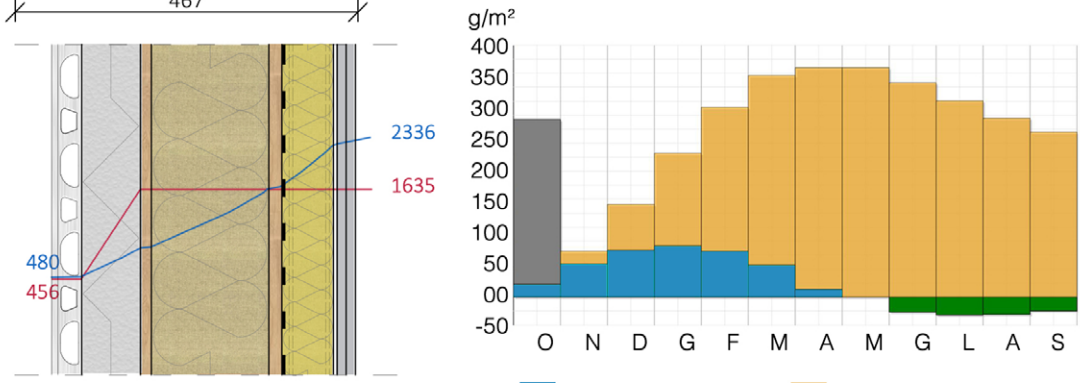
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Spessore [mm]	0,7	55	80	15	160	18	0,57	70	--	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--		0,023	0,130	0,037	0,130	0,220	0,035	--	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--		38	650	55	650	211	67	--	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--		1400	1700	2100	1700	1700	1030	--	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--		50000	3	5	40	3509	1	--	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale										
Spessore pacchetto [mm]	467										



Peso [kg]	63,80
Yie [W/m²K]	0,0058
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

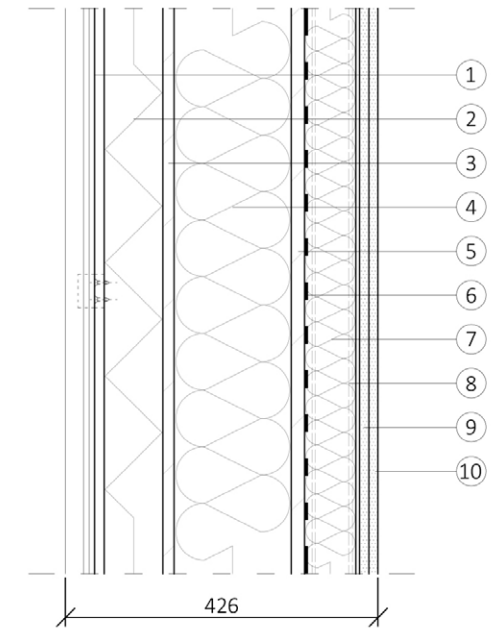
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Fattore di attenuazione	0,0598	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	92		



— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]
■ Condensa del mese
■ Evaporato del mese
■ Accumulo mese prec.
■ Accumulo stagionale

8.4.10 TELAIO ISOTEC LINEA 80

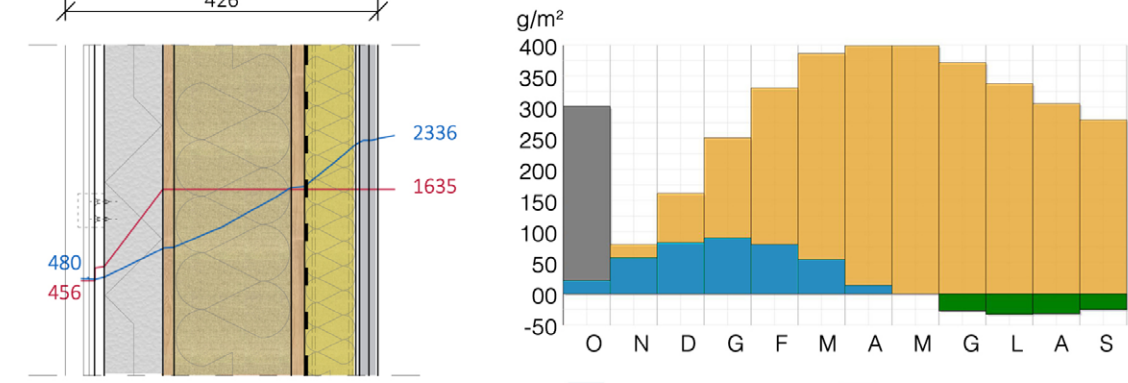
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Spessore [mm]	0,7	80	15	160	18	0,57	70	--	12,5	12,5	
Conducibilità λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,037	0,130	0,220	0,035	--	0,320	0,210	
Densità [kg/m³]	--	38	650	55	650	211	67	--	1150	900	
Calore specifico [J/kgK]	--	1400	1700	2100	1700	1700	1030	--	1100	1000	
Permeabilità al vapore μ	--	50000	3	5	40	3509	1	--	13	10	
Pacchetto	Chiusura verticale										
Spessore pacchetto [mm]	426										



Peso [kg]	63,80
Yie [W/m²K]	0,0057
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

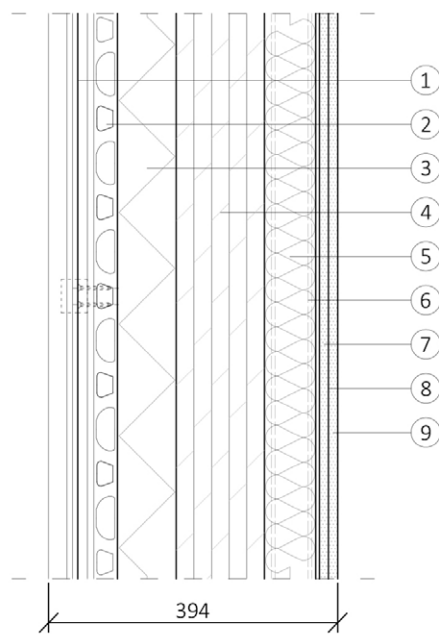
Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Fattore di attenuazione	0,0591	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	94		



— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]
■ Condensa del mese
■ Evaporato del mese
■ Accumulo mese prec.
■ Accumulo stagionale

8.4.11 X-LAM ISOTEC PARETE 80 CON BARRIERA AL VAPORE

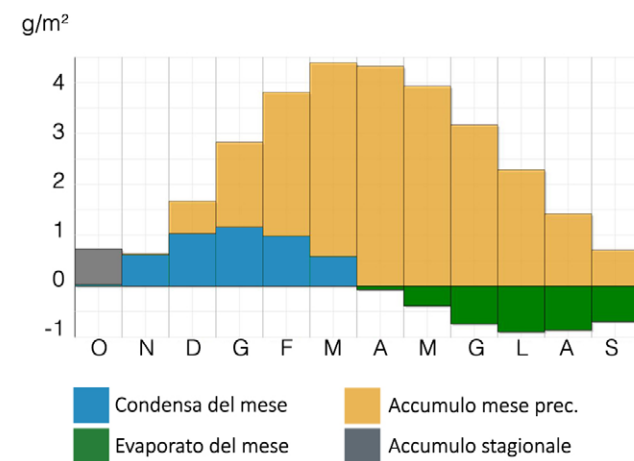
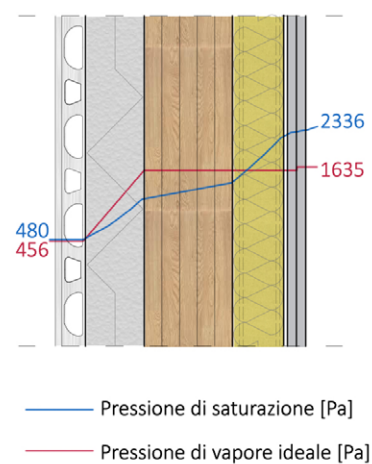
	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]		0,7	5,4	80	120	70	--	12,5	0,2	12,5
Conducibilità λ [W/mK]		--	--	0,023	0,130	0,035	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]		--	--	30	470	40	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]		--	--	1700	2100	1030	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ		--	--	50000	32	1	--	13	1000000	10
Pacchetto		Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]		394								



Peso [kg]	91,84
Yie [W/m²K]	0,01085
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

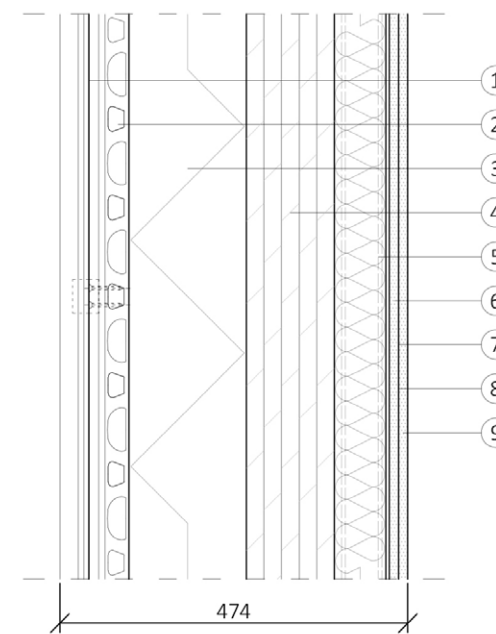
Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,147	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,147	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	11,94	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,0580	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	153		



8.4.12 X-LAM ISOTEC PARETE 160 CON BARRIERA AL VAPORE

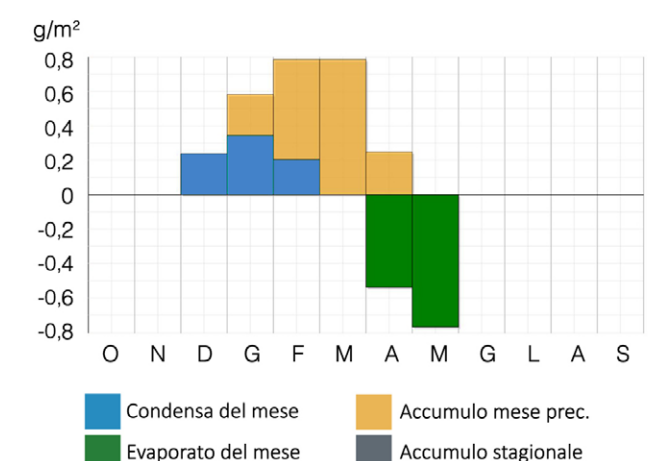
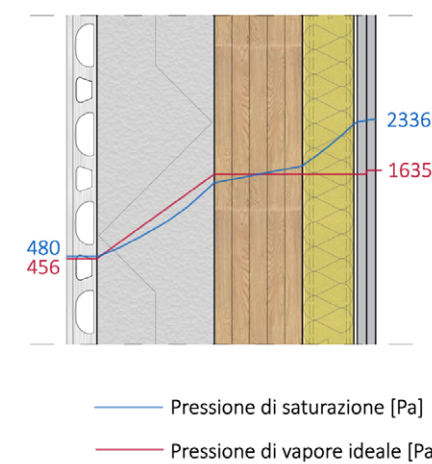
	ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]		0,7	5,4	160	120	70	--	12,5	0,2	12,5
Conducibilità λ [W/mK]		--	--	0,023	0,130	0,035	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]		--	--	30	470	40	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]		--	--	1700	2100	1030	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ		--	--	50000	32	1	--	13	1000000	10
Pacchetto		Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]		474								



Peso [kg]	95,33
Yie [W/m²K]	0,0040
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

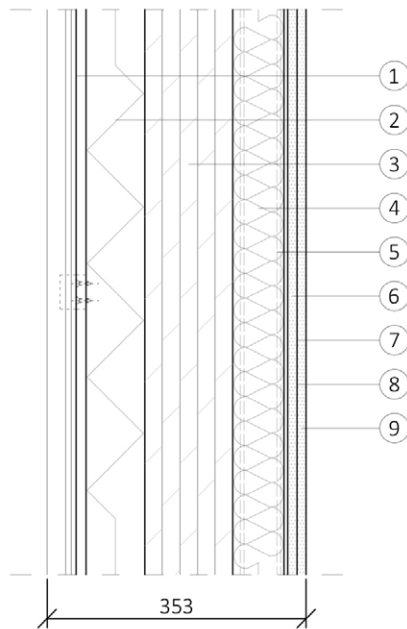
Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,08	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,0410	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	157		



8.4.13 X-LAM LINEA PARETE 80 CON BARRIERA AL VAPORE

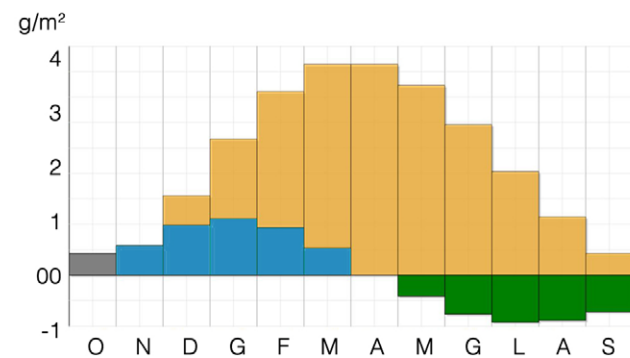
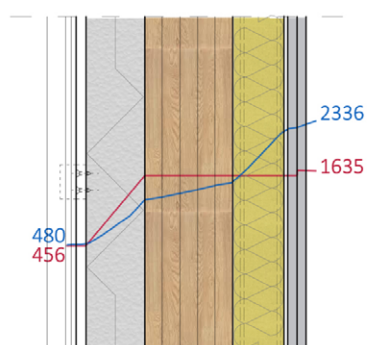
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]	0,7	80	120	70	0,3	--	12,5	0,2	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,035	0,400	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	470	40	567	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	2100	1030	2100	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	32	1	666667	--	13	1000000	10
Pacchetto	Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]	353								



Peso [kg]	91,84
Yie [W/m²K]	0,0085
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,147	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,147	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	12,00	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,0580	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	155		

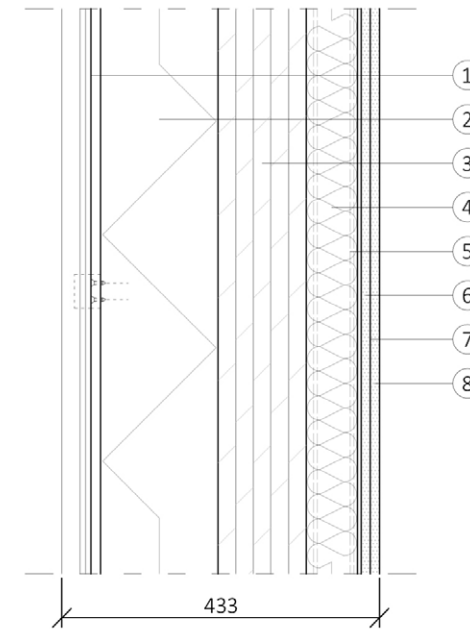


Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]

8.4.14 X-LAM ISOTEC LINEA 160 CON BARRIERA AL VAPORE

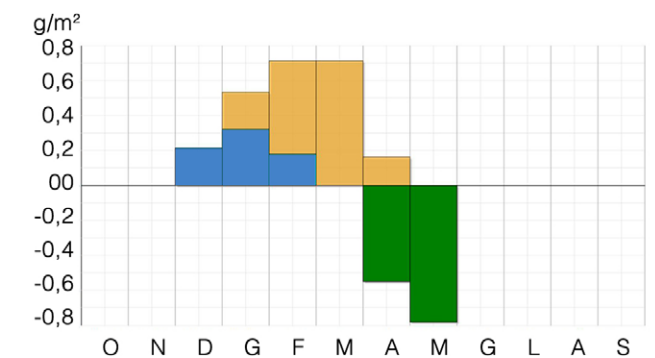
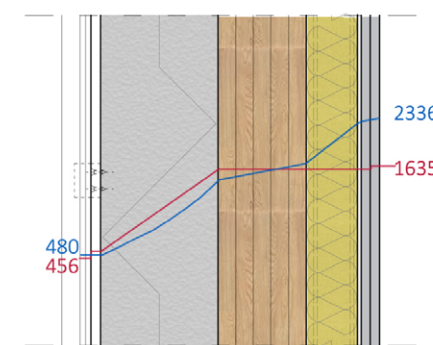
ID	1	2	3	4	5	6	7	8
Spessore [mm]	0,7	160	120	70	--	12,5	0,2	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,035	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	470	40	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	2100	1030	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	32	1	--	13	1000000	10
Pacchetto	Chiusura verticale							
Spessore pacchetto [mm]	433							



Peso [kg]	95,33
Yie [W/m²K]	0,0040
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,096	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,096	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,14	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,0410	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	159		

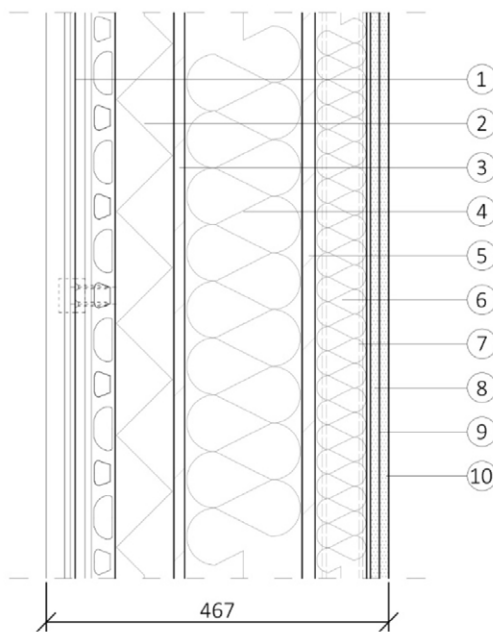


Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]

8.4.15 TELAIO ISOTEC PARETE 80 CON BARRIERA AL VAPORE

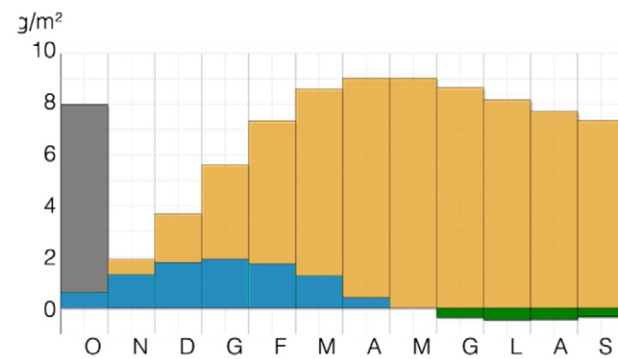
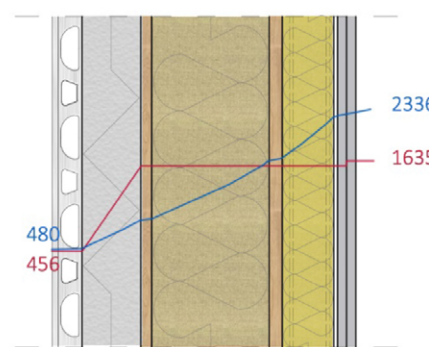
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spessore [mm]	0,7	80	15	160	18	70		12,5	0,2	12,5
Conductività λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,037	0,130	0,035	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	650	55	650	67	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	1700	2100	1700	1030	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	3	5	40	1	--	13	1000000	10
Pacchetto	Chiusura verticale									
Spessore pacchetto [mm]	467									



Peso [kg]	64,25
Yie [W/m²K]	0,0058
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,99	φ >12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,0596	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	92		

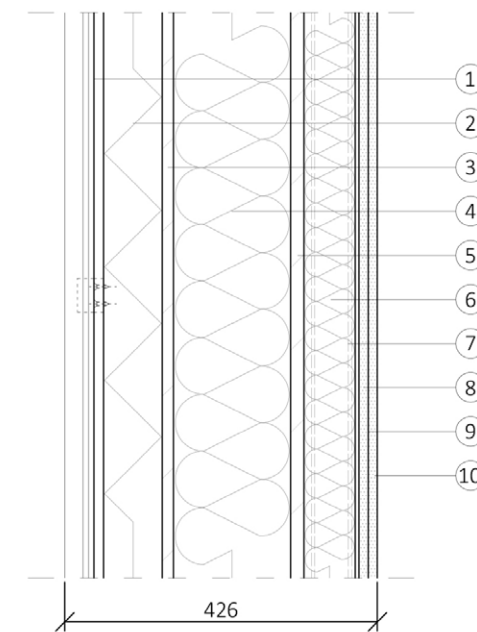


— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]

■ Condensa del mese ■ Accumulo mese prec.
■ Evaporato del mese ■ Accumulo stagionale

8.4.16 TELAIO ISOTEC LINEA 80 CON BARRIERA AL VAPORE

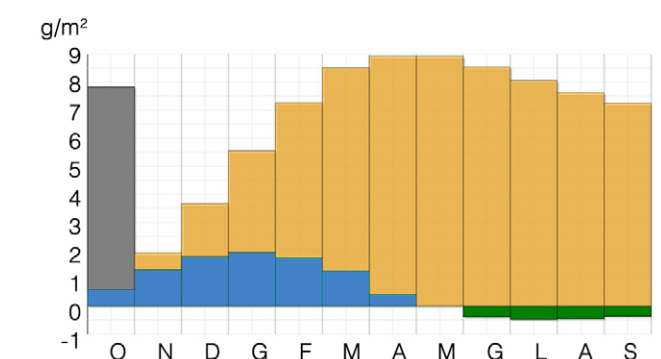
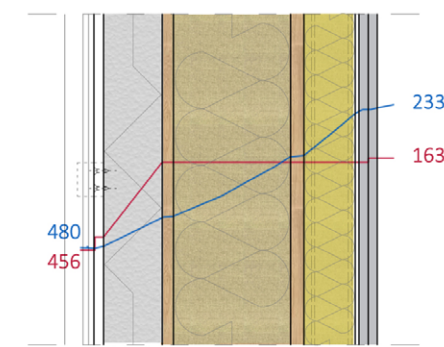
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spessore [mm]	0,7	80	15	160	18	70	--	12,5	0,2	12,5
Conductività λ [W/mK]	--	0,023	0,130	0,037	0,130	0,035	--	0,320	160	0,210
Densità [kg/m³]	--	30	650	55	650	67	--	1150	2800	900
Calore specifico [J/kgK]	--	1700	1700	2100	1700	1030	--	1100	880	1000
Permeabilità al vapore μ	--	50000	3	5	40	1	--	13	1000000	10
Pacchetto	Chiusura verticale									
Spessore pacchetto [mm]	426									



Peso [kg]	64,25
Yie [W/m²K]	0,0057
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	15,07	φ >12	Ottime
Fattore di attenuazione	0,059	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	94		



— Pressione di saturazione [Pa]
— Pressione di vapore ideale [Pa]

■ Condensa del mese ■ Accumulo mese prec.
■ Evaporato del mese ■ Accumulo stagionale

Lo studio delle sezioni correnti in regime statico è partito dalla studio delle stratigrafie che vengono commercializzate dalla ditta Mariana Franco S.r.l. che prevedono due soluzioni, una a cappotto e una ventilata, per entrambe le tipologie costruttive. L'analisi condotta sui dettagli tecnologici sopra proposti valutano sia le prestazioni termiche in regime invernale, considerate secondo quanto prescrive la normativa per le zone climatiche E e F, sia le prestazioni estive.

Le soluzioni proposte dalla ditta prevedono l'utilizzo per lo strato d'isolamento in fibre minerali o vegetali. Queste soluzioni sviluppate con entrambe le tecnologie hanno un ottimo comportamento termico sia invernale sia estivo. Le stratigrafie non manifestano particolari criticità per quanto riguarda il rischio condensa, sebbene presentino un accumulo mensile talvolta rilevante, specialmente nel caso delle soluzioni in X-lam.

Nella seconda parte di questo studio si è analizzato il comportamento delle sezioni correnti sostituendo lo strato d'isolamento esterno, precedentemente costituito da fibre minerali, con un isolante sintetico in poliuretano rivestito con una lamina di alluminio (Isotec).

L'analisi studia il comportamento delle stratigrafie con l'utilizzo di uno strato d'isolamento realizzato con il sistema poliuretano sia nella modalità parete, per realizzare sistemi ventilati, sia linea, per realizzare sistemi non ventilati.

In questa prima parte dello studio si analizza il comportamento per i diversi spessori di isolante 60-80-100-120-160 mm con l'applicazione di una membrana freno a vapore sulla superficie interna della struttura sia a telaio sia in X-lam.

Dall'analisi non sono emersi particolari criticità per quanto riguarda le prestazioni invernali mentre per quelle estive si nota un leggero peggioramento delle prestazioni per le sezioni correnti con limitati spessori d'isolante. Per quanto riguarda le condense, a contrario, lo studio evidenzia una maggiore criticità con accumuli mensili che raggiungono i 1600 g/m². Queste criticità si riducono con l'aumento delle spessore d'isolante raggiungendo valori paragonabili a quelli delle stratigrafie presenti in commercio.

Risultano essere più critiche le sezioni realizzate con la tecnologia a telaio; la condensa mensile risulta essere paragonabile a quella della stratigrafia realizzata con tecnologia a X-lam, ma al contrario di questa presenta un accumulo stagionale.

Dopo questo studio si procede all'analisi delle sezioni correnti considerando l'applicazione di una membrana che funge da barriera al vapore in modo tale da ridurre le criticità evidenziate in precedenza.

Questa soluzione riduce sensibilmente la formazione di condensa raggiungendo valori di 0,8 g/m² nel caso delle soluzioni con isolante di spessore pari a 160 mm.

Il rischio condensazione viene notevolmente ridotto utilizzando soluzioni che comportano l'applicazione di una barriera al vapore nel lato interno dell'involucro in sostituzione del canonico freno al vapore posizionato a ridosso dell'isolante interno. Tale applicazione necessita tuttavia di un'attenta progettazione dei dettagli più critici, in modo tale da poter garantire la perfetta continuità dello strato di tenuta all'aria e al vapore.

COD.	Descrizione	N° mesi con condensa	Mese peggiore	Max. condensa mensile (g/m ²)	Accumulo stagionale	Giudizio
CS.01	Xlam ETICS	3	Gennaio	100	-	oo●
CS.02	Telaio ETICS	3	Gennaio	35	-	o●●
CS.03	Xlam vent.	3	Gennaio	100	-	oo●
CS.04	Telaio vent.	0	-	-	-	●●●
CS.05.a	XLAM Isotec par. 60	5	Gennaio	450	-	ooo
CS.05.b	XLAM Isotec par. 80	5	Gennaio	400	-	ooo
CS.05.c	XLAM Isotec par. 100	3	Gennaio	180	-	oo●
CS.05.d	XLAM Isotec par. 120	6	Gennaio	20	-	o●●
CS.05.e	XLAM Isotec par. 160	3	Gennaio	15	-	o●●
CS.06.a	XLAM Isotec lin. 80	5	Gennaio	300	-	ooo
CS.06.b	XLAM Isotec lin. 100	3	Gennaio	180	-	oo●
CS.06.c	XLAM Isotec lin. 120	6	Gennaio	20	-	o●●
CS.06.d	XLAM Isotec lin. 160	3	Gennaio	14	-	●●●
CS.07	Telaio Isotec par. 80	7	Gennaio	70	280	ooo
CS.08	Telaio Isotec lin. 80	7	Gennaio	90	310	ooo
CS.09.a	XLAM Isotec par. 60 + barriera al vapore	7	Gennaio	1	3,5	oo●
CS.09.b	XLAM Isotec par. 80 + barriera al vapore	6	Gennaio	1	0,8	o●●
CS.09.c	XLAM Isotec par. 100 + barriera al vapore	5	Gennaio	0,8	-	●●●
CS.09.d	XLAM Isotec par. 120 + barriera al vapore	5	Gennaio	0,8	-	●●●
CS.09.e	XLAM Isotec par. 160 + barriera al vapore	3	Gennaio	0,3	-	●●●
CS.10.a	XLAM Isotec lin. 80 + barriera al vapore	5	Gennaio	4	0,5	o●●
CS.10.b	XLAM Isotec lin. 100 + barriera al vapore	5	Gennaio	0,8	-	●●●
CS.10.c	XLAM Isotec lin. 120 + barriera al vapore	5	Gennaio	0,6	-	●●●
CS.10.d	XLAM Isotec lin. 160 + barriera al vapore	3	Gennaio	0,3	-	●●●
CS.11	Telaio Isotec par. 80 + barriera al vapore	7	Gennaio	2	8	oo●
CS.12	Telaio Isotec lin. 80 + barriera al vapore	7	Gennaio	2	8	oo●

ooo Non accettabile; oo● Accettabile; o●● Buona; ●●● Ottima.

Tab.8.1 Tabella riassuntiva dei risultati delle simulazioni in regime stazionarie

8.5 PROGETTAZIONE DEI DETTAGLI TECNOLOGICI

Prima di definire le soluzioni tecnologiche si è proceduto allo studio dei dettagli tecnologici maggiormente presenti nelle abitazioni pluripiano.

Lo studio si è soffermato non solo sulla definizione degli strati funzionali e sulla loro posizione all'interno dei diversi nodi, ma anche sull'analisi del loro comportamento termico.

Quest'analisi si pone l'obiettivo di analizzare l'andamento delle temperature all'interno del nodo e ci permette di definire la trasmittanza lineica del ponte termico dovuta da:

- Discontinuità geometriche;
- Discontinuità di materiale;
- Tipologie miste.

Le simulazioni prendono in esame gli elementi principali, in particolare si è studiato l'interfaccia terreno-chiusura verticale opaca, solaio intermedio-chiusura verticale opaca, chiusura verticale opaca-serramento, copertura-chiusura verticale.

Lo studio analizza le prestazioni dei nodi sia delle tecnologia a telaio sia di quella a X-lam.

Nello specifico sono stati studiati 7 tipologie di nodi tecnologici e per ognuno è stata prodotta una scheda descrittiva di dettaglio contenente il disegno e le caratteristiche termiche che ne definiscono la prestazione.

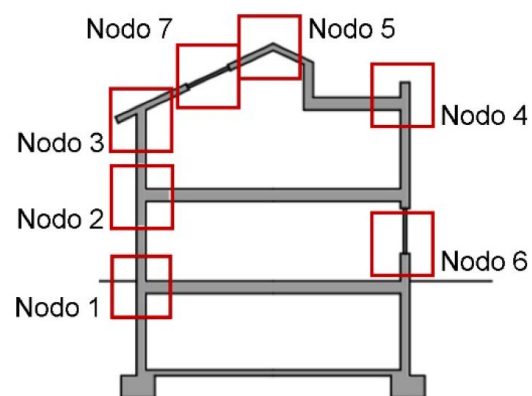


Fig.8.7 Schema esplicativo della posizione e tipologia di dettaglio analizzati

Ogni dettaglio è stato analizzato attraverso lo studio agli elementi finiti in funzione di determinate condizioni al contorno che sono state impostate considerando una temperatura esterna pari a -5°C , mentre la temperatura interna è stata considerata pari a 20°C . Nello specifico i dettagli sono analizzati attraverso il software Dartwin in grado di eseguire l'analisi termica ed igrometrica in rispetto con le norme UNI vigenti (ISO 10211:2008).

Ogni dettaglio è stato modellato considerando i reali materiali ed i risultati sono riportati attraverso la rappresentazione nel nodo delle linee isoterme con un passo di 2°C . Per completezza di analisi viene inoltre riportata la linea isoterma di $16,7^{\circ}\text{C}$, corrispondente al valore di temperatura di rugiada valutato in funzione dell'umidità relativa interna $UR = 65\%$.

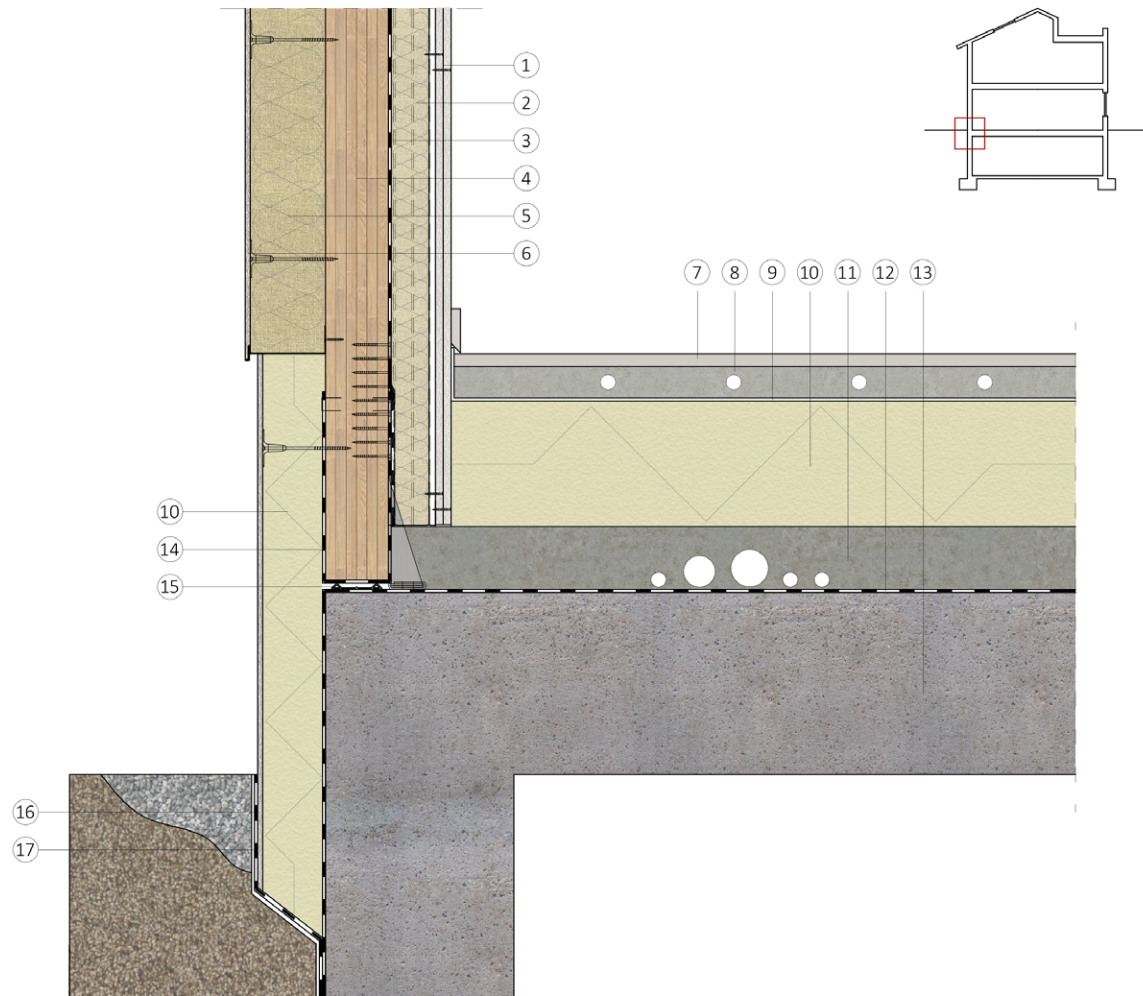
Nella tabella seguente vengono riportate le condizioni al contorno utilizzate nelle studio agli elementi finiti dei diversi nodi.

Tipologia dettaglio	Codice*	T. esterna [°C]	T. interna [°C]	Resistenza esterna [m²K/W]	Resistenza interna orizzontale [m²K/W]	Resistenza interna ascendente/discendente [m²K/W]
Parete-solaio	Nodo 1 - 2	-5	20	0,042	0,13	0,10
Tetto a falda	Nodo 3 - 5	-5	20	0,042	0,13	0,10
Solaio piano-parete	Nodo 4	-5	20	0,042	0,13	0,10
Infisso-parete	Nodo 6	-5	20	0,042	0,13	0,10
Elementi accessori di copertura	Nodo 7	-5	20	0,042	0,13	0,10

* il codice del caso studio riportato è utilizzato nella relazione per identificare il dettaglio tecnico (DT).

Tab.8.2 Tabella riassuntiva delle condizioni al contorno

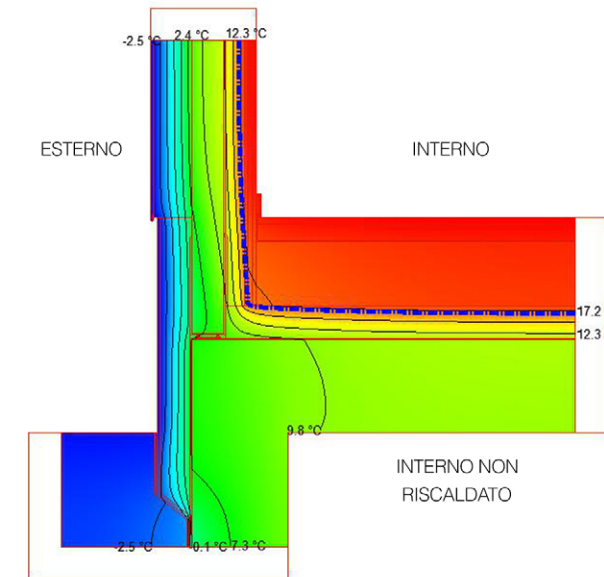
8.5.1 NODO 1 TECNOLOGIA X-LAM



ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Spessore [mm]	25	60	0,57	100	120	8	20	50	7	200	100	1,2	300	--	--	1,5	1,5
Conduttività λ [W/mK]	0,200	0,038	0,220	0,130	0,037	0,900	1,300	2,020	0,055	0,034	1,260	0,500	1,350	0,055	0,500	0,500	0,500
Pacchetto	Chiusura verticale				Partizione interna orizzontale												
Spessore pacchetto [mm]	313				677												
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,000074				--												

Chiusura verticale				Chiusura verticale				Valori limite			
Prestazioni estive				Prestazioni invernali							
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021				
Sfasamento φ [h]	14,00		φ>12	0,170	0,30	0,26	0,26				
Fattore di attenuazione fa	0,0004		fa<0,15	0,170	0,28	0,24	0,24				
Cta [kJ/m²K]	642										

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

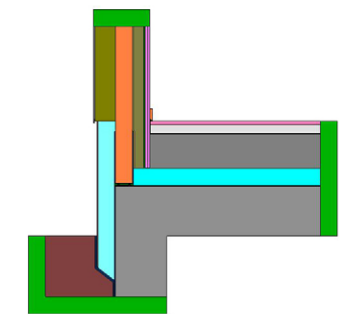
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

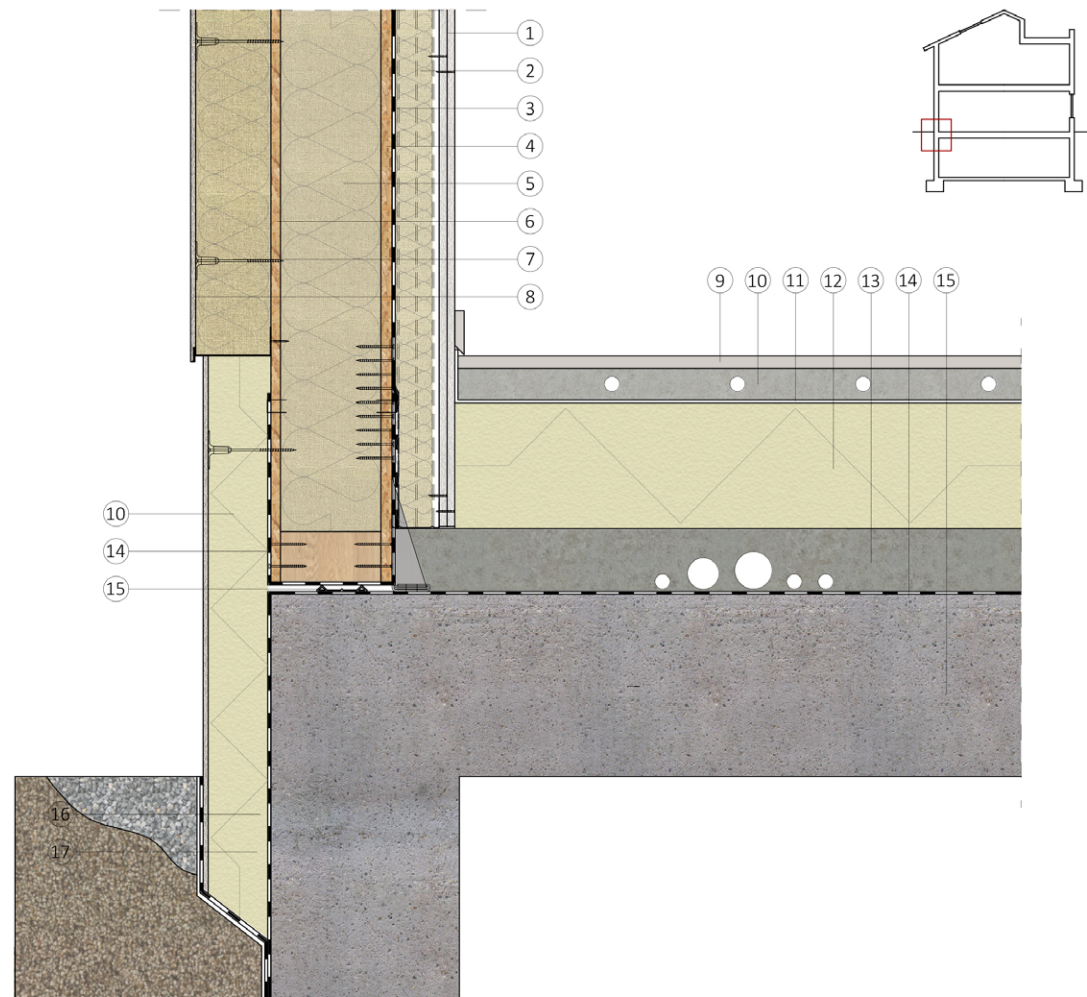
Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = 0,258 W/mK
Umedia: 0,4193 W/m²K
L2D, con ponte: 0,6343 W/mK
L2D, senza ponte: 0,3764 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Fibre minerali*	0.0385	80.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0407	30.0000	
Adiabatico	0.0000	1.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Fibre minerali*	0.0418	40.0000	
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Freno vapore PP (USB micro RIWEGA)	0.2200	352.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0480	33.0000	
Materie plastiche compatte	0.1600	1400.0000	
Intonaci e malte	1.4000	2000.0000	
Porcellana	1.0000	2300.0000	
Calcestruzzo	1.1615	2000.0000	
Calcestruzzo	1.2600	250.0000	
Calcestruzzo	0.3800	1000.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0396	20.0000	
Terrano	2.0000	1600.0000	
Cartongesso media densità (1300 kg/m³)	0.5700	1300.0000	



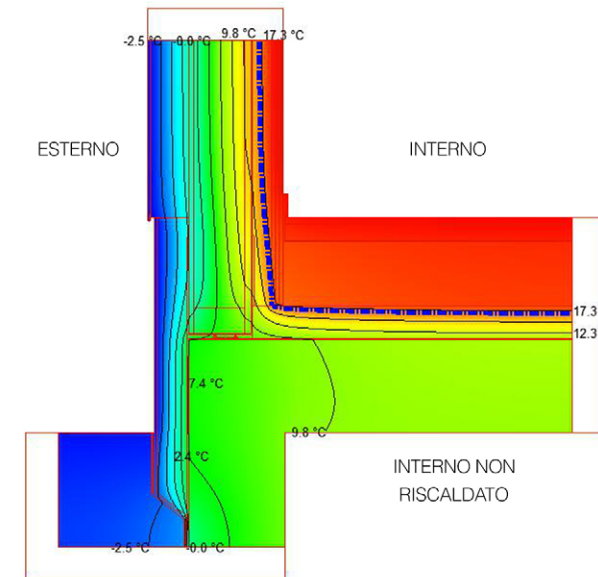
8.5.2 NODO 1 TECNOLOGIA TELAIO



ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Spessore [mm]	25	60	0,57	15	160	25	120	8	20	50	7	200	100	1,2	300	--	1,5	1,5	1,5
Conduttività λ [W/mK]	0,200	0,038	0,220	0,130	0,038	0,090	0,037	0,900	1,300	2,020	0,055	0,034	1,260	0,500	1,350	0,055	0,500	0,500	0,500
Pacchetto	Chiusura verticale								Partizione interna orizzontale										
Spessore pacchetto [mm]	413								677										
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,0112								--										

Chiusura verticale Prestazioni estive				Chiusura verticale Prestazioni invernali				Valori limite		
Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione		Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021			
Sfasamento φ [h]	15,05	φ>12	Ottimo	Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,141	0,30	0,26	0,26		
Fattore di attenuazione fa	0,0798	fa<0,15		Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,141	0,28	0,24	0,24		
Cta [Kj/m²K]	118									

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

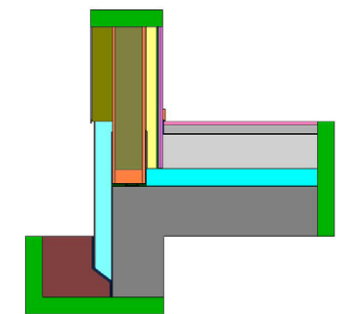
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

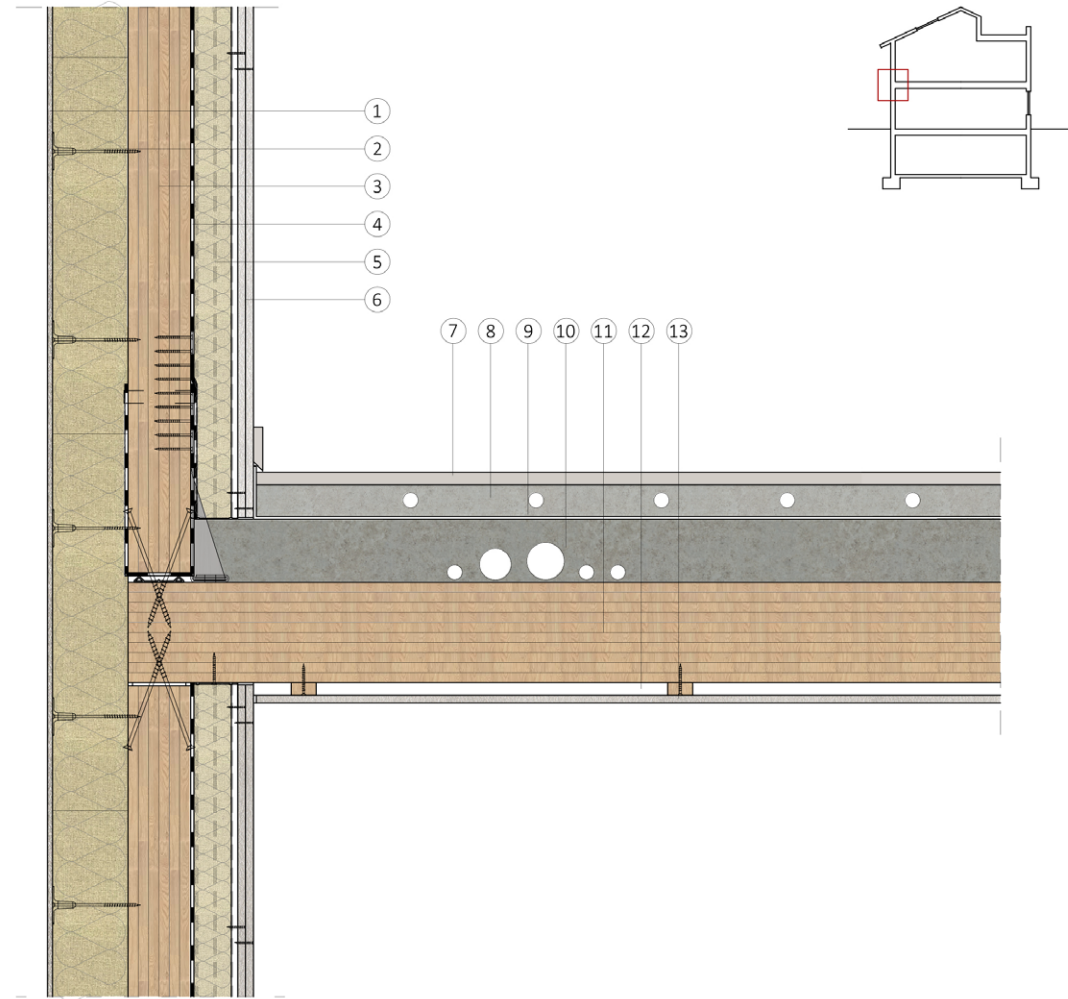
Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = 0,212 W/mK
Umedia: 0,2596 W/m²K
L2D, con ponte: 0,4090 W/mK
L2D, senza ponte: 0,1968 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Adiabatico	0.0000	1.0000	
Terreno	2.0000	1600.0000	
Fibre minerali*	0.0385	80.0000	
Calcestruzzo	1.1615	2000.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0396	20.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0407	30.0000	
Fibre minerali*	0.0418	40.0000	
Fibre minerali*	0.0462	16.0000	
Pannelli e lastre varie	0.1680	600.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Intonaci e malte	1.4000	2000.0000	
Materie plastiche compatte	0.1600	1400.0000	
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0480	33.0000	
Freno vapore PP (USB micro RIWEGA)	0.2200	352.0000	
Porcellana	1.0000	2300.0000	
Calcestruzzo	1.2600	250.0000	
Calcestruzzo	0.3800	1000.0000	
Cartongesso media densità (1300 kg/m3)	0.5700	1300.0000	



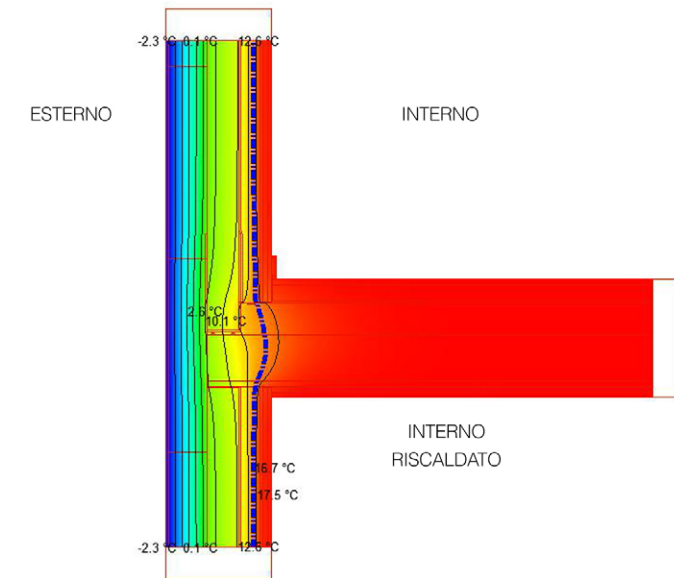
8.5.3 NODO 4 TECNOLOGIA X-LAM



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Spessore [mm]	8	120	100	0,57	60	25	20	50	6,8	100	160	20	12,5
Conduttività λ [W/mK]	0,900	0,037	0,130	0,220	0,038	0,200	1,300	2,020	0,055	1,260	0,130	0,120	0,200
Pacchetto	Chiusura verticale						Partizione interna orizzontale						
Spessore pacchetto [mm]	313						362,5						
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,000074						--						

Chiusura verticale				Chiusura verticale				Valori limite			
Prestazioni estive				Prestazioni invernali							
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021				
Sfasamento φ [h]	14,00	φ > 12	Ottimo	Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,30	0,26	0,26			
Fattore di attenuazione fa	0,0004	fa < 0,15		Zona climatica E							
Cta [KJ/m²K]	642			Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24	0,24			
				Zona climatica F							

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

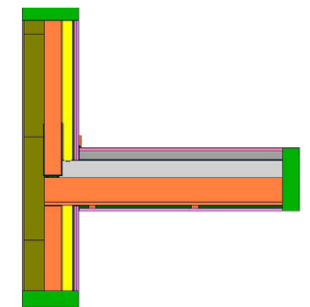
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

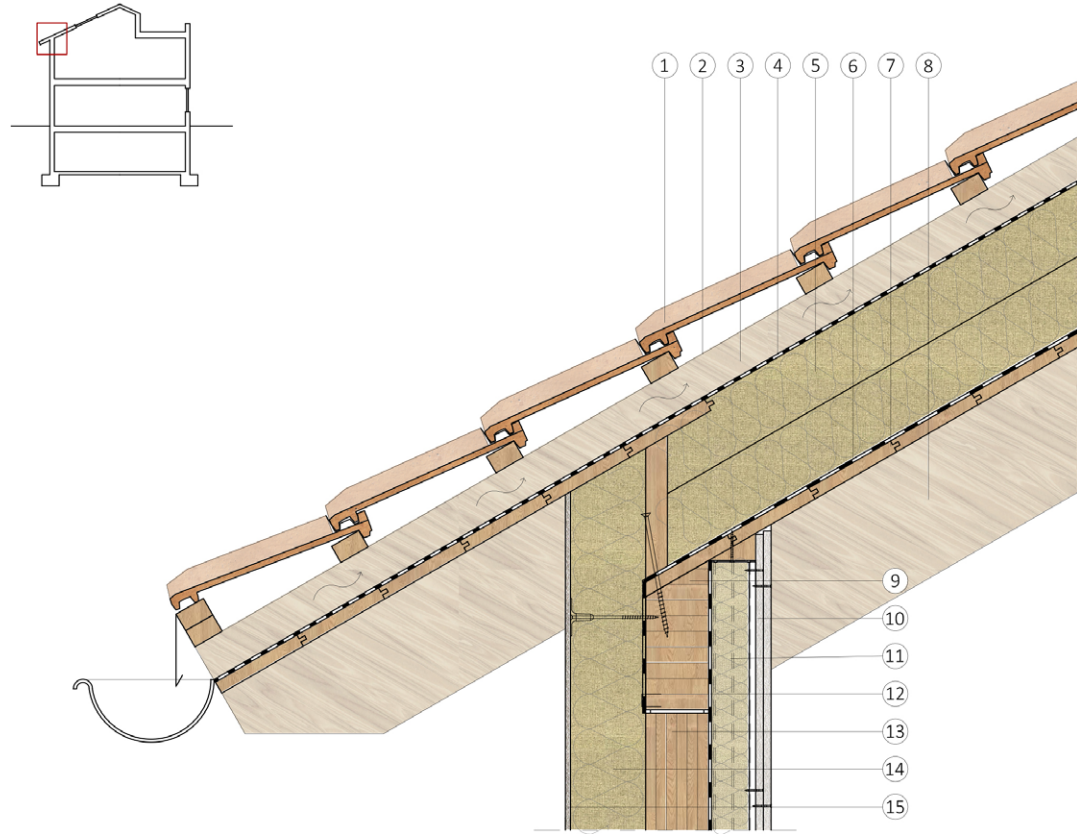
Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = 0,0028 W/mK
Umedia: 0,1832 W/m²K
L2D, con ponte: 0,2887 W/mK
L2D, senza ponte: 0,2915 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Adiabatico	0.0000	1.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Fibre minerali*	0.0385	80.0000	
Fibre minerali*	0.0462	16.0000	
Freno vapore PP (USB micro RIWEGA)	0.2200	352.0000	
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Intonaci e malte	1.4000	2000.0000	
Calcestruzzo	0.3800	1000.0000	
Materiali per impermeabilizzazioni	0.2300	1100.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0504	30.0000	
Porcellana	1.0000	2300.0000	
Calcestruzzo	0.3800	1000.0000	
Cartongesso media densità (1300 kg/m3)	0.5700	1300.0000	



8.5.4 NODO 5 TECNOLOGIA A TELAIO

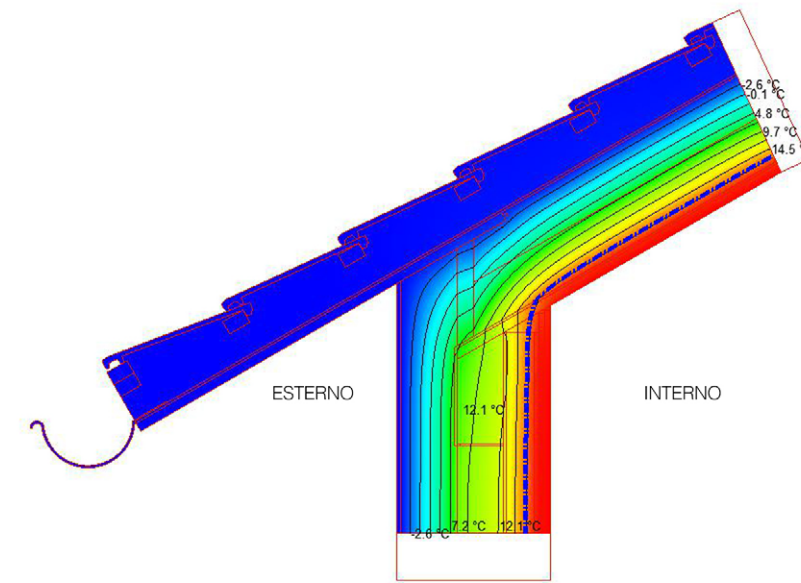


	Tegola		Listelli portategola	Listelli di ventilazione	Membrana trasparente	Isolante	Schermo freno al vapore	Perlina	Correnti 120x200	Banchina	Pannello in fibrogesso	Controparete isolata	Freno al vapore	Pannello X-lam	Cappotto isolante	Rasatura
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Spessore [mm]	--	30	60	0,85	200	1,06	20	--	--	25	60	0,57	100	120	8	
Conduttività λ [W/mK]	0,247	0,120	0,120	0,220	0,037	0,220	0,120	0,120	0,120	0,200	0,038	0,220	0,130	0,037	0,900	
Pacchetto	Chiusura inclinata								Chiusura verticale							
Spessore pacchetto [mm]	500								313							
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,0646								0,000074							

Chiusura inclinata				Chiusura inclinata				Valori limite			
Prestazioni estive				Prestazioni invernali							
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021
Sfasamento φ [h]	9,44	8<φ<10	Medie	Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,25	0,22	Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,23	0,20
Fattore di attenuazione fa	0,3697	0,3<fa<0,4		Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,23	0,20	Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,23	0,20
Cta [kJ/m²K]	56			Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,23	0,20	Trasmittanza U [W/m²K]	0,175	0,23	0,20

Chiusura verticale				Chiusura verticale				Valori limite			
Prestazioni estive				Prestazioni invernali							
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021
Sfasamento φ [h]	14,00	φ>12	Ottime	Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,30	0,26	Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24
Fattore di attenuazione fa	0,0004	fa<0,15		Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24	Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24
Cta [kJ/m²K]	642			Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24	Trasmittanza U [W/m²K]	0,170	0,28	0,24

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

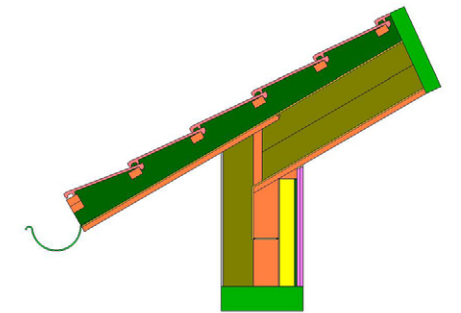
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

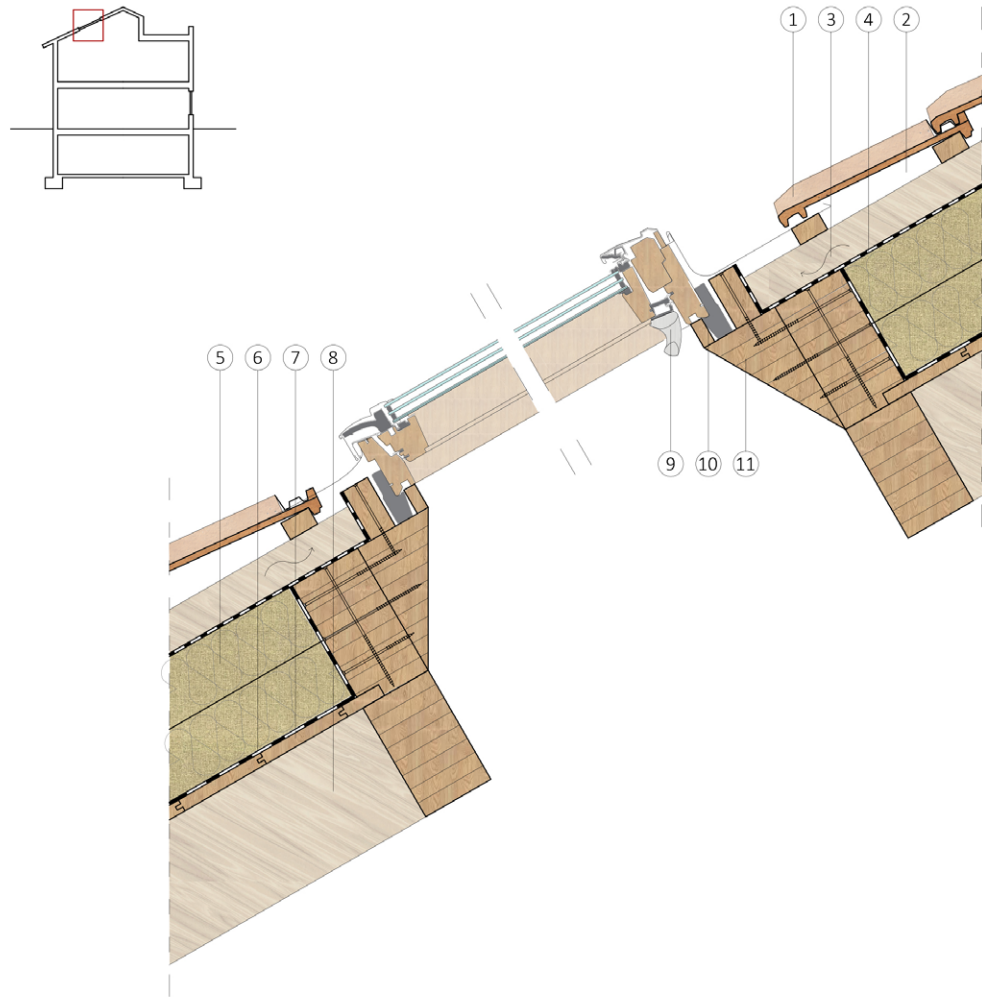
Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = 0,0922 W/mK
Umedia: 0,1361W/m2K
L2D, con ponte: 0,2182 W/mK
L2D, senza ponte: 0,3105 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Laterizi*	0.2470	600.0000	
Cartongesso media densità (1300 kg/m3)	0.5700	1300.0000	
Fibre minerali*	0.0462	16.0000	
Intonaci e malte	1.4000	2000.0000	
Fibre minerali*	0.0385	80.0000	
Freno vapore PP (USB micro RIWEGA)	0.2200	352.0000	
Adiabatico	0.0000	1.0000	
Metalli	380.0000	8900.0000	
Adiabatico	0.0000	1.0000	



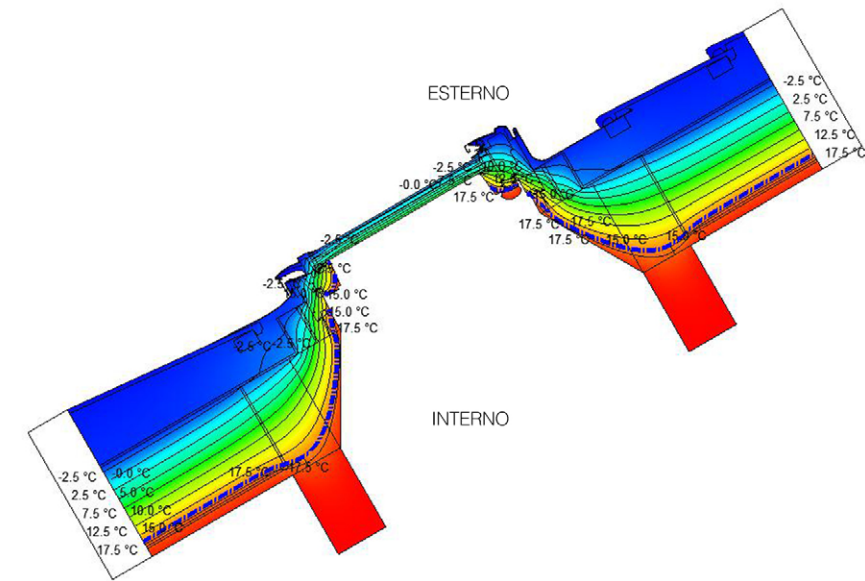
8.5.5 NODO 7 TECNOLOGIA A TELAIO



	Tegola	Listelli portategola	Listelli di ventilazione	Membrana traspirante	Isolante	Freno al vapore	Perlina	Correnti 120x200	Lucernario	Nastro espandente	Imbotte
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Spessore [mm]	--	40	40	0,85	200	1,06	20	--	--	--	--
Conduttività λ [W/mK]	0,247	0,120	0,120	0,220	0,037	0,220	0,120	0,120	--	--	--
Pacchetto	Chiusura inclinata						Infisso				
Spessore pacchetto [mm]	500						--				
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,0646						--				

Chiusura inclinata Prestazioni estive			Chiusura inclinata Prestazioni invernali			Valori limite		
Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Sfasamento φ [h]	9,44	8<φ<10	Medie	Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,175	0,25	0,22	0,22
Fattore di attenuazione fa	0,3697	0,3<fa<0,4		Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,175	0,23	0,20	0,20
Cta [kJ/m²K]	56							

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

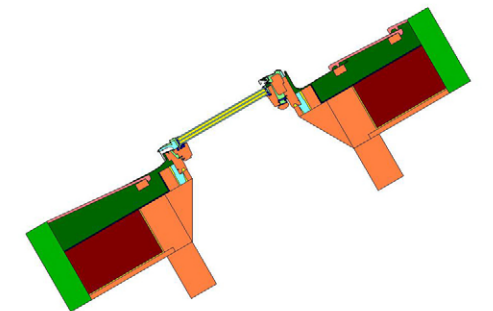
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = -4,2554 W/mK
Umedia: 1,5042 W/m²K
L2D, con ponte: 2,4890 W/mK
L2D, senza ponte: 6,7144 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Adiabatico	0.0000	1.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Metalli	220.0000	2700.0000	
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Freno vapore PP (USB micro RIVEGA)	0.2200	352.0000	
Laterizi*	0.2470	600.0000	
Materiali per impermeabilizzazioni	0.2300	1100.0000	
Fibre minerali*	0.0539	40.0000	
Materie plastiche cellulari*	0.0345	37.0000	
Vetro	1.0000	2500.0000	
Gomma spugna di EPDM stampato	0.0500	40.0000	
Argon	0.4054	1.6990	
Argon	0.4176	1.6990	



8.6 DEFINIZIONE DELLE SCELTE TECNOLOGICHE

Lo studio effettuato sulle stratigrafie proposte dalla ditta Mariana Franco S.r.l. è stato utilizzato per definire le scelte tecnologiche migliori da applicare all'interno del rifugio.

Innanzitutto è stata definita la tecnologia costruttiva, a telaio o X-lam, con cui realizzare le chiusure dell'edificio.

Dallo studio è emerso come la tecnologia a telaio possiede caratteristiche termiche migliori rispetto all'X-lam e inoltre ha un peso ridotto. Questa tecnologia, in particolare con l'applicazione di uno strato d'isolamento esterno in poliuretano, è risultata essere problematica per la formazione di condensa superficiale che può causare problemi per la durabilità delle strutture lignee. Inizialmente è stato scelto di realizzare il rifugio utilizzando una tecnologia a telaio in modo tale da ridurre il numero di viaggi necessari per approvvigionare il cantiere (dal momento che questa tecnologia pesa meno per unità di superficie, si possono trasportare pezzi più grandi).

Questa scelta è stata poi accantonata grazie all'esperienza dell'azienda Mariana Franco cui è stato sottoposto il progetto.

Dal confronto con l'ufficio tecnico della ditta si è optato per l'utilizzo della tecnologia X-lam in quanto, data la conformazione dell'edificio, questa soluzione permette di ottimizzare il tempo e il materiale necessari per la realizzazione dei diversi componenti in officina. L'ossatura a telaio, infatti, renderebbe necessarie numerose lavorazioni per conferire stabilità alle pareti inclinate e per consentire l'apertura di finestre in posizioni sfalsate.

La dimensione delle varie parti realizzate in stabilimento è stata ottimizzata in modo tale da ridurre al minimo il numero di trasporti in quota, ovvero massimizzando le dimensioni dei singoli pannelli in modo tale da raggiungere un peso massimo di 900 kg che è quello trasportabile alla quota di progetto da un elicottero di dimensioni standard.

Seguendo le indicazioni dell'ufficio tecnico della Mariana Franco S.r.l. si è scelto di utilizzare per le chiusure verticali un pannello X-lam a 5 strati con spessore totale di 123 mm, mentre per le chiusure e le partizioni orizzontali un pannello X-lam a 5 strati con uno spessore pari a 160 mm. Questi spessori soddisfano i requisiti di resistenza in base ai carichi di progetto.

Una volta definita la tecnologia costruttiva si è proceduto alla scelta dei materiali che compongono i diversi strati funzionali. È stata posta particolare attenzione alle prestazioni invernali in quanto, rispetto a quella estiva, quella invernale è la situazione più gravosa per il nostro edificio, visto il particolare sito di progetto.

Dati i risultati ottenuti dalle simulazioni fatte in precedenza si è scelto di utilizzare come materiale isolante il poliuretano, estremamente performante in termini di isolamento e di resistenza

nel tempo. Si utilizza il sistema di isolamento in poliuretano "Isotec" che si compone di un strato di isolamento in poliuretano espanso tra due fogli di alluminio che conferiscono al pannello impermeabilità. Inoltre il sistema è dotato di un corrente esterno in alluminio che funge da supporto per il sistema di rivestimento, permettendo di creare una facciata ventilata e riducendo gli stress termici subiti dall'isolante nei periodi estivi.

Questo sistema è stato scelto in quanto permette di ottenere con un ridotto spessore, un elevato grado di isolamento e un peso ridotto, oltre a minimizzare il numero di componenti che altrimenti sarebbe necessario porre in opera singolarmente.

Dalle analisi condotte è stato mostrato come le problematiche dovute alla formazione di condensa all'interno della sezione si riducono con l'aumentare dello spessore d'isolamento, per questo motivo si è scelto uno spessore di 160 mm che soddisfa anche i requisiti di trasmittanza termica.

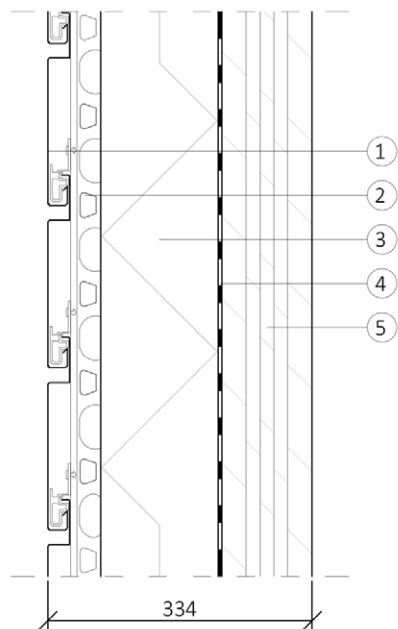
Per ridurre la formazione di condensa all'interno della stratigrafia si è interposto tra lo strato di isolamento e quello portante una membrana che svolge la funzione di barriera al vapore.

Anche per le diverse sezioni correnti presenti all'interno del rifugio si è proceduto allo studio delle prestazioni energetiche in regime statico ponendo particolare attenzione alle quantità di condensa che si forma all'interno della stratigrafia e sulla sua posizione.

Di seguito sono state riportate le schedature di alcune delle sezioni correnti presenti all'interno del progetto.

8.6.1 X-LAM A VISTA

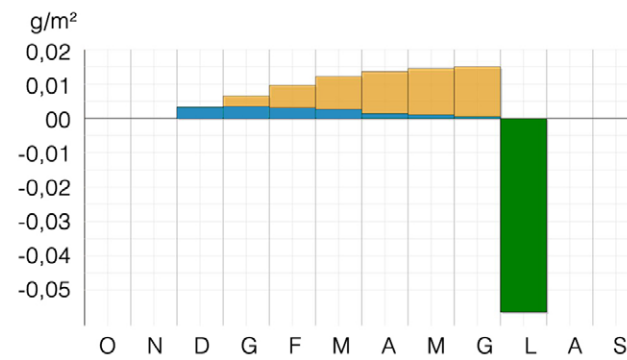
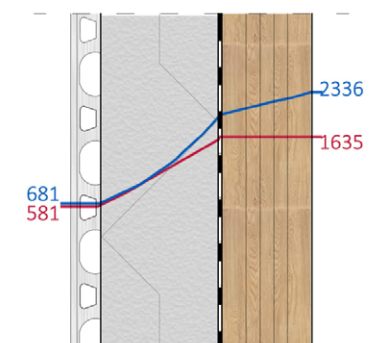
ID	1	2	3	4	5
Spessore [mm]	0,7	50	160	120	120
Conducibilità λ [W/mK]	--	--	0,023	0,130	0,130
Densità [kg/m³]	--	--	30	470	470
Calore specifico [J/kgK]	--	--	1700	1800	2100
Permeabilità al vapore μ	--	--	50000	66667	32
Pacchetto	Chiusura verticale				
Spessore pacchetto [mm]	434				



Peso [kg]	66,91
Yie [W/m²K]	0,028
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,110	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,110	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	10,93	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,2257	0,15 < Fa < 0,30	
Cta kJ/m²K	132		

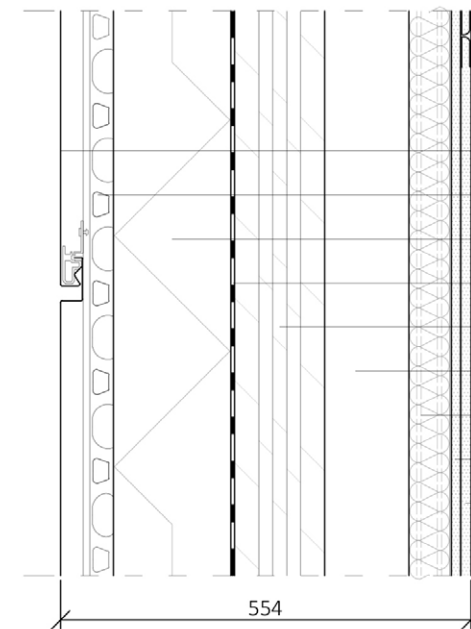


Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

Pressione di saturazione [Pa]
Pressione di vapore ideale [Pa]

8.6.2 X-LAM CON CONTROPARETE

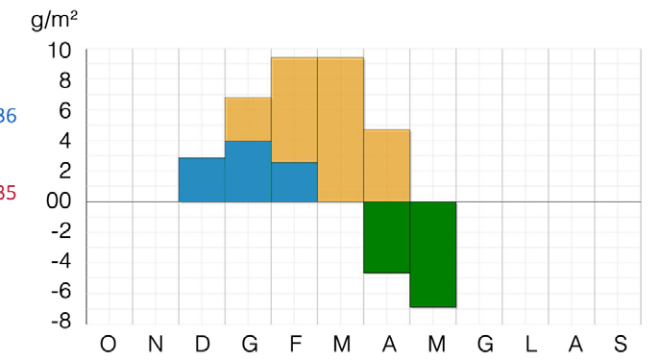
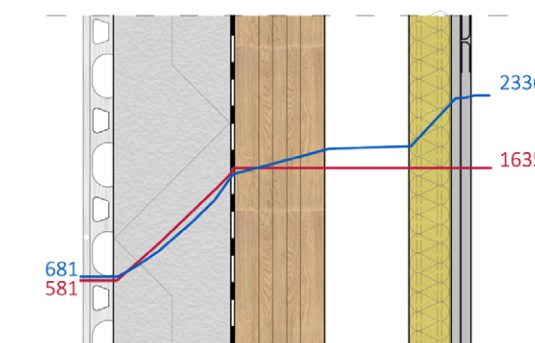
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Spessore [mm]	0,7	50	160	0,3	120	115	50	12,5	12,5
Conducibilità λ [W/mK]	--	--	0,023	0,400	0,130	--	0,035	0,320	0,210
Densità [kg/m³]	--	--	30	567	470	--	50	1150	900
Calore specifico [J/kgK]	--	--	1700	2100	2100	--	1030	1100	1000
Permeabilità al vapore μ	--	--	50000	32	32	--	1	13	10
Pacchetto	Chiusura verticale								
Spessore pacchetto [mm]	454								



Peso [kg]	95,46
Yie [W/m²K]	0,0048
Condensa superficiale	Assente
Condensa interstiziale	Presente
Costo [€]	--

Prestazioni invernali	Progetto	Valori limite		
		2015	2019	2020
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,090	0,300	0,260	0,260
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,090	0,280	0,240	0,240

Prestazioni estive	Progetto	Riferimento D.M. 26/06/09	Giudizio
Sfasamento φ [h]	14,05	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione	0,0475	Fa < 0,15	
Cta kJ/m²K	104		



Condensa del mese Accumulo mese prec.
Evaporato del mese Accumulo stagionale

Pressione di saturazione [Pa]
Pressione di vapore ideale [Pa]

Lo studio sopra riportato è stato eseguito per tutte le diverse chiusure presenti all'interno del rifugio; per tutte le simulazioni emergono comportamenti simili a quelli sopra descritti.

Per quanto riguarda la chiusura verticale in X-lam senza controparete la formazione di condensa è quasi del tutto assente e raggiunge una quantità massima nel mese di Giugno di circa 0,02 g/m² che riesce ad evaporare completamente il mese successivo.

L'analisi eseguita con il software mostra che la formazione di condensa è limitata all'interno dello strato di isolamento in poliuretano che, data la sua struttura a celle chiuse, ha un limitatissimo assorbimento dell'acqua e quindi il comportamento termico della parete non viene alterato dalla presenza della condensa interstiziale.

Da questa simulazione si nota che la struttura lignea non è stata interessata dalla formazione della condensa e perciò non è soggetta a fenomeni di degrado quali l'attacco da parte di funghi e muffe.

Il comportamento della chiusura verticale in X-lam con controparete isolata è risultato essere più problematico, rispetto a quello analizzato in precedenza, per la formazione di condensa interstiziale.

La parete mostra una formazione di condensa interstiziale all'interfaccia tra la barriera al vapore e la parete in X-lam pari a 9 g/m².

Data la quantità notevolmente superiore della condensa interstiziale rispetto alla simulazione precedente, si è proceduto alla verifica della quantità limite di condensa ammissibile alla fine del periodo di condensazione che viene definito dalla normativa UNI EN ISO 13788.

Il risultato ottenuto dimostra che la formazione di condensa non pregiudica l'idoneità della struttura, purché si dimostri che la quantità complessiva di condensa, alla fine del periodo invernale di condensazione sia in assoluto minore a 500 g/m², cioè non ecceda il limite quantitativo ammissibile per il materiale interessato dalla condensa. Il valore ammissibile viene calcolato secondo quanto prescritto dalla normativa.

Materiale	Densità [kg/m ³]	Q _{amm} [g/m ²]
Laterizi	600-2000	≤ 500
Calcestruzzi	400-2400	≤ 500
Legnami e derivati	500-800	≤ 30 ρ L
Intonaci e malte	600-2000	≤ 30 ρ L
Fibre di natura organica: con collanti resistenti all'acqua con collanti non resistenti all'acqua	300-700 300-700	≤ 20 ρ L ≤ 5 ρ L
Fibre minerali	10-150	≤ 5000 ρ L [λ / (1-1,7λ)]
Materie plastiche cellulari	10-80	≤ 5000 ρ L [λ / (1-1,7λ)]

Tab.8.3 Tabella limiti quantitativi secondo la UNI EN ISO 13788

Nel caso in esame lo strato soggetto alla formazione di condensa è la barriera al vapore che è realizzata in materiale sintetico e quindi il valore ammissibile è stato calcolato nel seguente modo:

$$Q_{amm} = 5000 \rho L [\lambda / (1-1,7\lambda)]$$

dove:

ρ è la densità del materiale che in questo caso è 567 kg/m³;

L è lo spessore del materiale ovvero 0,003 m;

λ è la trasmittanza del materiale pari a 0,400 W/m²K.

Dalla formula risulta un valore ammissibile pari a 365 g/m² che risulta essere notevolmente inferiore al valore ottenuto dalla simulazione in regime stazionario.

L'ultima verifica richiesta dalla normativa è il bilancio annuale effettuato conteggiando la condensa Q_e che può evaporare nella restante parte dell'anno (periodo di evaporazione); è richiesto che Q_c + Q_e < 0 ovvero che la condensa che si forma nel periodo invernale deve poter asciugare completamente nell'arco dell'anno.

La verifica, come mostrato nel diagramma, risulta essere pienamente soddisfatta con l'evaporazione in circa due mesi di tutta la condensa che si è formata nei mesi invernali.

Quindi anche in questo secondo pacchetto la condensa non pregiudica il comportamento della parete in esame.

8.7 DEFINIZIONE DEI DETTAGLI TECNOLOGICI

Una volta definite le soluzioni tecnologiche da applicare all'interno del rifugio, si è proceduto allo studio dei dettagli tecnologici più critici e ricorrenti.

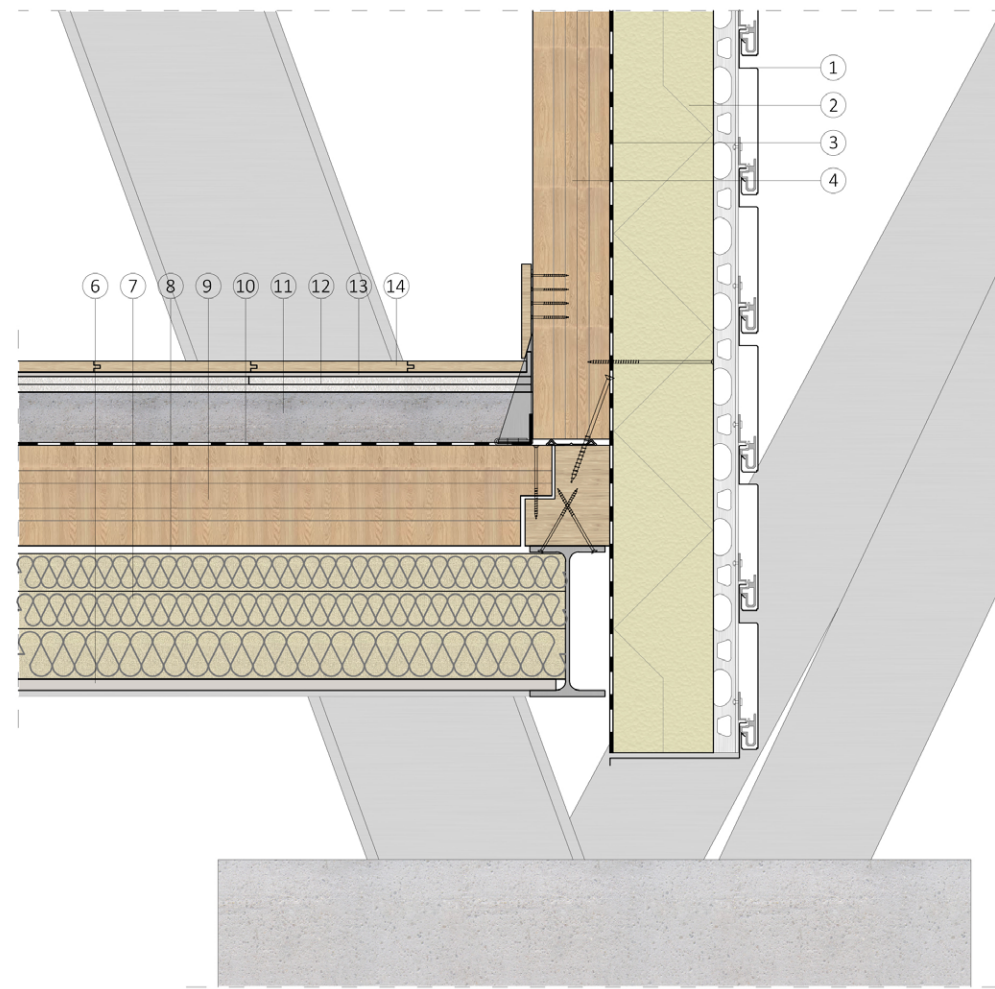
Lo studio, come fatto in precedenza, si è soffermato non solo sulla definizione degli strati funzionali e sulla loro posizione all'interno dei diversi nodi, ma anche sull'analisi del loro comportamento termico.

Ogni dettaglio è stato analizzato attraverso lo studio degli elementi finiti in funzione di determinate condizioni al contorno che sono state impostate considerando una temperatura esterna pari a -5°C, mentre la temperatura interna è stata fissata pari a 20°C.

Ogni dettaglio è stato modellato considerando i reali materiali ed i risultati sono riportati attraverso la rappresentazione nel nodo delle linee isoterme con un passo di 2°C. Per completezza di analisi viene inoltre riportata la linea isoterma di 16,7°C, corrispondente al valore di temperatura di rugiada valutato in funzione dell'umidità relativa interna UR = 65%.

Di seguito vengono riportate le condizioni al contorno utilizzate nelle studio agli elementi finiti dei diversi nodi.

8.7.1 NODO 1



ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Spessore [mm]	0,7	50	160	0,3	123	25	220	22	160	0,3	80	25	6,8	17
Conducibilità λ [W/mK]	109	--	0,021	0,4	0,110	0,090	0,037	--	0,130	0,400	0,050	0,200	0,055	0,150
Pacchetto	Chiusura verticale				Chiusura orizzontale									
Spessore pacchetto [mm]	334				575									
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,02784				0,00110									

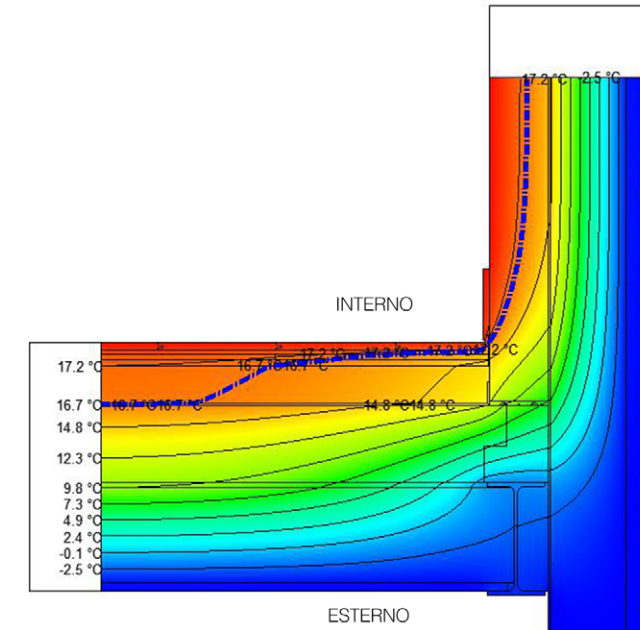
Chiusura verticale			
Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	10,93	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione fa	0,2257	0,15 < fa < 0,30	
Cta [kJ/m²K]	132		

Chiusura verticale				Valori limite		
Prestazioni invernali						
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K]	0,110	0,30	0,26	0,26		
Zona climatica E						
Trasmittanza U [W/m²K]	0,110	0,28	0,24	0,24		
Zona climatica F						

Chiusura orizzontale			
Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	23,84	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione fa	0,01074	fa < 0,15	
Cta [kJ/m²K]	258		

Chiusura orizzontale				Valori limite		
Prestazioni invernali						
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K]	0,103	0,30	0,26	0,26		
Zona climatica E						
Trasmittanza U [W/m²K]	0,103	0,28	0,24	0,24		
Zona climatica F						

ANALISI TERMICA



Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Legnami	0,1200	450,0000	
Massetto alleggerito per impianti	1,2600	250,0000	
Materie plastiche cellulari*	0,0341	25,0000	
Metalli	160,0000	2800,0000	
Metalli	52,0000	7800,0000	
Carta, cartone e derivati	0,2100	900,0000	
Fibre minerali*	0,0462	16,0000	
Barriera al vapore - DS ALU SK	0,4000	576,0000	
Filtro acustico - Anticalpesto SONORA Pro	0,0550	150,0000	
Adiabatico	0,0000	1,0000	
MS polimero-USB sil	0,2000	1050,0000	

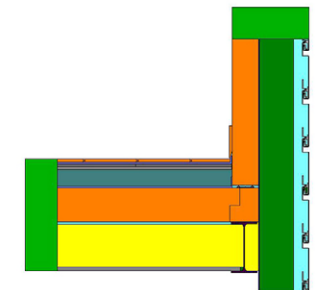
Condizioni di calcolo

Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

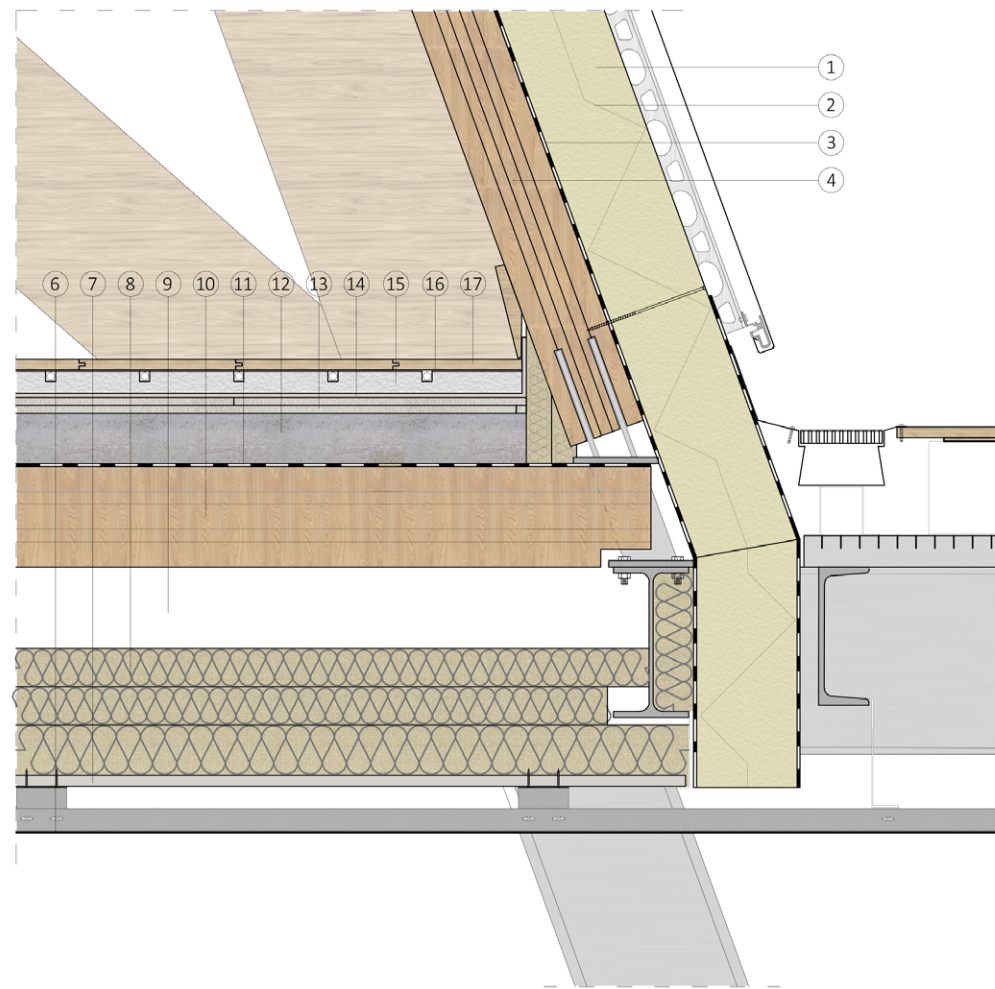
Umidità [%]
Lato interno 65

Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = -0,0224 W/mK
Umedia: 0,2979 W/m²K
L2D, con ponte: 0,3527 W/mK
L2D, senza ponte: 0,3750 W/mK



8.7.2 NODO 2



ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Spessore [mm]	0,7	50	160	0,3	123	0,7	25	220	22	160	0,3	80	25	6,8	37	2	17
Conduttività λ [W/mK]	109	--	0,021	0,4	0,110	109	0,090	0,037	--	0,130	0,400	0,050	0,200	0,055	0,042	52	0,150
Pacchetto	Chiusura verticale								Chiusura orizzontale								
Spessore pacchetto [mm]	334								755								
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,02784								0,0103								

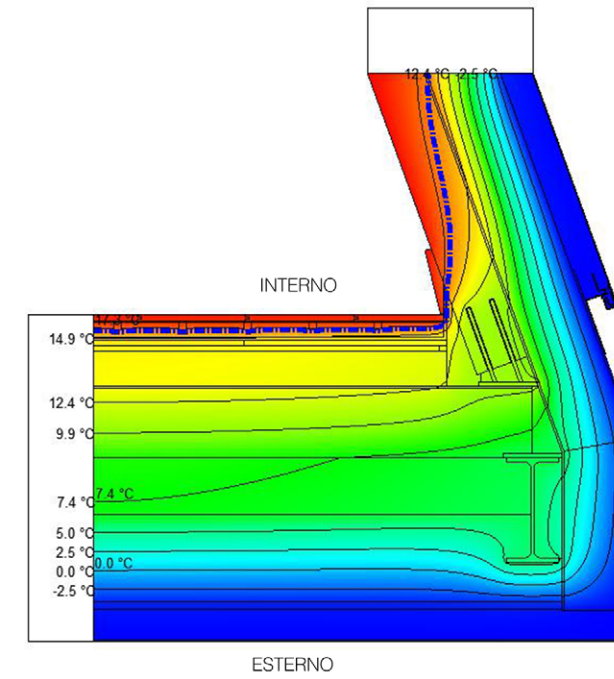
Chiusura verticale Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	10,93	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione fa	0,2257	0,15 < fa < 0,30	
Cta [kJ/m²K]	132		

Chiusura verticale Prestazioni invernali				Valori limite		
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,110	0,30	0,26	0,26		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,110	0,28	0,24	0,24		

Chiusura orizzontale Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	123,63	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione fa	0,0111	fa < 0,15	
Cta [kJ/m²K]	258		

Chiusura orizzontale Prestazioni invernali				Valori limite		
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,097	0,30	0,26	0,26		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,097	0,28	0,24	0,24		

ANALISI TERMICA



Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Legnami	0,1200	450,0000	
Carta, cartone e derivati	0,2100	900,0000	
Metalli	52,0000	7800,0000	
Metalli	220,0000	2700,0000	
Materie plastiche cellulosiche*	0,0325	32,0000	
Materie plastiche cellulosiche*	0,0407	30,0000	
Fibre minerali*	0,0462	16,0000	
Massetto alleggerito per impianti	1,2500	250,0000	
Barriera al vapore - DS ALU SK	0,4000	575,0000	
Feltro acustico - Anticalpestro SONORA Pre	0,0550	150,0000	
Adiabatico	0,0000	1,0000	

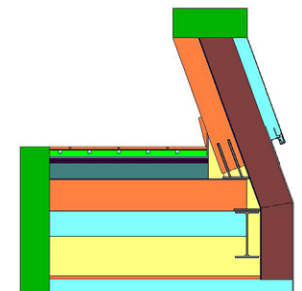
Condizioni di calcolo

Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

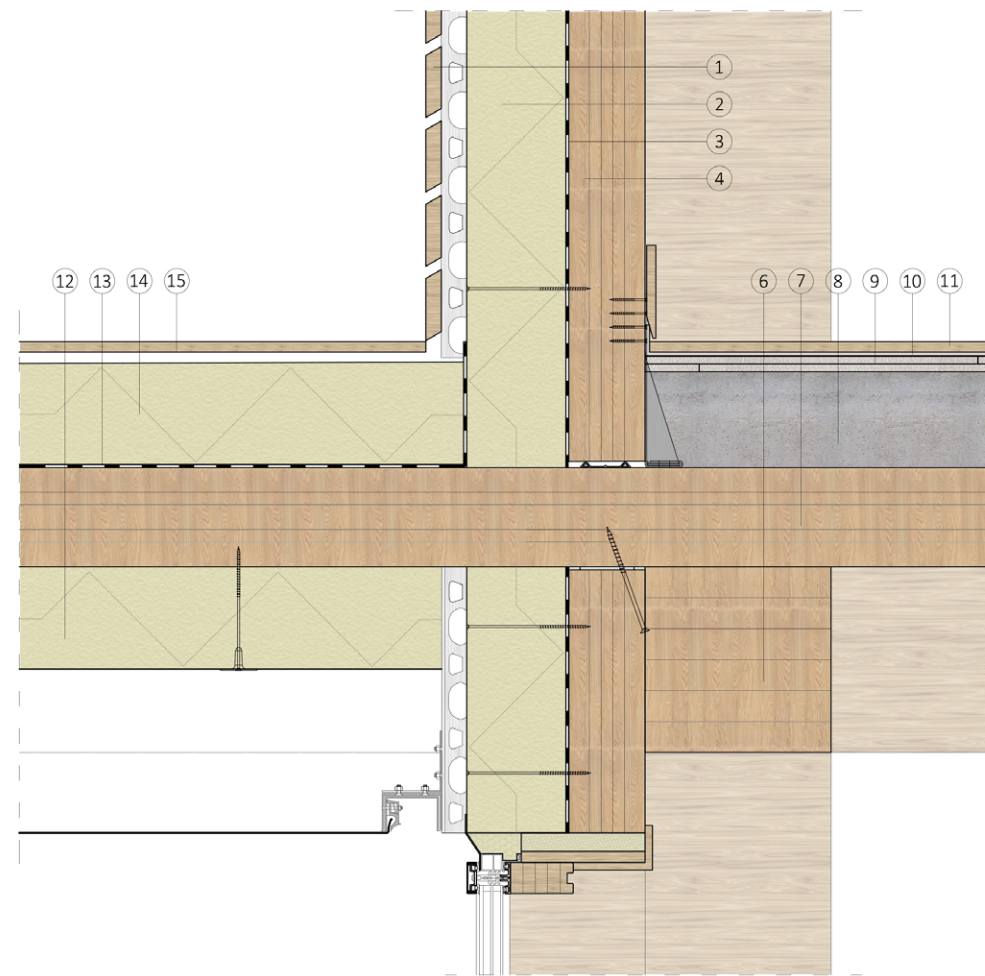
Umidità [%]
Lato interno 65

Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = -0,0680 W/mK
Umedia: 0,2120 W/m²K
L2D, con ponte: 0,2779 W/mK
L2D, senza ponte: 0,3459 W/mK



8.7.3 NODO 3

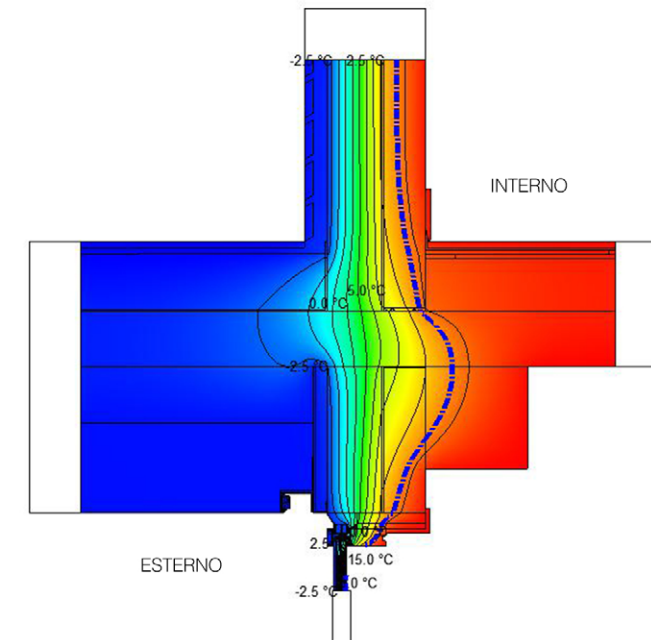


ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Spessore [mm]	25	50	160	0,3	123	300	160	80	25	6,8	17	160	1,5	160	17
Conduttività λ [W/mK]	0,100	--	0,021	0,4	0,110	--	0,130	0,050	0,200	0,055	0,150	0,021	--	0,021	0,150
Pacchetto	Chiusura verticale			Partizione orizzontale						Partizione orizzontale					
Spessore pacchetto [mm]	334			361						793					
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,02784			--						--					

Chiusura verticale Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	10,93	12>φ>10	Buone
Fattore di attenuazione fa	0,2257	0,15<fa<0,30	
Cta [KJ/m²K]	132		

Chiusura verticale Prestazioni invernali		Valori limite		
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,110	0,30	0,26	0,26
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,110	0,28	0,24	0,24

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

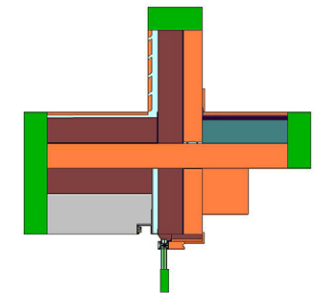
Temperatura [°C]
Lato interno 20 °C
Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
Lato interno 65

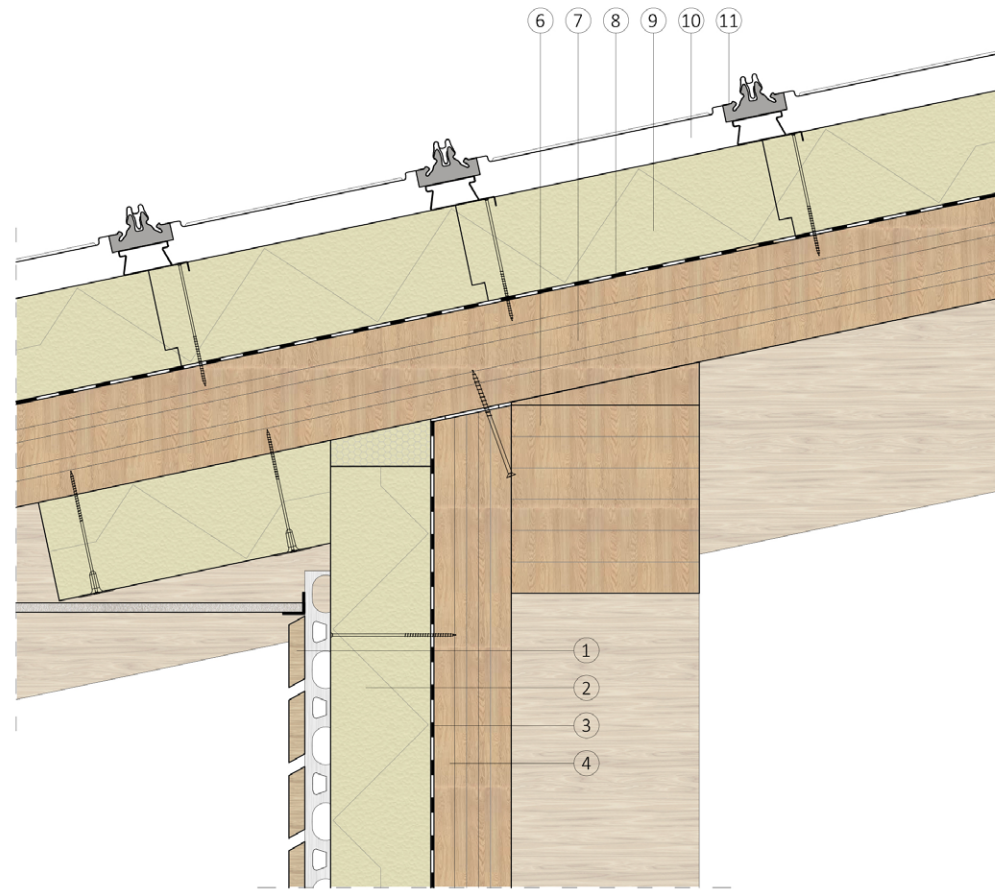
Coefficienti liminari [m²K/W]
Lato interno 0,013
Lato esterno 0,0418

Outputs
ψ = -0,8156 W/mK
Umedia: 0,3715 W/m²K
L2D, con ponte: 0,5825 W/mK
L2D, senza ponte: 1,3981 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Carta, cartone e derivati	0.2100	900.0000	
Legnami	0.1200	450.0000	
Massetto alleggerito per impianti	1.2600	250.0000	
Matene plastiche cellulari*	0.0325	32.0000	
Metalli	220.0000	2700.0000	
Vetro	1.0000	2500.0000	
Filtro acustico - Anticalpestio SONORA Pro	0.0550	150.0000	
Materiale fonoassorbente - SONORA Band	0.0550	150.0000	
Barriera al vapore - DS ALU SK	0.4000	575.0000	
Matene plastiche cellulari*	0.0504	30.0000	
Disidratante	0.1300	720.0000	
Butile	0.2400	1200.0000	
Aria	0.0250	1.3000	
Adiabatico	0.0000	1.0000	



8.7.4 NODO 1



ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Spessore [mm]	25	50	160	0,3	123	300	160	0,3	160	50	0,70
Conduttività λ [W/mK]	0,100	--	0,021	0,4	0,110	--	0,130	0,4	0,021	--	160
Pacchetto	Chiusura verticale					Chiusura inclinata					
Spessore pacchetto [mm]	334					420					
Trasmittanza termica periodica [W/m²K]	0,02784					0,01494					

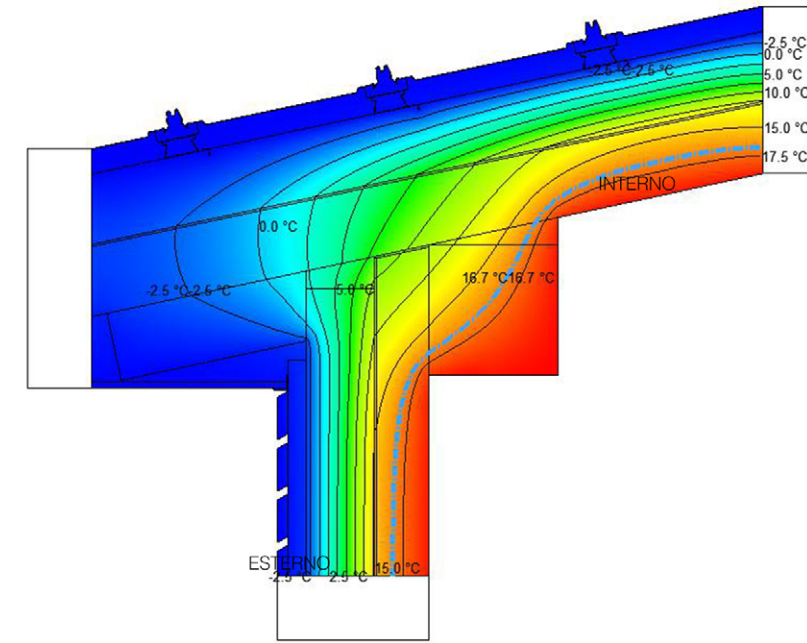
Chiusura verticale			
Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	10,93	12 > φ > 10	Buone
Fattore di attenuazione fa	0,2257	0,15 < fa < 0,30	
Cta [KJ/m²K]	132		

Chiusura verticale				Valori limite		
Prestazioni invernali						
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,110	0,30	0,26	0,26		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,110	0,28	0,24	0,24		

Chiusura inclinata			
Prestazioni estive			
	Progetto	Riferimento D.M.26/06/09	Prestazione
Sfasamento φ [h]	13,27	φ > 12	Ottime
Fattore di attenuazione fa	0,1294	fa < 0,15	
Cta [KJ/m²K]	168		

Chiusura inclinata				Valori limite		
Prestazioni invernali						
	Progetto	Dal 2015	Edifici pubblici dal 2019	Edifici privati dal 2021		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica E	0,115	0,30	0,26	0,26		
Trasmittanza U [W/m²K] Zona climatica F	0,115	0,28	0,24	0,24		

ANALISI TERMICA



Condizioni di calcolo

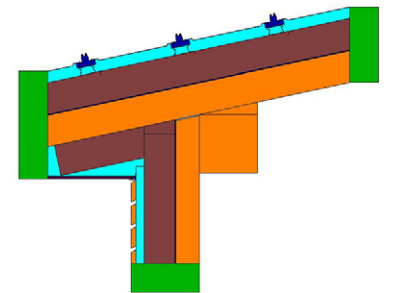
Temperatura [°C]
 Lato interno 20 °C
 Lato esterno -5 °C

Umidità [%]
 Lato interno 65

Coefficienti liminari [m²K/W]
 Lato interno 0,013
 Lato esterno 0,0418

Outputs
 ψ = -0,1340 W/mK
 Umedia: 0,1559 W/m²K
 L2D, con ponte: 0,2445 W/mK
 L2D, senza ponte: 0,3785 W/mK

Nome	λx [W/mK]	Massa volumetrica [kg/m³]	Colore
Barriera al vapore - DS ALU SK	0,4000	576,0000	
Legnami	0,1200	450,0000	
Materie plastiche cellulari*	0,0325	32,0000	
Carta, cartone e derivati	0,1600	1000,0000	
Metalli	220,0000	2700,0000	
Butile	0,2400	1200,0000	
Materiale fonoassorbente - SONORA Band	0,0550	150,0000	
Adiabatico	0,0000	1,0000	



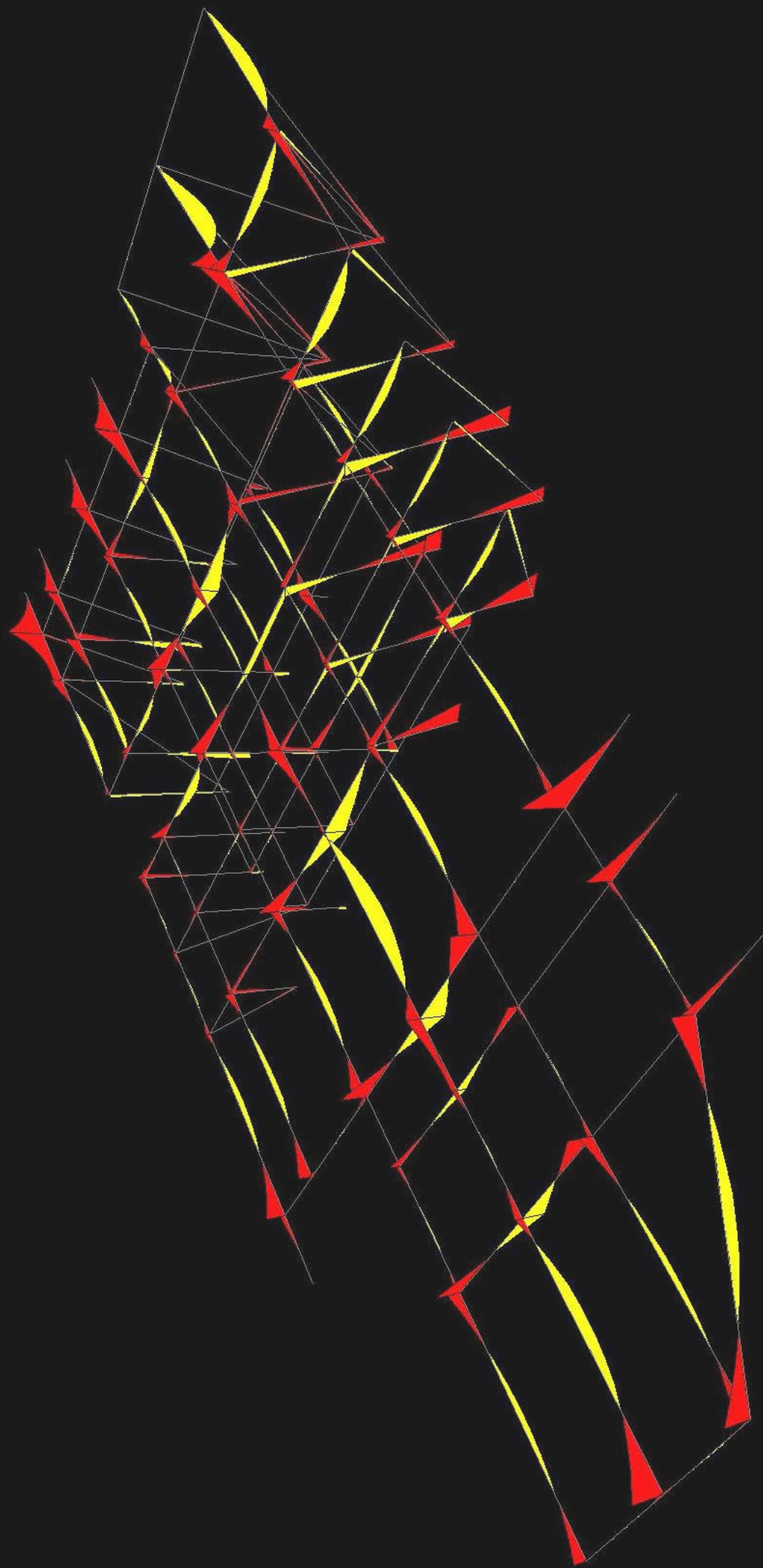
PROGETTO STRUTTURALE

9

In questo capitolo si valuta come il progetto architettonico sia ammissibile dal punto di vista strutturale, andando a verificare quanto più nello specifico ogni singolo elemento strutturale di cui l'edificio si compone.

Nei casi in cui per una stessa tecnologia costruttiva si abbia una molteplicità di elementi diversi (situazione inevitabile nel caso di studio, vista l'irregolarità della maglia sia nelle sezioni orizzontali, che in quelle verticali), ci si limiterà ad effettuare un controllo esclusivamente sul quello più sollecitato, si applicheranno, quindi, le soluzioni adottate per rendere validato suddetto elemento ai casi simili (ma sollecitati in maniera inferiore), in maniera tale da agire a favore di sicurezza e rendere comunque verificata la struttura nel suo complesso.

Obiettivo dello studio è quindi quello di andare a verificare che le ipotesi fatte in fase architettonica in merito alla struttura siano validate dal punto di vista normativo, ed eventualmente, ove queste non lo siano, formulare delle soluzioni specifiche al caso che ne ammettano l'applicabilità anche dal punto di vista architettonico, anche contemplando modifiche e/o aggiunte.



9.1 PREMESSA

Il caso di studio vede la compresenza di tutte e tre le macrocategorie strutturali su cui si basa l'edilizia, seppur in proporzioni differenti: il legno, l'acciaio ed il calcestruzzo armato. L'edificio nel suo complesso può essere pertanto visto come un riassunto della storia delle costruzioni, permettendo di mostrarne molteplici sfaccettature in un solo progetto. Partendo dagli elementi che si interfacciano col terreno del sito di progetto fino ad arrivare alla copertura si sono individuati i seguenti macrogruppi di tecnologie strutturali:

- Calcestruzzo armato: vi è adibito il compito di scaricare a terra le azioni dell'intera struttura, sotto forma di plinti puntuali di fondazione prefabbricati;
- Acciaio: si pone come elemento di raccordo tra le fondazioni prefabbricate e la vera e propria struttura in elevazione lignea, sotto forma di un reticolo spaziale metallico di travi e pilastri;
- Legno: vi si sviluppa il vero e proprio rifugio, a sua volta riconducibile a due ulteriori categorie di tecnologie strutturali lignee, ovvero un reticolo di travi e pilastri in legno lamellare accoppiato ad una soluzione continua rappresentata dal pannello X-lam volto a realizzare le chiusure ed i solai dell'edificio.

Gli elementi strutturali valutati nel suddetto approfondimento saranno pertanto:

- Solai e chiusure in X-lam, di cui si andrà a verificare la resistenza agli stati limite di esercizio e ultimi, oltre che la resistenza all'azione eccezionale di incendio, vista la scelta di andare ad adottare pacchetti tecnologici con una soluzione in X-lam faccia a vista che li rende pertanto direttamente investiti dal fuoco in caso di incendio;
- Portale in legno lamellare, di cui si andrà a verificare la resistenza agli stati limite di esercizio e ultimi, oltre che la resistenza all'azione eccezionale del vento di travi e pilastri che lo compongono, prendendo come caso studio il portale maggiormente sollecitato, la cui verifica renderà validati automaticamente anche i restanti;
- Struttura reticolare in acciaio, di cui si andrà a verificare la resistenza agli stati limite di esercizio ed ultimi di travi e pilastri che la compongono, analizzando, quindi, ogni singolo elemento strutturale;
- Plinto di fondazione in CLS armato, di cui si andrà a verificare la resistenza agli stati limite ultimi dell'elemento maggiormente sollecitato, estendendo la verifica ai restanti.



Fig.9.1 Esempio di plinto per struttura in acciaio



Fig.9.2 Esempio di struttura portante in legno lamellare



Fig.9.3 Esempio di struttura in X-lam

9.2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

9.2.1 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Il calcolo della struttura è stato realizzato in conformità alla normativa italiana vigente, attenendosi ove erano disponibili sufficienti disposizioni in merito alla situazione oggetto di studio al D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni", insieme di precetti e decreti relativi alla valutazione del progetto strutturale raggruppate in un'unica norma. Ci si è altresì avvalsi del supporto degli Eurocodici, dove le NTC mostravano carenze di contenuto, trattasi di normative a livello Europeo che codificano la progettazione delle strutture. Di seguito un elenco degli atti normativi presi a riferimento progettuale.

Norme di riferimento cogenti:

- D.M. 14/01/2008, "Norme tecniche per le Costruzioni";
- Circ. 02/02/2009, n.617 "Istruzioni per l'applicazione delle _Nuove norme tecniche per le costruzioni_".

Altre norme e documenti tecnici integrativi:

- CNR DT-206-2007, "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo delle strutture in legno";
- CNR DT-207-2008, "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni";
- UNI EN 1990:2006, "Criteri generali di progettazione strutturale";
- UNI EN 1991-1-1:2004, "Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi";
- UNI EN 1991-1-3:2004, "Azioni in generale - Carichi da neve";
- UNI EN 1991-1-4:2010, "Azioni in generale - Azioni del vento";
- UNI EN 1992-1-1:2005, "Regole generali e regole per gli edifici";
- UNI EN 1992-3:2005, "Regole generali: fondazioni di calcestruzzo";
- UNI EN 1993-1-1:2005, "Progettazione delle strutture di acciaio: Regole generali";
- UNI EN 1993-1-8:2005, "Progettazione delle strutture di acciaio: Progettazione dei collegamenti";
- UNI EN 1995-1-1:2005, "Progettazione delle strutture di legno: Regole generali";
- UNI EN 1995-1-2:2005, "Progettazione delle strutture di legno: Progettazione strutturale contro l'incendio";
- UNI EN 1997-1:2005, "Regole generali";
- UNI EN 1997-2:2007, "Indagini e prove nel sottosuolo";

- UNI EN 1998-5:2005, "Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

9.2.2 PRESTAZIONI DI PROGETTO

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- Sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU): capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- Sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE): capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;

9.2.3 CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI

A seconda della loro variazione di intensità nel tempo le azioni possono essere classificate come:

- Permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno; forze risultanti dalla pressione dell'acqua (G_1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G_2);
 - pretensione e precompressione (P);
- Variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo;
- Eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura (incendi, esplosioni, urti ed impatti);
- Sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

In generale ai fini della sicurezza delle costruzioni si sono adottati criteri probabilistici scientificamente comprovati, come il metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello. In tale metodo la

sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

9.2.4 CRITERI DI CALCOLO

STATO LIMITE ULTIMO IN CONDIZIONI STATICHE: SLU

Per la situazione permanente e transitoria si verifica che l'azione sollecitante di calcolo E_d sia inferiore alla resistenza ultima di calcolo R_d di ciascun elemento strutturale.

Le azioni sollecitanti di calcolo sono calcolate secondo la seguente formulazione:

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

dove:

- G_1 : valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi strutturali;
- G_2 : valore caratteristico del peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;
- Q_{Ki} : valore caratteristico dell'azione variabile di base di ogni combinazione;
- Q_{ki} : valore caratteristico della i-esima azione variabile;
- P_K : valore caratteristico della deformazione impressa.

I coefficienti (γ_{G1} , γ_{G2} , γ_P , γ_{Q1} , γ_{Q2} , ψ_{02} , γ_{Q3} , ψ_{03}) introdotti all'interno della formulazione sono volti a limitare l'effetto dei fattori aleatori che inevitabilmente si presentano nel processo di calcolo. Nello specifico i coefficienti γ sono definiti dalle NTC "Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU" e sono funzionali a considerare la possibilità di margine di errore nella fase di determinazione delle azioni;

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab.9.1 Coefficienti parziali per azioni ed effetto delle azioni nelle verifiche SLU

i coefficienti ψ sono invece definiti dalle NTC "Coefficienti di combinazione" e permettono di andare a considerare l'eventuale contemporaneità di più azioni variabili (dipendono dalla natura dell'azione variabile considerata e dalla combinazione di carico presa in considerazione).

I valori dei coefficienti che sono stati adottati nella progettazione sono riportati nella Tab.9.1.

STATO LIMITE DI ESERCIZIO IN CONDIZIONI STATICHE: SLE

Per la situazione permanente e transitoria le verifiche degli stati limite di esercizio sono effettuate con riferimento alle seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione rara:
 $G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$
- Combinazione frequente:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$
- Combinazione quasi permanente:
 $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$

dove:

- ψ_{1i} : coefficiente atto a definire i valori delle azioni ammissibili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;
- ψ_{2i} : coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni ammissibili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Per quanto riguarda il valore dei coefficienti di combinazione delle azioni variabili si veda quanto indicato nella Tab.9.2 in riferimento alla combinazioni di carico allo SLE.

Categoria/Azione variabile	ψ_{0i}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tab.9.2 Valore dei coefficienti di combinazione

9.3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

9.3.1 CARICHI PERMANENTI

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

Per il valore dei pesi propri strutturali si considererà caso per caso il peso per unità di volume dell'elemento oggetto di predimensionamento, che, moltiplicato per il relativo valore di volume della sezione ipotizzata, permetterà di valutarne l'incidenza sui carichi totali.

Il calcolo sarà pertanto eseguito contemporaneamente al processo di dimensionamento dato che, a priori, non si è a conoscenza della dimensione della sezione che soddisferà i requisiti imposti dal problema.

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Secondo NTC2008 sono da considerarsi carichi permanenti non strutturali quei carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione quali tamponature esterne, divisori interni, massetti... La loro valutazione deve avvenire in base alle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti.

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare un'adeguata ripartizione del carico.

Trattandosi nel caso di studio di elementi divisori leggeri, in cui l'elemento divisorio più pesante "P.V.2 Partizione con intercapedine impiantistica bagni" ha un peso per unità di superficie pari a 71,33 kg/m², inferiore quindi a 1,00kN/m², da normativa si avrà che

$$g_2 = 0,40 \text{ kN/m/m}^2 \cdot h_{\text{divisorio}}$$

con $h_{\text{divisorio}}$ valore pari all'altezza del divisorio interno, variabile di piano in piano nel caso studio. Si otterranno pertanto i valori mostrati in Tab.9.3

	Piano interrato	Piano terra	Piano primo	Piano soppalco
h [m]	3,20	4,80	2,80	2,80
g_2 [kN/m ²]	1,28	1,92	1,12	1,12

Tab.9.3 Coefficienti parziali per azioni ed effetto delle azioni nelle verifiche SLU

Di seguito, nelle Fig.9.4 e Tab.9.4, si riporta a titolo esemplificativo un riepilogo dettagliato dei carichi relativamente ad uno dei pacchetti tecnologici del progetto, la chiusura verticale P.O.1. Si considera il peso proprio dei singoli strati, ottenuto moltiplicando la densità del materiale per il rispettivo spessore o applicando il peso al m² quando indicato nella scheda tecnica dei produttori; dalla somma dei pesi propri per unità di superficie dei singoli strati si otterrà il valore di peso proprio per unità di superficie del relativo pacchetto.

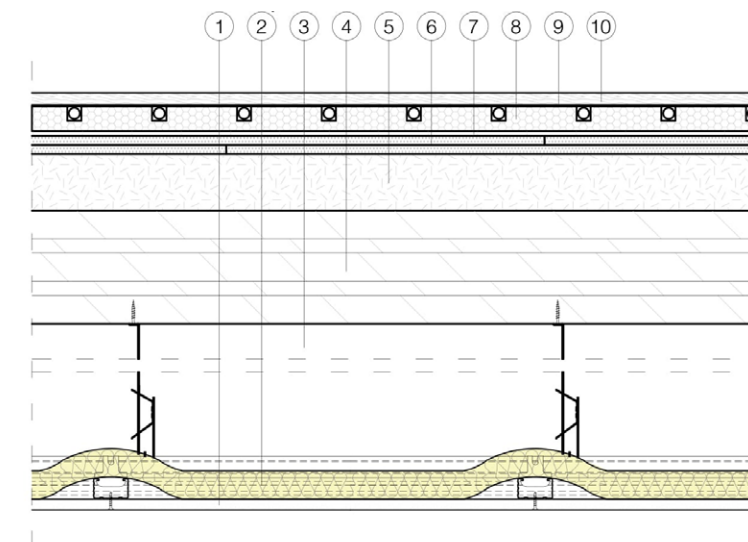


Fig.9.4 Pacchetto P.O.1

PARTIZIONE ORIZZONTALE P.O.1	Gesso	Isolante	Aria	X-lam	Massetto	Gesso	Feltro	Massetto	Lamiera	Larice
ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Spessore [mm]	12,5	40	380	160	80	25	6,8	37	2	17
Massa volumica [kg/m ³]	1150	55	0	470	90	760	150	20	2800	450
Peso per unità di superficie [kg/m ²]	14,375	2,2	0	75,2	7,2	19	1,02	0,74	5,6	7,65
Peso totale per unità di superficie [kg/m ²]	132,38									

Tab.9.4 Analisi dei carichi relativa al pacchetto P.O.1

Di seguito, nella Tab.9.5, si riportano i pesi propri totali per unità di superficie dei restanti pacchetti tecnologici orizzontali e verticali del caso di studio ottenuti reiterando il procedimento sopra mostrato.

PARTIZIONI ORIZZONTALI P.O.	P.O.1	P.O.2	P.O.3	P.O.4					
Peso totale per unità di superficie [kg/m ²]	132,38	116,4	118,2	110,1					
PARTIZIONI VERTICALI P.V.	P.V.1	P.V.2	P.V.3	P.V.4	P.V.5	P.V.6	P.V.7		
Peso totale per unità di superficie [kg/m ²]	53,25	71,33	55,33	85,44	11,44	58,45	74,45		
CHIUSURE ORIZZONTALI C.O.	C.O.1	C.O.2	C.O.3	C.O.4	C.O.5	C.O.6			
Peso totale per unità di superficie [kg/m ²]	143,46	145,17	58,45	105,27	84,31	84,31			
CHIUSURE VERTICALI C.V.	C.V.1	C.V.2	C.V.3	C.V.4	C.V.5	C.V.6	C.V.7	C.V.8	C.V.9
Peso totale per unità di superficie [kg/m ²]	66,91	78,16	87,9	66,91	95,46	66,91	95,46	103,91	75,36

Tab.9.5 Analisi dei carichi relativa al pacchetto P.O.1

9.3.2 CARICHI VARIABILI

CARICHI DI ESERCIZIO

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera (Tab.9.6), i cui valori sono forniti dalle NTC2008 come :

- carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²];
- carichi verticali concentrati Q_k [kN];
- carichi orizzontali lineari H_k [kN/m].

Il corpo considerato ospita degli ambienti che appartengono alle categorie A, C1, C2 e H1.

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici.			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	3,00 4,00	2,00 4,00	1,00 2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	5,00	5,00	3,00
D	Ambienti ad uso commerciale.			
	Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi.			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	secondo categoria di appartenenza — — —		

Tab.9.6 Valore dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edificio

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso

AZIONE DEL VENTO

L'azione del vento è da considerarsi come un'azione orizzontale agente sulla costruzione, azione variabile nel tempo e nello spazio che provoca pertanto effetti dinamici. Data la difficoltà di studio che comporterebbe un'analisi di tipo dinamico, si è soliti ridurre tali azioni ad azioni statiche equivalenti definite al paragrafo 3.3.3 D.M. 14.01.2008, costituite da pressioni e depressioni agenti in direzione perpendicolare alle superfici interne ed esterne che compongono la costruzione. Si considererà come valore di progetto dell'azione del vento la combinazione più gravosa della pressione stessa agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna.

La pressione del vento considerata è quindi data dalla seguente espressione:

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

dove

- q_b : pressione cinetica di riferimento;
- c_d : coefficiente dinamico che tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali;
- c_e : coefficiente di esposizione;
- c_p : coefficiente aerodinamico (o coefficiente di forma), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto all'azione del vento;

La pressione cinetica di riferimento si calcola come:

$$q_b = (\rho \cdot v_b^2) / 2$$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	z_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Tab.9.7 Valore dei parametri $v_{b,0}$, k_s e z_0



Fig.9.5 Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

ZONE 1,2,3,4,5				
	costa mare	10 km	30 km	750m
A	--	IV	IV	V
B	--	III	III	IV
C	--	*	III	IV
D	I	II	II	IV
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5				
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1				

Tab.9.8 Definizione delle categorie di esposizione

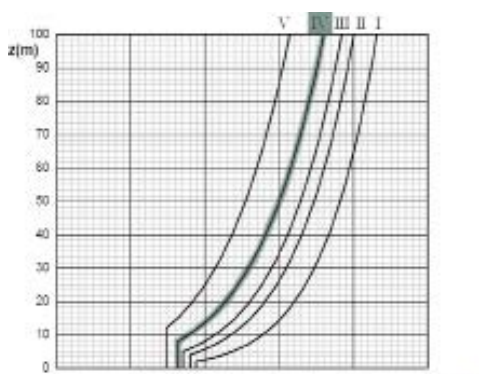


Fig.9.6 Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per c_i=1)

dove

- v_b: velocità di riferimento del vento [m/s];
- ρ: densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

La velocità di riferimento v_b è data dall'espressione

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a \cdot (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{m}$$

dove

a_s: altitudine sul livello del mare [m] del sito.

Come si può vedere la normativa adotta come limite massimo di altitudine nel calcolo di v_b=1500 m, valore inferiore a quello relativo all'area di progetto oggetto di studio. Le NTC2008 dispongono che "per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si potrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione. I valori della velocità di riferimento si potranno ricavare da dati supportati da opportuna documentazione o da indagini statistiche adeguatamente comprovate. Fatte salve tali valutazioni i valori utilizzati non dovranno essere minori di quelli previsti per 1500 m di altitudine". Pertanto, non disponendo di dati supportati da opportuna documentazione né di indagini statistiche adeguatamente comprovate, si è deciso di andare a considerare la velocità di riferimento risultante dalla formula v_b=v_{b,0}+k_a \cdot (a_s-a_0), considerando a_s=1750 m, in maniera tale da agire a favore di sicurezza in quanto il valore utilizzato sarà sicuramente maggiore di quello previsto per 1500 m di altitudine. I parametri v_{b,0}, k_a e a_0 sono invece funzione della zona (Fig.9.5, Tab.9.7).

Considerando a_s pari a 1750 m, v_{b,0} pari a 25 m/s, k_a pari a 0,010 1/s e a_0 pari a 1000 m, si è calcolata la velocità di riferimento: V_b=32,5 m/s

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o alluviose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

Tab.9.9 Valore dei parametri v_{b,0}, k_a e a_0

Il coefficiente dinamico si è assunto cautelativamente pari a 1 secondo NTC 2008 "esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, tra quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità".

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza sul suolo z [m] del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Data l'assenza di analisi specifiche, per il calcolo del coefficiente si sono usate le seguenti formule :

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_i \cdot \ln(z/z_0) \cdot [7 + c_i \cdot \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

Per determinare i valori k_r, z_0, z_{min} si è innanzitutto determinata la classe di rugosità del terreno; in funzione della classe di rugosità (D) (Tab.9.9), della distanza dalla costa (superiore a 30 km) e dell'altitudine del sito (superiore ai 750 m), si è determinata poi la categoria di esposizione del sito (Fig.9.6, Tab.9.8).

Il coefficiente topografico c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

L'altezza dell'edificio in progetto è variabile con un picco pari a 13 m, per cui l'andamento di c_e non risulta costante per tutta l'altezza, essendo superiore a 8 m. Per altezze superiori agli 8 m si considererà il valore di c_e relativo all'altezza di 13 m, mantenendosi a favore di sicurezza, vista l'irregolarità di sviluppo in alzata dell'edificio, e la difficoltà ad individuare la quota zero cui fare riferimento nella valutazione dell'altezza relativa di un punto dovuta al fatto che l'edificio di progetto è situato su di un pendio.

$$c_e = 1,63 \quad \text{per } z < 8 \text{m}$$

$$c_e = 1,96 \quad \text{per } z > 8 \text{m}$$

Facendo riferimento al paragrafo C3.3.10 della Circolare 2 Febbraio 2009 allegata alle NTC2008, in assenza di valutazioni più precise, suffragate da opportuna documentazione e prove sperimentali in galleria del vento, per il coefficiente di forma si dovrà fare riferimento ad una delle seguenti tipologie di costruzioni: edifici a pianta rettangolare, coperture multiple, tettoie, travi, torri, corpi cilindrici o corpi sferici. La costruzione oggetto di studio è identificabile con maggior coerenza nella



Fig.9.7 Ricostruzione della pianta dell'edificio ad una delle tipologie delle NTC2008

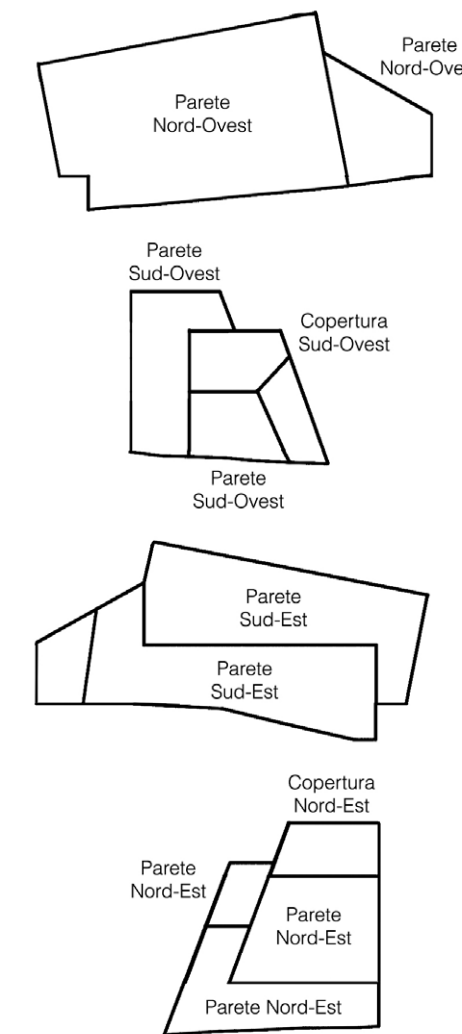


Fig.9.8 Discretizzazione dei 4 prospetti principali dell'edificio per lo studio delle pressioni

Inclinazione [°]	SUD-EST		NORD-EST		SUD-OVEST		NORD-OVEST	
	SOPRAV.	SOTTOV.	SOPRAV.	SOTTOV.	SOPRAV.	SOTTOV.	SOPRAV.	SOTTOV.
75	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2	0,2	-0,2
90	0,2	-0,4	0,2	-0,4	0,2	-0,4	0,2	-0,4
75	259,37	-259,37	259,37	-259,37	259,37	-259,37	259,37	-259,37
90	1037,46	-518,73	1037,46	-518,73	1037,46	-518,73	1037,46	-518,73
75	1296,83	-778,10	1296,83	-778,10	1296,83	-778,10	1296,83	-778,10
90	215,77	-215,77	215,77	-215,77	215,77	-215,77	215,77	-215,77
75	863,07	-431,53	863,07	-431,53	863,07	-431,53	863,07	-431,53
90	1078,84	-647,30	1078,84	-647,30	1078,84	-647,30	1078,84	-647,30

Tab.9.10 Valori di pressioni interne, esterne e totali

prima delle tipologie elencate, "Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate, curve".

Per la valutazione della pressione esterna si assumerà pertanto

- per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$, $c_{pe} = +0,8$;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $20^\circ < \alpha < 60^\circ$, $c_{pe} = 0,03 \cdot \alpha - 1$;
- per elementi sopravento, con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente) $c_{pe} = -0,4$

Ne risultano i valori di pressioni interne, esterne e totali mostrati in Tab.9.10 relative alla discretizzazione sui quattro prospetti principali in Fig.9.8.

AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture andrà valutato seguendo le disposizioni contenute al paragrafo 3.4 "Azioni della Neve" delle NTC2008 sarà mediante la seguente espressione

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

dove

- q_s : carico neve sulla copertura;
- μ_i : coefficiente di forma della copertura;
- q_{sk} : valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito per un periodo di ritorno di 50 anni;
- C_E è il coefficiente di esposizione;
- C_t è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura. Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non deve essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate al paragrafo 3.4, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni. L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di

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

Tab.9.11 Valori di C_E per diverse classi di topografia

Coefficiente di forma	0° ≤ α ≤ 30°	30° < α < 60°	α ≥ 60°
μ ₁	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Tab.9.12 Valore del coefficiente di forma

realizzazione dell'edificio. Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si dovrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m. Pertanto, non disponendo di dati supportati da opportuna documentazione ne di indagini statistiche adeguatamente comprovate, si è deciso di andare a considerare il carico neve risultante dalla formula $q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$, considerando $a_s = 1750m$, in maniera tale da agire a favore di sicurezza in quanto il valore utilizzato sarà sicuramente maggiore di quello previsto per 1500 m di altitudine.

Per il sito di progetto in questione, ubicato nella provincia di Lecco, si farà riferimento alla relativa zona "Zona I - Alpina" (Fig.9.9) con un valore del carico della neve q_{sk} al suolo ricavato dalla seguente

$$q_{sk} = 1,39 \cdot [1 + (a_s/728) \cdot 2] \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Il coefficiente di esposizione C_E è una variabile utilizzata per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera, valutato in riferimento alla Tab.9.11. Trattandosi di un'area posta su di un crinale di un versante della montagna, e quindi non ostruita ed esposta su tutti i lati, senza costruzioni o alberi, si assumerà un coefficiente C_E=0,9.

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato C_t=1.

Per la determinazione del coefficiente di forma si farà riferimento alla Tab.9.12 relativa alle coperture ad una falda. Si assume che

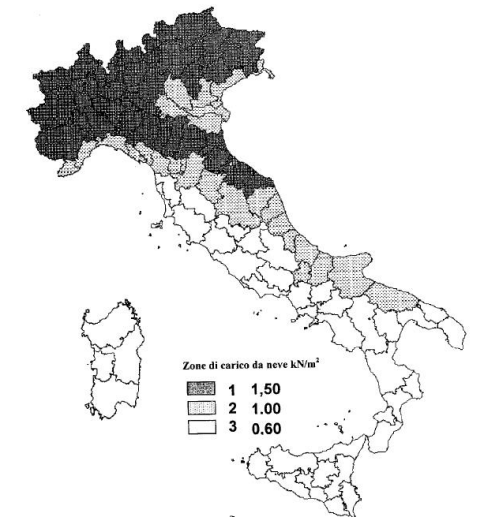


Figura 3.4.1 - Zone di carico da neve
Fig.9.9 Zone di carico da neve



Fig.9.10 Pannelli X-lam a 3 e 5 strati

alla neve non sia impedito di scivolare. Con α si va ad indicare il valore, espresso in gradi sessagesimali, dell'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Avendo le due falde in questione inclinazione $\alpha < 30^\circ$ si andrà a considerare una valor di coefficiente di forma $\mu_1 = 0,8$ per entrambe. Ne risulterà una valore del carico neve per unità di superficie

$$q_{sk} = 6,78 \text{ kN/m}^2$$

9.4 STRUTTURA IN X-LAM

9.4.1 CARATTERISTICHE DEL SISTEMA X-LAM

Con il termine X-lam si vuole indicare un sistema costruttivo che trae origine dal prodotto "pannello di legno massiccio di strati incrociati", pensato e sviluppato per la prima volta in Germania nei primi anni 90. Tale tecnica costruttiva ha subito un rapido sviluppo negli ultimi 10-15 anni, andandosi a diffondere in tutto il territorio Europeo, Italia inclusa, fino a diventare il sistema costruttivo in legno più diffuso. Il tipico pannello X-lam è costituito da una serie di strati di tavole in legno massiccio sovrapposte e disposte ortogonalmente fra di loro, con una giunzione fra le stesse e mezzo di collante. Generalmente il legno massiccio più utilizzato è rappresentato dal legno di abete con spessori del singolo strato che variano tra i 15 ed i 40 mm, assemblati tra loro in numero dispari (3,5,7 strati) (Fig.9.10) per garantire caratteristiche meccaniche simmetriche rispetto all'asse centrale del pannello stesso. La giunzione di tali pannelli in lunghezza viene a formare vere e proprie pareti portanti o lastre di solaio, dal momento che risultano degli elementi costruttivi molto rigidi e resistenti. Il risultato nel complesso è quello di una struttura a comportamento scatolare dove le pareti ed i solai sono formati da diaframmi costituiti da suddetti pannello di legno massiccio molto rigidi e resistenti che vengono uniti fra di loro mediante collegamenti meccanici. La realizzazione di tali elementi avviene per prefabbricazione in stabilimento (Fig.9.11) attraverso tagli computerizzati effettuati con macchine a controllo numerico in maniera tale da arrivare in cantiere già pronti per il montaggio (già dotati di aperture per porte e finestre). Per quanto riguarda il sistema di posa in opera dei pannelli stessi, solitamente le pareti vengono collegate al piano di imposta della struttura stessa mediante piastre angolari di presidio al sollevamento, dette "hold-down" (Fig.9.12). Questi sono piastre metalliche angolari allungate che vengono posizionare in corrispondenza dei limiti estremi delle pareti ed in prossimità delle aperture,



Fig.9.11 Prefabbricazione del pannello X-lam in stabilimento



Fig.9.12 Piastre angolari di presidio al sollevamento "hold-down"

collegati al legno con chiodature a rilievi tronco-conici. La funzione di presidio allo scorrimento è invece realizzata da un collegamento realizzato con il posizionamento di un cordolo di legno massiccio in larice sopra cui verranno poi posizionate le pareti verticali, collegate al cordolo stesso a mezzo di viti auto-foranti inclinate ed inserite su entrambi i lati della parete stessa. Il processo costruttivo verrà ripetuto poi sequenzialmente piano per piano, ovvero il primo solaio fa da piattaforma per la realizzazione del piano successivo e così via, con modalità di collegamento però differenti rispetto al primo, in quanto come presidio al sollevamento delle pareti perimetrali si utilizzeranno in questo caso bande metalliche forate (Fig.9.13) da collegare sul lato esterno a mezzo di chiodi sia alla parete del piano inferiore che alla parete del piano superiore. Il presidio allo scorrimento sarà invece garantito dalla realizzazione di angolari metallici collegati alla parete con chiodi tronco-conici ed al solaio sempre con chiodi a rilievo troncoconico e con viti auto-foranti.

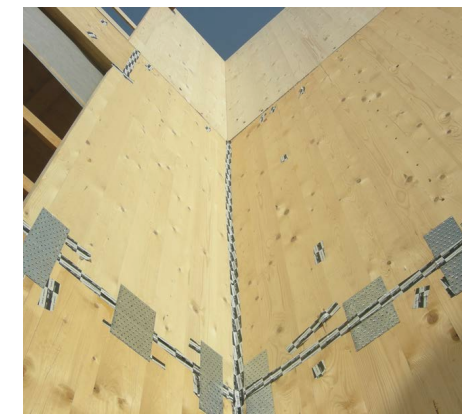


Fig.9.13 Bande metalliche forate di presidio al sollevamento

9.4.2 GERARCHIA DELLE RESISTENZE

Al fine di garantire un comportamento scatolare per tutto l'organismo strutturale vi è la necessità che non intervengano dei cedimenti per perdita di geometria locale o globale, cioè in parole più semplici, che la scatola strutturale stessa non si debba mai aprire e debba restare sempre connessa punto per punto. Il raggiungimento di questo obiettivo è perseguito attraverso la realizzazione di alcune connessioni fra i diversi elementi strutturali di adeguate riserve di sovrarresistenza in maniera tale che la struttura rimanga sempre in campo elastico evitando eccessive deformazioni. In questo modo, rimanendo coerenti al criterio di gerarchia delle sovrarresistenze, si va a consentire la dissipazione dell'energia trasferita dal sisma attraverso gli elementi e le connessioni a comportamento duttile. Le connessioni con queste caratteristiche sono le seguenti:

- Connessioni fra i pannello del solaio: eseguite in maniera tale da assicurare la totale assenza di fenomeni di scorrimento fra i pannelli, garantendo l'ipotesi di diaframma rigido;
- Connessione fra il solaio e la parete sottostante: in questo modo si ha che, ad ogni piano, vi sia la presenza di un diaframma rigido a cui sono rigidamente connesse le pareti sottostanti, realizzando la cosiddetta "cintura di piano";
- Connessione verticale fra le pareti che si intersecano ortogonalmente: per quanto riguarda questo tipo di connessione, in particolare quello fra le pareti poste agli angoli dell'edificio, si ottiene che, realizzandole in questa maniera, risulta sempre garantita sia la stabilità delle pareti stesse, che quella dell'intera scatola strutturale.



Fig.9.14 Test sismico su edificio in X-lam di 7 piani realizzato a Miki (Giappone)

In generale, la sovraresistenza delle unioni citate viene conferita adottando per esse un interasse dei mezzi di unione ridotto almeno di 1/1,3. Le connessioni finalizzate invece alla dissipazione dell'energia attraverso un comportamento di risposta al sisma di tipo duttile, e che pertanto vanno progettate in maniera puntuale garantendo sufficienti riserve di resistenza per le relative azioni di progetto, sono le seguenti:

- Le connessioni verticali "pannello-pannello";
- Le connessioni di "presidio al taglio" previste alla base delle pareti portanti;
- Le connessioni di "presidio al sollevamento" (hold-down) previste alle estremità di ciascuna parete portante ed in corrispondenza delle aperture.

Per mantenersi coerenti al criterio della gerarchia delle resistenze vi è la necessità che questi elementi vengano progettati in maniera tale da garantire la resistenza sotto l'effetto delle azioni sismiche di competenza, senza effettuare sovradimensionamenti. E' importante pertanto che la resistenza alle azioni orizzontali sia maggiore ai piani bassi e diminuisca salendo verso i piani alti, in maniera proporzionale alla variazione in altezza del taglio di piano. In parole povere va evitato un sovradimensionamento di queste unioni o, perlomeno, è necessario adottare un fattore di sovradimensionamento unico a tutti i piani (garantendo in maniera teorica che, a tutti i piani, le unioni meccaniche plasticizzino contemporaneamente). Questo aspetto è importante al fine di garantire il necessario livello di duttilità e di dissipazione all'intero organismo strutturale, oltre che per evitare il sovradimensionamento di queste connessioni rispetto a quelle devolute al mantenimento del comportamento scatolare (quelle che, per questo motivo, devono garantire effettivamente una maggiore resistenza).

9.4.3 ANALISI DEI CARICHI

Prima di poter andare ad effettuare un predimensionamento di massima sulle dimensioni delle lastre X-lam utilizzate per la realizzazione delle pareti e dei solai, cui seguirà poi una verifica più scrupolosa avvalendosi del software CLTdesigner, è necessario effettuare un'analisi dei carichi ed un'analisi della geometria della pianta strutturale in questione al fine di poter determinare quale sia l'elemento maggiormente sollecitato sia in rapporto al valore del carico su di esso applicato, che in rapporto alla luce dell'elemento stesso (nel caso di elementi a solaio). Data la particolare ubicazione del sito di progetto, posto a 1750 m s.l.m., è immediato valutare come l'elemento orizzontale maggiormente caricato sia il solaio di copertura

dell'edificio stesso, vista la presenza di un carico neve elevato pari a $6,78 \text{ kN/m}^2$, che lo rende un elemento di criticità in tutta la fase del progetto strutturale in corso. Andando ad analizzare poi la maglia strutturale ipotizzata, si individuano come pannelli maggiormente sollecitati quelli posti a collegamento dei due interassi della maglia strutturale 4-5 (Fig.9.15) e 5-6 (Fig.9.16), entrambi di luce pari a 5 m in proiezione ortogonale, con una conseguente lunghezza del pannello di 5,11 data l'inclinazione di 11° della copertura che ne incrementa pertanto la luce. Per quanto riguarda invece il pannello parete, anche qui quello maggiormente sollecitato risulta tale come conseguenza dell'elevato carico neve sovrastante; trattasi del pannello X-lam posto a chiusura verticale del volume in aggetto del ristorante, di luce pari a 3,88 m (Fig.9.17), con un carico distribuito calcolato allo SLU equivalente a 7441 kN/m .

9.4.4 DIMENSIONAMENTO X-LAM SOLAIO

CONSIDERAZIONI SULLE TABELLE DI PREDIMENSIONAMENTO

Nella fase di predimensionamento non è possibile disporre del valore del peso proprio strutturale G_1 , in quanto tale valore varierà al variare dello spessore del pannello scelto, e quindi sarà determinabile solamente dopo aver scelto lo spessore dell'elemento solaio in base alla fase di predimensionamento stessa. Le tabelle tengono conto di questo fattore, considerando già al loro interno il peso proprio dell'elemento.

La tabella di predimensionamento considerata si attiene alla normativa EN 1995-1-1:2010, andando a soddisfare le seguenti verifiche allo stato limite di esercizio:

- Combinazione caratteristica: $w_{Q,inst} \leq l/300$ e $(w_{fin} - w_{G,inst}) \leq l/200$;
- Combinazione quasi permanente: $w_{fin} \leq l/250$.

Per quanto riguarda invece i valori di portata allo SLU la tabella andrà a valutare le seguenti verifiche:

- Verifica delle tensioni di flessione;
- Verifica delle tensioni di taglio.

Il dimensionamento tiene conto anche del caso di incendio (combustione unilaterale), andando a fornire una resistenza alla combustione REI di massima del pannello scelto. Tale valore è fornito sulla base delle seguenti ipotesi:

- Velocità di carbonizzazione $\beta_0 = 0,67 \text{ mm/min}$ se la combustione avviene solo nello strato esterno o nel doppio

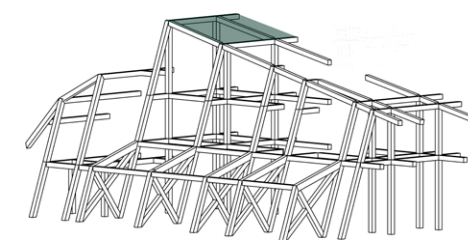


Fig.9.15 Elemento X-lam solaio maggiormente caricato posto nell'interasse 4-5

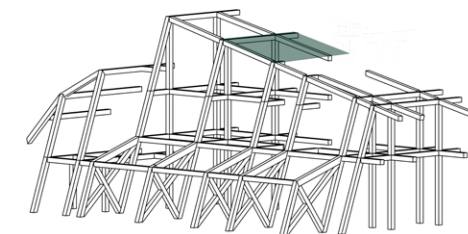


Fig.9.16 Elemento X-lam solaio maggiormente caricato posto nell'interasse 5-6

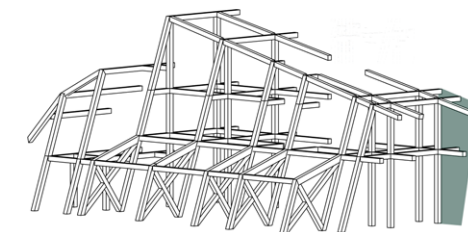


Fig.9.17 Elemento X-lam parete maggiormente caricato

strato più esterno;

- Velocità di carbonizzazione $\beta_0=0,76\text{mm/min}$ se sono interessati più strati (per tutta la durata dell'incendio);
- Gli spessori minimi dei pannelli (per R 0) raggiungono automaticamente anche i valori di resistenza al fuoco corrispondenti alla classificazione cromatica.

Le tabelle di predimensionamento non possono comunque sostituire il calcolo statico, ma costituiscono solo un documento di supporto nella fase iniziale della progettazione strutturale.

PREDIMENSIONAMENTO DEL SOLAIO X-LAM

La tabella sottostante Tab.9.13 riassume i dati di progetto necessari al predimensionamento dell'elemento solaio X-lam maggiormente sollecitato.

Andando pertanto a consultare la tabella di predimensionamento relativa al pannello di sostegno ad una campata per tetti (Tab.9.14) riportata nella pagina seguente, per un carico

Identificazione elemento	Luce	Carichi permanenti strutturali	Carichi permanenti non strutturali	Carico neve
	l	G ₁	G ₂	Q _{k1}
XLAM _{Solaio}	5,11 [m]	Da determinare	0,12 [kN/m ²]	6,78 [kN/m ²]

Tab.9.13 Dati di progetto relativi all'elemento solaio X-lam maggiormente sollecitato

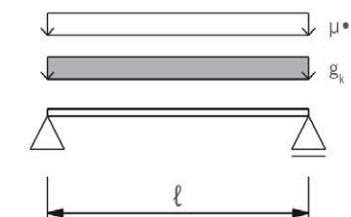
permanente non strutturale approssimabile a 0,50 kN/m², un carico neve approssimabile a 7,00 kN/m², ed una luce di progetto approssimabile a 5,50 m, mantenendosi in tutti e tre i casi a favore di sicurezza, si otterrà uno spessore minimo del pannello X-lam di 200 mm.

Valutando in maniera critica il risultato ottenuto però, è evidente come l'ipotesi iniziale di andare a dimensionare i restanti pannelli X-lam in riferimento al pannello maggiormente sollecitato, costituisca in questo caso un sovradimensionamento eccessivo, in quanto è possibile notare come riferendosi ad un caso di carico identico, quindi di 0,50 kN/m² di carico permanente non strutturale e 7,00 kN/m² di carico neve, ma riducendo la luce di un solo metro, quindi portandosi a 4,50 m di luce, che rappresenta la seconda luce maggiore nell'intera maglia strutturale dopo i 5,11 m considerati in questo predimensionamento, lo spessore minimo del pannello si riduce da 200 mm a 145 mm. Un sovradimensionamento di almeno il 27,5% dello spessore di ciascun pannello verticale rappresenterebbe sì una scelta a favore di sicurezza, ma darebbe svantaggi notevoli a livello economico in un caso studio come quello in questione, in cui l'approvvigionamento del materiale deve avvenire a mezzo di elicottero, e dove quindi ogni aumento di peso ingiustificato rappresenterebbe un notevole esborso economico non solo

Flessione

Aspetto estetico e riduzione dei danni

Spessori minimi dei pannelli per R 0 (dimensionamento a freddo)



secondo ETA 06/0138

ÖNORM EN 1995-1-1:2009 e ÖNORM B 1995-1-1:2010

ÖNORM EN 1995-1-2:2011 e ÖNORM B 1995-1-2:2011

Carico permanente g _k *)	Carico da neve sul tetto s = μ*s _k	LUCE DI CALCOLO DELLA CAMPATA l								
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
0,50	1,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	2,00	3s 78 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL
	3,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	5,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL
	6,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL
	7,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL	7ss 230 DL
1,00	1,00	3s 78 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	2,00	3s 78 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL
	3,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	5,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL
	6,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL
	7,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL	7ss 230 DL
1,50	1,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	2,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	3,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
	5,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL
	6,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL
	7,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL	7ss 230 DL
2,00	1,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	5s 200 DL
	2,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	5s 200 DL
	3,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	5s 200 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	5s 200 DL
	5,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL
	6,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL
	7,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL	7ss 230 DL
2,50	1,00	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 208 DL
	2,00	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 208 DL
	3,00	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 208 DL
	4,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL
	5,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 208 DL
	6,00	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 208 DL
	7,00	3s 95 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 182 DL	5s 200 DL	7ss 208 DL	7ss 230 DL	7ss 230 DL

*) oltre al peso proprio dell'elemento KLH (il peso proprio dell'elemento KLH è già considerato nella tabella)

Resistenza al fuoco: R 0 R 30 R 60 R 90

Tab.9.14 Tabella di predimensionamento per pannelli X-lam di copertura ad una campata

Flessione

Aspetto estetico e riduzione dei danni

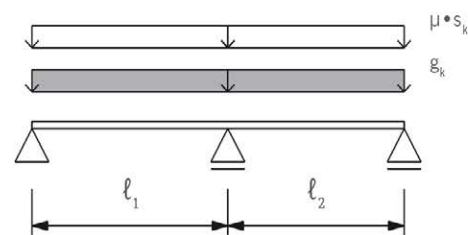
Spessori minimi dei pannelli per R 0 (dimensionamento a freddo)

Carico da neve distribuito uniformemente su entrambe le campate

secondo ETA 06/0138

ÖNORM EN 1995-1-1:2009 e ÖNORM B 1995-1-1:2010

ÖNORM EN 1995-1-2:2011 e ÖNORM B 1995-1-2:2011



Carico permanente g _k *)	Carico da neve sul tetto s = μ*s _k	LUCE DI CALCOLO DELLE CAMPATE ℓ ₁ ℓ ₂ = da 0,8*ℓ ₁ a 1,0*ℓ ₁								
		3,00 m	3,50 m	4,00 m	4,50 m	5,00 m	5,50 m	6,00 m	6,50 m	7,00 m
0,50	1,00		3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	
	2,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	3s 120 DL	5s 140 DL
	3,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	4,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	5,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	6,00		3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	7,00		3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 182 DL
1,00	1,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	3s 120 DL	5s 140 DL
	2,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	3s 120 DL	5s 140 DL
	3,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	4,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 145 DL
	5,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	6,00		3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	7,00		3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
1,50	1,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL
	2,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	3,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	4,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	5,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 160 DL
	6,00		3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	7,00		3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
2,00	1,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	2,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	3,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL
	4,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	5,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	6,00		3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 200 DL
	7,00		3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL
2,50	1,00		3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL
	2,00	3s 57 DL	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL
	3,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL
	4,00		3s 78 DL	3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	5,00	3s 78 DL	3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 182 DL
	6,00		3s 90 DL	3s 95 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 145 DL	5s 160 DL	5s 200 DL
	7,00		3s 90 DL	3s 108 DL	3s 120 DL	5s 140 DL	5s 140 DL	5s 160 DL	5s 182 DL	5s 200 DL

*) oltre al peso proprio dell'elemento KLH (il peso proprio dell'elemento KLH è già considerato nella tabella)



Tab.9.15 Tabella di predimensionamento per pannelli X-lam di copertura a due campate

per il costo della materia prima. Si è ricorso perciò ad una soluzione che ha permesso di mantenere dei pannelli di solaio dello stesso spessore per tutti piani orizzontali, evitando problemi di connessione e di differenze di quote tra gli stessi, ma riducendone lo spessore rispetto ai 200 mm. La soluzione è stata quella di adottare come accorgimento nella fase di dimensionamento dei pannelli, quello di far sì che nei casi di progetto in cui la campata risulti ≥ 5,00 m, questi abbiano una lunghezza tale da comportarsi come pannelli su tre appoggi, quindi nel caso in questione avendo due luci consecutive di 5,11 m, i pannelli da disporre a coprire queste due campate avranno una lunghezza di 10,22 (Fig.9.18), generando uno schema statico che rispetto allo schema statico su due soli appoggi garantisce una resistenza ai carichi di progetto maggiore come mostrato nella tabella di predimensionamento Tab.9.15.

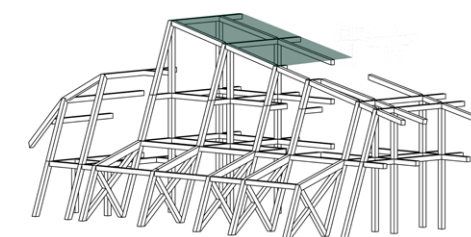


Fig.9.18 Nuova soluzione nel dimensionamento del pannello X-lam di copertura

L'accorgimento preso in fase di progettazione ha garantito una riduzione dello spessore minimo del 30%, da 200 mm a 140 mm con una notevole ottimizzazione nei costi di realizzazione. Tenendo conto però del fatto che per la luce di 4,50 m è necessario uno spessore minimo superiore pari a 145 mm, oltre che considerando il fatto che si sta operando in una fase di predimensionamento, con una tabella caratterizzata di fatto da un elevato grado di aleatorietà, si andrà ad assumere come spessore di progetto per i pannelli X-lam orizzontali lo spessore immediatamente superiore a 145 mm, che equivale a 160 mm. L'elemento risulta inoltre in fase di predimensionamento verificato dal punto di vista della resistenza al fuoco come REI90.

SPESORE SOLAIO X-LAM IPOTIZZATO = 160 MM

CONSIDERAZIONI SUL SOFTWARE CLTDESIGNER

Il software permette di eseguire, nel suo modulo "Pannello X-lam 1D – Travi continue", le verifiche necessarie allo stato limite ultimo, in relazione alle sollecitazioni a flessione ed a taglio per i carichi statici e quasi statici, come pure per il caso del carico eccezionale incendio.

Inoltre sono eseguite le verifiche allo stato limite di servizio, procedendo al calcolo delle deformazioni e delle vibrazioni secondo EN 1990 ed EN 1995 per gli elementi di trave continua su più appoggi, formate da elementi di legno massiccio incollato a strati incrociati (X-lam).

VERIFICA DEL SOLAIO XLAM

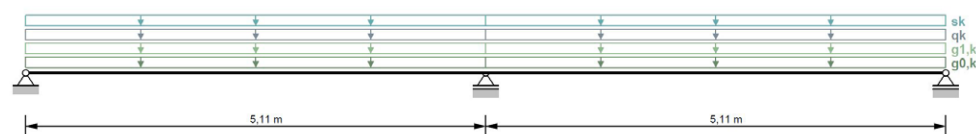
In riferimento alle valutazioni precedentemente fatte in fase di predimensionamento, si è proceduto alla verifica dell'ipotesi

tabellare mediante il software CLTdesigner come mostrato di seguito.

INFORMAZIONI GENERALI

- Classe di servizio: 1;
- Schema statico: trave multi appoggio con due campate;
- Sezione: 5 strati, altezza 160 mm;
- Coefficiente di sicurezza parziale:
 - $\gamma_G=1,35$;
 - $\gamma_Q=1,50$;

Appoggi	Luce [m]
A	0,00
B	5,11
C	10,22



Tab.9.16 Schema statico della trave multi appoggio

- Indicazioni sull'incendio:

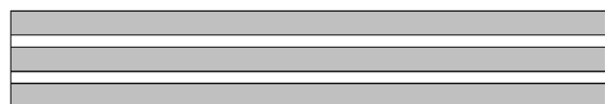


Fig.9.19 Sezione verticale del pannello X-lam

Lamella	Spessore [mm]	Orientazione [°]	Materiale
1	40	0	GL24h
2	20	90	GL24h
3	40	0	GL24h
4	20	90	GL24h
5	40	0	GL24h

Tab.9.17 Caratteristiche delle singole lamelle

Parametri del materiale per GL24h		
Resistenza a flessione	[N/mm ²]	24,0
Resistenza a trazione parallela	[N/mm ²]	16,5
Resistenza a trazione perpendicolare	[N/mm ²]	0,5
Resistenza a compressione parallela	[N/mm ²]	24,0
Resistenza a compressione perpendicolare	[N/mm ²]	2,7
Resistenza a taglio	[N/mm ²]	3,0
Resistenza a taglio trasversale	[N/mm ²]	1,3
Modulo di elasticità parallela	[N/mm ²]	11600,0
5% frattile del modulo di elasticità parallela	[N/mm ²]	9667,0
Modulo di elasticità perpendicolare	[N/mm ²]	0,0
Modulo di taglio	[N/mm ²]	720,0
Modulo di taglio trasversale	[N/mm ²]	72,0
Densità	[kg/m ³]	380,0
Valore medio densità	[kg/m ³]	500,0
Rigidezza a taglio della lastra	[N/mm ²]	5,0
Rigidezza torsionale	[N/mm ²]	2,5

Tab.9.18 Parametri del materiale

Campata	$g_{0,k}$ [kN/m]	$g_{1,k}$ [kN/m ²]	g_k [kN/m ²]	Categoria	s_k [kN/m ²]	Altitudine [m]
1	0,88	0,12	0,5	H	6,8	1000
2	0,88	0,12	0,5	H	6,8	1000

Tab.9.19 Carichi agenti sul pannello X-lam

- Durata dell'incendio: 30 minuti;
- Lato esposto al fuoco: sotto;
- $k_{fire}=1,15$;
- Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_{M,fi}=1$;
- Velocità di combustione $\beta_n=0,8$ mm/min;
- Indicazioni sulle vibrazioni:
 - Esigenze elevate;
 - Smorzamento: 1,0%;
 - Modulo E del solaio: 26000 N/mm²;

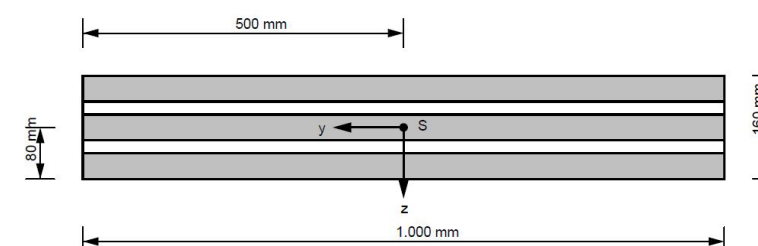


Fig.9.20 Sezione efficiente del pannello X-lam

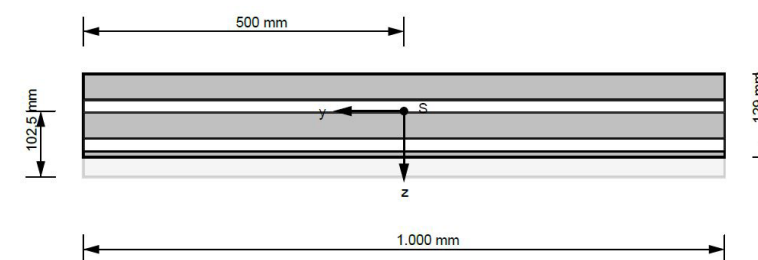


Fig.9.21 Sezione efficiente ridotta del pannello X-lam in caso di incendio

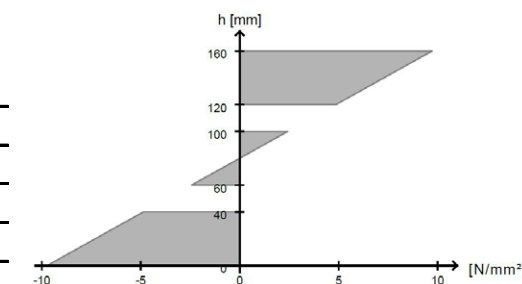
- Rigidezza flessionale del solaio: 270,83 kNm²/m;
- Condizioni di appoggio: su 2 lati.

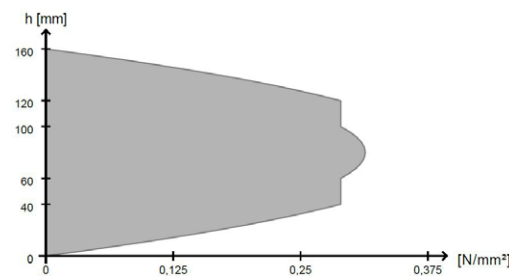
VERIFICHE ALLO SLU

Verifica a flessione

Grado di sfruttamento	0,58
K_{mod}	0,8
Da x	5,11 m
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,5 \cdot 1,00 \cdot s_k$

Tab.9.20 Risultati della verifica a flessione



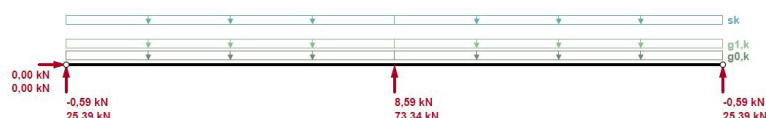


VERIFICHE ALLO SLE

Grado di sfruttamento	0,36
K_{mod}	0,8
Da x	5,11 m
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1k} + 1,5 \cdot 1,00 \cdot s_k$

Tab.9.21 Risultati della verifica a taglio

Freccia



Grado di sfruttamento	0,40
K_{mod}	0,8
Da x	5,11 m
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1k} + 1,5 \cdot 1,00 \cdot s_k$

Tab.9.22 Risultati della verifica a pressione di contatto

Valori limite secondo EN 1995-1-1:

- Deformazione iniziale w_{inst} $t=0$: $l/300$;
- Deformazione finale w_{fin} $t=inf$: $l/150$;
- Deformazione finale $w_{net,fin}$ $t=inf$: $l/250$.

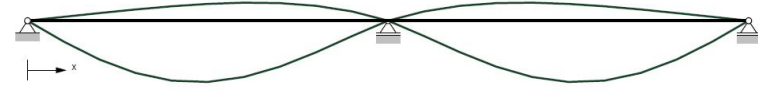
Valori limite secondo ON B 1995-1-1/NA:2014-11-15:

- Deformazione iniziale w_{inst} $t=0$: $l/300$;
- Deformazione finale w_{fin} $t=inf$: $l/150$;
- Deformazione finale $w_{net,fin}$ $t=inf$: $l/250$.

Vibrazione

Verifica secondo EN 1995-1-1

- Frequenza propria: $f_1 = 127,47$ Hz > 8,0 Hz;



Grado di sfruttamento	0,40
K_{mod}	0,8
Da x	5,11 m
Combinazione base	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1k} + 1,5 \cdot 1,00 \cdot s_k$

Tab.9.23 Risultati della verifica a freccia

- Rigidezza: $w_{1kN} = 0,58$ mm < 1,0 mm;
 - Velocità/Impulso unitario:
 $v = 2,22$ mm/s < 3.924,7 mm/s
- Verifica riuscita

VERIFICHE ALLO SLU PER IL CASO DI INCENDIO

Verifica a flessione

Grado di sfruttamento	0,14
K_{mod}	1,0
Da x	5,11 m
Combinazione eccezionale	$g_{0,k} + g_{1k} + 0,20 \cdot s_k$

Tab.9.24 Risultati della verifica a flessione

Verifica a taglio

Grado di sfruttamento	0,06
K_{mod}	1,0
Da x	5,11 m
Combinazione eccezionale	$g_{0,k} + g_{1k} + 0,20 \cdot s_k$

Tab.9.25 Risultati della verifica a taglio

CONSIDERAZIONI FINALI SUL SOLAIO X-LAM

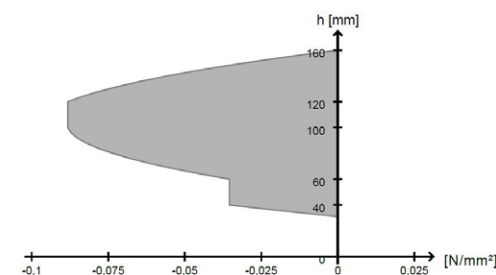
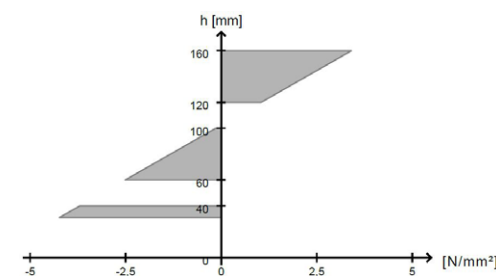
I risultati delle verifiche effettuate con il software CLTdesigner mostrano come la risposta del pannello scelto nel caso di maggior sollecitazione sia ampiamente positiva agli stati limite ultimi, sia nel caso di verifica a flessione, che di taglio, che di pressione di contatto. Anche le verifiche allo stato limite ultimo in caso di incendio verificano la sezione scelta, con un grado di sfruttamento a flessione del solo 14%, garantendo una risposta positiva anche nei casi in cui la lastra sia colpita da incendio su ambedue i lati, a differenza del caso in questione in cui, trattandosi di solaio di copertura, l'unico lato colpito è quello inferiore. La verifica REI30 è pertanto ampiamente soddisfatta. Il fattore di criticità è rappresentato invece dalla verifica allo stato limite di esercizio della freccia, con un grado di sfruttamento del 82,8%, che rende giustificata la scelta in fase di predimensionamento di andare a considerare uno spessore di progetto leggermente superiore a quello minimo fornito da tabella, a favore di sicurezza.

SPESORE SOLAIO X-LAM VERIFICATO = 160 MM

9.4.5 DIMENSIONAMENTO X-LAM PARETE

CONSIDERAZIONI SULLE TABELLE DI PREDIMENSIONAMENTO

Come per il solaio, anche per le pareti le tabelle tengono già conto del valore del peso proprio strutturale G_1 , considerandolo già al loro interno. Per quanto riguarda i valori di portata allo SLU la tabella andrà a valutare le seguenti verifiche:



- Verifica dell'asta caricata di punta (pressoflessione secondo il metodo dell'asta equivalente);
- Verifica delle tensioni di taglio.

Il dimensionamento tiene conto anche del caso di incendio (combustione unilaterale), andando a fornire una resistenza alla combustione REI di massima del pannello scelto. Tale valore è fornito sulla base delle seguenti ipotesi:

- Velocità di carbonizzazione $\beta_0=0,67$ mm/min se la combustione avviene solo nello strato esterno o nel doppio strato più esterno;
- Velocità di carbonizzazione $\beta_0=0,76$ mm/min se sono interessati più strati (per tutta la durata dell'incendio)
- Considerata l'ulteriore eccentricità dovuta alla riduzione di sezione per carbonizzazione.

Le tabelle di predimensionamento non possono comunque sostituire il calcolo statico, ma costituiscono solo un documento di supporto nella fase iniziale della progettazione strutturale.

PREDIMENSIONAMENTO DELLA PARETE X-LAM

La tabella Tab.9.26 sottostante riassume i dati di progetto necessari al predimensionamento dell'elemento verticale X-lam maggiormente sollecitato.

Identificazione elemento	Lunghezza di libera inflessione l	Carichi permanenti strutturali G ₁	Carichi permanenti non strutturali G ₂	Carico neve Q _{k1}	Carichi di esercizio Q _{k2}	Carichi di esercizio Q _{k3}	Combinazione SLU
XLAM _{parete}	4,80 [m]	8,53 [kN/m]	4,95 [kN/m]	50,70 [kN/m]	8,24 [kN/m]	1,99 [kN/m]	105,31 [kN/m]

Tab.9.26 Dati di progetto relativi all'elemento parete X-lam maggiormente sollecitato

Andando pertanto a consultare la tabella di predimensionamento relativa al pannello per parete esterna riportata nella pagina successiva (Tab.9.27), per un carico permanente non strutturale approssimabile a 10 kN/m ed un carico variabile approssimabile a 60,00 kN/m², è possibile notare come non vi sia possibilità di predimensionamento tabellare di un caso avente lunghezza di libera inflessione superiore a 2,95 m vista l'atipicità della situazione progettuale oggetto di studio. In fase di predimensionamento non resta di fatto che ipotizzare uno spessore quantomeno ragionevole in riferimento ai valori forniti dalla tabella per una situazione di carico simile anche se con una lunghezza di libera inflessione inferiore. Essendo richiesta da normativa per destinazione d'uso a rifugio una classe di resistenza al fuoco REI30, si otterrà da tabella uno spessore minimo per la parete esterna di 94 mm, tenendo conto però di una lunghezza di libera inflessione di 2,95, la maggiore fra quelle

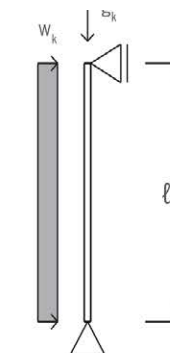
Pressione del vento: $w_k = 0,80$ kN/m²

Spessori minimi dei pannelli per diversi valori di resistenza al fuoco (da R 0 a R 90)

secondo ETA 06/0138

ÖNORM EN 1995-1-1:2009 e ÖNORM B 1995-1-1:2010

ÖNORM EN 1995-1-2:2011 e ÖNORM B 1995-1-2:2011



Carico permanente g _k *) [kN/m]	Carico variabile η _k [kN/m]	ALTEZZA PARETE ESTERNA (lunghezza libera di inflessione l)											
		2,40 m				2,72 m				2,95 m			
		R 0	R 30	R 60	R 90	R 0	R 30	R 60	R 90	R 0	R 30	R 60	R 90
10,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00												
20,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00												
30,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00			5s 125 DT		3s 72 DT		5s 125 DT		5s 158 DT			5s 158 DT
40,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 95 DT	5s 128 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00			5s 125 DT		3s 72 DT		5s 125 DT		5s 158 DT			5s 158 DT
50,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00												
60,00	10,00												
	20,00												
	30,00	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT	3s 57 DT	3s 94 DT	5s 125 DT	5s 158 DT
	40,00									3s 72 DT			
	50,00												
60,00	3s 72 DT				5s 95 DT				3s 94 DT				

*) oltre al peso proprio dell'elemento KLH (il peso proprio dell'elemento KLH è già considerato nella tabella)



Tab.9.27 Tabella di predimensionamento per pareti X-lam

disponibili, ma distante dalla reale luce di libera inflessione pari a 4,80 m del caso di studio. Si opterà pertanto per lo spessore di progetto immediatamente superiore ai 94 mm, rimandando alla verifica mediante il software CLTdesigner la validazione dell'ipotesi effettuata.

SPESORE SOLAIO X-LAM IPOTIZZATO = 123 MM

CONSIDERAZIONI SUL SOFTWARE CLTDESIGNER

Il software permette di eseguire, nel suo modulo "Lastra X-lam", le verifiche allo stato limite ultimo in relazione alla sollecitazione a taglio, per le sollecitazioni statiche e quasi statiche, come pure per il caso eccezionale dell'incendio, sulla base della forza di taglio data per un elemento di lastra di lunghezza unitaria.

VERIFICA DELLA PARETE X-LAM

In riferimento alle valutazioni precedentemente fatte in fase di predimensionamento, si è proceduto alla verifica della nostra ipotesi tabellare mediante il software CLTdesigner come mostrato di seguito.

INFORMAZIONI GENERALI

- Sezione: 5 strati, altezza 123 mm

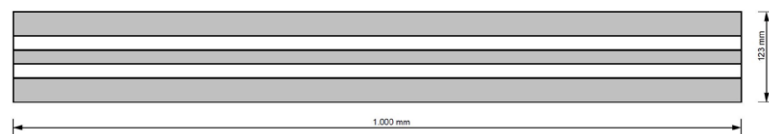


Fig.9.22 Sezione verticale del pannello X-lam

Lamella	Spessore [mm]	Orientazione [°]	Materiale
1	33	90	GL24h
2	19	0	GL24h
3	19	90	GL24h
4	19	0	GL24h
5	33	90	GL24h

Tab.9.28 Caratteristiche delle singole lamelle

- Indicazioni sull'incendio:
 - Durata dell'incendio: 30 minuti;
 - Lato esposto al fuoco: interno;
 - $k_{fire} = 1,15$;
 - Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_{M,fi} = 1$;
 - Velocità di combustione $\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$;

SFORZI INTERNI, COEFFICIENTI DI CALCOLO E RISULTATI

- Forza di taglio per unità di lunghezza $n_{xy,d} = 94,56 \text{ kN/m}$;

Meccanismo I - Taglio	0,62
Meccanismo II - Torsione	0,24
Meccanismo I - Taglio secondo ETA-09/0036	0,62
Meccanismo II - Torsione secondo ETA-08/0242	0,24

Tab.9.29 Risultati delle verifiche a taglio e torsione

- Coefficiente di correzione $k_{mod} = 1,0$;
- Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_M = 1,25$;

SFORZI INTERNI, COEFFICIENTI DI CALCOLO E RISULTATI PER IL CASO DI INCENDIO

- Forza di taglio per unità di lunghezza $n_{xy,d} = 94,56 \text{ kN/m}$;

Meccanismo I - Taglio	0,66
Meccanismo II - Torsione	0,25
Meccanismo I - Taglio secondo ETA-09/0036	0,50
Meccanismo II - Torsione secondo ETA-08/0242	0,25

Tab.9.30 Risultati delle verifiche a taglio e torsione in caso di incendio

- Coefficiente di correzione $k_{mod} = 1,0$;
- Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_M = 1,25$;

CONSIDERAZIONI FINALI SULLA PARETE X-LAM

I risultati delle verifiche effettuate con il software CLTdesigner mostrano come le verifiche a taglio e a torsione del pannello X-lam parete considerando la sollecitazione massima agente allo stato limite ultimo siano verificate ampiamente. Una criticità del processo di dimensionamento potrebbe essere la scelta in fase di predimensionamento di adottare un pannello di 123 mm anziché di 94 mm a favore di sicurezza, per tale motivo è stata effettuata una verifica anche su di un pannello di questo tipo per lo stesso valore di carico ottenendo i seguenti risultati in caso di incendio

Meccanismo I - Taglio	0,99
Meccanismo II - Torsione	0,38
Meccanismo I - Taglio secondo ETA-09/0036	0,99
Meccanismo II - Torsione secondo ETA-08/0242	0,38

Tab.9.31 Risultati delle verifiche a taglio e torsione per un pannello X-lam parete di spessore 94 mm

che mostrano di fatto come la verifica risulti soddisfatta, ma eccessivamente al limite, giustificando di fatto la scelta fatta di optare per il pannello di spessore superiore.

SPESORE SOLAIO X-LAM VERIFICATO = 123 MM

9.5 STRUTTURA IN LEGNO LAMELLARE

9.5.1 IPOTESI STATICHE

Come detto in precedenza, la struttura lignea in elevazione del rifugio vede la collaborazione di una struttura a telaio lignea in legno lamellare con funzione prettamente strutturale e di pannelli massicci X-lam aventi funzione sia portante, che autoportante e di chiusura dell'edificio a seconda dei casi.

Per semplicità si andrà a verificare esclusivamente il portale maggiormente sollecitato, mantenendosi comunque a favore di sicurezza, in quanto la verifica dello stesso rende validati automaticamente anche i restanti portali.

In primo luogo, prima di poter andare a determinare il valore delle sollecitazioni, è stato necessario andare ad ipotizzare un reticolo di travi e pilastri ed un relativo schema statico di connessione tra gli elementi stessi, che descrivesse al meglio la situazione reale. Il reticolo di prima ipotesi (Fig.9.23) altro non è che la geometria venutasi a creare dall'intersezione tra il profilo esterno della sezione trasversale del volume e i solai interni.

L'estensione del pilastro "A" fino al livello della piastra di acciaio, oltre che l'aggiunta di due ulteriori pilastri "B" e "C" volti a ridurre la luce delle travi orizzontali ed a collaborare con i pilastri esistenti nell'azione di scarico delle sollecitazioni alla base della struttura, hanno portato alla definizione della seconda ipotesi del reticolo ligneo mostra in figura Fig.9.24.

In secondo luogo si è andati ad ipotizzare lo schema statico volto a semplificare le connessioni tra i vari elementi del portale. Condizione imprescindibile di questa fase è la necessità di andare a creare una maglia di travi e pilastri non labile, riconducibile fondamentalmente a due tipi di soluzioni.

La prima è rappresentata da connessioni interne a mezzo di cerniere, andando di fatto ad annullare il momento nei nodi, ma con la necessità di andare a disporre controventature ad ogni livello del portale in entrambe le direzione X e Y di sviluppo planimetrico dell'edificio, al fine di garantire la non labilità della struttura e di assorbire le spinte orizzontali.

La seconda è invece rappresentata da connessioni interne ad incastro, in cui i nodi devono necessariamente essere in grado di trasmettere momento, senza la necessità di controventature visto l'elevata iperstaticità di una struttura di questo tipo nel suo complesso che la rende ben resistente alle sollecitazioni orizzontali.

Dato il particolare sviluppo volumetrico del progetto, caratterizzato da una marcata irregolarità sia in pianta che in elevazione, con una conseguente maglia strutturale difficilmente interpretabile

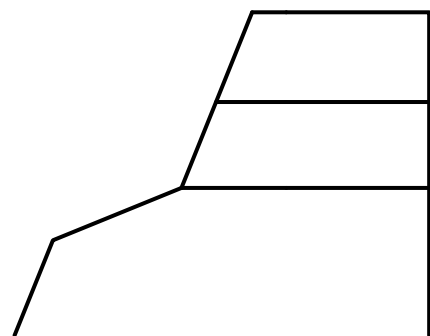


Fig.9.23 Reticolo di prima ipotesi

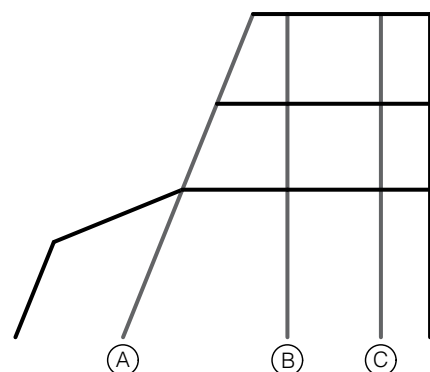


Fig.9.24 Reticolo di seconda ipotesi

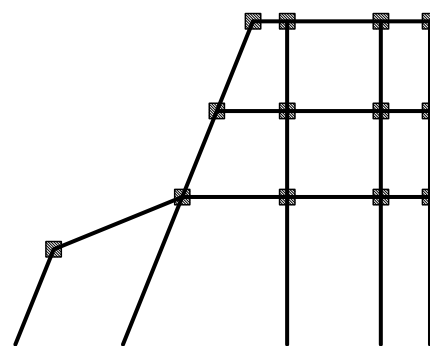


Fig.9.25 Reticolo di prima ipotesi

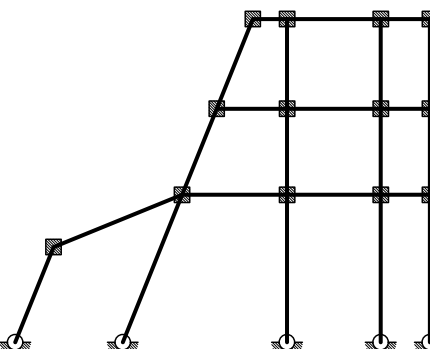


Fig.9.26 Reticolo di prima ipotesi

in maniera simmetrica, oltre che viste le dimensioni contenute dello stesso, si è optato per la seconda soluzione (Fig.9.25). L'inserimento di controventature ad ogni livello ed in entrambe le direzioni avrebbe comportato svantaggi dal punto di vista dello sfruttamento dei ridotti spazi interni che l'introduzione di giunti a momento non causa.

Data l'elevato grado di iperstaticità della maglia ipotizzata, oltre che le svariate soluzioni di connessione offerte dal mercato per i sistemi in legno, nella definizione del vincolo di connessione tra la struttura del portale ligneo e quella della piastra in acciaio sottostante si è potuto scegliere tra vincolo di cerniera a terra o incastro a terra in base a quanto più la scelta facilitasse le successive fasi di verifica.

Si è optato per un vincolo di cerniera a terra esclusivamente in proiezione futura per semplificare le verifiche effettuate sulla piastra in acciaio affrontate nel capitolo successivo, per poter effettuare le quali è stato necessario andare ad eseguire un'analisi dei carichi per ogni area di influenza relativa all'elemento metallico trave/pilastro. In questo modo si è evitato di dovere andare a riportare sulla struttura sottostante i momenti nelle due direzioni X ed Y, andando a ridurre gli eventuali errori di calcolo e di approssimazione. Ne risulta l'ipotesi statica finale in figura Fig.9.26.

ANALISI DEI CARICHI

Nella determinazione dei carichi agenti sulla struttura si è fatto riferimento ai pesi propri ed alle azioni variabili precedentemente definite nel capitolo 9.3 "Azioni sulle costruzioni" distribuiti sulle

Identificazione elemento	Luce	Carichi permanenti strutturali	Carichi permanenti non strutturali	Carichi di esercizio
	l [m]	G ₁ [kN/m]	G ₂ [kN/m]	Q ₁ [kN/m]
T ₁	1,60	3,52	0,69	36,41
T ₂	3,05	3,52	0,69	36,41
T ₃	1,11	3,52	0,69	36,41
T ₄	1,60	3,45	12,08	9,81
T ₅	3,05	3,45	12,08	9,81
T ₆	2,29	3,45	12,08	9,81
T ₇	1,60	3,45	14,32	9,81
T ₈	3,05	3,45	14,32	9,81
T ₉	3,42	3,45	14,32	9,81
T ₁₀	4,52	3,45	1,71	35,7
P ₁	4,80	0,00	0,00	5,40
P ₂	2,80	0,00	0,00	5,40
P ₃	2,92	0,00	0,00	5,40

Tab.9.32 Carichi permanenti strutturali, permanenti non strutturali e di esercizio relativi agli elementi costituenti il telaio del portale

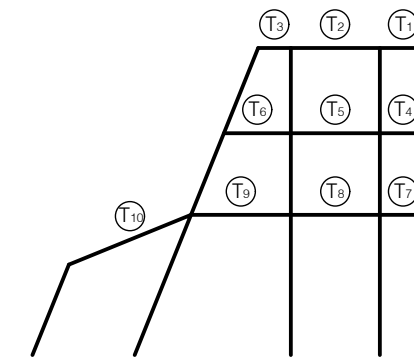


Fig.9.27 Schema identificativo delle travi del telaio del portale

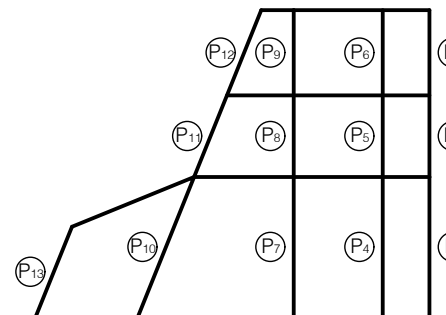


Fig.9.28 Schema identificativo dei pilastri del telaio del portale

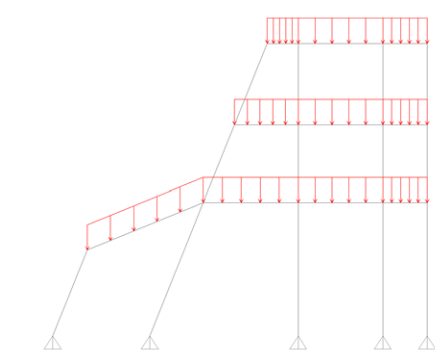
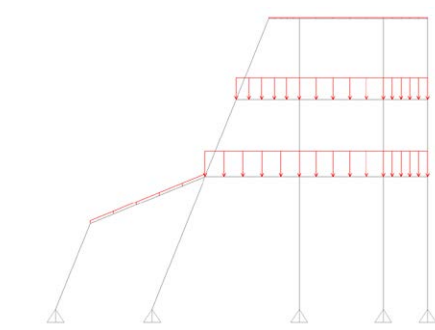
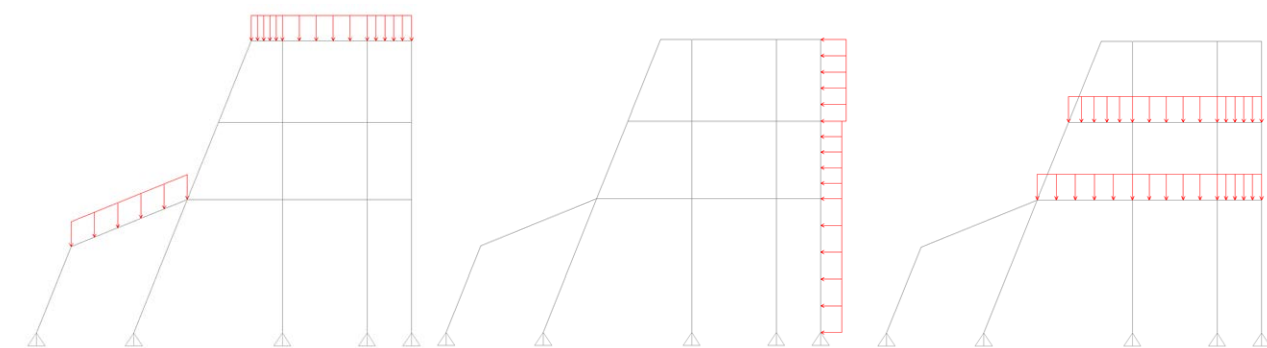
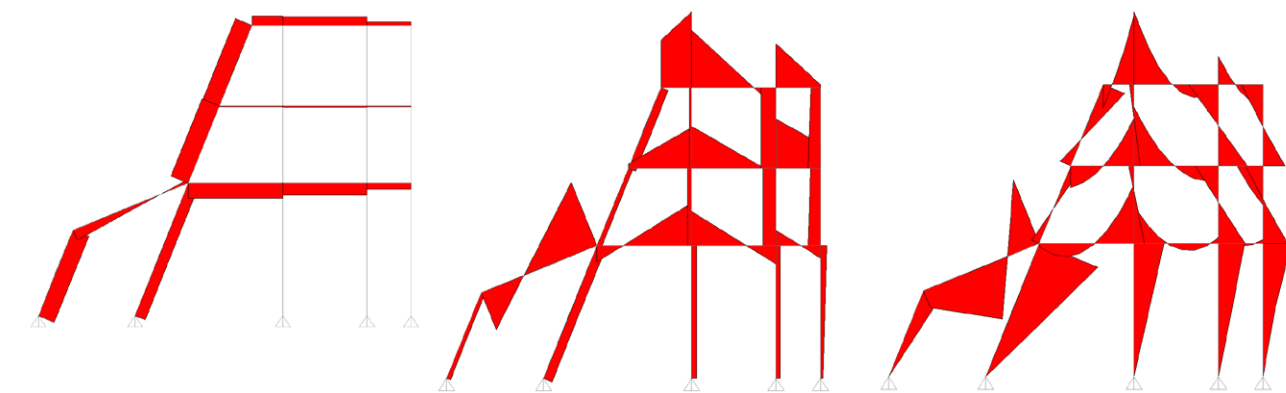
Fig.9.29 Carichi permanenti strutturali G_1 Fig.9.30 Carichi permanenti non strutturali G_2 Fig.9.31 Carichi di esercizio Q_1 (neve, vento e carichi variabili)

Fig.9.32 Diagrammi delle sollecitazioni della prima ipotesi statica di portale (assiale, taglio e momento)

Si è optato pertanto per una rivisitazione della prima ipotesi di reticolo del portale, che vede l'introduzione di due elementi di controvento proprio in prossimità del punto critico stesso, a livello

relative aree di influenza di ciascuna trave/pilastro (Fig.9.27, Fig.9.28, Tab.9.32).

Per andare a determinare il valore delle sollecitazioni generate dai carichi, si è utilizzato il software di calcolo ad elementi finiti SAP2000, utilizzabile anche per risolvere casi di carico in due dimensioni relativamente semplici come quello in questione. Alla graficizzazione del sistema a telaio di prima ipotesi è seguita la schematizzazione dei nodi come stabilito in precedenza. Infine si è proceduto ad applicare i carichi permanenti strutturali e non ed i carichi variabili (neve, vento e da affollamento) (Fig.9.29, Fig.9.30, Fig.9.31).

La definizione delle combinazioni di carichi direttamente all'interno del programma ha permesso di simulare una combinazione allo SLU ed effettuare delle prime considerazioni di massima sui risultati ottenuti. Nella fattispecie si è potuto identificare fin da subito il punto di criticità del portale, rappresentato dal nodo di incontro fra le travi T_9 , T_{10} e i pilastri P_{10} , P_{11} , dove sono registrate sollecitazioni di taglio e di momento al limite dell'accettabile (Fig.9.32).

del piano di imposta del portale. Tale intervento è volto ad andare ad irrigidire l'unico piano del reticolo strutturale caratterizzato da una minor iperstaticità, vista la presenza di vincoli a cerniera a terra, aumentandone di fatto ulteriormente l'iperstaticità stessa ed avvicinandosi ulteriormente ad uno schema statico di soli vincoli ad incastro. I risultati dell'analisi, mantenendo i carichi costanti, confermano la teoria appena enunciata, mostrando notevoli miglioramenti nei grafici di taglio e momento, con una riduzione del valore massimo di taglio del 21% e di momento del 26%, a discapito di un aumento dell'azione assiale massima la quale però rappresenta la sollecitazione di minore criticità nelle verifiche strutturali descritte in seguito.

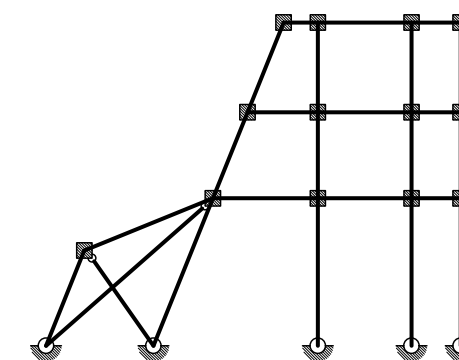


Fig.9.34 Reticolo di seconda ipotesi

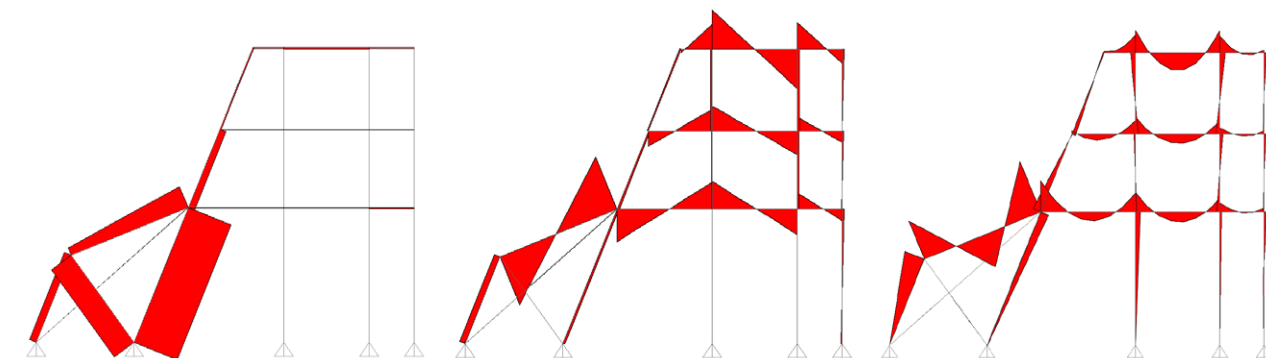


Fig.9.33 Diagrammi delle sollecitazioni della seconda ipotesi statica di portale (assiale, taglio e momento)

9.5.2 CARATTERISTICHE DEL LEGNO LAMELLARE

La classe di resistenza di un elemento in legno lamellare (Fig.9.35) è determinata dalla classe di resistenza delle stesse lamelle che lo compongono e dalla loro disposizione all'interno dell'elemento strutturale. La classe di resistenza delle singole tavole che compongono le lamelle è determinata in conformità alla norma UNI EN 14081-1 che specifica i requisiti per la classificazione a vista e a macchina del legno massiccio strutturale.

L'assegnazione del profilo resistente delle singole tavole avviene quindi sulla base delle classi riportate nella norma UNI EN 338 che fornisce i valori caratteristici delle proprietà di resistenza per ciascuna classe, e le regole per l'assegnazione dei tipi di legno (cioè le combinazioni di specie, provenienza e categoria) alle classi. La norma si applica a tutti i legnami di conifere e di latifoglie per uso strutturale.

Le classi di resistenza del legno lamellare di conifere sono riportate all'interno della norma UNI EN 1194 che ne fornisce anche i relativi valori caratteristici. Nella norma vengono indicati quattro profili resistenti individuati dalle seguenti sigle: GL24, GL28, GL32, GL36, dove GL è l'acronimo del termine inglese Glulam, seguito dal valore della corrispondente resistenza a



Fig.9.35 Sezioni in legno lamellare

flessione. Le classi sopra indicate sono inoltre suddivise tra legno lamellare omogeneo (contraddistinto dalla lettera "h") e legno lamellare combinato (contraddistinto dalla lettera "c"). Questo perché in un elemento di legno lamellare, sottoposto a flessione semplice, le sollecitazioni non sono distribuite in maniera omogenea, ma sono le lamelle estreme a subire le tensioni maggiori.

In una trave di legno lamellare combinato, le tavole con maggiore resistenza saranno quindi collocate nelle parti esterne della sezione, mentre all'interno potranno essere collocate tavole con una classe resistente inferiore.

Diversamente, una trave di legno lamellare omogeneo sarà costituito da tavole aventi la medesima classe di resistenza.

Prima di andare a verificare gli elementi lignei costituenti il portale è necessario fare una serie di considerazioni relative ad alcune premesse sulla valutazione delle strutture in legno secondo le NTC2008. Innanzitutto il comportamento della sezione strutturale considerata dipende dalla durata del carico agente e dal tipo di ambiente (esposizione all'umidità) in cui verrà posta in opera.

La resistenza a rottura del legno dipende in particolar modo dall'umidità contenuta nello stesso, con un valore di resistenza alla rottura decrescente all'aumentare del valore di umidità. La normativa si riferisce normalmente a valori di umidità del legno del 12%, equivalenti ad un'umidità relativa dell'aria del 65% e ad una temperatura di 20 gradi.

Nella verifica si deve tenere conto di queste condizioni climatiche, per questo vengono definite 3 classi di servizio (Tab.9.33)

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

Tab.9.33 Classi di servizio

In generale si può affermare che l'edificio oggetto di studio rientri nella "Classe di servizio 1", che si riferisce a tutti quegli elementi che si trovano interamente all'interno di una costruzione dotata di riscaldamento. La suddivisioni in classi di servizio si riferisce a situazioni normali della costruzione, pertanto avvenimenti eccezionali e limitati nel tempo non ne influenzano l'assegnazione.

In secondo luogo la durata dell'azione del carico va a influenzare la resistenza del materiale con, ad esempio, una diminuzione

della resistenza del materiale in caso di carichi elevati di lunga durata. Le classi di durata del carico sono rappresentate nella tabella seguente (Tab.9.34)

classe di durata del carico	durata corrispondente	esempio
permanente	oltre 10 anni	peso proprio
lunga durata	6 mesi - 10 anni	carichi nei depositi
media durata	1 settimana - 6 mesi	carichi di servizio in generale
breve durata	< 1 settimana	neve (in parte)
istantanea	breve	carichi accidentali, vento

Tab.9.34 Classi di durata del carico

L'effetto della durata del carico e quello dell'umidità del legno sono riassunti in un unico coefficiente di correzione apposito, denominato k_{mod} , con cui si determinano i valori di calcolo della resistenza del materiale come da tabella seguente (Tab.9.35)

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
			2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
		MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80

Tab.9.35 Valori del coefficiente di correzione k_{mod} in funzione del tipo di legno, della classe di servizio e della classe di durata del carico

Il valore di calcolo X_d di una proprietà del materiale viene calcolato mediante la relazione:

$$X_d = (k_{mod} \cdot X_k) / \gamma_M$$

dove:

- k_{mod} : coefficiente di correzione;

- X_k : valore caratteristico di una proprietà del materiale;
- X_d : valore di calcolo della stessa proprietà del materiale;
- γ_M : coefficiente di sicurezza parziale per le proprietà dei materiali

I valori caratteristici delle proprietà del materiale fanno parte delle caratteristiche tecniche di ogni materiale da costruzione e sono contenuti nelle norme rispettive o nella documentazione tecnica sul materiale stesso.

I valori del coefficiente parziale per le proprietà dei materiali sono stabiliti in base alla variabilità delle caratteristiche del materiale stesso, tenendo conto delle procedure usate in laboratorio per la determinazione delle medesime e delle misure di controllo della qualità cui è sottoposto il materiale durante la produzione e la lavorazione. Secondo l'Eurocodice 5 valgono i valori di γ_M seguenti (Tab.9.36):

Stati limite ultimi	γ_M
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

Tab.9.36 Valori del coefficiente γ_M in funzione del tipo di legno

9.5.3 VERIFICHE SLU E SLE

La resistenza di un elemento strutturale deve essere verificata in base alle sollecitazioni cui è sottoposto, nelle sezioni con la massima sollecitazione.

TRAZIONE PARALLELA ALLA FIBRATURA (SLU)

Si tratta del caso di sollecitazione di elementi sottoposti a trazione pura. Deve essere soddisfatta la condizione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \text{ o } \sigma_{t,0,d} \leq (k_{mod} \cdot f_{t,0,k}) / \gamma_M$$

con:

$$\sigma_{t,0,d} = N_d / A_{netta}$$

dove:

- $\sigma_{t,0,d}$: valore di calcolo della tensione di trazione nella sezione

- determinante;
- $f_{t,0,d}$: valore di calcolo della resistenza alla trazione per il caso considerato;
- $f_{t,0,k}$: valore caratteristico della resistenza alla trazione del materiale considerato;
- A_{netta} : area della sezione minima o netta;
- N_d : valore di calcolo dello sforzo assiale per la combinazione dei carichi determinante.

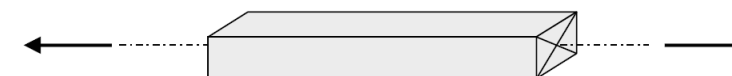


Fig.9.36 Trazione parallela alla fibratura

COMPRESSIONE PARALLELA ALLA FIBRATURA (SLU)

La verifica della resistenza avviene in modo simile al caso della trazione pura:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \text{ o } \sigma_{c,0,d} \leq (k_{mod} \cdot f_{c,0,k}) / \gamma_M$$

con:

$$\sigma_{c,0,d} = N_d / A_{netta}$$

dove:

- $\sigma_{c,0,d}$: valore di calcolo della tensione di compressione nella sezione determinante;
- $f_{c,0,d}$: valore di calcolo della resistenza alla compressione per il caso considerato;
- $f_{c,0,k}$: valore caratteristico della resistenza alla compressione del materiale considerato;
- A_{lorda} : area lorda della sezione;
- N_d : valore di calcolo dello sforzo assiale per la combinazione dei carichi determinante.

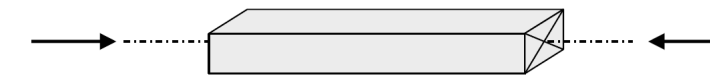


Fig.9.37 Compressione parallela alla fibratura

FLESSIONE (SLU)

Devono essere soddisfatte entrambe le condizioni seguenti:

$$(\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) \leq 1 \text{ e } (\sigma_{m,z,d} / f_{m,z,d}) + k_m \cdot (\sigma_{m,y,d} / f_{m,y,d}) \leq 1$$

dove:

- $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$: tensioni di calcolo massime per flessione rispettivamente nei piani xz e xy determinate assumendo una distribuzione elastico lineare delle tensioni sulla sezione;
- $f_{m,y,d}$, $f_{m,z,d}$: resistenze di calcolo a flessione, determinate

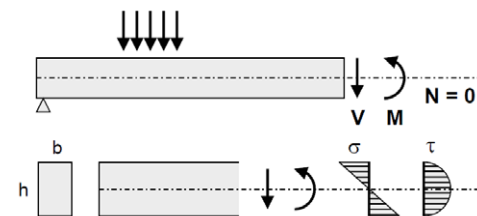


Fig.9.38 Flessione

tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente k_h .

I valori da adottare per il coefficiente k_m , che tiene conto convenzionalmente della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale, sono:

- $k_m=0,7$ per sezioni trasversali rettangolari;
- $k_m=1,0$ per altre sezioni trasversali.

Nella verifica a flessione sarà inoltre necessario andare ad effettuare la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi. Il coefficiente sopra citato k_h tiene in conto del fatto che le indagini sperimentali da cui sono stati ricavati i valori caratteristici di resistenza sono riferite a dimensioni standardizzate (sezioni rettangolari con altezza di 600mm per il legno lamellare incollato). Questo coefficiente, nel caso di legno lamellare, sarà così definito:

$$k_h = \min[(600/h) \cdot 0,1; 1,1] \quad \text{per } h < 600\text{mm}$$

$$k_h = 1,0 \quad \text{per } h \geq 600\text{mm}$$

TAGLIO (SLU)

La verifica del taglio avviene nella sezione della trave con la sollecitazione al taglio maggiore, secondo il principio seguente:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \text{o} \quad \tau_d \leq (k_{mod} \cdot f_{v,k}) / \gamma_M$$

con:

$$\tau_d = (V_d \cdot S) / (I \cdot b)$$

dove:

- τ_d : valore di calcolo della tensione di taglio nella sezione determinante;
- $f_{v,k}$: valore caratteristico della resistenza alla compressione del materiale considerato;
- $f_{v,d}$: valore di calcolo della resistenza alla compressione per il caso considerato;
- I : inerzia della sezione;
- b : larghezza della sezione considerata;
- S : momento statico della parte della sezione considerata
- V_d : valore di calcolo dello sforzo di taglio nella sezione trasversale considerata per la combinazione di carichi determinante.

nel caso di una sezione rettangolare con altezza h e larghezza b come nel caso studio si ottiene quindi:

$$\tau_d = (V_d \cdot 1,5) / (b \cdot h)$$

INSTABILITÀ DI TRAVE (SLU)

Nel caso di flessione semplice, con momento flettente agente attorno all'asse forte y della sezione (cioè nel piano ortogonale a quello di possibile svergolamento), con riferimento alla tensione dovuta al massimo momento agente nel tratto di trave compreso tra due successivi ritegni torsionali, deve essere soddisfatta la relazione:

$$\sigma_{m,d} / (k_{crit,m} \cdot f_{m,d}) \leq 1$$

dove:

- $\sigma_{m,d}$: tensione di calcolo massima per flessione;
- $k_{crit,m}$: coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di trave, per tener conto della riduzione di resistenza dovuta allo sbandamento laterale;
- $f_{m,d}$: resistenza di calcolo a flessione, determinata tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante coefficiente k_h .

Per travi aventi una deviazione laterale iniziale rispetto alla rettilinearità nei limiti di accettabilità del prodotto, si possono assumere i seguenti valori del coefficiente di tensione critica

$k_{crit,m}$:

$$k_{crit,m} = 1 \quad \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit,m} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} \quad \text{per } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit,m} = 1 / \lambda_{rel,m}^2 \quad \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

dove:

- $\lambda_{rel,m} = \sqrt{(f_{m,k} / \sigma_{m,crit})}$: snellezza relativa di trave;
- $f_{m,k}$: resistenza caratteristica a flessione;
- $\sigma_{m,crit}$: tensione critica per flessione calcolata secondo la teoria di Prandtl-Michell.

$$\sigma_{m,crit} = \pi / (I_{ef} \cdot W_y) \cdot \sqrt{(E_{0,05} \cdot J_z \cdot G_{0,05} \cdot J_{tor})}$$

dove:

- $E_{0,05}$: valore del modulo elastico parallelo alle fibre riferito al frattile 5%;
- $G_{0,05}$: valore del modulo di taglio parallelo alle fibre, riferito al frattile 5%;
- J_z : momento di inerzia della sezione attorno all'asse debole z ;
- J_{tor} : momento di inerzia torsionale;
- l_{ef} : lunghezza cosiddetta efficace della trave;

- W_y : modulo di resistenza della sezione attorno all'asse forte y ;

Nel caso particolare di asta prismatica a sezione rettangolare si ottiene:

$$\sigma_{m,crit} = (\pi \cdot b^2 \cdot E_{0,05}) / (I_{ef} \cdot h) \cdot \sqrt{(G_{mean} / E_{mean})}$$

I_{ef} dipende delle condizioni di carico e di vincolo. Per esempio, nel caso di trave con vincoli torsionali agli appoggi si ha che $I_{ef} = I$ per un momento costante, con carico distribuito $I_{ef} = 0,9I$, con carico concentrato in mezzera $I_{ef} = 0,75I$. Per semplificare il calcolo si assumerà per tutte le verifiche delle travi a favore di sicurezza $I_{ef} = I$, dove I è la distanza tra due ritegni torsionali successivi.

INSTABILITÀ DI COLONNA (SLU)

Nel caso di asta soggetta solo a sforzo normale deve essere soddisfatta la condizione:

$$\sigma_{c,o,d} / (k_{crit,c} \cdot f_{c,o,d}) \leq 1$$

dove:

- $\sigma_{c,o,d}$: tensione di compressione di calcolo per sforzo normale;
- $f_{c,o,d}$: resistenza di calcolo a compressione;
- $k_{crit,c}$: coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna valutato per il piano in cui assume il valore minimo. Il coefficiente riduttivo $k_{crit,c}$ si calcola in funzione della snellezza di colonna $\lambda_{rel,c}$ che vale:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{(f_{c,o,k} / \sigma_{c,crit})} = \lambda / \pi \cdot \sqrt{(f_{c,o,k} / E_{0,05})}$$

dove:

- $f_{c,o,k}$: resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura;
- $\sigma_{c,crit}$: tensione critica calcolata secondo la teoria classica della stabilità;
- λ : snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo.

Quando $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$ si deve porre $k_{crit,c} = 1$, altrimenti:

$$k_{crit,c} = 1 / (k + \sqrt{(k^2 - \lambda_{rel,c}^2)})$$

dove:

- $k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2)$;

- β_c : coefficiente di imperfezione che nel caso di legno lamellare vale 0,1.

Secondo la teoria di Eulero, la snellezza dell'elemento strutturale è definita dall'espressione seguente:

$$\lambda = l_0 / i = l_0 \cdot \sqrt{(A / I)}$$

dove:

- i : raggio di inerzia della sezione;
- A : area della sezione;
- I : momento di inerzia della sezione rispetto all'asse perpendicolare al piano in cui avviene lo sbandamento;
- l_0 : lunghezza di libera inflessione (o lunghezza critica di sbandamento) che varia al variare delle condizioni di vincolo come spiegato in precedenza.

FRECCIA (SLE)

Il secondo criterio di dimensionamento riguarda lo stato limite alle condizioni effettive di esercizio che consiste nel verificare che le deformazioni dell'elemento considerato non superino dei limiti prestabiliti.

Trattandosi di stati limite di esercizio, occorre tener conto dei carichi e delle sollecitazioni effettive agenti sulla struttura presa in considerazione. Il valore di calcolo delle sollecitazioni limite non è quindi aumentato per mezzo di alcun coefficiente di sicurezza. Nel caso di una trave inflessa la deformazione può essere suddivisa nelle seguenti componenti:

- la deformazione iniziale w_{ist} al momento dell'applicazione del carico;
- la deformazione totale w_{fin} corrispondente al valore massimo della deformazione effettiva tenendo conto degli effetti viscosi;
- la deformazione totale $w_{net,fin}$ rispetto alla posizione di riferimento teorica;
- la contrefreccia w_c .

L'Eurocodice 5 mette a disposizione dei valori indicativi (Tab.9.37), che possono essere utili in caso di costruzioni normali e senza esigenze speciali come nel caso studio.

VERIFICHE SLU E SLE DEL PORTALE

Nelle tabelle seguenti (Tab.9.39, Tab.9.40, Tab.9.41, Tab.9.42, Tab.9.43) sono rese visibili le verifiche effettuate su ciascun elemento trave, colonna e controvento costituenti il portale

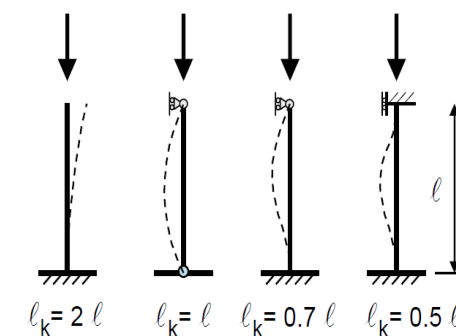


Fig.9.39 Variazione della lunghezza di libera inflessione l_0 al variare delle condizioni di vincolo

oggetto di studio.

Per ciascuno di essi, partendo da una classe di resistenza GL28h, i cui valori di resistenza sono visibili nella tabella seguente (Tab.9.38) si è proceduto ad un ingrandimento della sezione fino a soddisfare tutte le verifiche, andando a ricondursi a due dimensioni bxh verificabili per la totalità degli elementi al fine di garantire una maggiore omogeneità nei giunti di collegamento oltre che dal punto di vista estetico, in quanto il fatto che si tratti di elementi a vista presuppone per gli stessi una valenza non solo strutturale ma anche architettonica.

Ci si è ricondotti pertanto ad una sezione 300x300mm per tutti i profili lignei ad eccezione della trave T₁₀, per la quale, vista la maggiore luce di calcolo e le elevate sollecitazioni dovute principalmente al carico neve, è stato necessario utilizzare una sezione 300x400.

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Tab.9.37 Limiti superiori per gli spostamenti verticali

Parametri del materiale per GL28h		
Resistenza a flessione	[N/mm ²]	28,0
Resistenza a trazione parallela	[N/mm ²]	19,5
Resistenza a trazione perpendicolare	[N/mm ²]	0,45
Resistenza a compressione parallela	[N/mm ²]	26,5
Resistenza a compressione perpendicolare	[N/mm ²]	3,0
Resistenza a taglio	[N/mm ²]	3,2
Modulo di elasticità parallela	[N/mm ²]	12600
5% frattile del modulo di elasticità parallela	[N/mm ²]	10200
Modulo di elasticità perpendicolare	[N/mm ²]	420,0
Modulo di taglio	[N/mm ²]	780,0
Densità	[kg/m ³]	410,0

Tab.9.38 Proprietà del materiale GL28h

Identificazione elemento	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
TRAVI					
Luce	l [m]	3,05	1,11	1,6	3,05
Larghezza	b [mm]	300	300	300	300
Altezza	h [mm]	300	300	300	300
SEZIONE					
Superficie	A=b*h [mm ²]	90000	90000	90000	90000
Inerzia	I _{G,z} = b ³ *h ³ /12 [mm ⁴]	675000000	675000000	675000000	675000000
Classe di resistenza legno	GL28h	GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
CARICHI					
Carichi permanenti strutturali	G ₁ [kN/m]	3,52	3,52	3,45	3,45
Carichi permanenti non strutturali	G ₂ [kN/m]	0,69	0,69	12,08	12,08
Carichi di esercizio	Q ₁ [kN/m]	36,41	36,41	9,81	9,81
Combinazione fondamentale	1,3*G ₁ +1,5*(G ₂ +Q ₁) [kN/m]	60,226	60,226	37,32	37,32
Classe di durata : media durata	k _{mod}	0,8	0,8	0,8	0,8
Momento massimo	M _d [kNm]	29,99	40,11	31,71	11,8
Tensione massima di flessione	σ _{m,y,d} = M _d /I _{G,z} [N/mm ²]	6,66	8,91	7,05	2,62
Resistenza a flessione	f _{m,d} = k ₁ *k _{mod} *f _{m,k} /γ _M [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,56
Verifica a flessione	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} SI	SI	SI	SI	SI
Instabilità di trave	σ _{m,crd} = π ² *E _{0,05} *b ² /(h* ³)*√(G _m /E _m)*I _{ef} =I [N/mm ²]	1494,15	783,81	2153,72	1494,15
	λ _{rel,m} = √(f _{m,k} /σ _{m,crd})	0,137	0,189	0,114	0,137
	k _{crit,m}	1	1	1	1
	f _{m,d} *k _{crit,m}	16,56	16,56	16,56	16,56
Verifica a instabilità	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} *k _{crit,m} SI	SI	SI	SI	SI
SLU					
Taglio massimo	T _d [kN]	64,02	92,57	60,01	33,83
Tensione massima tangenziale	T _d = 3/2*V _d /A [N/mm ²]	1,07	1,54	1,00	0,56
Resistenza a taglio	f _{v,d} = k _{mod} *f _{v,k} /γ _M [N/mm ²]	1,77	1,77	1,77	1,77
Verifica a taglio	T _d ≤ f _{v,d} SI	SI	SI	SI	SI
Combinazione caratteristica rara	G ₁ +G ₂ +Q ₁ [kN/m]	40,62	40,62	40,62	25,34
Deformazione istantanea totale	w _{inst} [mm]	0,08	1,08	0,02	0,05
Freccia istantanea ammissibile	l/300 [mm]	5,33	10,17	3,70	5,33
Verifica a deformazione istantanea	w _{inst} ≤ l/300 SI	SI	SI	SI	SI
Combinazione di carico	k _{def} *(G ₁ +G ₂ +Ψ ₂ *Q ₁) [kN/m]	15,63	15,63	15,63	12,85
Deformazione differita totale	w _{creep} [mm]	0,04	0,50	0,01	0,02
Deformazione finale	w _{net,fin} = w _{fin} = w _{creep} + w _{inst} [mm]	0,12	1,58	0,03	0,07
Freccia finale massima ammissibile	l/250 [mm]	6,40	12,20	4,44	6,40
Verifica a deformazione finale	w _{net,fin} ≤ l/250 SI	SI	SI	SI	SI

Tab.9.39 Verifiche SLU e SLE delle travi

Identificazione elemento	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉	T ₁₀
TRAVI					
Luce	l [m]	2,29	1,6	3,05	3,42
Larghezza	b [mm]	300	300	300	300
Altezza	h [mm]	300	300	300	400
SEZIONE					
Superficie	A=b*h [mm ²]	90000	90000	90000	120000
Inerzia	I _{Gz} = b*h ³ /12 [mm ⁴]	675000000	675000000	675000000	1600000000
Classe di resistenza legno		GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
Carichi permanenti strutturali	G ₁ [kN/m]	3,45	3,45	3,45	3,45
Carichi permanenti non strutturali	G ₂ [kN/m]	12,08	14,32	14,32	1,71
Carichi di esercizio	Q ₁ [kN/m]	9,81	9,81	9,81	35,7
Combinazione fondamentale	1,3*G ₁ +1,5*(G ₂ +Q ₁) [kN/m]	37,32	40,68	40,68	60,6
Classe di durata : media durata	k _{mod}	0,8	0,8	0,8	0,8
Momento massimo	M _d [kNm]	23,41	16,51	34,6	55,26
Tensione massima di flessione	σ _{m,y,d} = M _d */I _{Gz} [N/mm ²]	5,20	3,67	7,69	12,28
Resistenza a flessione	f _{m,d} = k _h *k _{mod} *f _{m,k} /Y _M [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,09
Verifica a flessione	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} SI	SI	SI	SI	SI
Instabilità di trave	σ _{m,crit} =π ² *E _{0,05} *b ² /(h ³ *I _{ef})*(G _m /E _m)*I _{ef} =I [N/mm ²]	1043,95	1494,15	783,81	396,68
	λ _{rel,lm} =√(f _{m,k} /σ _{m,crit})	0,164	0,137	0,189	0,200
	k _{crit,m}	1	1	1	1
	f _{m,d} *k _{crit,m} [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,09
Verifica a instabilità	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} *k _{crit,m} SI	SI	SI	SI	SI
Taglio massimo	T _d [kN]	50,82	39,03	65,78	76,43
Tensione massima tangenziale	T _d = 3/2*V _d /A [N/mm ²]	0,85	0,65	1,10	1,27
Resistenza a taglio	f _{v,d} = k _{mod} *f _{v,k} /Y _M [N/mm ²]	1,77	1,77	1,77	1,77
Verifica a taglio	T _d ≤ f _{v,d} SI	SI	SI	SI	SI
Combinazione caratteristica rara	G ₁ +G ₂ +Q ₁ [kN/m]	25,34	27,58	27,58	40,86
Deformazione istantanea totale	w _{inst} [mm]	0,21	0,06	0,73	1,16
Freccia istantanea ammissibile	l/300 [mm]	7,63	5,33	10,17	15,07
Verifica a deformazione istantanea	w _{inst} ≤ l/300 SI	SI	SI	SI	SI
Combinazione di carico	k _{ref} *(G ₁ +G ₂ +ψ ₂ *Q ₁) [kN/m]	12,85	14,19	14,19	15,95
Deformazione differita totale	w _{creep} [mm]	0,10	0,03	0,34	1,02
Deformazione finale	w _{net,fin} =w _{fin} =w _{creep} +w _{inst} [mm]	0,31	0,08	1,07	3,23
Freccia finale massima ammissibile	l/250 [mm]	9,16	6,40	12,20	18,08
Verifica a deformazione finale	w _{net,fin} ≤ l/250 SI	SI	SI	SI	SI

Tab.9.40 Verifiche SLU e SLE delle travi

Identificazione elemento	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
TRAVI					
Luce	l [m]	4,8	2,8	2,92	4,8
Larghezza	b [mm]	300	300	300	300
Altezza	h [mm]	300	300	300	300
SEZIONE					
Superficie	A=b*h [mm ²]	90000	90000	90000	90000
Inerzia	I _{Gz} = b*h ³ /12 [mm ⁴]	675000000	675000000	675000000	675000000
Classe di resistenza legno		GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
Classe di durata : media durata	k _{mod}	0,8	0,8	0,8	0,8
Momento massimo	M _d [kNm]	0,00	0,78	2,16	0,00
Tensione massima di flessione	σ _{m,y,d} = M _d */I _{Gz} [N/mm ²]	0,00	0,17	0,48	0,00
Resistenza a flessione	f _{m,d} = k _h *k _{mod} *f _{m,k} /Y _M [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,56
Verifica a flessione	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} SI	SI	SI	SI	SI
Instabilità di trave	k _{crit,c}	1	1	1	1
	f _{c,o,d} *k _{crit,c} [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a instabilità	σ _{m,y,d} ≤ f _{m,d} *k _{crit,m} SI	SI	SI	SI	SI
Taglio massimo	T _d [kN]	2,68	0,67	0,36	0,53
Tensione massima tangenziale	T _d = 3/2*V _d /A [N/mm ²]	0,04	0,01	0,01	0,01
Resistenza a taglio	f _{v,d} = k _{mod} *f _{v,k} /Y _M [N/mm ²]	1,77	1,77	1,77	1,77
Verifica a taglio	T _d ≤ f _{v,d} SI	SI	SI	SI	SI
Trazione massima	N _{d,t} [kN]	0,00	0,00	0,00	0,00
Tensione di trazione	σ _{t,i,o,d} = N _{d,t} /A [N/mm ²]	0,00	0,00	0,00	0,00
Resistenza a trazione	f _{t,o,d} =k _{mod} *f _{t,o,k} /Y _M [N/mm ²]	10,76	10,76	10,76	10,76
Verifica a trazione	σ _{t,i,o,d} ≤ f _{t,o,d} SI	SI	SI	SI	SI
Compressione massima	N _{d,c} [kN]	89,03	60,97	33,74	346,81
Tensione di compressione	σ _{c,o,d} = N _{d,c} /A [N/mm ²]	0,99	0,68	0,37	3,85
Resistenza a compressione	f _{c,o,d} =k _{mod} *f _{c,o,k} /Y _M [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a compressione	σ _{c,o,d} ≤ f _{c,o,d} SI	SI	SI	SI	SI

Tab.9.41 Verifiche SLU dei pilastri

Identificazione elemento	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
TRAVI					
Luce	[m]	2,92	4,8	2,8	2,92
Larghezza	[mm]	300	300	300	300
Altezza	[mm]	300	300	300	300
SEZIONE					
Superficie	[mm ²]	90000	90000	90000	90000
Inerzia	[mm ⁴]	675000000	675000000	675000000	675000000
Classe di resistenza legno		GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
Classe di durata : media durata	k _{mod}	0,8	0,8	0,8	0,8
Momento massimo	M _d [kNm]	7,05	0	1,53	5,04
Tensione massima di flessione	$\sigma_{m,y,d} = M_d \cdot y / I_{G,z}$ [N/mm ²]	1,57	0,00	0,34	1,12
Resistenza a flessione	f _{m,d} = k _h · k _{mod} · f _{m,k} / γ _M [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,56
Verifica a flessione	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	SI	SI	SI	SI
Instabilità di trave	k _{crit,c}	1	1	1	1
	f _{c,o,d} · k _{crit,c} [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a instabilità	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \cdot k_{crit,m}$	SI	SI	SI	SI
Taglio massimo	T _d [kN]	5,62	0,08	1,19	4,60
Tensione massima tangenziale	$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / A$ [N/mm ²]	0,09	0,00	0,02	0,08
Resistenza a taglio	f _{v,d} = k _{mod} · f _{v,k} / γ _M [N/mm ²]	1,77	1,77	1,77	1,77
Verifica a taglio	$\tau_d \leq f_{v,d}$	SI	SI	SI	SI
Trazione massima	N _{dt} [kN]	0,00	0,00	0,00	0,00
Tensione di trazione	$\sigma_{t,o,d} = N_{dt} / A$ [N/mm ²]	0,00	0,00	0,00	0,00
Resistenza a trazione	f _{t,o,d} = k _{mod} · f _{t,o,k} / γ _M [N/mm ²]	10,76	10,76	10,76	10,76
Verifica a trazione	$\sigma_{t,o,d} \leq f_{t,o,d}$	SI	SI	SI	SI
Compressione massima	N _{d,c} [kN]	157,01	395,51	264,58	153,48
Tensione di compressione	$\sigma_{c,o,d} = N_{d,c} / A$ [N/mm ²]	1,74	4,39	2,94	1,71
Resistenza a compressione	f _{c,o,d} = k _{mod} · f _{c,o,k} / γ _M [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a compressione	$\sigma_{c,o,d} \leq f_{c,o,d}$	SI	SI	SI	SI

Tab.9.42 Verifiche SLU dei pilastri

Identificazione elemento	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	C ₁	C ₂
TRAVI					
Luce	[m]	3,01	3,15	3,34	3,83
Larghezza	[mm]	300	300	300	300
Altezza	[mm]	300	300	300	300
Superficie	[mm ²]	90000	90000	90000	90000
Inerzia	[mm ⁴]	675000000	675000000	675000000	675000000
Classe di resistenza legno		GL28h	GL28h	GL28h	GL28h
Classe di durata : media durata	k _{mod}	0,8	0,8	0,8	0,8
Momento massimo	M _d [kNm]	14,67	6,73	10,79	0,00
Tensione massima di flessione	$\sigma_{m,y,d} = M_d \cdot y / I_{G,z}$ [N/mm ²]	3,26	1,50	2,40	0,00
Resistenza a flessione	f _{m,d} = k _h · k _{mod} · f _{m,k} / γ _M [N/mm ²]	16,56	16,56	16,56	16,56
Verifica a flessione	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d}$	SI	SI	SI	SI
Instabilità di trave	k _{crit,c}	1	1	1	1
	f _{c,o,d} · k _{crit,c} [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a instabilità	$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,d} \cdot k_{crit,m}$	SI	SI	SI	SI
Taglio massimo	T _d [kN]	5,37	3,09	14,39	0,00
Tensione massima tangenziale	$\tau_d = 3/2 \cdot V_d / A$ [N/mm ²]	0,09	0,05	0,24	0,00
Resistenza a taglio	f _{v,d} = k _{mod} · f _{v,k} / γ _M [N/mm ²]	1,77	1,77	1,77	1,77
Verifica a taglio	$\tau_d \leq f_{v,d}$	SI	SI	SI	SI
Trazione massima	N _{dt} [kN]	0,00	0,00	52,53	0,00
Tensione di trazione	$\sigma_{t,o,d} = N_{dt} / A$ [N/mm ²]	0,00	0,00	0,58	0,00
Resistenza a trazione	f _{t,o,d} = k _{mod} · f _{t,o,k} / γ _M [N/mm ²]	10,76	10,76	10,76	10,76
Verifica a trazione	$\sigma_{t,o,d} \leq f_{t,o,d}$	SI	SI	SI	SI
Compressione massima	N _{d,c} [kN]	46,02	10,18	0,00	173,05
Tensione di compressione	$\sigma_{c,o,d} = N_{d,c} / A$ [N/mm ²]	0,51	0,11	0,00	1,92
Resistenza a compressione	f _{c,o,d} = k _{mod} · f _{c,o,k} / γ _M [N/mm ²]	14,62	14,62	14,62	14,62
Verifica a compressione	$\sigma_{c,o,d} \leq f_{c,o,d}$	SI	SI	SI	SI

Tab.9.43 Verifiche SLU dei pilastri e dei controventi

9.5.4 VERIFICHE REI

Le verifiche seguenti sono inerenti il calcolo di una struttura lignea inserita all'interno di un compartimento avente CLASSE uguale a 60 minuti, come richiesto dalla normativa vigente per la destinazione d'uso oggetto di studio, per cui la struttura lignea dovrà essere in grado di resistere ai carichi per il suddetto tempo di esposizione al fuoco, mantenendo, pur con una sezione efficace ridotta, la capacità portante. I valori caratteristici delle proprietà meccaniche considerati sono riassunti nella tabella Tab.9.38.

Il calcolo della resistenza al fuoco è stato effettuato seguendo la seguente procedura:

- è stata determinata la situazione progettuale della struttura (carichi agenti);
- è stata determinata la velocità di carbonizzazione (la velocità con cui si espande lo strato carbonizzato e quindi non più efficace dal punto di vista della capacità portante);
- è stata determinata la sezione efficace ridotta;
- è stata verificata la capacità portante secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite nella sezione ridotta più sollecitata.

Per il calcolo strutturale si è fatto riferimento alla UNI EN 1995-1-1, prendendo in considerazione tutte le situazioni di progetto ed i casi di carico significativi. Più esattamente si sono considerate azioni permanenti, variabili ed eccezionali in situazioni di progetto persistenti, transitorie ed eccezionali, ognuna con i relativi coefficienti come da capitolo 2.3.2 della UNI EN 1995-1-2. Non è stato tenuto conto delle azioni sismiche e di quelle di natura dinamica, ragionevolmente non presenti durante l'incendio.

Partendo dalla imposizione delle velocità di carbonizzazione e tenendo conto della ipotetica direzione di provenienza delle fiamme si è proceduto a determinare la sezione ridotta efficace. In questa fase si è fatto riferimento alle velocità di carbonizzazione suggerite dalla UNI EN 1995-1-2 a seconda del metodo di calcolo utilizzato. In questo caso si è scelto di utilizzare il metodo della "Sezione Trasversale Efficace", suggerito dalla UNI EN 1995-1-2 al capitolo 4, che suggerisce le velocità indicate al punto 3.4 della norma stessa.

Dopodiché si è proceduto al calcolo della profondità di carbonizzazione come dettato dalla UNI EN 1995-1-2 al capitolo 4 per il metodo suddetto:

$$d_{ef} = d_{char,n} + K_0 \cdot d_0$$

dove:

- $d_0 = 7$ mm;
- $k_0 = 1,0$ nel caso di esposizione all'incendio superiore a 20 minuti;
- $d_{char,n} = \beta_n \cdot t$.

	k_0
$t < 20$ min	$t/20$
$t \geq 20$ min	1,0

Tab.9.44 Determinazione di k_0 per superfici non protette con t in minuti

Tipologia Legno	β (mm/min)
Conifere e Faggio: legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/mm ³	0,70
Conifere e Faggio: legno massiccio con massa volumica caratteristica ≥ 290 kg/mm ³	0,80
Latifoglie, legno massiccio o lamellare incollato di latifoglie con massa volumica caratteristica pari a 290 kg/mm ³	0,70
Latifoglie, legno massiccio o lamellare incollato con massa volumica caratteristica ≥ 450 kg/mm ³	0,55

Tab.9.45 Valori del coefficiente β_n

Si riportano di seguito (Tab.9.46, Tab.9.47, Tab.9.48, Tab.9.49) i valori di carbonizzazione e di lunghezza residua relativi agli elementi per i quali è stata effettuata la verifica REI, trattasi di un elemento per tipo (trave tesa, trave compressa, pilastro, controvento) nel caso di maggior sollecitazione (per i valori di sollecitazione e le luci relative vedere Tab.9.39, Tab.9.40, Tab.9.41, Tab.9.42, Tab.9.43), che nello specifico sono le travi T_9 e T_{10} , il pilastro P_7 ed il controvento C_1 :

Lati	Lunghezza [cm]	Esposizione	β [mm/min]	Lunghezza residua [cm]
Lato Destro	40,0	SI	0,55	36,0
Lato Sinistro	40,0	SI	0,55	36,0
Estradosso	30,0	NO	0,55	24,4
Intradosso	30,0	SI	0,55	24,4

Tab.9.46 Trave T_{10}

Lati	Lunghezza [cm]	Esposizione	β [mm/min]	Lunghezza residua [cm]
Lato Destro	30,0	SI	0,55	26,0
Lato Sinistro	30,0	SI	0,55	26,0
Estradosso	30,0	SI	0,55	24,4
Intradosso	30,0	SI	0,55	24,4

Tab.9.47 Trave T_9

Lati	Lunghezza [cm]	Esposizione	β [mm/min]	Lunghezza residua [cm]
Lato Destro	30,0	SI	0,55	24,4
Lato Sinistro	30,0	SI	0,55	24,4
Estradosso	30,0	SI	0,55	24,4
Intradosso	30,0	SI	0,55	24,4

Tab.9.48 Pilastro P_7

Lati	Lunghezza [cm]	Esposizione	β [mm/min]	Lunghezza residua [cm]
Lato Destro	30,0	SI	0,55	24,4
Lato Sinistro	30,0	SI	0,55	24,4
Estradosso	30,0	SI	0,55	24,4
Intradosso	30,0	SI	0,55	24,4

Tab.9.49 Controvento C_1

Si è proceduto pertanto ad eseguire le verifiche a taglio, trazione parallela, tenso-flessione e flessione della sezione lignea ridotta (già descritte nel paragrafo precedente), arrivando alla conclusione che per le sezioni ridotte degli elementi strutturali in esame, la verifica di cui alla UNI EN 1995-1-2 agli stati limite ultimi è soddisfatta, in quanto le sezioni ridotte a causa dell'incendio ipotizzato sono sufficienti per resistere a tutti gli stati tensionali indotti dai carichi.

9.5.5 GIUNTI DI CONNESSIONE

Nelle strutture in legno i collegamenti rivestono un ruolo determinante per garantire un buon comportamento strutturale, una buona resistenza sismica ed al fuoco. Con riferimento al documento CNR-DT 206/2006 "Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il controllo delle strutture in legno", i collegamenti si distinguono nei due seguenti tipi:

- collegamenti di carpenteria lignea: realizzati per lavorazione delle superfici di contatto (carpentry joint), in cui le sollecitazioni vengono trasmesse direttamente tramite sforzi di compressione;
- collegamenti meccanici: nei quali la trasmissione degli sforzi avviene prevalentemente attraverso appositi elementi metallici ed, eventualmente, con la presenza di adesivi (mechanical joint).

I collegamenti di carpenteria sono quelli tipici delle tradizionali costruzioni storiche (Fig.9.41), realizzati per lavorazione delle superfici di contatto. Di regola sono in grado di trasmettere solamente sforzi di compressione per contatto, e quindi in grado di esplicare unicamente la funzione di vincoli monolateri, a meno che non vengano considerati con altre tipologie di unioni.

I collegamenti meccanici (Fig.9.43) sono caratterizzati dalla



Fig.9.40 Collegamenti di carpenteria lignea tipici delle tradizionali costruzioni storiche

trasmissione delle sollecitazioni attraverso opportuni mezzi di unione, generalmente metallici, o mediante adesivi. Le unioni meccaniche, in funzione della tipologia del mezzo di unione adottato, possono essere suddivise in:

- unioni con mezzi di unione metallici a gambo cilindrico (bullone, chiodo, spinotto o elemento simile, con superfici lisce o zigrinate) (Fig.9.44);
- unioni con connettori metallici di superficie (caviglie, anelli, piastre dentate).

I metodi di calcolo per la valutazione della resistenza e della deformazione dei singoli mezzi di unione, per quanto indicato nel § 4.4.9 della Circolare n. 617/2009, devono essere convalidati sulla base di prove sperimentali eseguite nel rispetto di normative di comprovata validità; di conseguenza i collegamenti metallici a gambo cilindrico possono essere calcolati mediante la teoria di Johansen contenuta nel documento CNR-DT 206/2006. La valutazione della capacità portante di collegamenti con mezzi di unione multipli, tutti dello stesso tipo e dimensione, terrà conto della ridotta efficienza dovuta alla presenza di più mezzi di unione. La capacità portante di collegamenti con piani di taglio multipli va valutata con riferimento a una opportuna combinazione di quella per unioni con due piani di taglio. La resistenza a trazione della piastra metallica va verificata.

CONNESSIONI TRA GLI ELEMENTI DEL PORTALE

I giunti tra i diversi elementi che vanno a comporre il portale sono stati considerati come vincoli ad incastro (ad eccezione dei controventi aggiunti in un secondo momento ipotizzando per entrambi vincoli a cerniera) nel calcolo per il dimensionamento per motivi sia statici, vista la necessità di imporre dei vincoli a terra a cerniera per facilitare l'analisi dei carichi necessaria al dimensionamento della piastra tridimensionale in acciaio sottostante, che ergonomici, in quanto è previsto un preassemblamento a valle del portale in gruppi di elementi lignei non eccedenti i 950 kg di portata massima del trasporto in elicottero.

Il trasporto di tali porzioni di portale comporta infatti sollecitazioni non indifferenti sull'elemento durante lo spostamento dello stesso da valle a monte, vista la situazione di movimentazione inusuale, che potrebbero portare eventuali vincoli a cerniera a lavorare per sollecitazioni non idonee al loro schema statico, con un rischio di plasticizzazione locale e quindi una perdita delle caratteristiche di resistenza meccanica del giunto. Pertanto la scelta di optare per vincoli in grado di rispondere in maniera ottimale a tutti i tipi di sollecitazione, come lo sono

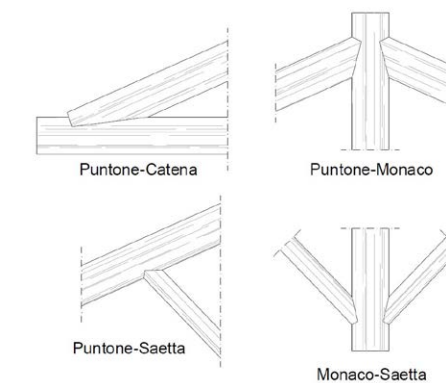


Fig.9.41 Schemi di collegamento di carpenteria lignea

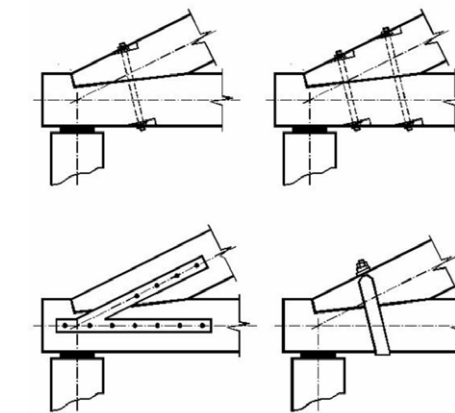


Fig.9.42 Schemi di collegamento di carpenteria lignea e acciaio (soluzioni ormai superate)



Fig.9.43 Collegamento meccanico con l'ausilio di piastre in acciaio



Fig.9.44 Mezzi di unione metallici a gambo cilindrico

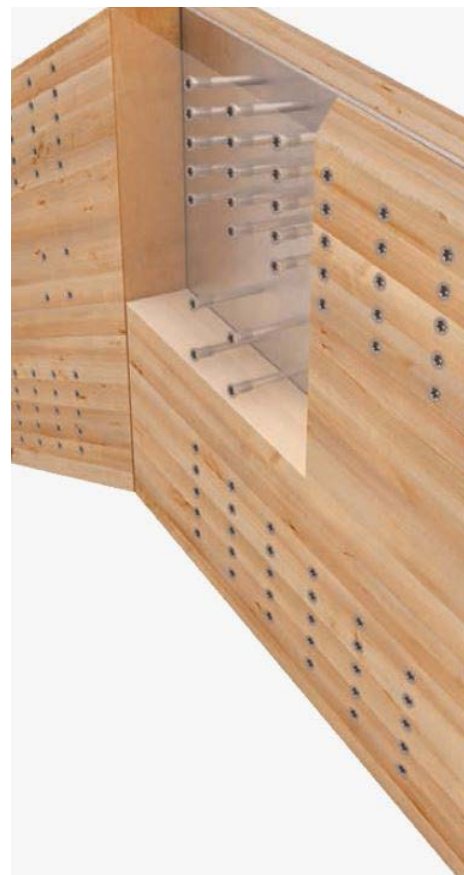


Fig.9.45 Giunto di connessione con spinotti resistente a momento

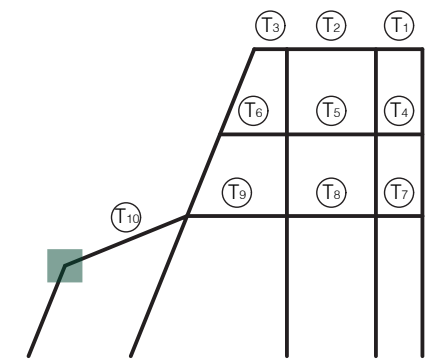


Fig.9.46 Elementi trave vincolati a momento (in verde il nodo considerato nella verifica)

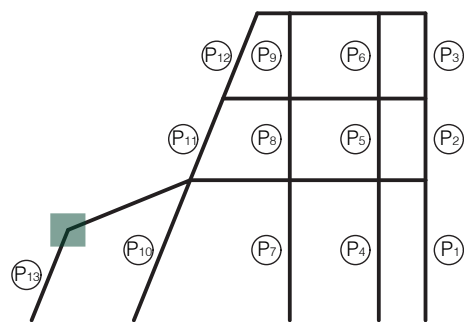


Fig.9.47 Elementi pilastro vincolati a momento (in verde il nodo considerato nella verifica)

i vincoli ad incastro, è giustificata per tutti quegli elementi che verranno preassemblati a valle. I restanti elementi (travi di collegamento tra i portali, travi di collegamento portali-X-lam portante e controventi) saranno invece messi in opera sul sito di progetto utilizzando giunti di connessione di più facile approccio rispetto a quelli dei portali, schematizzabili con giunti a cerniera, avendo cura di verificare che al termine dell'assemblaggio stesso lo schema statico complessivo della struttura non risulti labile.

9.5.6 VERIFICA DI UN GIUNTO A MOMENTO

Si è proceduto pertanto al dimensionamento ed alla verifica di un nodo resistente a momento (Fig.9.46, Fig.9.47), avvalendosi del supporto del software di calcolo "Rothoblaas myProject", andando ad eseguire la verifica della capacità portante di unioni acciaio-legno secondo CNR DT-206-2007, la verifica plastica della piastra in acciaio e la verifica a rifollamento della piastra in acciaio.

Il valore caratteristico della capacità portante delle unioni acciaio-legno dipende anche dallo spessore delle piastre in acciaio. Queste possono essere classificate come spesse e sottili in relazione alla dimensione del gioco tra il foro nella piastra di acciaio ed il gambo del mezzo di unione.

Nel caso di studio, si considererà come mezzo di unione uno spinotto del tipo Rothoblaas WS 7x233, avente pertanto un diametro pari a 7mm. Tali spinotti hanno la caratteristica di essere progettati per un utilizzo nelle giunzioni ad incastro, in quanto il diametro ridotto del connettore e la posa in opera rapida senza preforo lo rendono un sistema eccellente per la realizzazione di giunti di questo tipo, e di giunzioni rigide, in quanto i connettori permettono di realizzare giunti rigidi in grado di trasferire le sollecitazioni di momento flettente (giunti a momento) con un diametro ridotto che garantisce un'elevata duttilità, ideale per una progettazione antisismica.

Essendo pertanto il sistema di giunzione molto rigido, è prevista l'assenza di gioco tra foro e spinotto, di conseguenza la piastra ricade nella casistica di piastra con spessore $t < 0,1d$ (gioco tra foro e diametro del mezzo di unione), e piastra con spessore $0,5d < t < d$. In questo caso la piastra non è classificabile né come piastra spessa né come piastra sottile, pertanto la capacità portante dovrà essere ottenuta interpolando linearmente i valori corrispondenti ai due casi. Trattandosi nel nostro caso di unione a doppio piano di taglio, i due casi si sovrappongono, pertanto sarà sufficiente effettuare un solo calcolo senza alcuna necessità di interpolazione.

Nei collegamenti con mezzi di unione con più di due piani di taglio (Fig.9.48), come nel caso di studio (dove si prevedono 2 piastre in acciaio), la capacità portante della connessione è data dalla somma della resistenza di ciascun piano di taglio. La resistenza di ciascun piano di taglio va valutata, però, come per le unioni con due piani di taglio, considerando le triplette (legno-acciaio-legno) alle quali quel piano di taglio appartiene.

Il valore caratteristico della capacità portante, per ciascun mezzo di unione e piano di taglio, sarà assunto come il minore dei valori ottenibili dalle formule seguenti:

$$F_{v,Rk} = \min \{ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d; f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \sqrt{[2 + (4 \cdot M_{y,k}) / (f_{h,k} \cdot t_1) - 1]} + F_{ax,Rk} / 4; 2,3 \cdot \sqrt{(M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d) + F_{ax,Rk}} \}$$

dove:

- t_1 : spessore dell'elemento legno;
- $f_{h,1,k}$: resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento caratterizzato dallo spessore t_1 ;
- d : diametro del mezzo di unione;
- $F_{ax,Rk}$: resistenza caratteristica all'estrazione del mezzo di unione;
- $M_{y,k}$: momento di snervamento caratteristico del mezzo di unione, che per spinotti con diametro inferiore a 30mm si calcola con la seguente espressione (§ 7.8.5.1.1. del documento CNR-DT 206/2007):

$$M_{y,Rk} = (\zeta_b \cdot f_{u,k} \cdot d) / 6$$

con

- $f_{u,k}$: resistenza ultima caratteristica a trazione dell'acciaio;
- d : diametro del bullone (in mm);
- ζ_b : fattore riduttivo minore di 1 del momento plastico, che tiene in considerazione l'effettivo comportamento allo stato limite ultimo del bullone calcolato con la seguente espressione:

$$\zeta_b = 1,8 \cdot d^{0,4}$$

VERIFICA PLASTICA A TRAZIONE DELLA PIASTRA

L'azione assiale di calcolo N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione

$$N_{Ed} / N_{t,Rd} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a trazione $N_{t,Rd}$ di membrature con sezioni indebolite da fori per collegamenti bullonati o chiodati

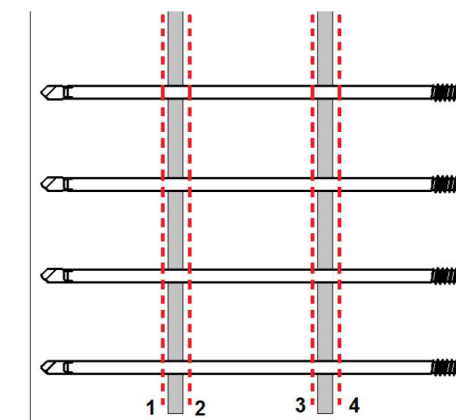


Fig.9.48 Collegamento con mezzo di unione a 4 piani di taglio

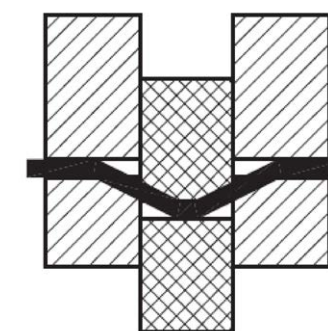


Fig.9.49 Meccanismo di rottura a taglio nel caso di mezzo di unione a 2 piani di taglio

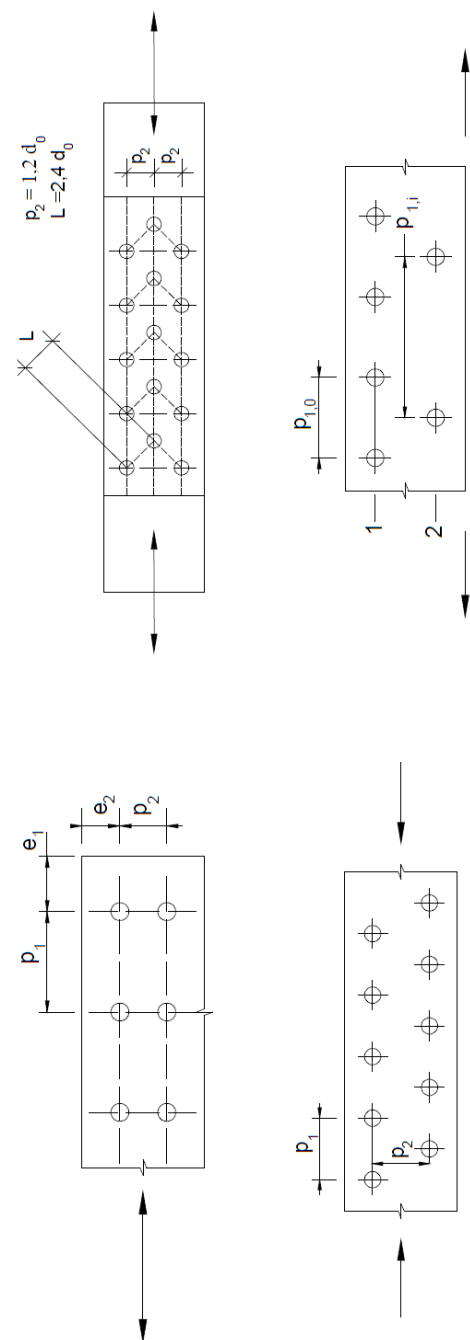


Fig.9.50 Disposizione dei fori per la realizzazione di unioni chiodate e bullonate

deve essere assunta pari a:

$$N_{t,Rd} = (0,9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}) / \gamma_{M2}$$

VERIFICA PLASTICA A FLESSIONE DELLA PIASTRA

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ si valuta tenendo conto della presenza di eventuali fori in zona tesa per collegamenti bullonati o chiodati. La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione $M_{c,Rd}$ vale:

$$M_{c,Rd} = (W_{pl} \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

Negli elementi inflessi caratterizzati da giunti strutturali bullonati, la presenza dei fori può essere trascurata nel calcolo del momento resistente se è verificata la relazione

$$(0,9 \cdot A_{f,net} \cdot f_{tk}) / \gamma_{M2} \geq (A_f \cdot f_{yk}) / \gamma_{M0}$$

dove:

- A_f : area della piastra lorda;
- $A_{f,net}$: area della piastra al netto dei fori;
- f_{tk} : resistenza ultima dell'acciaio.

VERIFICA PLASTICA A TAGLIO DELLA PIASTRA

Il valore di calcolo dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ vale:

$$V_{c,Rd} = A_{f,net} \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})$$

dove $A_{f,net}$ è l'area della piastra al netto dei fori.

VERIFICA A RIFOLLAMENTO DELLA PIASTRA

La resistenza di calcolo a rifollamento $F_{b,Rd}$ del piatto dell'unione può essere assunta pari a:

$$F_{b,Rd} = (k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2}$$

dove:

- d : diametro nominale del gambo dello spinotto;
- t : spessore della piastra collegata;
- f_{tk} : resistenza a rottura del materiale della piastra collegata
- α : $\min\{e_1 / (3 \cdot d_0); f_{tb} / f_{tk}; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato, $\min\{p_1 / (3 \cdot d_0) - 0,25; f_{tb} / f_{tk}; 1\}$ per bulloni interni nella direzione del carico applicato;
- k : $\min\{2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato, $\min\{1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7; 2,5\}$ per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato;

con e_1 , e_2 , p_1 e p_2 indicati nella figura Fig.9.50 e d_0 diametro nominale del foro di alloggiamento dello spinotto.

Nella figura Fig.9.52 viene mostrato un modello 3D indicativo dell'ipotesi di progetto della connessione, costituita da due piastre di acciaio vincolate alle travi in legno lamellare a mezzo di 72 spinotti.

Nella tabella Tab.9.50 alla pagina successiva, è possibile visionare in dettaglio i dati relativi alle geometrie di progetto ed alle sollecitazioni di verifica, oltre che i risultati delle verifiche con esito positivo. I dati geometrici e le sollecitazioni contenuti in Tab.9.50 sono riferiti ai parametri della Fig.9.51.

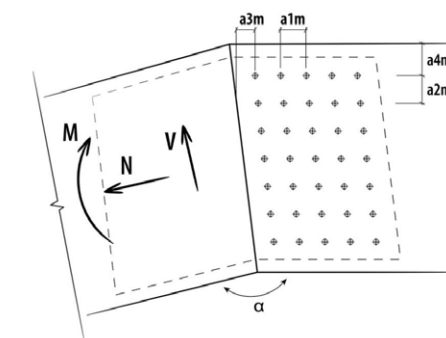
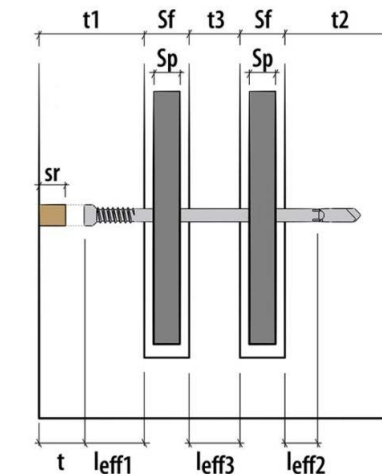


Fig.9.51 Parametri geometrici di riferimento delle piastra in acciaio

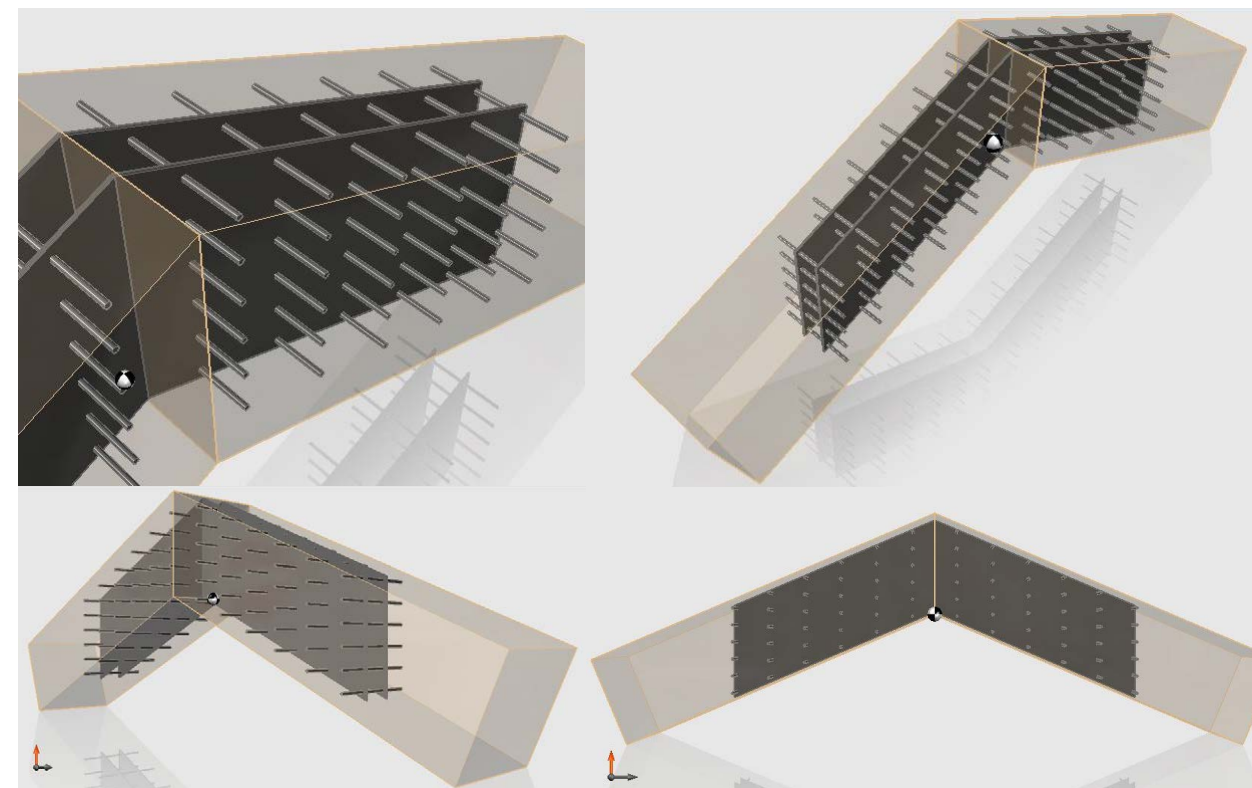


Fig.9.52 Modellazione 3D del giunto di connessione a momento

DATI	Classe di servizio	cl	1
	Durata carico dominante	t_q	permanente
	Coefficiente k_{mod}	k_{mod}	0,6
	Coefficiente sicurezza connessioni	Y_M	1,5
	Azione assiale di progetto	N_d	57,06 [kN]
	Azione di taglio di progetto	V_d	16,53 [kN]
	Momento flettente di progetto	M_d	-54,59 [kNm]
	Tipo di legno		GL28h
	Base trave 1	B_1	300 [mm]
	Altezza trave 1	H_1	300 [mm]
PIASTRE	Base trave 2	B_2	400 [mm]
	Altezza trave 2	H_2	300 [mm]
	Numero piastre	n_p	2
	Spessore piastre	s_p	5 [mm]
SPINOTTO	Resistenza snervamento acciaio	f_{yk}	235 [N/mm ²]
	Spessore fresata	s_f	6 [mm]
	Spessore legno di rivestimento	s_r	0 [mm]
	Diametro spinotto	d_s	7 [mm]
	Lunghezza spinotto	l_s	233 [mm]
DISTRIBUZIONE	Lunghezza efficace	l_{eff}	221 [mm]
	Momento di snervamento	M_{yk}	31930 [Nmm]
	Profondità incasso testa	t	33,5 [mm]
	N° spinotti paralleli alle fibre		6
	Interasse spinotti paralleli alle fibre		130 [mm]
	N° spinotti perpendicolari alle fibre		6
	Interasse spinotti perpendicolari alle fibre		52 [mm]
	Distanza dall'estremità		80 [mm]
	Distanza dal bordo		20 [mm]
	VERIFICA SPINOTTO	Azione normale sullo spinotto	F_n
Azione di taglio sullo spinotto		F_t	0,46 [kN]
Azione da momento sullo spinotto		F_m	10,42 [kN]
Azione totale sullo spinotto		F_{tot}	11,51 [kN]
Resistenza caratteristica spinotto		R_{vk}	19,51 [kN]
Resistenza di progetto spinotto		R_{vd}	11,63 [kN]
	Grado di sfruttamento spinotto	0,98	VERIFICATO
VERIFICA PIASTRA	Altezza totale	H_{tot}	313 [mm]
	Lunghezza totale	L_{tot}	1488 [mm]
	Resistenza plastica assiale piastra	$N_{p,d}$	700,3 [kN]
	Resistenza ultima assiale piastra	$N_{u,d}$	702,17 [kN]
	Resistenza plastica taglio piastra interfaccia	$V_{c,d}$	404,32 [kN]
	Momento resistente plastico piastra interfaccia	$M_{c,d}$	54,77 [kNm]
	Verifica plastica piastra	0,99	VERIFICATO
Verifica rifollamento piastra	0,34	VERIFICATO	

Tab.9.50 Dati di calcolo e risultati relativi alla verifica del giunto di connessione acciaio legno

9.5.7 NODI A TERRA E CONNESSIONI A CERNIERA

Le unioni di collegamento fra le singole travi ed i portali preassemblati (ad eccezione della trave di collegamento di copertura, per la quale sarà necessario un vincolo rigido per garantire la non labilità dello schema statico) (Fig.9.53) sono state schematizzate come cerniere per facilità di posa in opera. Tali connessioni non sono state studiate in dettaglio, ma si forniranno solamente una serie di soluzioni (Fig.9.55) coerenti con l'ipotesi statica:

- connessione con piastre metalliche esterne "a forcina", ancorate alla trave ed al pilastro per mezzo di viti o bulloni;
- connessione mediante sagomatura del pilastro "a forcina", con il fissaggio della trave al pilastro mediante viti o bulloni;
- connessione realizzata mediante piastre e/o squadrette metalliche.

Nello specifico si è pensato di ipotizzare le giunzioni tra portali e singole travi con staffe a scomparsa (Fig.9.57) fissate al portale con chiodi da vincolare alle travi singole (le quali dovranno arrivare sul sito di progetto già fresate) tramite bulloni con dado.

Per quanto riguarda invece i nodi a terra, schematizzati come cerniere a terra, collegamenti di questo tipo sono in genere realizzati con piastre metalliche esterne connesse alla base del pilastro ligneo a mezzo di viti, chiodi, perni o bulloni (Fig.9.54). Solo nei casi in cui si richieda un'elevata resistenza al fuoco, o vi siano necessita estetiche, è possibile usare piastre a scomparsa alloggiare in apposite fresature nel legno. Affinché questo vincolo possa essere schematizzato come una cerniera è necessario permettere la rotazione delle piastre, che dovranno pertanto essere posizionate il più vicino all'asse del pilastro, in maniera tale da ridurre al minimo il braccio della coppia di forze agenti.

Nello specifico si è pensato di optare per una soluzione di giunto portapilastrò a scomparsa per motivi estetici (Fig.9.56)

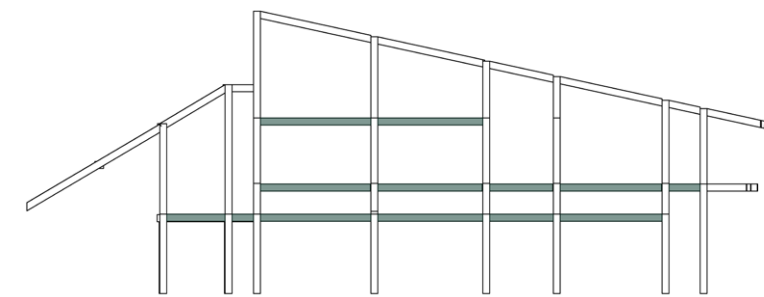


Fig.9.53 Sezione verticale strutturale del reticolo ligneo in legno lamellare (in verde sono indicate le travi singole vincolate con connessioni a cerniera)

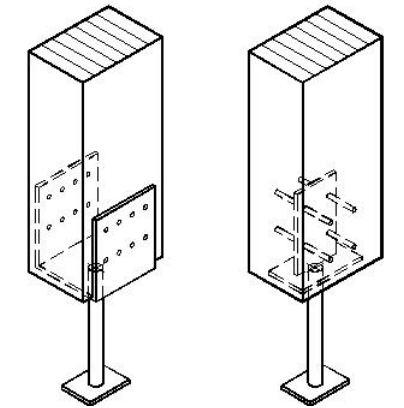


Fig.9.54 Esempi di collegamento a terra di pilastri in legno

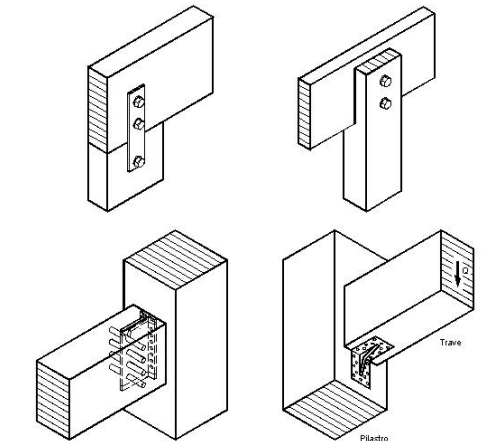


Fig.9.55 Esempi di collegamento trave-pilastro con vincolo a cerniera



Fig.9.56 Esempio di giunto portapilastrò a scomparsa con fresatura



Fig.9.57 Staffa a scomparsa tipo ALUMIDI fissata con chiodi e bulloni con dado

9.6 STRUTTURA IN ACCIAIO

9.6.1 PREMESSA

La struttura lignea entro cui si sviluppano gli spazi interni del rifugio oggetto di studio si interfaccia col suolo attraverso un reticolo tridimensionale metallico avente il compito di comportarsi da piastra orizzontale di appoggio e sostegno dei carichi sovrastanti. La scelta di optare per una soluzione di questo tipo è stata obbligata dalla natura del sito di progetto che, presentandosi come un terreno dal profilo irregolare dal punto di vista altimetrico in tutte le direzioni, necessitava di una soluzione caratterizzata da un'elevata flessibilità costruttiva e progettuale in maniera tale da poter raccordare i plinti di fondazione prefabbricati con un orizzontamento che fornisse la base per lo sviluppo del restante edificio. La progettazione di un reticolo di questo tipo ha rappresentato uno degli elementi di maggior criticità dell'intero progetto, in quanto lo stesso, dovendo collegare punti del suolo a quote altimetriche differenti con una maglia strutturale della struttura lignea irregolare, si discosta da qualsiasi caso tipo di riferimento.

Si è deciso pertanto di utilizzare come supporto nella fase di predimensionamento e di verifica il software di calcolo "SAP2000-CSI Italia", un programma di calcolo agli elementi finiti pensato fondamentalmente per l'ingegneria civile, con caratteristiche molto versatili, capace di analizzare strutture con caratteristiche molto diverse tra loro. La potenzialità di tale software sta nel fatto che le funzioni di modellazione, di analisi e di verifica sono integrate tra loro in un singolo ambiente grafico ad oggetti, includendo processori di verifica di resistenza, instabilità, controllo degli spostamenti, gerarchia e prescrizioni di dettaglio.

L'utilizzo di un programma caratterizzato da un approccio di questo tipo permette di andare ad effettuare un'analisi agli elementi finiti che verifichi la sostenibilità costruttiva di una qualsiasi ipotesi di reticolo strutturale, verificando agli SLU ogni singolo elemento trave, pilastro e puntone con un approccio flessibile e dinamico grazie alle tabelle automatiche fornite in tempo reale.

Si è proceduto in un secondo momento alla verifica degli SLE (spostamenti verticali) di ogni elemento secondo il procedimento stabilito dalla normativa italiana NTC2008. Le verifiche agli SLE non sono infatti eseguite in automatico dal software SAP2000 in quanto si tratta di un programma di calcolo pensato per l'ingegneria civile.

9.6.2 IPOTESI STATICHE

Innanzitutto, come per il dimensionamento del portale ligneo maggiormente sollecitato, si è proceduto ad una prima ipotesi sulla geometria del reticolo di travi e pilastri, oltre che sulle tipologie di connessioni fra gli stessi. Il risultato di questo procedimento ha generato una prima ipotesi statica (Fig.9.58) ottenuta dal raccordo fra la maglia strutturale lignea ed il terreno, con l'obiettivo di garantire una continuità nella trasmissione delle sollecitazioni superiori al terreno.

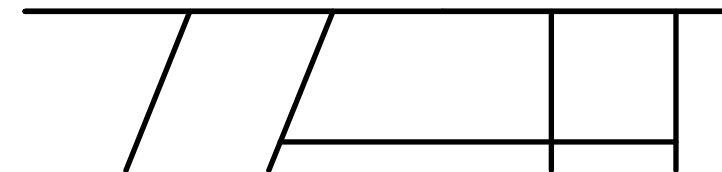


Fig.9.58 Prima ipotesi statica senza ipotesi di vincolo

In secondo luogo si è proceduto ad ipotizzare le tipologie di vincoli.

In un sistema intelaiato in acciaio, i collegamenti tra i vari elementi strutturali possono essere realizzati tramite vincoli con funzionamento a cerniera. Per stabilizzare lo scheletro portante nei confronti delle azioni orizzontali (vento e sisma) si ricorre poi all'utilizzo di controventi. Questi, inseriti sia nei piani verticali che orizzontali, sono elementi strutturali diagonali che stabilizzano il sistema portante. In alternativa, se non si desidera o non si può fare ricorso a elementi obliqui, si progettano dei nodi rigidi tra gli elementi strutturali. In questo modo è possibile trasmettere sforzi normali, taglio e momento tra elementi strutturali adiacenti, rispettando il criterio di "iperstaticità e ridondanza" che asserisce come la sicurezza globale in caso di crisi di una parte del sistema strutturale debba essere assicurata dalla presenza di percorsi di carico alternativi che permettano la creazione di diversi meccanismi resistenti e dalla presenza di vincoli e connessioni sovrabbondanti rispetto alla quantità strettamente necessaria.

Nella scelta dello schema statico si è optato per una soluzione di vincoli ad incastro, sia per quanto riguarda l'attacco a terra, che per quanto riguarda in nodi interni (Fig.9.59).

La scelta di non optare per uno schema statico con nodi interni vincolati a mezzo di cerniere è dovuta all'irregolarità della maglia strutturale e del profilo del terreno del sito di progetto, che avrebbe reso svantaggioso il collocamento di controventature. Il risultato finale è una struttura fortemente iperstatica, in grado di resistere ottimamente sia alle azioni verticali che a quelle orizzontali.

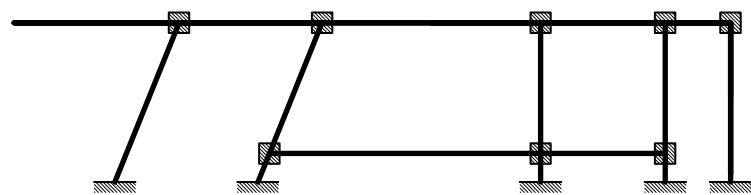


Fig.9.59 Prima ipotesi statica con ipotesi di vincolo

9.6.3 ANALISI DEI CARICHI

Nella determinazione dei carichi agenti sulla struttura si è fatto riferimento ai pesi propri ed alle azioni variabili precedentemente definite nel capitolo 9.3 “Azioni sulle costruzioni” distribuiti sulle relative aree di influenza di ciascuna trave/pilastro e riportati sulle travi/pilastri stessi come carichi uniformemente distribuiti. Data l'ipotesi di vincolo a cerniera tra la struttura lineare e la struttura tridimensionale in acciaio, nell'analisi dei carichi non sono presenti valori di momento flettente. Un accurato studio delle singole aree di influenza di ciascun elemento in acciaio, sia esso trave o pilastro, ha permesso di arrivare ad ottenere una situazione di carico che approssima la realtà.

Le figure Fig.9.60 e Fig.9.61 mostrano come sono stati discretizzati gli elementi del reticolo metallico.

La tabella Tab.9.51 mostra a titolo esemplificativo il valore dei carichi relativi alle prime 10 travi ed ai primi 10 pilastri (per il valore dei carichi relativi ai restanti elementi si faccia riferimento agli allegati).

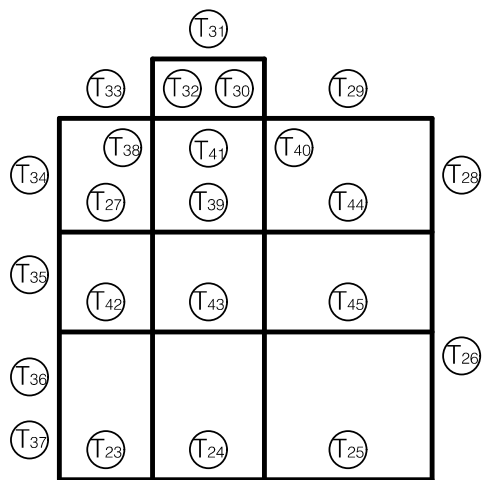


Fig.9.61 Discretizzazione delle travi del "piano interrato" del reticolo in acciaio

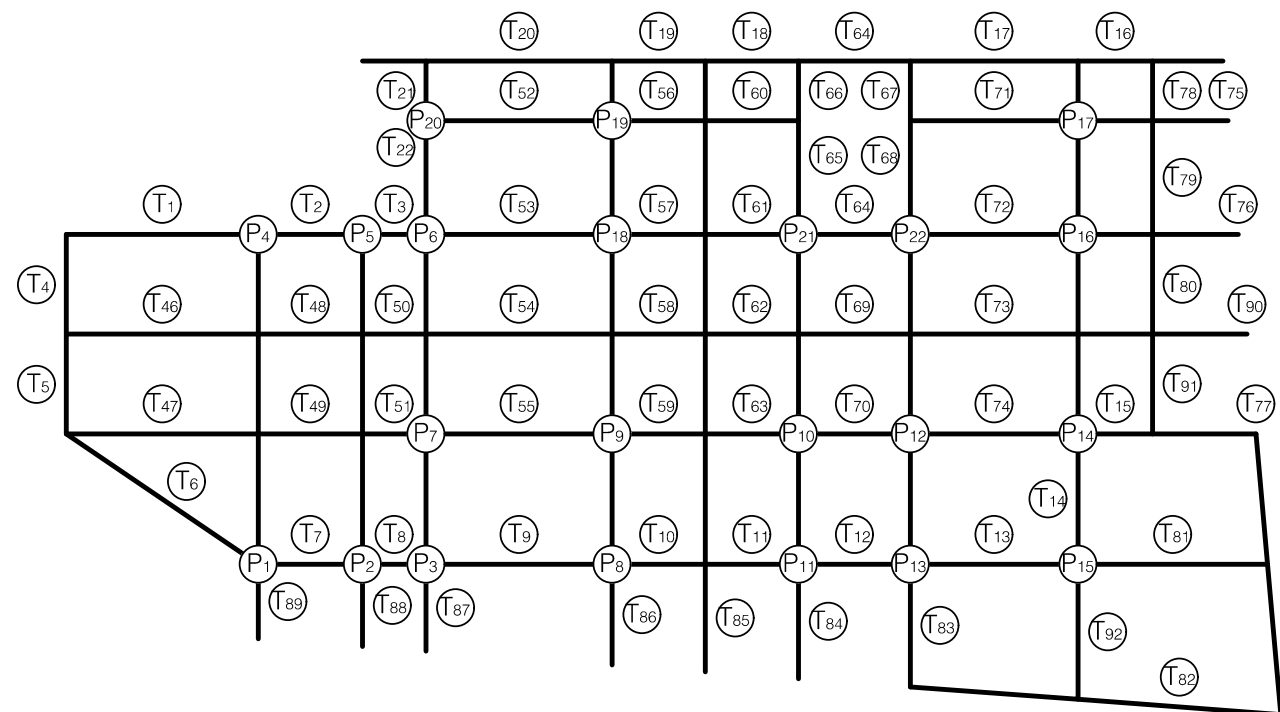


Fig.9.60 Discretizzazione delle travi e dei pilastri del "piano terra" del reticolo in acciaio

Identificazione elemento	Luce l [m]	Carichi permanenti strutturali G ₁ [kg/m]	Carichi permanenti non strutturali G ₂ [kg/m]	Carichi neve Q ₁ [kg/m]	Carichi di esercizio Q ₂ [kg/m]	Carichi di esercizio Q ₃ [kg/m]
T ₁	5,15	373,12	625,31	0,00	397,28	0,00
T ₂	2,80	497,20	725,81	0,00	397,50	0,00
T ₃	1,70	561,54	777,48	0,00	397,06	0,00
T ₄	2,65	412,90	267,86	2178,51	0,00	0,00
T ₅	2,65	412,90	267,86	2178,51	0,00	0,00
T ₆	6,25	346,59	425,53	1025,02	216,48	0,00
T ₇	2,80	989,12	1227,41	0,00	525,00	0,00
T ₈	1,70	472,20	810,18	0,00	525,88	0,00
T ₉	5,00	308,00	676,71	0,00	525,00	0,00
T ₁₀	2,50	308,14	677,31	0,00	525,60	0,00
P ₁	//	3189,12	6190,97	17108,00	0,00	4360,00
P ₂	//	1272,83	3122,27	4586,40	0,00	2356,00
P ₃	//	934,56	641,17	3778,32	0,00	0,00
P ₄	//	3083,52	6032,90	16380,00	0,00	4260,00
P ₅	//	1286,91	3129,25	4732,00	0,00	2356,00
P ₆	//	1513,60	4488,33	3822,00	0,00	3250,00
P ₇	//	2433,02	2846,51	4870,32	0,00	900,00
P ₈	//	742,72	367,88	7680,40	0,00	0,00
P ₉	//	3692,30	4475,83	12907,44	0,00	1728,00
P ₁₀	//	2376,00	3903,90	5969,60	0,00	1840,00

Tab.9.51 Carichi relativi alle prime 10 travi ed ai primi 10 pilastri

9.6.4 DIMENSIONAMENTO CON SAP2000

A questo punto si è proceduto alla contemporanea fase di dimensionamento e verifica eseguibile con il programma ad elementi finiti SAP2000. La modellazione del reticolo 3D in acciaio è stata effettuata con il software Autocad in modalità 3D, per motivi di comodità, interfacciabile con SAP2000.

L'importazione in quest'ultimo (Fig.9.62) ha permesso di andare a definire, attraverso un processo interattivo, un range di sezioni frame ammissibili, mantenendosi su dimensioni coerenti ai carichi gravanti e compatibili con i pacchetti architettonici del progetto. Profili di dimensioni eccessive avrebbero comportato sia un problema di spessore dei solai, che un aumento sostanziale del peso totale della struttura, con un aumento dei costi di trasporto in elicottero, oltre che una maggior difficoltà nella fase di montaggio, problema non trascurabile su di un profilo impervio a 1750 m s.l.m. Inoltre la scelta di un'unica sezione che verificasse il caso maggiormente sollecitato, da applicare poi anche ai restanti casi, è parso un sovradimensionamento non accettabile visti i pesi propri degli elementi strutturali in gioco. Si sono imposti pertanto i seguenti due limiti massimi:

- Pilastrini \leq HEB260
- Travi \leq IPE360

Si è proceduto quindi all'applicazione dei vincoli a terra ad incastro (Fig.9.63)

Definita la geometria (nodi e aste) è stato necessario inserire le informazioni relative ai carichi (Fig.9.64). Il software SAP2000 ha la possibilità di riunire carichi in gruppi facilitandone la gestione, in maniera tale da poter andare a valutare con una sola analisi diverse combinazioni di carichi agli stati limite preimpostati. L'analisi allo SLU della struttura ipotizzata col software SAP2000 ha portato ai risultati visibili in figura Fig.9.65 (azzurro, verde, arancione=elemento verificato; rosso=elemento non verificato). L'analisi implementata al singolo elemento mostra pertanto come le travi ed i pilastrini dello sbalzo del reticolo strutturale risultino eccessivamente sollecitate, portando la struttura al collasso.

Volendo evitare di ricorrere a profili maggiori è stato pertanto necessario introdurre nuovi elementi (Fig.9.66) che, modificando la distribuzione dei carichi sul terreno, rendessero il reticolo 3D in acciaio verificato. Sono stati quindi introdotti dei puntoni a sezione tonda del diametro di 219 mm. Lo schema statico del reticolo, dal punto di vista dei vincoli, è stato mantenuto il medesimo, confermando l'ipotesi di totalità di vincoli ad incastro, con una struttura che si appoggia a 40 incastri a terra che semplificano in maniera coerente la reale situazione delle fondazioni in CLS collaboranti con la roccia a mezzo di tiranti tipo Dywidag che aiutano ad assorbire gli sforzi di taglio. L'analisi allo SLU della nuova ipotesi di struttura col software SAP2000 ha portato ai risultati visibili in figura Fig 9.67 (azzurro, verde, arancione=elemento verificato; rosso=elemento non verificato). La struttura di seconda ipotesi risulta verificata in ognuno dei suoi 164 elementi frame grazie all'introduzione dei 22 puntoni in acciaio. L'utilizzo del software SAP2000 ha permesso inoltre di ottimizzare ogni singola trave grazie al suo approccio di tipo parametrico, andando a dimensionare ogni sezione in riferimento al carico relativo, evitando sovradimensionamenti della struttura. Il risultato è una struttura composta dai seguenti frame in acciaio S355:

- Pilastrini: HEB260
- Travi: IPE240, IPE300, IPE360
- Puntoni: Sezione Tonda \varnothing 219mm

Nelle pagine successive sono mostrati alcuni confronti tra i risultati ottenuti con SAP2000 nelle due ipotesi statiche (Fig.9.68, Fig.9.69, Fig.9.70, Fig.9.71, Fig.9.72, Fig.9.73, Fig.9.74, Fig.9.75, Fig.9.76, Fig.9.77, Fig.9.78, Fig.9.79).

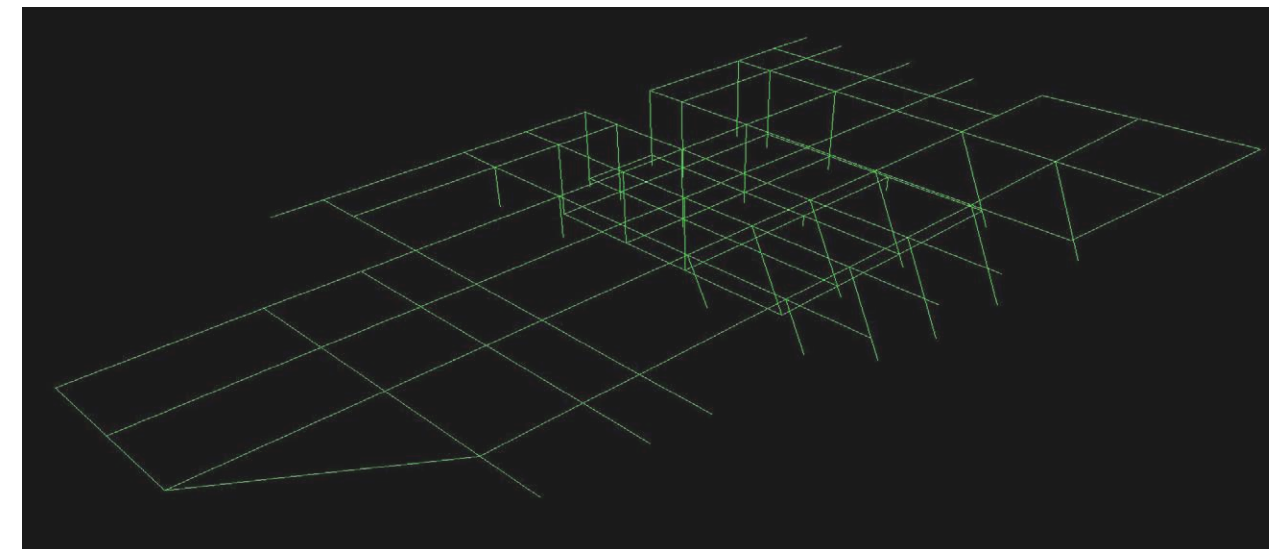


Fig.9.62 Reticolo strutturale di partenza ottenuto dall'importazione in SAP2000 del modello 3D di autocad

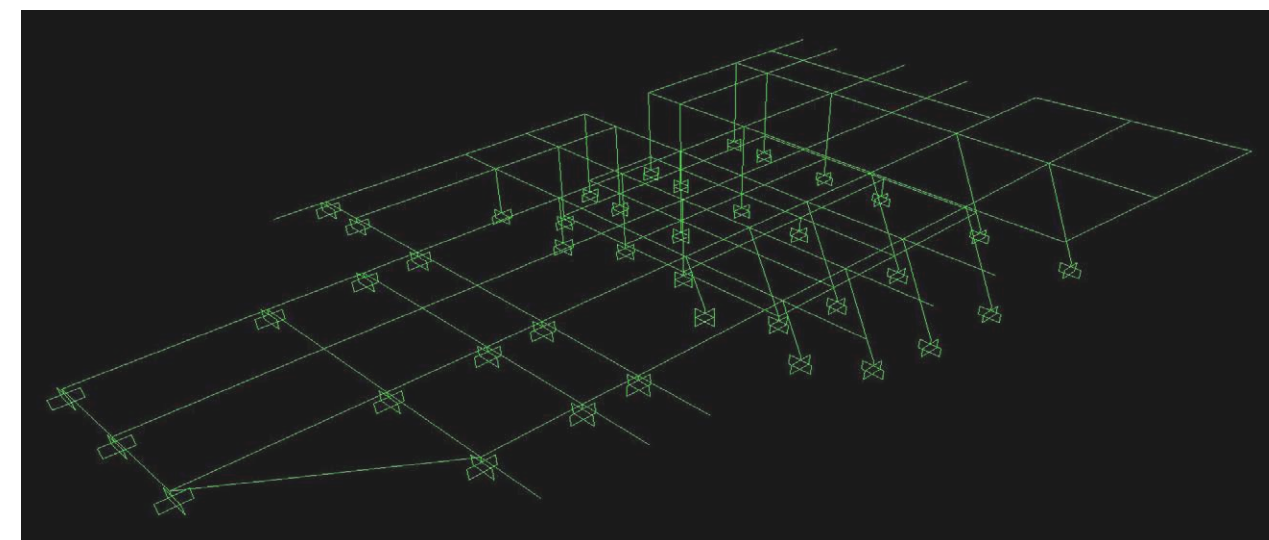


Fig.9.63 Applicazione dei vincoli a terra

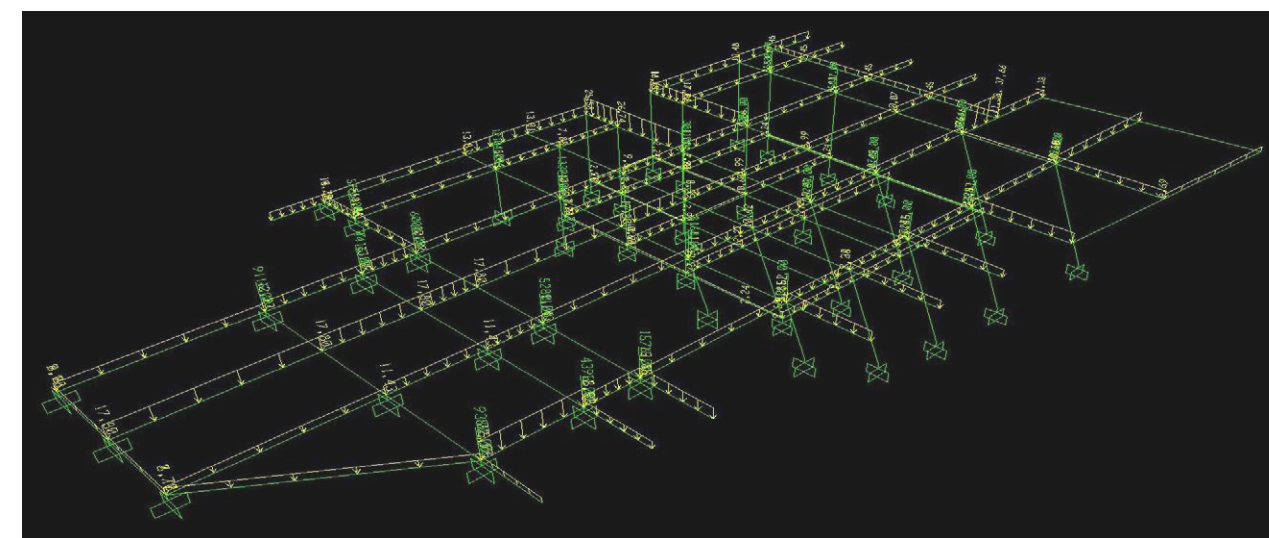


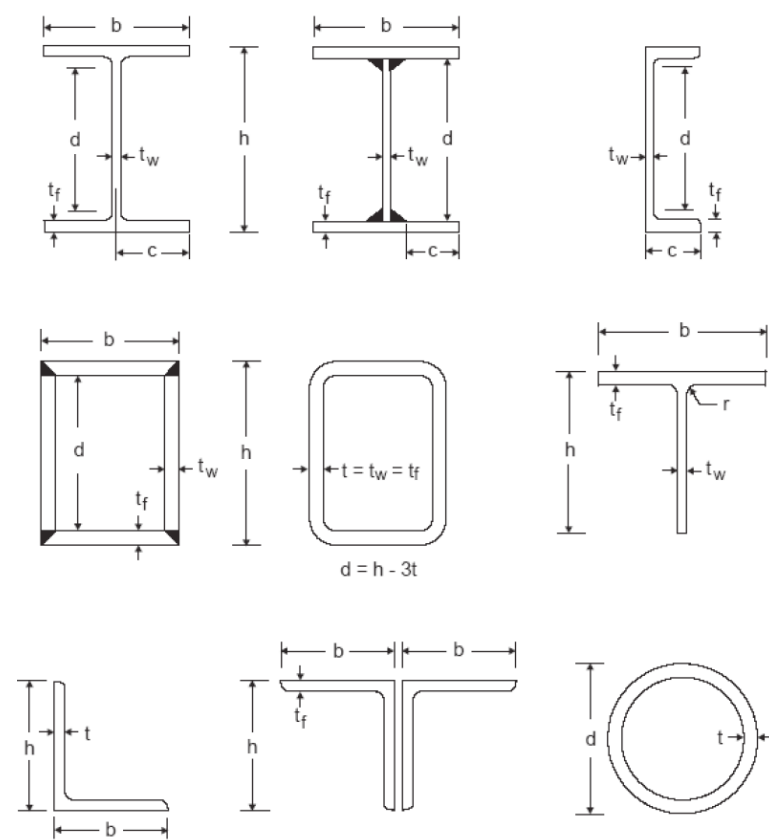
Fig.9.64 Applicazione dei carichi definiti in Tab.9.51

9.6.5 VERIFICHE ALLO SLU CON SAP2000

CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

La resistenza di progetto di una sezione soggetta a compressione dovuta a momento o a carico assiale dipende dalla sua classificazione in classe 1 (duatile), classe 2 (plastica), classe 3 (plastica), o classe 4 (snella). In accordo con le NTC2008, la classificazione delle sezioni dipende dalla classificazione degli elementi flangia e anima. La classificazione dipende anche dal fatto che gli elementi compressi siano in compressione pura, flessione pura, o sotto l'influenza di una combinazione di forza assiale e flessione.

Il programma classifica, in maniera conservativa, gli elementi compressi per sola compressione pura in accordo con la tabella Tab.9.53 e per flessione pura in accordo con la tabella Tab.9.54, in relazione al fatto che l'elemento sia un pilastro o una trave. Le dimensioni della sezione utilizzate nelle tabelle vengono fornite in tabella Tab.9.52. Se esse soddisfano i limiti riportati nelle tabelle, la sezione è classificata come di Classe 1, Classe 2 o Classe 3 a seconda dei casi. Una sezione viene classificata riportando la più alta (meno favorevole) classe del suo elemento compresso.



Tab.9.52 Dimensioni delle sezioni utilizzate nelle tabelle

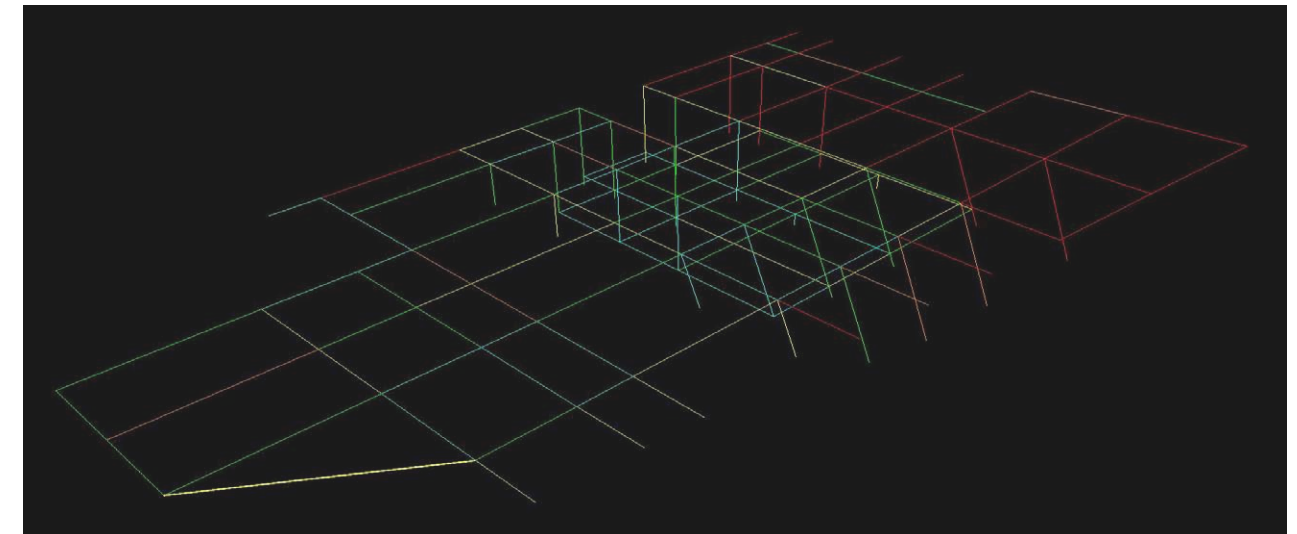


Fig.9.65 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di prima ipotesi

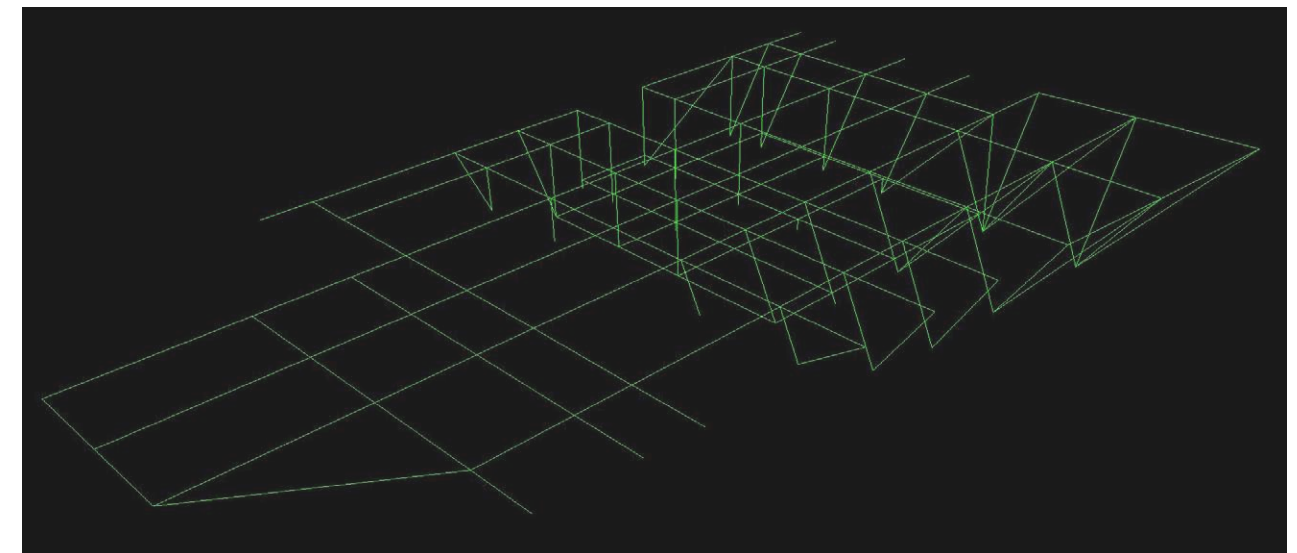


Fig.9.66 Reticolo strutturale di seconda ipotesi

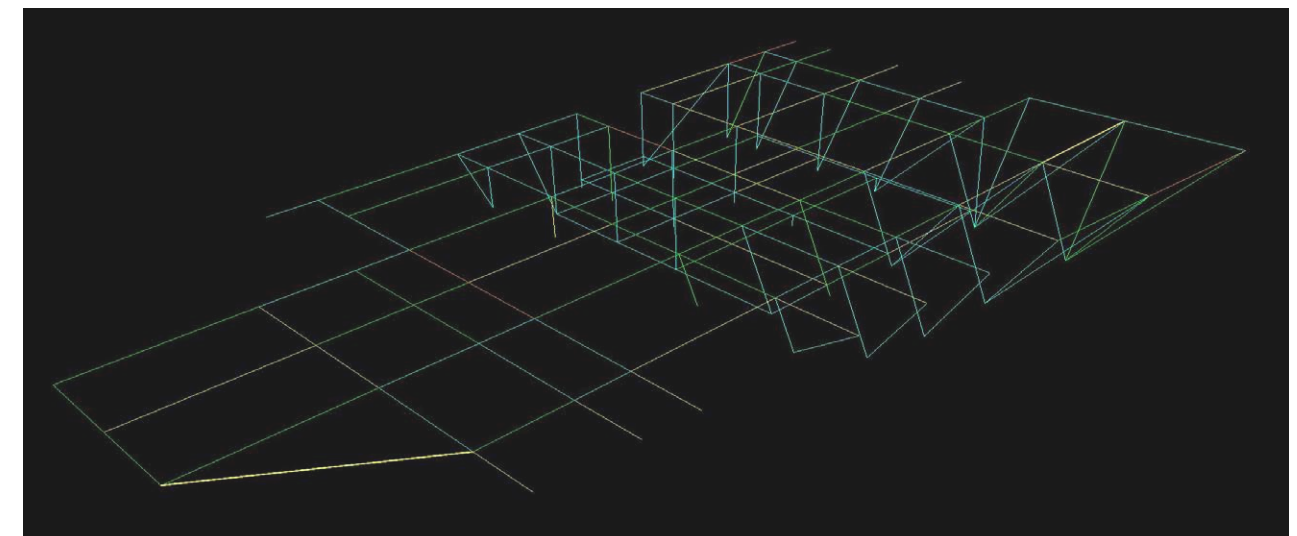


Fig.9.67 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di seconda ipotesi

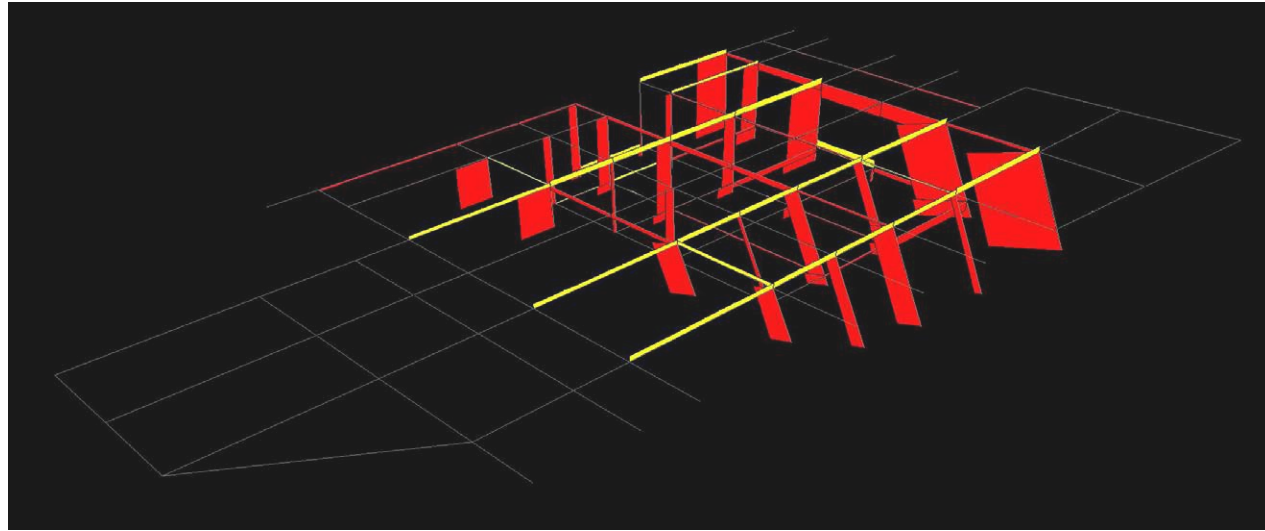


Fig.9.68 Diagramma assiale della struttura di prima ipotesi

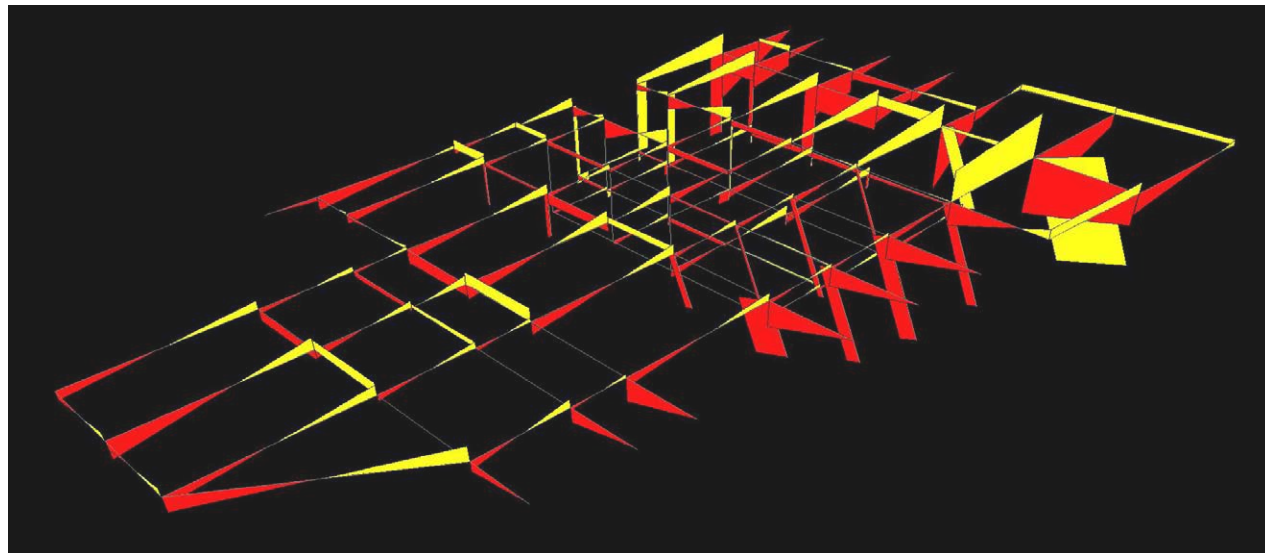


Fig.9.69 Diagramma di taglio della struttura di prima ipotesi

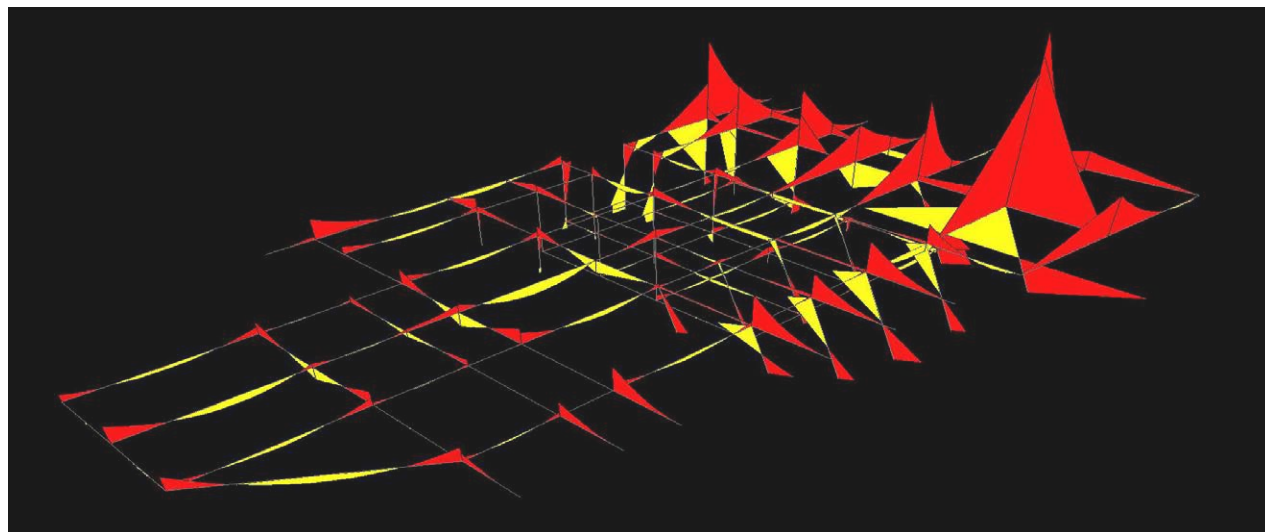


Fig.9.70 Diagramma dei momenti della struttura di prima ipotesi

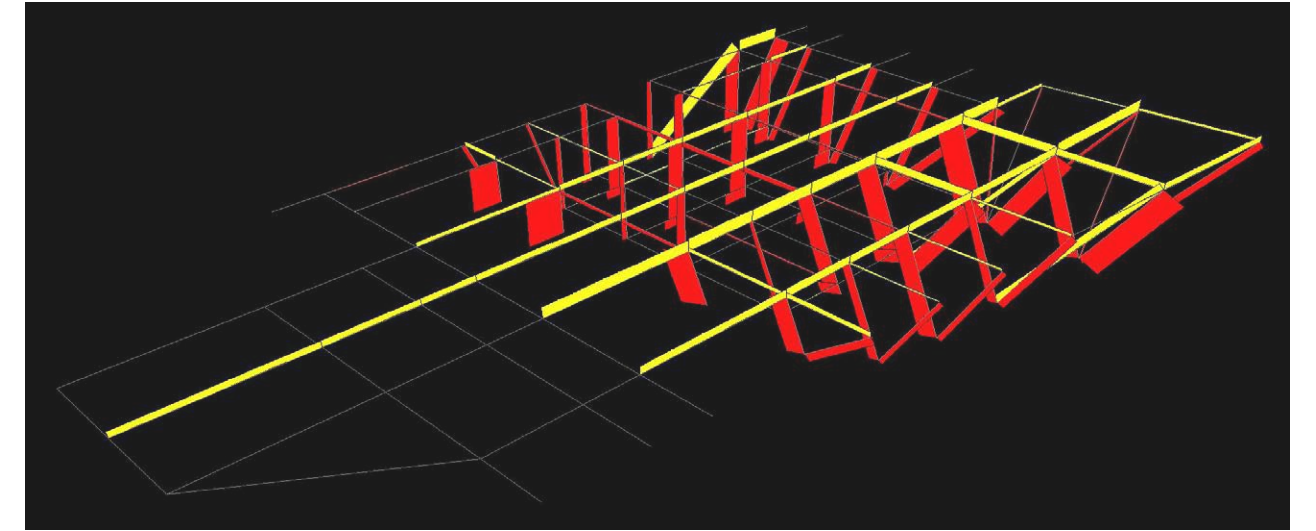


Fig.9.71 Diagramma assiale della struttura di seconda ipotesi

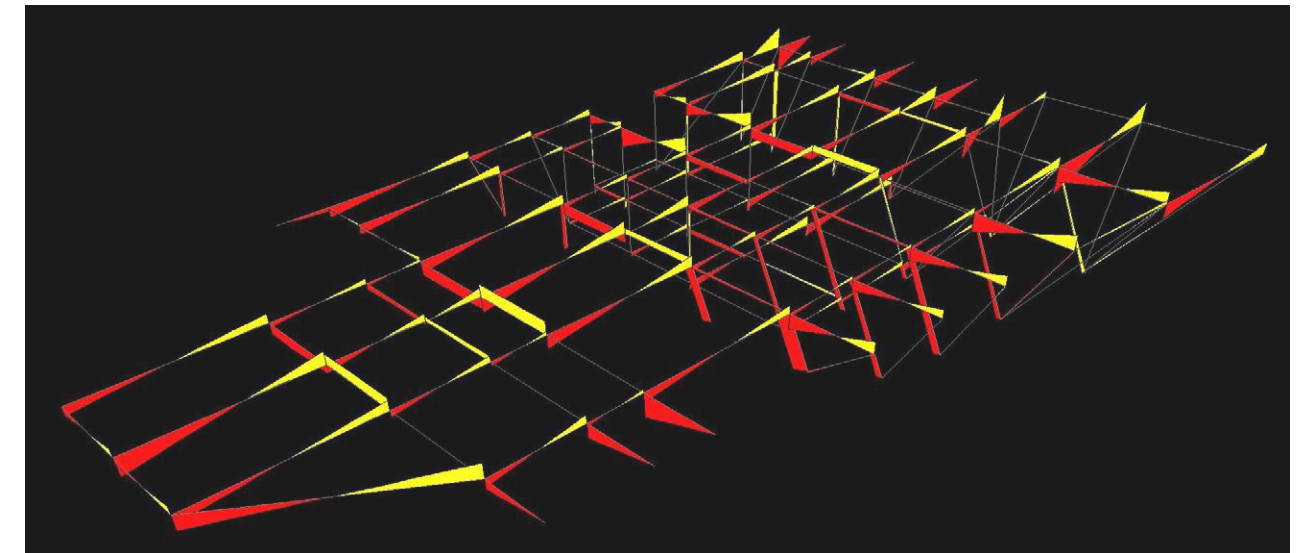


Fig.9.72 Diagramma di taglio della struttura di seconda ipotesi

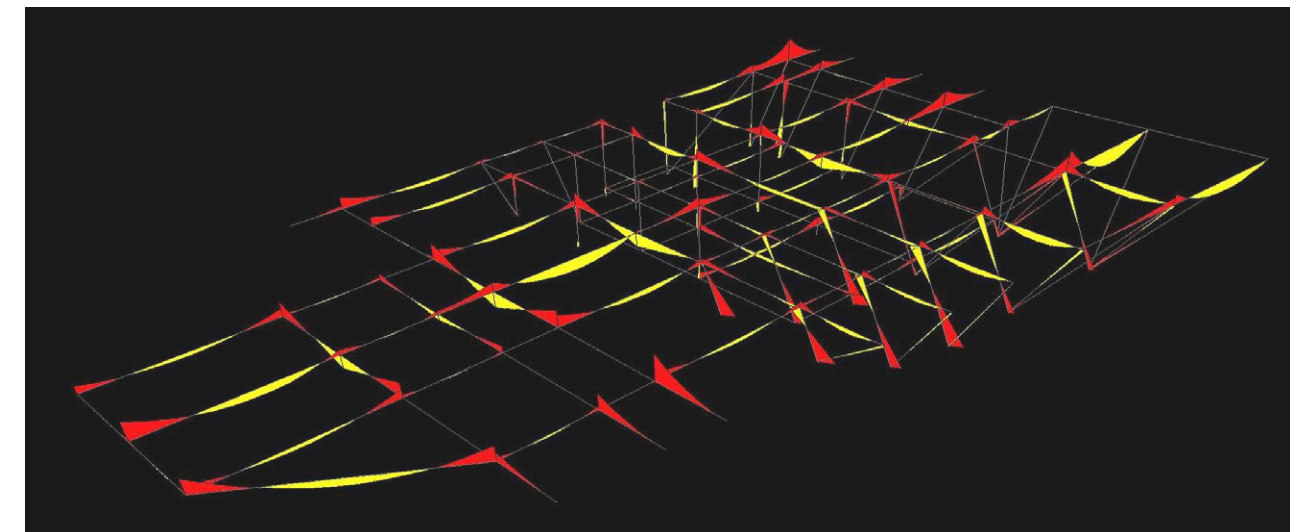


Fig.9.73 Diagramma dei momenti della struttura di seconda ipotesi

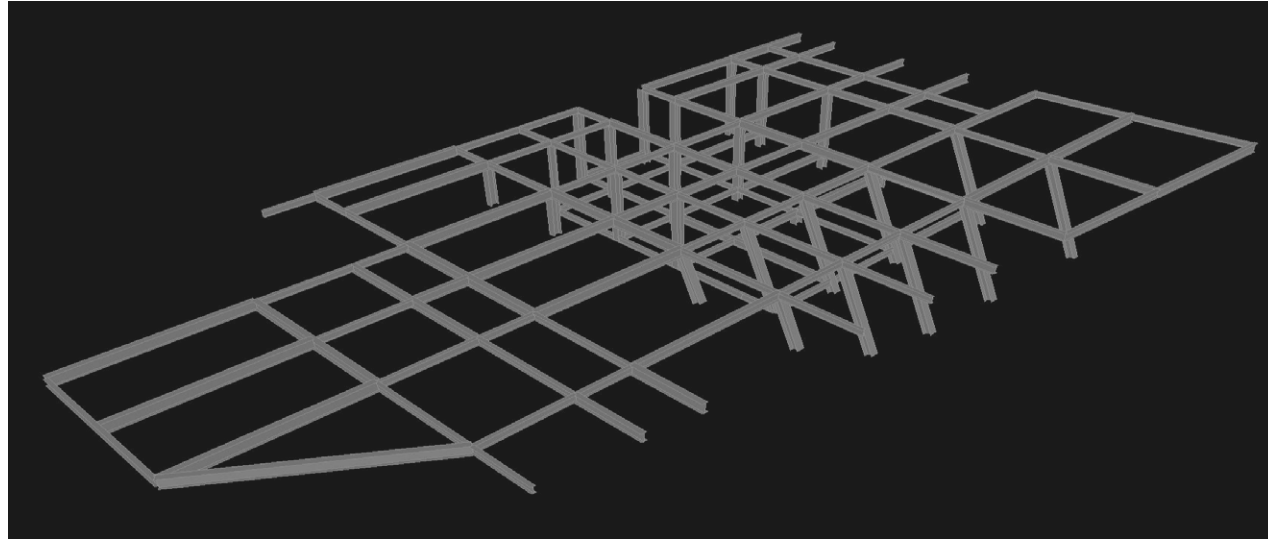


Fig.9.74 Reticolo strutturale di prima ipotesi

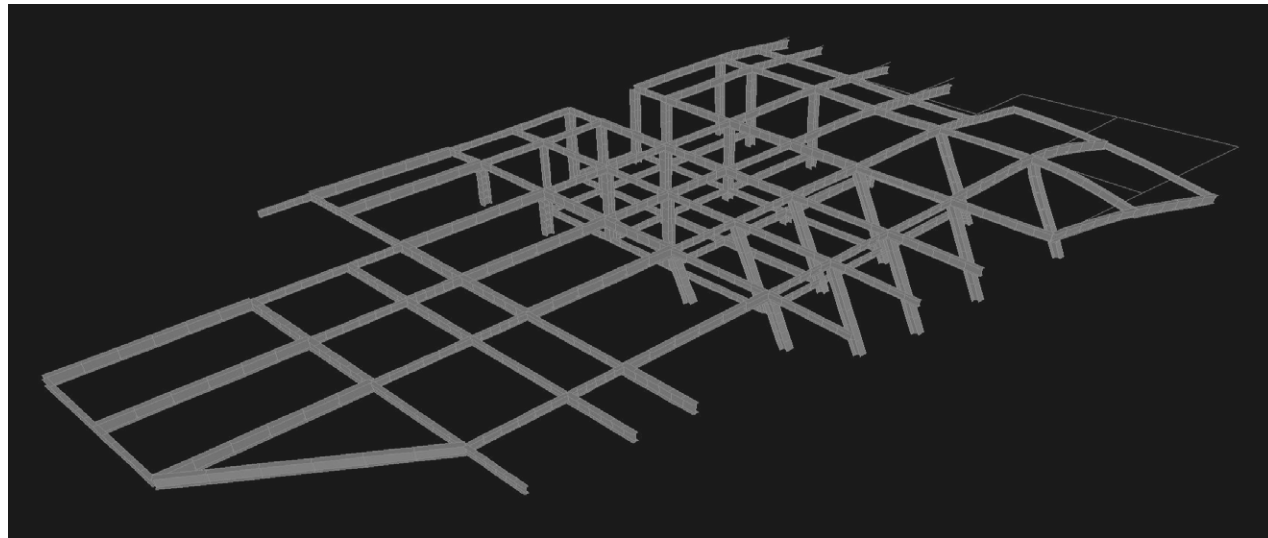


Fig.9.75 Deformata allo SLU della struttura di prima ipotesi

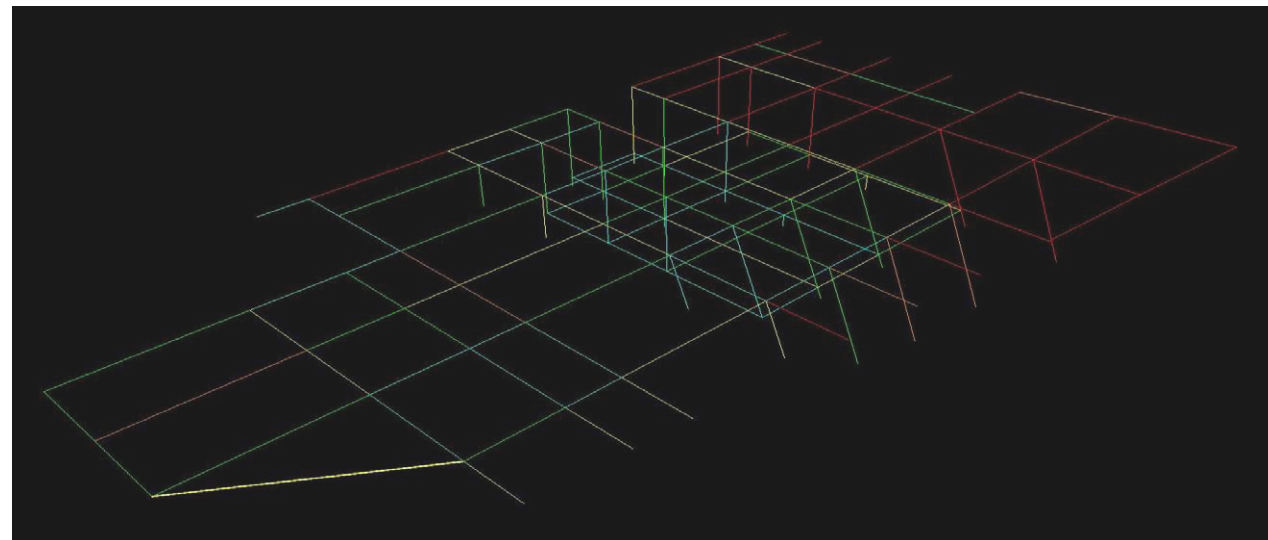


Fig.9.76 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di prima ipotesi

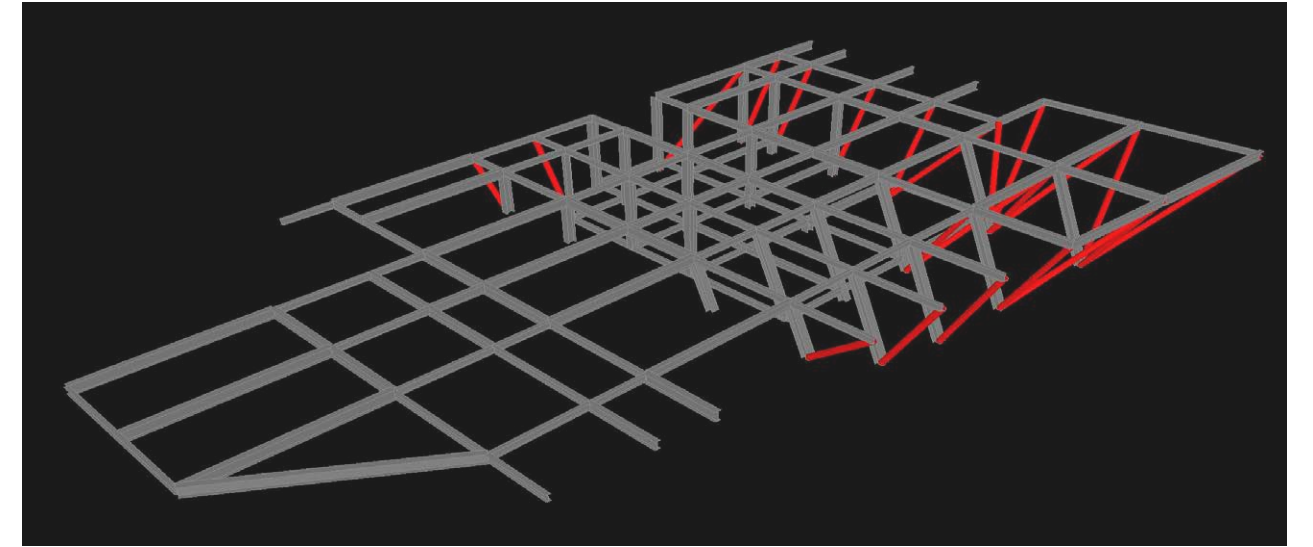


Fig.9.77 Reticolo strutturale di seconda ipotesi

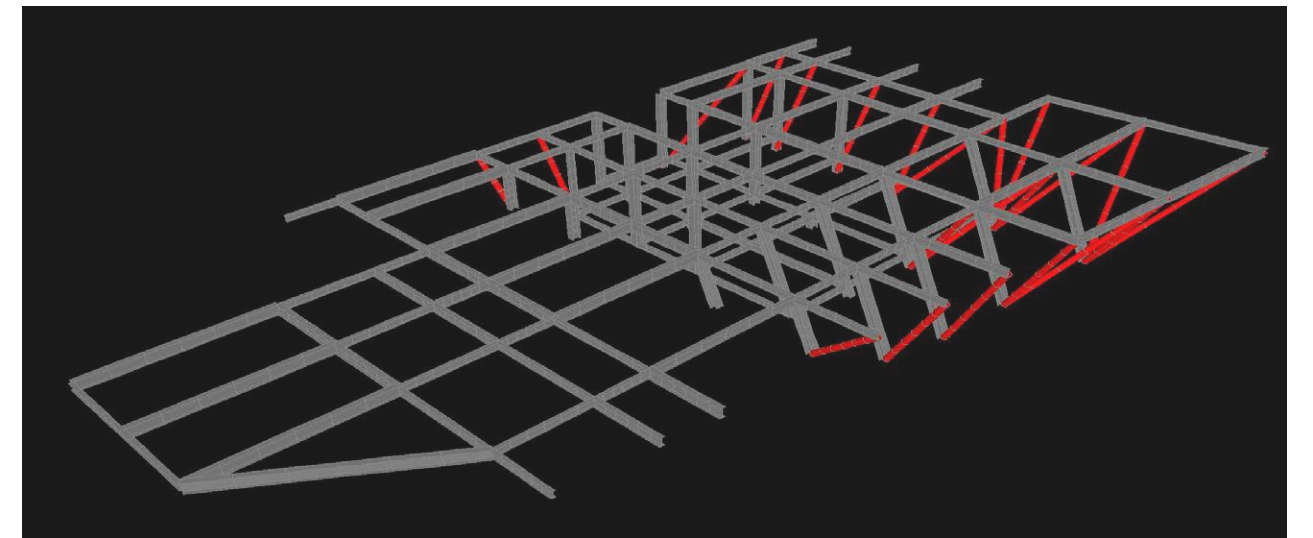


Fig.9.78 Deformata allo SLU della struttura di seconda ipotesi

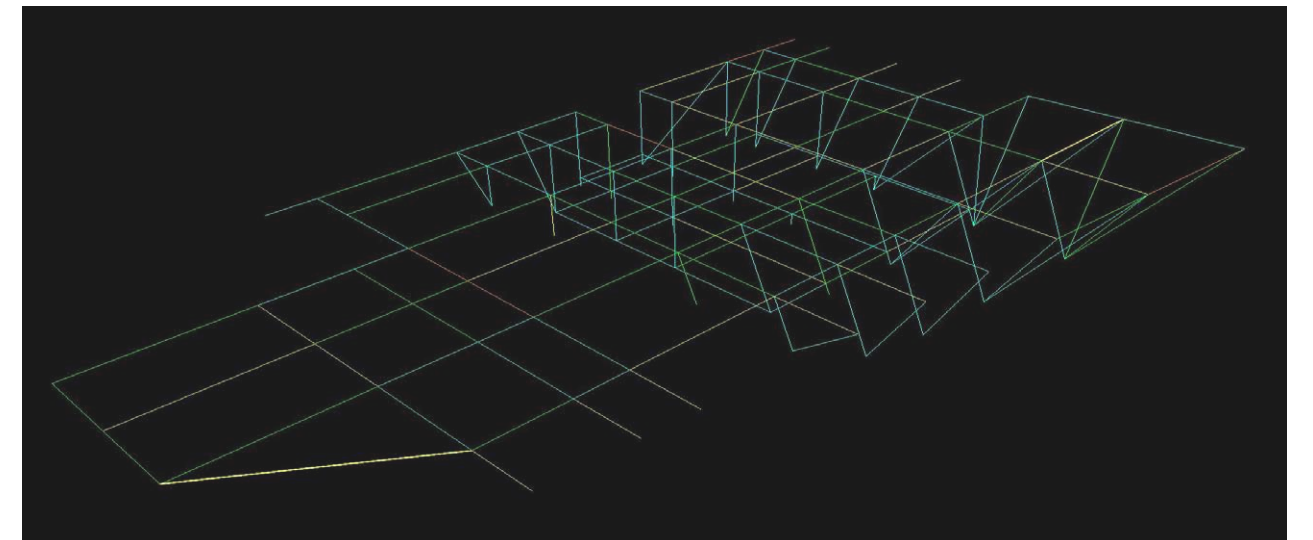


Fig.9.79 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di seconda ipotesi

Se una sezione non soddisfa i limiti per le sezioni di Classe 3, allora viene classificata come di Classe 4. Uno dei parametri di maggior importanza nel limitare il rapporto larghezza-spessore è β . Questo parametro è usato per riflettere l'influenza della

Section	Element	Ratio Checked	Class 1	Class 2	Class 3
GENERAL	-	None	Assumed Class 3		
RECTANGLE	-	None	Assumed Class 2		
I-SHAPE	web	d/t_w	33ε	38ε	42ε
	flange	c/t_f (rolled)	10ε	11ε	15ε
c/t_f (welded)		9ε	10ε	14ε	
BOX	web	d/t_w	33ε	38ε	42ε
	flange	$(b - 3t_f) / t_f$ (rolled)	42ε	42ε	42ε
		b/t_f (welded)	42ε	42ε	42ε
CHANNEL	web	d/t_w	33ε	38ε	42ε
	flange	b/t_f	10ε	11ε	15ε
T-SHAPE	web	d/t_w	33ε	38ε	42ε
	flange	$b/2t_f$ (rolled)	10ε	11ε	15ε
		$b/2t_f$ (welded)	9ε	10ε	14ε
ANGLE	-	$\frac{h/t}{(b+h)/(2t)}$	Not Applicabe	Not Applicabe	15.0ε 11.5ε
ROUND BAR	-	None	Assumed Class 1		
PIPE	-	d/t	$50 \varepsilon^2$	$70 \varepsilon^2$	$90 \varepsilon^2$
DOUBLE ANGLES	-	$\frac{h/t}{(b+h)/(2t)}$	Not Applicabe	Not Applicabe	15.0ε 11.5ε

Tab.9.53 Classificazione degli elementi compressi per compressione pura

Section	Element	Ratio Checked	Class 1	Class 2	Class 3
GENERAL	-	None	Assumed Class 3		
RECTANGLE	-	None	Assumed Class 2		
I-SHAPE	web	d/t_w	72ε	83ε	124ε
	flange	c/t_f (rolled)	10ε	11ε	15ε
		c/t_f (welded)	9ε	10ε	14ε
BOX	web	d/t_w	72ε	83ε	124ε
	flange	$(b - 3t_f) / t_f$ (rolled)	33ε	38ε	42ε
		b/t_f (welded)	33ε	38ε	42ε
CHANNEL	web	d/t_w (Asse Principale)	72ε	83ε	124ε
		d/t_w (Asse Secondario)	33ε	38ε	42ε
	flange	b/t_f	10ε	11ε	15ε
T-SHAPE	web	d/t_w	33ε	38ε	42ε
	flange	$b/2t_f$ (rolled)	10ε	11ε	15ε
		$b/2t_f$ (welded)	9ε	10ε	14ε
ANGLE	-	$\frac{h/t}{(b+h)/(2t)}$	Not Applicabe	Not Applicabe	15.0ε 11.5ε
ROUND BAR	-	None	Assumed Class 1		
PIPE	-	d/t	$50 \varepsilon^2$	$70 \varepsilon^2$	$90 \varepsilon^2$
DOUBLE ANGLES	-	$\frac{h/t}{(b+h)/(2t)}$	Not Applicabe	Not Applicabe	15.0ε 11.5ε

Tab.9.54 Classificazione degli elementi compressi per flessione pura

tensione di snervamento nella classificazione della sezione e si calcola come:

$$\beta = \sqrt{(235/f_y)}$$

CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI DI PROGETTO

Le sollecitazioni interne di progetto (calcolate per ogni combinazione di carico) sono $N_{t,Sd}$ o $N_{c,Sd}$, $M_{33,Sd}$, $M_{22,Sd}$, $V_{2,Sd}$ e $V_{3,Sd}$. Esse corrispondono rispettivamente ai valori di progetto del carico assiale di trazione o di compressione, al momento principale, al momento secondario, al taglio nella direzione principale e nella direzione secondaria rispettivamente e vengono calcolati per ogni elemento asta.

I momenti e le forze di progetto necessitano di essere corrette per tener in conto degli effetti del secondo ordine. La progettazione automatica con SAP2000 in condizione di edificio a nodi fissi, è inclusa nelle equazioni globali di interazione di instabilità. I momenti aggiuntivi del secondo ordine sono generati in un telaio non solo dalle azioni orizzontali (vento e sisma) ma dall'azione di ogni carico che induce a spostamenti di piano; essi possono essere infatti generati anche dai carichi verticali se essi o il telaio sono asimetrici, come nel caso studio.

CALCOLO DELLE RESISTENZE DELLA SEZIONE

Le resistenze nominali in compressione, trazione, flessione e taglio sono state computate utilizzando i seguenti fattori parziali di sicurezza usati dal programma e coerenti con la normativa nazionale (Tab.9.55) (Eurocodice 3) sono:

- $\gamma_{M0} = 1,05$
- $\gamma_{M1} = 1,05$

Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4	$\gamma_{M0} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature	$\gamma_{M1} = 1,05$
Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari	$\gamma_{M1} = 1,10$
Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori)	$\gamma_{M2} = 1,25$

Tab.9.55 Fattori parziali di sicurezza

CAPACITA' A TRAZIONE

La resistenza a trazione di progetto per tutte le classi di sezioni deve rispettare la seguente:

$$N_{Sd} < N_{t,Rd}$$

dove:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

RESISTENZA A COMPRESSIONE

Il valore di progetto della forza di compressione deve soddisfare la seguente:

$$N_{Sd} < N_{c,Rd}$$

dove la resistenza a compressione di progetto $N_{c,Rd}$ della sezione viene presa come la minore delle resistenze plastiche della sezione ($N_{pl,Rd}$) e la resistenza di progetto all'instabilità locale della sezione ($N_{b,Rd}$):

$$N_{c,Rd} = \min(N_{pl,Rd}, N_{b,Rd})$$

dove la resistenza plastica per sezioni di Classe 1, Classe 2 e Classe 3, è data da:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

mentre la resistenza di progetto all'instabilità di un elemento compresso è data da:

$$N_{b,Rd} = (X \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y) / \gamma_{M1}$$

con

- β_A uguale ad 1 per sezioni di classe 1,2 o 3;
- X coefficiente di riduzione per la modalità di instabilità pertinente.

La verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa. Deve essere:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

dove:

- N_{Ed} : azione di compressione di calcolo;
- $N_{b,Rd}$: resistenza all'instabilità nell'asta compressa.

CAPACITÀ A TAGLIO

Il valore di progetto della forza di taglio deve soddisfare la seguente:

$$V_{Sd} < V_{pl,Rd}$$

dove la resistenza a taglio di progetto di una sezione è la minima fra la capacità a taglio plastica e la capacità all'instabilità per taglio. Per tutti i tipi di sezione, la resistenza a taglio plastica è calcolata nel seguente modo:

$$V_{Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \cdot f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})$$

dove A_v è l'effettiva area di taglio per la sezione e l'appropriato asse di flessione.

MOMENTO RESISTENTE

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$M_{Sd} \leq M_{c,Rd}$$

Il momento resistente nelle direzioni principale e secondaria è basato sulla classificazione delle sezioni. La capacità a momento è anche influenzata dalla presenza di forza a taglio e forza assiale nella sezione. Se la forza di taglio è minore di metà della capacità a taglio, la capacità a momento non è praticamente influenzata dalla presenza della forza di taglio. Se la forza di taglio è invece maggiore della metà della capacità a taglio, è necessario considerare alcuni fattori addizionali.

$$\text{Se } V_{Sd} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

- Per sezioni di Classe 1 e Classe 2:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$$

- Per sezioni di Classe 3:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

$$\text{Se } V_{Sd} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$$

- $M_{V,Rd} = [W_{pl} - (\rho \cdot A_v^2) / (4 \cdot t_w)] \cdot f_y / \gamma_{M0} \leq M_{c,Rd}$

INSTABILITÀ FLESSO-TORSIONALE

Per la determinazione della resistenza all'instabilità fessio-torsionale, viene assunto che la sezione sia uniforme, doppio simmetrica, sotto condizioni standard di vincolo ad ogni estremità e caricata attraverso il suo centro di taglio. La resistenza all'instabilità fessio-torsionale della trave è valutata come:

$$M_{b,Rd} = X_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,33} \cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Una trave con sezione ad I o H soggetta a flessione nel piano dell'anima, con la piattabanda compressa non sufficientemente vincolata lateralmente, deve essere verificata nei riguardi dell'instabilità flessione torsionale secondo la formula:

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd}$$

dove:

- M_{Ed} : massimo momento flettente di calcolo;
- $M_{b,Rd}$: momento resistente di progetto per l'instabilità.

Di seguito (Tab.9.56) sono riportati a titolo esemplificativo i dati relativi alle verifiche allo SLU dei primi 30 elementi in acciaio (per il valore dei carichi relativi ai restanti elementi si faccia riferimento agli allegati).

N°	Sezione	Elemento	Combo	Luce [cm]	Classe	N [kN]	Mmax [kN-cm]	Mmin [kN-cm]	Vmax [kN]	Vmin [kN]	T [kN-cm]	Stato
1	HEB260	Pilastro	SLU	180,0	Classe 1	-528,4	648,5	-5492,7	-17,0	43,5	242,2	Verificato
2	HEB260	Pilastro	SLU	180,0	Classe 1	-642,5	-3498,4	10815,4	-29,5	112,1	266,5	Verificato
3	HEB260	Pilastro	SLU	194,0	Classe 1	-565,3	-11692,0	1531,3	-71,6	17,7	-425,7	Verificato
4	HEB260	Pilastro	SLU	194,0	Classe 1	-328,6	-12921,7	1363,7	-109,8	15,5	-597,5	Verificato
5	HEB260	Pilastro	SLU	320,0	Classe 1	-191,0	2459,7	3628,4	15,2	21,9	285,2	Verificato
6	HEB260	Pilastro	SLU	345,0	Classe 1	-172,8	-7838,9	339,5	-43,5	1,1	387,6	Verificato
7	HEB260	Pilastro	SLU	388,1	Classe 1	-324,8	-11421,0	533,2	-54,1	2,2	-145,0	Verificato
8	HEB260	Pilastro	SLU	398,9	Classe 1	-143,6	5447,9	-1198,7	-18,0	5,7	-201,2	Verificato
9	HEB260	Pilastro	SLU	420,4	Classe 1	-285,1	4508,5	-2247,9	13,6	-6,7	391,4	Verificato
10	HEB260	Pilastro	SLU	345,0	Classe 1	-106,4	-7459,5	426,6	-40,0	1,4	308,1	Verificato
11	HEB260	Pilastro	SLU	388,1	Classe 1	-429,5	-11865,5	545,5	-42,3	-1,3	-607,2	Verificato
12	HEB260	Pilastro	SLU	398,9	Classe 1	-434,4	-3734,2	-686,7	15,4	3,9	-859,5	Verificato
13	HEB260	Pilastro	SLU	420,4	Classe 1	-645,3	-2407,6	-475,2	17,9	18,1	-5998,8	Verificato
14	HEB260	Pilastro	SLU	320,0	Classe 1	-106,8	688,1	3256,7	3,3	18,3	240,5	Verificato
15	HEB260	Pilastro	SLU	360,0	Classe 1	-332,8	1021,3	5182,8	4,6	28,9	3,9	Verificato
16	HEB260	Pilastro	SLU	370,0	Classe 1	-493,0	3236,2	866,8	-19,5	-3,4	21,1	Verificato
17	HEB260	Pilastro	SLU	390,0	Classe 1	-310,7	-4023,5	-2712,2	24,5	13,5	-87,8	Verificato
18	HEB260	Pilastro	SLU	390,0	Classe 1	-298,1	7833,3	795,4	45,1	4,6	32,1	Verificato
19	HEB260	Pilastro	SLU	370,0	Classe 1	-225,8	5111,3	1401,3	18,7	10,6	9,6	Verificato
20	HEB260	Pilastro	SLU	360,0	Classe 1	-251,8	-908,7	-6826,7	2,9	39,3	145,5	Verificato
21	IPE240	Trave	SLU	320,0	Classe 1	-93,3	-75,2	185,1	-0,7	1,0	15,6	Verificato
22	HEB260	Pilastro	SLU	360,0	Classe 1	-132,7	-2600,8	-3996,5	9,8	26,1	206,1	Verificato
23	HEB260	Pilastro	SLU	370,0	Classe 1	-106,6	2358,1	-1126,5	-2,7	6,5	614,1	Verificato
24	IPE300	Trave	SLU	477,3	Classe 1	250,2	8137,9	-6,4	-1,6	2,4	45,4	Verificato
25	IPE240	Trave	SLU	267,5	Classe 1	15,6	-827,4	-132,5	-20,8	-1,0	32,0	Verificato
26	IPE240	Trave	SLU	663,8	Classe 1	-11,8	-1008,0	-131,3	-13,3	-1,1	28,0	Verificato
27	IPE240	Trave	SLU	305,0	Classe 1	-5,8	-847,6	3,2	-11,9	0,0	20,9	Verificato
28	IPE240	Trave	SLU	663,8	Classe 1	-9,1	-460,0	48,2	-5,8	0,4	-27,0	Verificato
29	IPE240	Trave	SLU	305,0	Classe 1	-2,7	-838,3	7,7	-11,7	0,1	7,9	Verificato
30	IPE240	Trave	SLU	160,0	Classe 1	-1,5	-669,5	-8,7	-11,4	-0,2	-31,1	Verificato

Tab.9.56 Dati relativi alle verifiche SLU dei primi 30 elementi in acciaio

9.6.6 VERIFICHE AGLI SLE

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento è definito come:

$$\delta_{tot} = \delta_1 + \delta_2$$

dove:

- δ_c : monta iniziale della trave;
- δ_1 : spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti;
- δ_2 : spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;
- δ_{max} : spostamento nello stato finale.

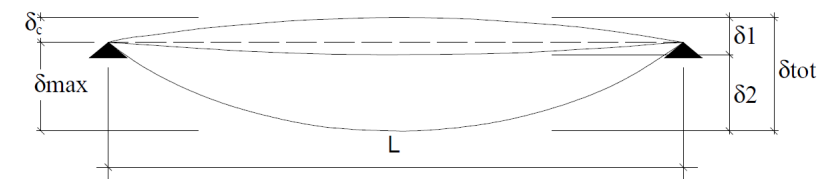


Fig.9.80 Spostamenti verticali

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di δ_{max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento, come da tabella Tab.9.57

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Tab.9.57 Limiti superiori per gli spostamenti verticali

Si è proceduto pertanto ad una verifica agli spostamenti verticali delle 92 travi presenti nel reticolo in acciaio, facendo riferimento al valore δ_{max} equivalente al valore della freccia ottenuto per uno schema statico del tipo incastro-incastro (riferita alla combinazione caratteristica delle azioni permanenti e variabili) con la seguente:

$$\delta_{max} = 1/384 \cdot [(g+q) \cdot l^4 / (E \cdot I)]$$

ed al valore δ_2 equivalente alla valore della freccia ottenuto per il medesimo schema statico ma riferendosi alla combinazione caratteristica delle sole azioni variabili, secondo la seguente:

$$\delta_2 = 1/384 \cdot [q \cdot l^4 / (E \cdot I)]$$

dove:

- E: modulo elastico dell'acciaio pari a 210000 N/mm²;
- I equivale al momento di inerzia relativo alla geometria della sezione considerata (nel nostro caso IPE240, IPE300, IPE360).

Le due verifiche sono risultate soddisfatte per la totalità degli elementi considerati, con un fattore di sicurezza nella stessa minimo relativamente a δ_{max} pari a 1,10 riferito alla trave T₆, ed un fattore di sicurezza minimo relativamente a δ_2 pari a 1,29 riferito alla trave T16. Di seguito (Tab.9.58) sono riportati a titolo esemplificativo i dati relativi alle verifiche SLE delle prime 25 travi. Per le restanti 82 travi si faccia riferimento alle tabelle contenute negli allegati.

Id. elemento	Luce l [m]	Profilo IPE	Momento di inerzia [cm ⁴]	SLE	Freccia	Freccia	Fattore	VERIFICA	SLE	Freccia	Freccia	Fattore	VERIFICA
				G+Q [kg/m]	δ_{max} [mm]	max l/250 [mm]	sic. FS		Q [kg/m]	δ_2 [mm]	max l/300 [mm]	sic. FS	
T ₁	5,15	360	16270	1276,53	6,84	20,60	3,01	Verificato	278,10	1,49	17,17	11,51	Verificato
T ₂	2,80	240	3892	1501,26	2,94	11,20	3,81	Verificato	278,25	0,54	9,33	17,13	Verificato
T ₃	1,70	240	3892	1616,96	0,43	6,80	15,80	Verificato	277,94	0,07	5,67	76,61	Verificato
T ₄	2,65	240	3892	2859,27	4,49	10,60	2,36	Verificato	2178,51	3,42	8,83	2,58	Verificato
T ₅	2,65	240	3892	2859,27	4,49	10,60	2,36	Verificato	2178,51	3,42	8,83	2,58	Verificato
T ₆	6,25	360	16270	1948,69	22,66	25,00	1,10	Verificato	1176,56	13,68	20,83	1,52	Verificato
T ₇	2,80	240	3892	2584,03	5,06	11,20	2,21	Verificato	367,50	0,72	9,33	12,97	Verificato
T ₈	1,70	240	3892	1650,50	0,44	6,80	15,48	Verificato	368,12	0,10	5,67	57,85	Verificato
T ₉	5,00	360	16270	1352,21	6,44	20,00	3,10	Verificato	367,50	1,75	16,67	9,52	Verificato
T ₁₀	2,50	240	3892	1353,37	1,68	10,00	5,94	Verificato	367,92	0,46	8,33	18,20	Verificato
T ₁₁	2,50	240	3892	1295,82	1,61	10,00	6,20	Verificato	367,92	0,46	8,33	18,20	Verificato
T ₁₂	3,00	240	3892	1294,72	3,34	12,00	3,59	Verificato	367,50	0,95	10,00	10,54	Verificato
T ₁₃	4,50	360	16270	334,22	1,04	18,00	17,23	Verificato	0,00	0,00	15,00	//	Verificato
T ₁₄	3,50	240	3892	376,23	1,80	14,00	7,78	Verificato	0,00	0,00	11,67	//	Verificato
T ₁₅	2,00	300	8356	11876,76	2,82	8,00	2,84	Verificato	9249,17	2,20	6,67	3,04	Verificato
T ₁₆	3,88	360	16270	7134,18	12,32	15,52	1,26	Verificato	5786,20	9,99	12,93	1,29	Verificato
T ₁₇	4,50	300	8356	1880,52	11,44	18,00	1,57	Verificato	719,66	4,38	15,00	3,43	Verificato
T ₁₈	2,50	240	3892	2106,72	2,62	10,00	3,81	Verificato	805,73	1,00	8,33	8,31	Verificato
T ₁₉	2,50	240	3892	2226,42	2,77	10,00	3,61	Verificato	843,58	1,05	8,33	7,94	Verificato
T ₂₀	5,00	360	16270	1482,98	7,06	20,00	2,83	Verificato	412,86	1,97	16,67	8,47	Verificato
T ₂₁	1,60	240	3892	1136,33	0,24	6,40	26,97	Verificato	0,00	0,00	5,33	//	Verificato
T ₂₂	3,05	240	3892	1136,17	3,13	12,20	3,89	Verificato	0,00	0,00	10,17	//	Verificato
T ₂₃	2,50	240	3892	1373,17	1,71	10,00	5,85	Verificato	414,96	0,52	8,33	16,14	Verificato
T ₂₄	3,00	240	3892	1373,56	3,54	12,00	3,39	Verificato	415,10	1,07	10,00	9,33	Verificato
T ₂₅	4,50	300	8356	1372,91	8,35	18,00	2,15	Verificato	414,87	2,52	15,00	5,94	Verificato

Tab.9.58 Dati relativi alle verifiche SLU dei primi 25 elementi in acciaio

9.6.7 NODI DI COLLEGAMENTO TRAVE-COLONNA

Le unioni di collegamento fra gli elementi in acciaio sono stati schematizzati come vincoli ad incastro per motivi statici (Fig.9.83). Tali connessioni non sono state studiate in dettaglio, ma si fornirà solamente una soluzione coerente con l'ipotesi statica e con le problematiche del sito di progetto.

Per quanto riguarda i giunti di connessione trave-colonna, nell'ipotesi di vincolo rigido, per garantire il trasferimento delle sollecitazioni si è optato per una soluzione del tipo a "giunto flangiato". Tale soluzione prevede la compresenza in un unico giunto delle due principali famiglie di modalità di connessione principali, la saldatura e la bullonatura. La scelta di optare per questa modalità di collegamento è giustificata dal fatto che la realizzazione di un'unione di sole bullonature avrebbe necessitato di 4 squadrette angolari ad "L" ad ogni estremità dell'elemento trave, aumentando in maniera eccessiva la percentuale di foratura dello stesso con una conseguente diminuzione della resistenza. La realizzazione di unioni in sola saldatura, avrebbe invece lasciato inalterata l'area della sezione del profilo, ma con un incremento della forza lavoro necessaria in quota non giustificabile vista la difficoltà nel raggiungere e nel operare sul sito di progetto. La soluzione a giunto flangiato è parsa quindi un buon compromesso fra le due precedenti, prevedendo una prima fase di saldatura e foratura dei piatti di estremità a valle, ed una seconda fase di messa in opera e bullonatura a monte.

La realizzazione del giunto flangiato deve tenere conto dell'ipotesi statica di giunto a momento; pertanto è necessario prevedere dei piatti di collegamento estesi oltre il filo trave (Fig.9.82) al fine di evitare un meccanismo a cerniera (Fig.9.83), tenendo conto del fatto che le file di bulloni lontane dalla zona tesa danno un minore contributo al momento resistente del giunto. Spesso inoltre nel giunto con flangia di estremità estesa l'anima della colonna è rinforzata con irrigidimenti trasversali.



Fig.9.83 Esempio di telaio "Steel moment frame" telaio resistente e momento per mezzo di connessioni rigide fra travi e colonne.

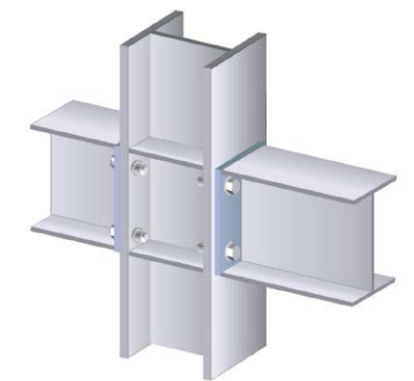
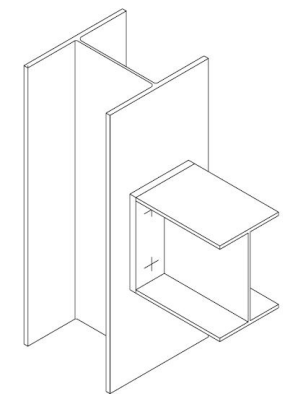


Fig.9.81 Giunto flangiato con piatto di collegamento a filo trave (vincolo a cerniera)

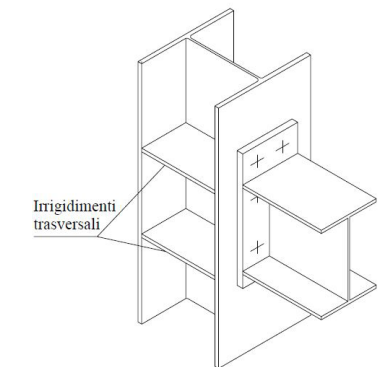


Fig.9.82 Giunto flangiato con piatto esteso oltre al filo trave (vincolo ad incastro)



Fig.9.84 Armatura in acciaio di plinto di fondazione gettato in opera



Fig.9.85 Piatto di collegamento colonna-plinto



Fig.9.86 Tirafondi di ancoraggio colonna-plinto realizzati prima del getto

9.7 PLINTI IN CLS

9.7.1 PREMESSA

I plinti sono una tipologia di fondazione adottata con frequenza per la ripartizione dei carichi puntuali elevati della sovrastruttura su una superficie di terreno con un'impronta sufficientemente ampia da garantire il soddisfacimento dei requisiti di sicurezza richiesti sia in termini di resistenza che in termini di rigidità. Nel caso in esame tale superficie di appoggio avrà presumibilmente dimensione ridotte vista la natura rocciosa del piano di posa che garantisce un'ottima riposta alle sollecitazioni verticali. Il comportamento del plinto è assimilabile a quello di una mensola incastrata in corrispondenza dell'incastro e soggetta alla reazione del terreno dal basso verso l'alto.

Al fine di ancorare le strutture in acciaio al suolo in genere i pilastri vengono collegati alle opere di fondazione in cemento armato, che hanno il compito di distribuire i carichi al terreno. La realizzazione del collegamento di un elemento in acciaio con un elemento in calcestruzzo dipende dal tipo di sollecitazioni che si vogliono trasmettere alle fondazioni, e quindi dal tipo di vincolo a terra ipotizzato.

Nel caso studio, poiché l'elemento in acciaio non può essere semplicemente infisso nel cls, in quanto si avrebbero elevate tensioni di contatto, l'unione sarà realizzata saldando alla colonna metallica un piatto in acciaio (Fig.9.85) che consente di estendere in modo adeguato la superficie di contatto, con una soluzione costruttiva simile a quella del giunto flangiato ipotizzata per le connessione travi-colonna. Il collegamento alla piastra avverrà a mezzo di barre tonde, dette tirafondi (Fig.9.86). Trattandosi nel nostro caso di ipotesi di vincolo rigido, poiché la piastra ha un comportamento elastico che può permettere piccoli movimenti rotazionali dell'unione, l'unione sarà irrigidita con elementi in acciaio detti "costole" che vengono saldati verticalmente alla colonna.

Si procederà nei paragrafi successivi al dimensionamento ed alle verifiche allo SLU del plinto in CLS armato. Le sollecitazioni trasmesse al plinto sono state determinate avvalendosi dei risultati ottenuti nella fase di dimensionamento precedente della piastra in acciaio con SAP2000. Si procederà infine ad un dimensionamento degli ancoraggi pilastro-plinto nella situazione di massima sollecitazione, avvalendosi del supporto del software "Hiliti PROFIS Anchor 2.0", che soddisfa i requisiti richiesti dalle normative nazionali e internazionali vigenti (ETAG, ACI o ICC), permettendo di andare ad effettuare le verifiche sulle unioni ipotizzate.

9.7.2 VERIFICHE

Dai risultati ottenuti in fase di dimensionamento della piastra in acciaio con SAP2000 risulta che il plinto maggiormente caricato deve opporsi alle seguenti sollecitazioni (Tab.9.59)

V_x [kN]	V_y [kN]	N [kN]	M_x [kNm]	M_y [kNm]	M_z [kNm]
123,65	111,92	-1257,12	200,53	78,52	5,64

Tab.9.59 Sollecitazioni relative al plinto maggiormente caricato

CARICO LIMITE

In fase di predimensionamento del plinto è stato necessario calcolare la resistenza del terreno. Si è supposto un substrato di appoggio di roccia calcarea, non avendo a disposizione analisi specifiche per il sito di progetto, ma essendo a conoscenza del fatto che il Gruppo delle Grigne è costituito da rocce di natura calcarea. Per fondazioni superficiali su roccia Stagg e Zienkiewicz (1968) propongono l'utilizzo della formula classica di Terzaghi:

$$Q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c + \gamma_1 \cdot D \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

dove:

- c : coesione dell'ammasso roccioso;
- γ_1 : peso di volume della roccia sopra il piano di posa;
- γ_2 : peso di volume della roccia sotto il piano di posa;
- D : profondità di posa della fondazione;
- B : larghezza della fondazione;
- s_c : fattore di forma, uguale a 1 per fondazioni nastriformi e a 1,3 per fondazioni quadrate o rettangolari;
- s_γ : fattore di forma, uguale a 1 per fondazioni nastriformi e a 0,8 per fondazioni quadrate o rettangolari;
- N_c , N_q e N_γ : fattori adimensionali di portanza.

Vista la difficoltà di quantificare i parametri di coesione e l'angolo d'attrito della roccia, in alternativa alla formula di Stagg e Zienkiewicz può essere impiegata direttamente la seguente relazione:

$$Q_{lim} = [0,1 + 0,2 \cdot (R.Q.D./100)] \cdot C_0$$

dove:

- C_0 : resistenza alla compressione monoassiale della roccia;
- R.Q.D.: parametro rappresentativo dell'indice di qualità della roccia.

Nel caso di rocce calcaree si avrà $C_0 = 20 \text{ N/mm}^2$ e $R.Q.D. = 50$ relativo ad un indice di roccia di discreta qualità ottenendo di

conseguenza un valore:

$$Q_{lim}=4,0 \text{ N/mm}^2$$

Nell'ipotesi di plinto a base quadrata delle dimensioni 1,0x1,0x0,5m, il cui peso andrà sommato a quello della relativa area di influenza sovrastante pari a 1257,12 kN ottenendo una azione verticale N totale pari a 1269,12 kN, si avrà un carico Q_{eff} massimo pari a:

$$Q_{eff}=N/a^2+6 \cdot M_x/a^3=2,5 \text{ N/mm}^2 < 4,0 \text{ N/mm}^2$$

con:

- a: lato del plinto;

Si è optato per il mantenere una dimensione del plinto sovradimensionata a 1,0x1,0x0,5m in quanto di fatto i valori di resistenza a compressione monoassiale del terreno sono state ricavate da tabelle a scala nazionale, e pertanto potrebbe fornire valori che si allontanano dalla realtà, così come il fattore R.Q.D. Inoltre il fatto di mantenere comunque una superficie di appoggio più ampia aumenta la superficie di attrito che si oppone alle forze di taglio orizzontali, non trascurabili in una situazione di progetto come quella in esame in cui la presenza di pilastri inclinati e di vincoli a momento ne incrementa notevolmente il peso percentuale.

La riduzione dei due lati di poche decine di centimetri avrebbe avuto il solo vantaggio di un risparmio dal punto di vista dell'approvvigionamento e del trasporto via elicottero del CLS

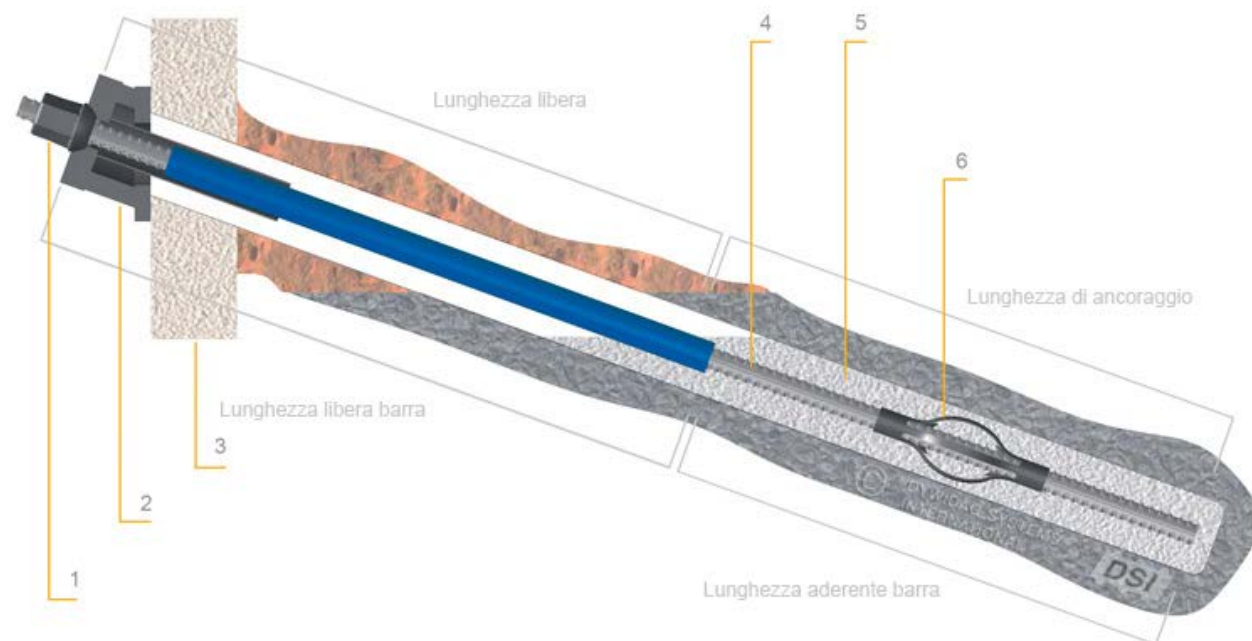


Fig.9.87 Tirante a barre (1- testata, 2- struttura di contrasto, 3- struttura, 4- barra, 5- iniezione, 6- distanziatore)

e dei ferri di armatura, che rappresenta però una percentuale sul costo totale dell'opera ininfluente, a discapito di un maggior fattore di sicurezza che è necessario garantire in una situazione di incertezza come quella relativa al comportamento del terreno.

Nel caso studio ci si trova di fronte ad un elemento di fondazione soggetto non solo a carichi verticali ma anche a componenti torsionali, di taglio e di momento che influiscono sull'equilibrio finale del sistema.

Si assumerà che le azioni tangenziali orizzontali dovute a taglio e torsione vengano assorbite dall'attrito del plinto sul substrato roccioso e dai tiranti a barre DYWIDAG a filettatura continua (Fig.9.87).

Per garantire la stabilità dei plinti si è infatti optato per l'utilizzo di questo sistema attivo conforme alle norme DIN4125 e EN1537, in cui il tensionamento attivo permette di anticipare le deformazioni strutturali del sistema, e di aumentare l'attrito plinto-substrato roccioso, di per sé già elevato in quanto è previsto il getto del CLS in opera assecondando la forma naturale dello scavo. Il tirante sarà composto da tre parti principali:

- Lunghezza di ancoraggio: il tirante è connesso nella perforazione con boiaccia di cemento e può trasmettere la forza al substrato portante per aderenza e attrito;
- Lunghezza libera: la barra non è connessa alla perforazione essendo dotata di un tubo (guaina) liscio che permette il libero allungamento del tratto libero. In questo modo il sistema può essere messo in tensione;
- Testata di ancoraggio: la testata trasferisce la forza alla struttura di contrasto e quindi alla struttura da ancorare.

VERIFICA DI RESISTENZA

Si procede al predimensionamento dell'armatura data dalla seguente formula:

$$A_s \geq (2 \cdot P_a \cdot \lambda_a) / (2 \cdot f_{yd})$$

dove:

- P_a è dato dalla formula $[(a-a') \cdot N_{ed}] / a$
- λ_a è dato dalla formula l_a / d_a
- l_a è dato dalla formula $(a-a') / 4 + c$

con:

- a: lato del plinto;
- a': lato del pilastro (nel caso dell'acciaio lato del piatto in acciaio su cui scarica il profilo HEB);
- d_a : altezza utile della sezione pari a $h-c$;
- c: copriferro che, dato l'ambiente aggressivo, si è considerato pari a 500 mm;

- f_{yd} relativo a barre di armatura in acciaio B450C come imposto al paragrafo 11.3.2 D.M. 14.01.2008.

Si otterrà pertanto un valore:

$$A_s \geq 543,01 \text{ mm}^2$$

Tale valore è inferiore al valore limite minimo di armatura longitudinale per travi di fondazioni previsto dalle NTC2008 equivalente allo 0,2% dell'area della sezione di trave considerata, nel nostro caso pertanto $A_s \geq 1000 \text{ mm}^2$, che sarà soddisfatta con 4 barre $\varnothing 20$ che garantiscono un'area pari a 1256 mm^2 .

La verifica di resistenza lato acciaio viene effettuata andando a verificare che il valore resistente sia minore del carico agente dato dal peso proprio del plinto ed al carico della struttura sovrastante pari a $1269,12 \text{ kN}$.

La verifica di resistenza lato acciaio è data dalla seguente formula:

$$P_{rs} = a' \cdot a \cdot N_{ed} + 2 \cdot A_s \cdot f_{yd} / \lambda_a$$

Ne risulta una resistenza lato acciaio pari a $3104,82 \text{ kN}$ che, essendo superiore al carico agente, soddisfa quindi la verifica.

VERIFICA AL PUNZONAMENTO

La verifica di resistenza viene eseguita tenendo conto del valore minore di resistenza valutata sia sul perimetro critico sia entro il perimetro del pilastro andando a verificare che il valore resistente sia minore del carico agente dato dal peso proprio del plinto e dal carico della struttura sovrastante pari a $1269,12 \text{ kN}$. La resistenza sul perimetro critico è data dalla seguente formula

$$P'_r = 0,25 \cdot u \cdot d \cdot f_{cd} \cdot k \cdot (1 + 50 \cdot \rho_s)$$

dove:

- u : perimetro critico dato da $2 \cdot a + 2 \cdot b + 3 \cdot d \cdot \pi$;
- a : primo lato del plinto di fondazione;
- b : secondo lato del plinto di fondazione;
- d : altezza del plinto di fondazione;
- k : dato da $1,6 - d \geq 1$ con d espresso in metri;
- ρ_s : rapporto geometrico di armatura dato da A_s / A_{CLS} ;
- A_s : area di armatura longitudinale;
- A_{CLS} : area della sezione di trave considerata;
- f_{cd} pari a $14,17$ per calcestruzzo C25/30.

Ne risulta che la resistenza sul perimetro critico risulta pari a

$19101,82 \text{ kN}$.

La resistenza sul perimetro del pilastro è data dalla seguente formula:

$$P''_r = 0,4 \cdot u_0 \cdot d \cdot c_d \cdot k \cdot (1 + \lambda^2)$$

dove:

- u_0 : perimetro della piastra in acciaio che scarica il peso del pilastro;
- λ è pari a $\cotg\theta$ pari a $1,43$.

Ne risulta che la resistenza sul perimetro del pilastro è pari a $22781,23 \text{ kN}$.

Essendo entrambi i valori di resistenza sul perimetro critico e di resistenza sul perimetro del pilastro maggiori del carico della struttura sovrastante pari a $1269,12 \text{ kN}$ la verifica è soddisfatta.

VERIFICA DELLE CONNESSIONI COLONNA-PLINTO

Si è proceduto infine al dimensionamento ed alla verifica del giunto pilastro-plinto maggiormente sollecitato, utilizzando il software "Hiliti PROFIS Anchor 2.0". Note le dimensioni del plinto $1,00 \times 1,00 \times 0,50 \text{ m}$ è stata ipotizzata una dimensione per il piatto di collegamento di $0,60 \times 0,60 \text{ m}$. L'ancoraggio della stessa al CLS si è ipotizzata a mezzo di 12 barre filettate HIT-V M12 in acciaio zincato, disposte in maniera simmetrica (3 per lato della piastra). Si riassumono di seguito i dati di progetto e delle figure (Fig.9.88) esemplificative del caso studio.

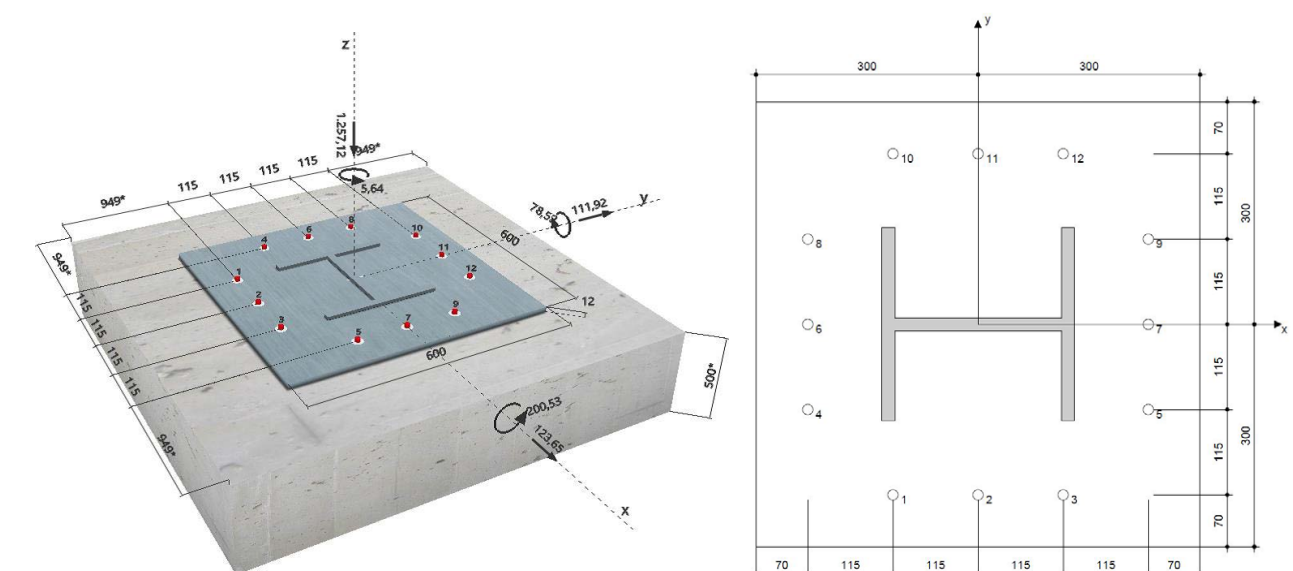


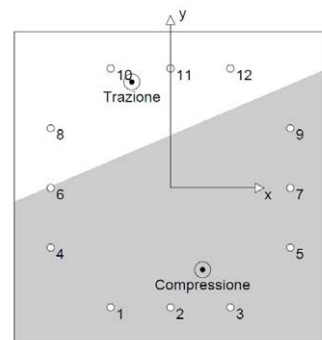
Fig.9.88 Modello 3D della giunzione piatto-plinto secondo l'ipotesi di verifica e pianta con gli interessi degli ancoraggi

DATI DI PROGETTO

- Ancorante: HIT-HY 200-A + HIT-V (5.8) M12;
- Profondità di posa effettiva: $h_{ef,ottimale} = 70\text{mm}$ ($h_{ef,limite} = 240\text{mm}$);
- Certificazione: ETA 11/0493;
- Fissaggio: $e_b = 0\text{mm}$ (senza distanziamento), $t = 12\text{mm}$;
- Piastra di ancoraggio: acciaio S355;
- Materiale base: calcestruzzo C25/30;
- Installazione: foro eseguito con perforatore in condizioni di installazione asciutte;

A seguito le verifiche effettuate con il software

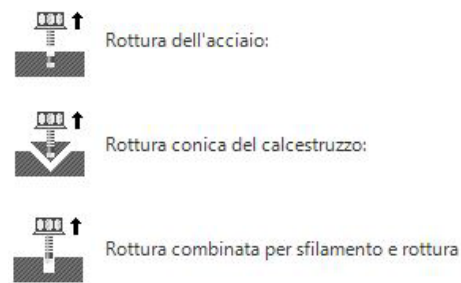
CARICHI RISULTANTI SUGLI ANCORANTI



Ancorante	Trazione [kN]	Taglio [kN]	Taglio in direzione x [kN]	Taglio in direzione y [kN]
1	0,00	14,72	12,06	8,45
2	0,00	15,24	12,06	9,33
3	0,00	15,79	12,06	10,20
4	0,00	13,51	11,18	7,58
5	0,00	15,74	11,18	11,08
6	0,00	12,78	10,31	7,58
7	0,00	15,13	10,31	11,08
8	1,59	12,09	9,42	7,58
9	0,00	14,54	9,42	11,08
10	2,53	12,02	8,55	0,45
11	1,83	12,65	8,55	9,33
12	1,13	13,31	8,55	10,22
Compressione massima nel CLS	0,05%			
Massimo sforzo di compressione nel CLS	13,40 [kN/mm ²]			

Tab.9.60 Sollecitazioni relative ai singoli ancoranti

CARICO DI TRAZIONE (EOTA TR 029, SEZIONE 5.2.2)



	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_n [%]	Stato
Rottura dell'acciaio	2,53	28,00	10	OK
Rottura combinata conica del CLS e per sfilamento	7,09	78,33	10	OK
Rottura conica del CLS	7,09	52,36	14	OK

Tab.9.61 Verifiche ai carichi di trazione

CARICO DI TAGLIO (EOTA TR 029, SEZIONE 5.2.3)



	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_n [%]	Stato
Rottura dell'acciaio	15,79	16,80	95	OK
Rottura per pryout	166,78	216,85	77	OK
Rottura del bordo del CLS	134,78	173,96	78	OK

Tab.9.62 Verifiche ai carichi di taglio

CARICHI COMBINATI DI TAGLIO E TRAZIONE

	β_n	β_v	α	Utilizzo β_v [%]	Stato
Rottura dell'acciaio	0,14	0,94	1,00	90	OK

Tab.9.63 Verifiche ai carichi di combinati di taglio e trazione

PROGETTO ERGOTECNICO

10

Questo capitolo tratta i principi ergotecnici su cui si intende basare il progetto. Nella prima parte viene affrontata in maniera schematica l'organizzazione del cantiere in quota, intesa come attività finalizzata ad individuare e realizzare tutti gli apprestamenti e gli impianti necessari a garantire il funzionamento del luogo di lavoro nel suo complesso, nell'ottica anche dell'ipotesi di allestire un campo base in quota con la presenza stabile delle maestranze anche al di fuori dell'orario lavorativo. Nella seconda parte si provvede invece alla computazione, sia dal punto di vista dei costi, che delle tempistiche di lavorazione, della struttura dell'edificio (plinti in CLS, struttura in acciaio, struttura in X-lam e struttura in legno lamellare). Il computo metrico tiene conto dei costi dei materiali di costruzione, della manodopera e del trasporto di merci e persone al sito di progetto a mezzo di elicottero.



10.1 ORGANIZZAZIONE DEL CANTIERE

Le scelte progettuali ed organizzative del cantiere in quota adottate in materia di salute e sicurezza sul lavoro dovranno attenersi ad un Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC), come per un normale intervento edilizio, e pertanto ricadranno nei compiti e nelle responsabilità di un Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione (CSP) e di esecuzione (CSE).

Si definisce “Campo base” l’area del cantiere in cui vengono gestite tutte le attività tecnico-amministrative ed i servizi del personale. Il campo base dovrà essere mantenuto per tutta la durata dei lavori per poter garantire i servizi necessari alla gestione del cantiere ed all’alloggiamento del personale in quota. Esso sarà posto in prossimità dell’area di intervento, per facilitarne il raggiungimento negli orari lavorativi (Fig. 10.1). L’area del campo base non dovrà essere in genere utilizzata per svolgere attività lavorative vere e proprie, ma solamente attività propedeutiche alle lavorazioni stesse o attività di tipo gestionale.

Si definiscono invece “Aree di intervento” le aree in cui vengono svolte sia le attività vere e proprie afferenti alla costruzione del rifugio, sia le attività propedeutiche e complementari ai lavori. Per il caso studio si possono individuare le seguenti aree di intervento complementari all’area di intervento vera e propria del cantiere:

- Area per l’utilizzo dell’elicottero: è l’area nella quale avvengono le manovre di decollo/atterraggio dell’elicottero per il trasporto del personale e per le manovre di carico/scarico di materiali o attrezzature (lavoro al gancio, Fig. 10.2). Per quanto riguarda le manovre di atterraggio/decollo dell’elicottero deve essere individuata un’elisuperficie;
- Area di stoccaggio dei materiali: è l’area destinata allo stoccaggio temporaneo di materiali, attrezzature e macchinari a supporto del “Campo base” frequentata dai lavoratori saltuariamente per le attività di prelievo, carico e scarico.

Per quanto riguarda l’organizzazione del cantiere, questa si tratta dell’attività volta ad individuare e realizzare tutti gli apprestamenti e gli impianti a rete necessari per garantire la salute e la sicurezza sul luogo di lavoro. Si prevede quindi l’organizzazione sia del campo base che delle aree di intervento, pianificandole come un classico cantiere edile o di ingegneria civile e tenendo conto di tutti gli aspetti di organizzazione quali:

- Recinzioni: la tipologia di recinzione dovrà essere

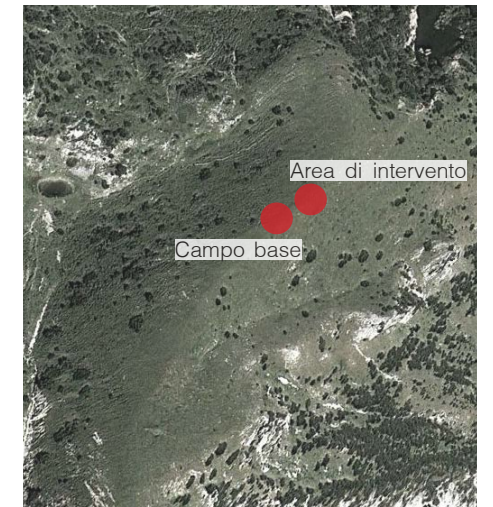


Fig.10.1 Localizzazione di massima dell’area di intervento e del campo base



Fig.10.2 Lavoro al gancio in elicottero

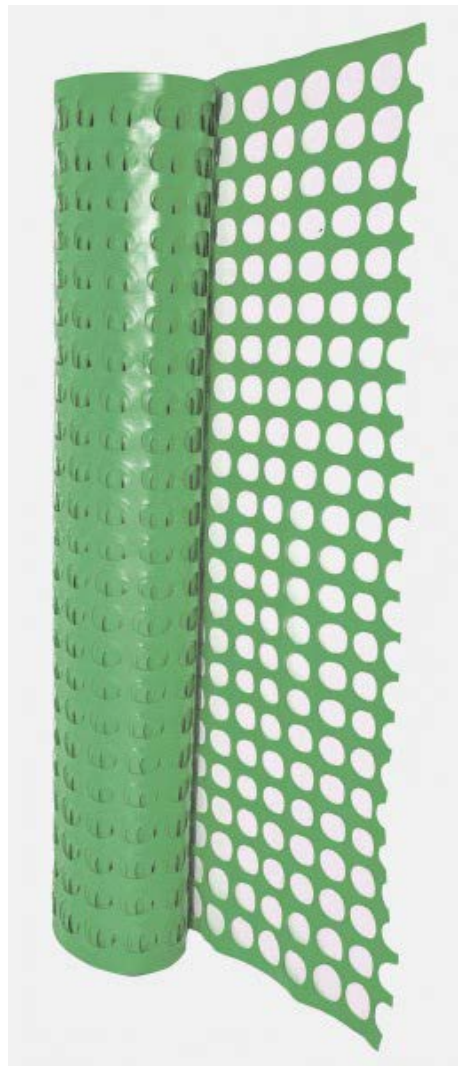


Fig.10.3 Rete plastificata forata di colore verde

realizzata verificando in maniera preventiva le disposizioni del regolamento comunale edilizio vigente contenente le indicazioni sulla realizzazione delle recinzioni di cantiere, utilizzando una rete plastificata traforata di colore verde (Fig.10.3) per diminuire l'impatto visivo, sorretta da sostegni in legno di materiale compatibile con l'ambiente circostante di altezza comunque non inferiore a 1,5 metri tenendo conto del fatto che il cantiere è ubicato in una zona isolata e difficilmente accessibile.

Per tutte le aree in cui è previsto l'utilizzo temporaneo dell'elicottero, non sono previste di norma recinzioni di alcun tipo dal momento che il flusso d'aria del rotore potrebbe sollevare e sollecitare pericolosamente le strutture di sostegno e la stessa rete di recinzione. Laddove l'elicottero debba eseguire la manovre in aree in cui siano presenti recinzioni, ad esempio scarico/carico di materiali, si dovrà verificare che le recinzioni siano in ogni caso resistenti e ben ancorate al terreno. E' opportuno inoltre che anche nelle immediate vicinanze non siano presenti strutture ed elementi che possano essere sollevati dal vento o possano ostacolare le manovre dell'elicottero;

- Segnaletica di sicurezza: dovrà necessariamente essere esposta la segnaletica di sicurezza di prescrizione e generale riguardante divieto e pericolo, prevedendo anche la segnaletica di divieto e di pericolo rivolta ai non addetti ai lavori, quali ad esempio il divieto di accesso per persone estranee quali potrebbero essere escursionisti incuriositi dal cantiere. Al fine di segnalare ad eventuale personale in transito l'area in cui viene utilizzato temporaneamente l'elicottero, verrà posizionata una corda segnaletica resistente, visibile e ben ancorata a terra che circoscriva l'area di manovra ad un'adeguata distanza. Si provvederà, inoltre, l'individuazione di un'area quale "luogo sicuro", preposta alla raccolta del personale in occasione delle manovre di atterraggio, di decollo o in generale di manovra dell'elicottero;
- Accessi e viabilità interna: in genere con vie di accesso si vanno ad indicare i percorsi veicolari e pedonali che dalle vie della viabilità ordinaria (strade pubbliche o private) permettono il raggiungimento delle varie aree del cantiere (campo base e aree di intervento). Nel caso oggetto di studio ci si trova in una situazione anomala, nella quale non vi è la previsione di presenza di mezzi d'opera in movimento, ad eccezione di un mini-escavatore tipo "Komatsu PC09-1" (Fig.10.4) del peso di 9 quintali necessario ad eseguire lo scavo delle 40 buche destinate ad allocare i plinti di sostegno della struttura. Inoltre non vi è presenza di viabilità ordinaria trattandosi di un cantiere isolato alle pendici di



Fig.10.4 Miniescavatore Komatsu PC09-1

una montagna. Pertanto non saranno individuati percorsi riservati ai pedoni, ai mezzi o misti, in quanto non è prevista la contemporanea presenza di mezzi e personale se non per una breve fase iniziale di cantiere, durante la quale gli spostamenti saranno regolati da personale a terra;

- Impianti a rete in cantiere (elettricità e impianti di terra, acqua e gas): per impianti a rete si intendono gli impianti elettrici di cantiere, di messa a terra e di protezione, le alimentazioni idriche e del gas e gli scarichi per i servizi igienico assistenziali. Questi impianti sono realizzati nel campo base, dove sono presenti le strutture logistiche e servizi igienico assistenziali. Nell'area di intervento non è presente alcun impianto a rete dal momento che la area sorge in una zona in cui non vi è possibilità di allacciamento alla rete locale. In assenza di impianti a rete, si adottano pertanto i seguenti apprestamenti:
 - per la fornitura di energia elettrica si installerà un gruppo elettrogeno semovente (Fig.10.5) di adeguata potenza, dotato dei necessari dispositivi per la limitazione delle emissioni sonore e dei prodotti di combustione;
 - per l'approvvigionamento idrico si farà ricorso a serbatoi (Fig.10.6) di dimensioni adatte al numero di personale addetto. L'acqua potabile sarà fornita tramite piccoli contenitori o bottiglie, così come i beni alimentari; i servizi saranno dotati di deposito di accumulo (acque chiare e WC chimici).
- Deposito dei materiali: l'area di deposito sarà individuata in maniera tale da consentire facilmente il transito del personale e le manovre per il carico e lo scarico della gru. L'area sarà delimitata e ben evidenziata ed i materiali dovranno essere disposti o accatastati in modo tale da evitare il crollo o il ribaltamento. All'interno dell'area di deposito si dovranno tenere ben separati i materiali da utilizzare per le attività, i rottami, le attrezzature e i materiali o sostanze pericolose.
- Servizi logistici ed igienico assistenziali: nel campo base deve essere assicurata anche la disponibilità di idonei servizi igienici assistenziali (bagni, docce, spogliatoi) ad uso collettivo. La dotazione minima prevista per i servizi igienico assistenziali è di 1 servizio igienico, 2 lavandini, 2 docce e una superficie adibita a locale spogliatoio di 8,40 m² nel caso di presenza stabile di 7 operai nel campo base. Dovranno essere previsti locali di riposo e per la ricreazione collettiva. In particolare i lavoratori dovranno disporre di un dormitorio costituito da una camera da letto singola, con annesso bagno completo di lavandino, wc, bidet e doccia, avente un'area minima di 7 m². Dovrà essere prevista la presenza di locali di ristorazione collettiva, costituiti da:
 - locale cucina di superficie minima pari a 20 m² al netto



Fig.10.5 Gruppo elettrogeno semovente silenzioso



Fig.10.6 Cisterna in polietilene per l'approvvigionamento idrico

dei locali dispensa e degli eventuali locali lavaggio stoviglie e settori di raccordo;

- locale dispensa adeguatamente dimensionato in base alla potenzialità della cucina ed al tipo di approvvigionamento delle derrate alimentari con superficie non inferiore ai 10 m²;
- sala da pranzo realizzata in modo tale che la distribuzione dei tavoli e delle sedie sia tale da consentire al consumatore una comoda assunzione dei cibi, assicurando una superficie di almeno 1,2 m² per ciascun posto a tavola.
- Gestione delle emergenze: è prevista la designazione di un incaricato presente nell'area in cui si sta svolgendo l'attività, formato per quanto riguarda l'attuazione delle misure di prevenzione incendi, salvataggio, primo soccorso e in generale gestione delle emergenze. Questo deve sempre essere dotato di apparecchio di comunicazione per eventuali richieste di soccorso. Presso il campo base dovrà essere allestito e mantenuto in condizioni di efficienza un presidio di primo soccorso dove dovranno essere ubicate la cassetta di pronto soccorso per le prime medicazioni, i pacchetti di medicazione, i cartelli con le informazioni generali ed i cartelli con le istruzioni sui soccorsi di emergenza.

10.2 COMPUTO METRICO

10.2.1 PREMESSA

Una delle criticità maggiori per la realizzazione del progetto è stata la questione relativa all'approvvigionamento dei materiali da costruzione sul sito di progetto, posto ad una quota di 1750 m s.l.m. e non raggiungibile con nessun mezzo via terra. Si è optato pertanto per una soluzione che prevedesse il trasporto in elicottero a partire da un punto di appoggio posto ad una quota inferiore, facilmente raggiungibile a mezzo di autocarro, ma quanto più possibile vicino all'Alpe Campione, per ridurre il tempo necessario a compiere una rotazione, fattore che influisce maggiormente nel calcolo della spesa finale in quanto per un mezzo di questo tipo il costo è valutato al minuto. La costruzione di rifugi avvalendosi del supporto di elicotteri è ormai una consuetudine negli ultimi decenni, grazie al progresso tecnologico raggiunto che ha permesso di abbatterne i costi. L'utilizzo di aeromobili per il rifornimento delle provviste necessarie in questo tipo di edifici è diventato ormai una prassi imprescindibile, in quanto le alternative allo stesso sono rappresentate esclusivamente dal trasporto a mezzo di animali, solitamente muli nella zona alpina, con un dispendio in termini di tempo e costi non equiparabile. Unico limite di questo tipo di movimentazione è rappresentato dalla necessità di condizioni di volo ottimali, quindi elevata visibilità e venti moderati, pena la necessità di rinviare il volo a quando le condizioni meteo sono favorevoli (un servizio offerto dagli operatori del settore senza costi aggiuntivi, vista l'aleatorietà dei fattori meteorologici).

Si è pertanto deciso di utilizzare come punto di appoggio il paese di Pasturo, posto ad una quota di 623 m s.l.m., facilmente raggiungibile a mezzo di autocarro in quanto localizzato in prossimità della strada provinciale SP62 e non distante dal sito di progetto (posto ad una distanza nell'ordine dei 6 minuti a rotazione in elicottero, cioè 3 minuti necessari per l'andata e 3 minuti necessari per il ritorno). Contattando alcune delle aziende di elitransporto della zona, si è constatato che il mezzo frequentemente utilizzato è un elicottero monomotore ECUREUIL AS 350 B3 avente una portata massima di 900/1000 kg a seconda della quota e della stagione (di fatto ad un aumentare della quota corrisponde una diminuzione della portata a causa della progressiva rarefazione dell'aria), e che permette di trasportare 5 passeggeri ed un pilota. Alla quota di 1750 m s.l.m. relativa all'Alpe Campione la portata massima è di 950 kg. L'elicottero ha un costo al minuto di 25,00 €/min. cui va sommato un 22% di IVA sul trasporto del materiale e un 10% di IVA sul

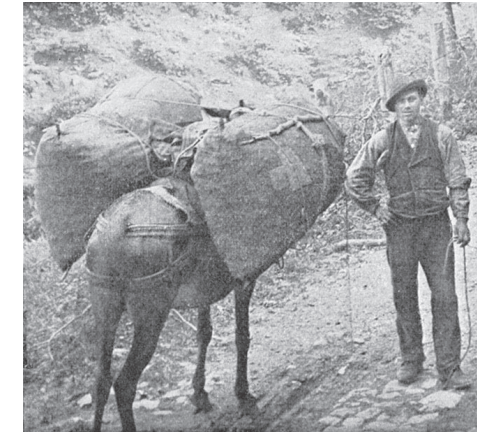


Fig.10.7 Testimonianza storica del trasporto a mezzo di mulo



Fig.10.8 Elicottero monomotore ECUREUIL AS 350 B3

trasporto delle persone. Come detto, per il percorso indicato, partendo da una quota di 623 m s.l.m. corrispondente a Pasturo ed arrivando alla quota di 1750 m s.l.m. corrispondente al sito di progetto, la rotazione necessaria per un trasporto è di circa 6 minuti, pertanto nel caso di trasporto merci con una spesa di 150,00 € + 22% di IVA pari a 183,00 € mentre nel caso di trasporto persone di 150,00 € + 10% di IVA pari a 165,00 €. A questi costi va aggiunto quello necessario al trasferimento dell'elicottero dalla base al punto di partenza della rotazione, quantificabile in 500 €.

Per quanto riguarda invece la squadra di operai che si è ipotizzato andare a lavorare in quota per la realizzazione della parte strutturale del rifugio, questa è composta da 7 elementi in totale: 1 caposquadra, 2 operai specializzati e 4 operai comuni. La scelta di optare per questo numero di lavoratori è parsa ottimale in quanto, trattandosi di un'area di progetto di dimensioni relativamente limitate e vista la necessità di portare in quota il minor numero di attrezzature possibili per diminuire i costi di trasporto, un numero maggiore di operai avrebbe rappresentato un fattore più di criticità che un vantaggio mentre un numero inferiore di lavoratori avrebbe comportato una lievitazione dei tempi di posa in opera con il conseguente rischio di dover andare a spezzare l'intervento edilizio su due annate differenti. L'obiettivo è infatti quello di andare a realizzare l'intera opera nell'arco dei 7 mesi di orario legale (da Aprile a Ottobre) nei quali sono garantite le condizioni atmosferiche ottimali in un contesto così ostile. Si evita, così, di dover interrompere i lavori durante la stagione invernale, situazione che porterebbe la struttura in fase di realizzazione, e quindi senza le adeguate caratteristiche di ermeticità, al confronto con gli agenti atmosferici tipici di un contesto a 1750 m s.l.m., e quindi soggetto a forti raffiche di vento, nevicate e sbalzi termici, senza poterne prevedere le risposte. Per questo motivo si è optato per la disposizione di un campo base in quota per l'alloggio delle maestranze, con un incremento dell'orario lavorativo dalle 8 ore ordinarie giornaliere a 10 ore, prevedendo pertanto 2 ore di straordinario al giorno per ciascun operaio. Inoltre è stata prevista una rotazione ciclica fra due differenti squadre di 7 lavoratori ad intervalli regolari di 5 giorni (cioè con una prima squadra portata in quota il giorno 1 e riportata a valle il giorno 5 ed una seconda squadra portata in quota contemporaneamente alla discesa della prima squadra il giorno 5 e riportata a valle il giorno 10 in contemporaneità con la risalita della prima squadra, ripetendo il ciclo fino al termine del cantiere), in maniera tale da garantire l'avanzare del cantiere 7 giorni su 7 e 10 ore su 24.

10.2.2 PLINTI IN CLS

Per la realizzazione delle strutture di fondazione si è previsto di andare a gettare in opera 40 plinti indipendenti come indicato nel capitolo 9.7. La prima operazione da compiere in questa lavorazione è l'esecuzione di 40 scavi nel substrato roccioso finalizzati ad accogliere le armature ed il getto. Tale fase è da effettuarsi a mezzo di mini escavatore tipo "Komatsu PC09-1" del peso di 9 quintali, per poterne garantire il trasporto via elicottero, munito di benna per la rimozione della prima parte del substrato e martello demolitore idraulico integrato per la demolizione del substrato roccioso. Lo scavo dovrà essere eseguito con la massima precisione dimensionale, in quanto sarà lo stesso a prestarsi da cassera per il getto. Si è tenuto comunque conto nel calcolo della quantità di CLS impiegato di un incremento dello stesso del 20% rispetto agli 0,5 m³ del singolo plinto, per tener conto delle imprecisioni nello scavo. Il terreno e la roccia di risulta dalla fase di scavo saranno reimpiegati nell'area dell'imbarco della scala di sicurezza e del balcone per andare a creare un piano di posa orizzontale su cui disporre il rivestimento ligneo. La posa dei tirafondi avverrà in un secondo momento a maturazione del getto avvenuta, con perforazione per rotopercolazione ed inserimento di barre filettate, vista l'impossibilità di andare a garantire una precisione nella posa degli stessi nel momento del getto in una situazione di questo genere.

Nella computazione dei plinti in CLS si è tenuto conto del costo della lavorazione e del materiale relativi al getto in CLS e all'armatura e dei costi di trasporto in quota del materiale e delle maestranze. Per il calcolo del costo della lavorazione e del materiale si è fatto riferimento al "Prezziario informativo delle opere edili di Milano" pubblicato dalla camera di commercio di Milano, alla voce A.01.04.066 "Fornitura e posa in opera di calcestruzzo durevole per fondazioni armate (plinti, travi rovesce, platee, basamenti semplici) gettato con o senza l'ausilio di casseri, ferro e casseri da contabilizzare separatamente, confezionato con aggregati con diametro massimo inferiore o uguale a 32 mm e con classe di resistenza caratteristica minima a 28 giorni di maturazione C25/30" per un costo al m³ di 157,00 €/m³. Tale valore andrà moltiplicato per il volume di 0,5 m³ del singolo plinto, per il numero di 40 plinti ed incrementato del 20% per tenere conto della imprecisione dello scavo ottenendo:

$$C_{\text{calcestruzzo}} = 3768,00 \text{ €}$$

Alla voce A.01.04.1066 "Fornitura e posa in opera di acciaio qualità B450C presagomato secondo norma UNI EN 13670 del



Fig.10.9 Miniescavatore con martello demolitore integrato

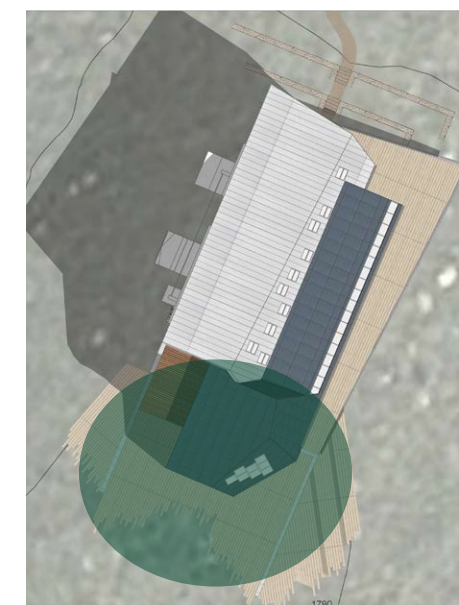


Fig.10.10 Area di reimpiego del materiale di risulta dello scavo

n.371" per un costo alla tonnellata di 1510,00 €/t. Tale valore andrà moltiplicato per il peso relativo alle 8 barre Ø20 in acciaio B450C di lunghezza 2,8 m ciascuna di ogni plinto, tenendo conto del peso al metro lineare dei tondini Ø20 di 2,466 kg/m, ottenendo:

$$C_{\text{acciaio}} = 3336,40 \text{ €}$$

Per un totale di:

$$C_{\text{materiale+manodopera}} = 7104,40 \text{ €}$$

Tale costo dei materiali e delle lavorazioni andrà però incrementato nella percentuale relativa al costo della manodopera, in quanto i valori di costo unitari di 157,00 €/m³ e di 1510,00 €/t non tengono conto del fatto che si sta lavorando nelle ipotesi di:

- orari di lavoro di 10 ore giornaliere;
- lavoro nei giorni festivi;
- lavoro in trasferta.

Facendo riferimento al "Contratto collettivo nazionale di lavoro per i dipendenti delle imprese edili e affini" all'Art.19 "Lavoro straordinario, notturno e festivo" si avrà che le percentuali per lavoro straordinario e festivo sono le seguenti:

- lavoro straordinario diurno: 35%;
- lavoro festivo: 45%;
- lavoro festivo straordinario: 55%.

Oltre a questo incremento si deve tenere conto dell'indennità di trasferta, un'indennità giornaliera riconosciuta al lavoratore o collaboratore che viene inviato temporaneamente in un luogo diverso dalla sede contrattuale di lavoro per effettuare la propria prestazione di lavoro e che per la normativa fiscale (art. 51 del D.P.R. n. 917/1986) risulta essere pari a 46,48 €/gg per trasferte all'interno del territorio nazionale.

Andando pertanto a ricavare dal costo totale ottenuto il costo della sola manodopera, facendo riferimento all'art. 39 del DPR 207/2010 e all'art. 118 del D.lgs. 163/2006 (Tab.10.1) che affermano che l'incidenza percentuale della manodopera nel caso di opere edili è pari al 40%, sarà possibile incrementare lo stesso di una percentuale relativa all'incremento di costo dovuto al lavoro straordinario e festivo, pari a 15,56% nell'arco dell'intera settimana, e di un costo giornaliero di indennizzo pari a 325,36 €/gg per 7 lavoratori. Si otterrà pertanto il seguente valore di costo totale relativo alla manodopera ed ai materiali:

Lavorazione	Incidenza percentuale
Edilizia	
Opere edili	40%
Infissi	18%
Impianti tecnologici	27%
Strutture in acciaio	46%
Coperture particolari	30%
Ascensori	16%
Opere urbanizzazione	
Scavi e movimenti terra	18%
Marciapiedi e pavimentazioni esterne	45%
Condotte idrauliche esterne	30%
Fognatura esterna	38%
Illuminazione pubblica	25%
Opere a verde	30%
Recinzioni	45%

Tab.10.64 Incidenza percentuale della mano d'opera individuata con riferimento alle tabelle di ripartizione approvate dal Ministero dei lavori pubblici

$$C_{\text{materiale+manodopera}} = 8197,30 \text{ €}$$

A tale costo, va aggiunto il costo relativo al trasporto in elicottero dei materiali. I materiali da trasportare in quota saranno l'acciaio di armatura B450C per un totale di 2209,54 kg, equivalente a 3 rotazioni di elicottero, ed il calcestruzzo C25/30 per un totale di 57600 kg (24 m³ di densità pari a 2400 kg/m³), equivalente a 72 rotazioni nell'ipotesi di utilizzare una benna per calcestruzzo per elicottero con catena di portata massima pari a 800 kg (peso a pieno carico 875 kg). Complessivamente dovranno essere computate 75 rotazioni e 2 uscite, in quanto la lavorazione verrà distribuita su due giorni e vista l'impossibilità di stoccare un materiale come il calcestruzzo. Ricordando le considerazioni fatte in precedenza, per il trasporto merci si avrà un costo a rotazione di 183,00 €, ed un costo necessario al trasferimento dell'elicottero dalla base al punto di partenza della rotazione di 500 € ottenendo

$$C_{\text{trasporto merci}} = 14725,00 \text{ €}$$

Resta infine da quantificare il costo relativo al trasporto delle maestranze in quota. Ricordando le considerazioni fatte in precedenza, per il trasporto persone si avrà un costo a rotazione di 165,00 € cui andranno sommati i 500 € per il trasferimento dell'elicottero. Tenendo inoltre conto del fatto che si sta ipotizzando l'utilizzo di un elicottero monomotore ECUREUIL AS 350 B3 avente una portata massima di 5 passeggeri escluso il pilota, sarà necessario compiere 2 rotazioni ad ogni trasferimento, essendo la squadra composta da 7 operai. Il fatto che il trasferimento della prima squadra avvenga in

contemporanea con quello della seconda permette di andare ad ottimizzare i viaggi in elicottero, comprendendo all'interno delle due rotazioni sia i viaggi necessari al trasporto a valle che quelli necessari al trasporto a monte.

Per poter procedere al calcolo del numero di rotazioni necessarie è necessario conoscere la durata dell'intera lavorazione. Questa può essere ricavata facendo riferimento all'incidenza della manodopera del 40%, ottenendo il costo totale della manodopera espresso in € e suddividendoli poi per i costi unitari delle maestranze ottenuti da prezzario, che sono rispettivamente:

- Caposquadra: 37,07 €/h;
- Operaio specializzato: 35,23 €/h;
- Operaio comune: 29,72 €/h.

Ottenendo una durata della lavorazione

$$D_{\text{lavorazione}} = 2 \text{ gg}$$

Le rotazioni necessarie al trasporto delle persone durante questa lavorazione, ricordando che lo stesso avviene ciclicamente ogni 5 giorni ed in contemporanea, saranno in totale 4, corrispondenti a 2 trasferimenti dell'elicottero. Si avrà pertanto un costo totale per il trasporto delle persone di:

$$C_{\text{trasporto persone}} = 1660,00 \text{ €}$$

Complessivamente il costo totale relativo alla lavorazione, comprensivo di manodopera, materiale e trasporto merci e persone sarà pari a

$$C_{\text{totale lavorazione}} = 24582,30 \text{ €}$$

Con una durata della stessa

$$D_{\text{lavorazione}} = 2 \text{ gg}$$

10.2.3 STRUTTURA IN ACCIAIO

Per quanto riguarda la struttura in acciaio, si riveda il capitolo 9.6 per i dettagli relativi alla stessa. Riassumendo brevemente si tratta di andare a trasportare in quota elementi con giunti del tipo a "giunto flangiato", sia per quanto riguarda gli elementi trave che per quanto riguarda gli elementi colonna, e provvedere all'imbullonatura in quota degli stessi, creando un collegamento della maglia tridimensionale con i plinti in CLS a mezzo di

ancoraggi con barre filettate HIT-V M12 in acciaio zincato.

Per il calcolo del costo della lavorazione dell'acciaio si è fatto riferimento al "Capitolato speciale tipo per appalti di lavori edilizi" pubblicato dal Ministero competente. Nel prezzo dei lavori in metallo è compreso ogni e qualunque compenso per forniture ed accessori, per lavorazioni, montatura e posa in opera, l'esecuzione dei necessari fori ed incastri nelle murature, le impiombature e suggellature, le malte di cemento speciale, nonché la fornitura del piombo e dell'impiombatura. In particolare i prezzi dei travi o pilastri o colonne in ferro con qualsiasi profilo, valgono anche in caso di eccezionale lunghezza, grandezza o sezione delle stesse ed in caso di tipi per cui occorra una

	Peso unitario [kg/m]	N°elementi	Lunghezza [m]	Peso totale [kg]	Costo [€]
IPE240	30,70	69	198,16	6083,51	25550,75
IPE300	42,20	28	112,29	4738,64	19902,28
IPE360	57,10	20	98,37	5616,93	23591,09
HEB260	93,00	25	79,72	7413,96	31138,63
Tondo219	31,00	22	105,57	3272,67	13745,21
TOTALE		164	594,11	27125,71	113927,97

Tab.10.65 Costi della lavorazione determinati in riferimento al "Capitolato speciale tipo per appalti di lavori edilizi" pubblicato dal Ministero competente

apposita fabbricazione.

Si avrà pertanto un costo unitario di 4,20 €/kg che andrà moltiplicato per il peso totale della struttura in acciaio, ottenuto dalla somma dei pesi dei singoli elementi, ottenendo (Tab.10.2) Anche tale costo dei materiali e della lavorazione andrà incrementato nella percentuale relativa al costo della manodopera, in quanto il valore di costo unitario di 4,20 €/kg non tiene conto delle ipotesi precedenti. Andando pertanto a ricavare dal costo totale ottenuto in tabella il costo della sola manodopera, facendo riferimento all'art. 39 del DPR 207/2010 e all'art. 118 del D.lgs. 163/2006 (Tab.10.1) che affermano che l'incidenza percentuale della manodopera nel caso di strutture in acciaio è pari al 46%, sarà possibile incrementare lo stesso di una percentuale relativa all'incremento di costo dovuto al

	Peso unitario [kg/m]	N°elementi	Lunghezza [m]	Peso totale [kg]	Costo [€]
IPE240	30,70	69	198,16	6083,51	30307,81
IPE300	42,20	28	112,29	4738,64	23604,33
IPE360	57,10	20	98,37	5616,93	27882,53
HEB260	93,00	25	79,72	7413,96	36946,37
Tondo219	31,00	22	105,57	3272,67	16355,84
TOTALE		164	594,11	27125,71	129891,12

Tab.10.66 Costi calcolati in Tab.10.2 incrementati dei costi dovuti al lavoro straordinario e festivo, e dei costi di indennizzo

lavoro straordinario e festivo, pari a 15,56% nell'arco dell'intera settimana, e di un costo giornaliero di indennizzo pari a 325,36 € per 7 lavoratori. Si otterranno pertanto i seguenti valori di costo relativi alla manodopera ed al materiale (Tab.10.3)

Ottenendo pertanto un valore di costo del materiale e della lavorazione totale pari a

$$C_{\text{materiale+manodopera}} = 129891,12 \text{ €}$$

A tale costo, va aggiunto il costo relativo al trasporto in elicottero delle merci, quantificato andando ad ottimizzare il numero di elementi in acciaio trasportabili ad ogni rotazione, per un totale di 30 viaggi in elicottero. Ricordando le considerazioni fatte in precedenza, per il trasporto merci si avrà un costo a rotazione di 183,00 € cui andrà sommato, ipotizzando di trasportare in quota tutti gli elementi metallici in una sola giornata e stocarli nell'apposita area di deposito posta in quota, il costo necessario al trasferimento dell'elicottero dalla base al punto di partenza della rotazione di 500 €.

$$C_{\text{trasporto merci}} = 5990,00 \text{ €}$$

Quantificando il costo relativo al trasporto delle maestranze in quota come nel caso del plinto, ricordando che per il trasporto persone si avrà un costo a rotazione di 165,00 € cui andranno sommati i 500 € per il trasferimento dell'elicottero, e ricavando la durata della lavorazione facendo riferimento all'incidenza della manodopera del 46%, si otterrà una durata della lavorazione di

$$D_{\text{lavorazione}} = 24 \text{ gg}$$

Le rotazioni necessarie al trasporto delle persone durante questa lavorazione, ricordando che lo stesso avviene ciclicamente ogni 5 giorni ed in contemporanea, saranno in totale 12, corrispondenti a 6 trasferimenti dell'elicottero.

Si avrà pertanto un costo totale per il trasporto delle persone in quota di:

$$C_{\text{trasporto persone}} = 4980,00 \text{ €}$$

Complessivamente il costo relativo alla lavorazione, comprensivo di manodopera, materiale e trasporto merci/persone sarà pari a

$$C_{\text{totale lavorazione}} = 140861,12 \text{ €}$$

Con una durata della stessa

$$D_{\text{lavorazione}} = 24 \text{ gg}$$

10.2.4 SOFTWARE DIETRICH'S 3D-CAD/CAM

Per la computazione della struttura in legno (struttura a telaio in legno lamellare e struttura in X-lam) si è deciso di appoggiarsi ad un software specifico per l'ingegneria civile in legno, Dietrich's 3D-CAD/CAM (Fig. 10.11), grazie alla collaborazione avviata con la segheria Mariana Franco di Andalo (SO), che ci ha permesso di usufruire delle postazioni di lavoro munite di licenze presso il proprio ufficio tecnico, mostrando estremo interesse per la nostra idea di progetto e grande disponibilità.

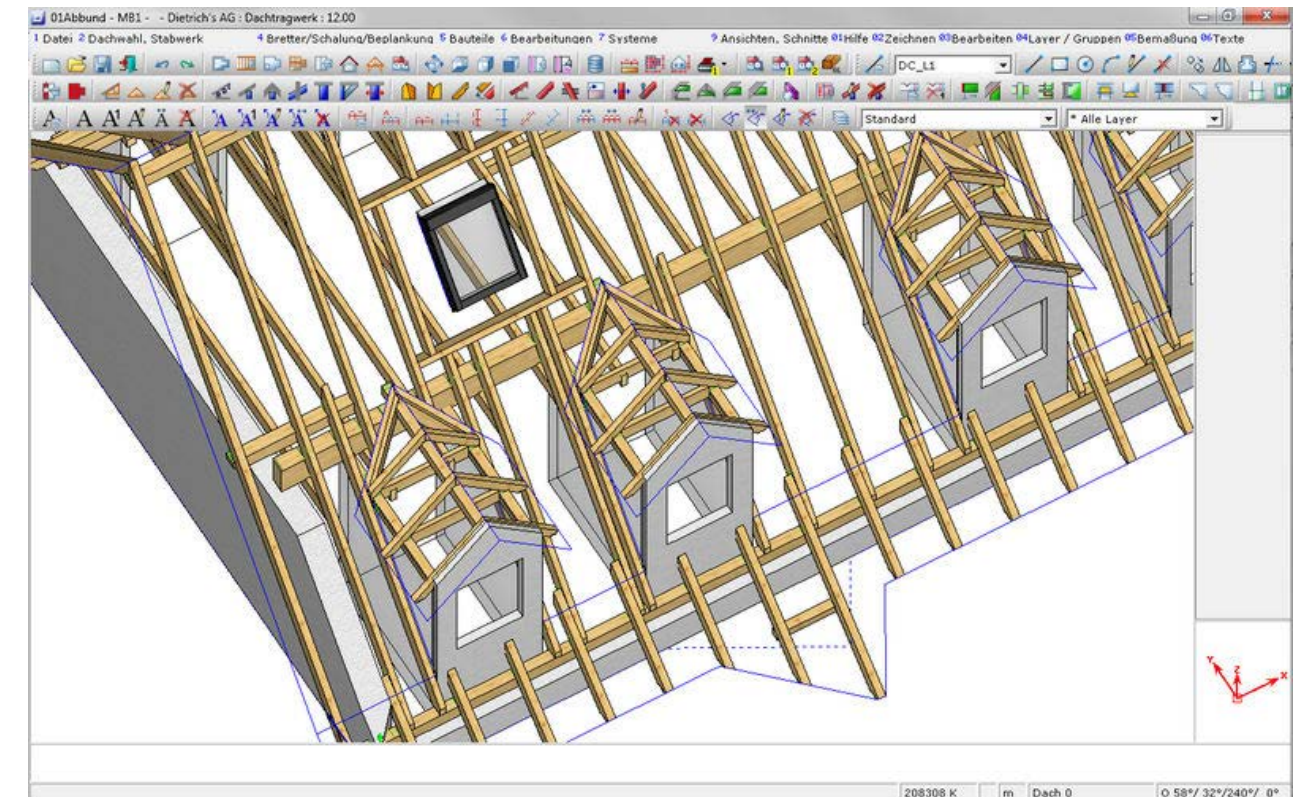


Fig.10.11 Interfaccia grafica del software 3D-CAD/CAM, caratterizzata dalla possibilità di lavorare nello spazio tridimensionale

Il software Dietrich's 3D-CAD/CAM è appunto un software studiato per l'ingegneria civile del legno che va oltre la costruzioni di tetti pareti e solai, fornendo la possibilità di trasferire ogni progetto nel minimo dettaglio ai macchinari che lavorano travi e pannelli. La potenzialità di questo programma sta nella possibilità di andare a progettare liberamente nello spazio tridimensionale qualsiasi tipo di struttura in legno, sia che si tratti di struttura telaio, struttura a pannelli tipo X-lam, o anche una combinazione delle due tipologie costruttive, senza alcun limite. E' disponibile un'attrezzatura virtuale che permette di eseguire a livello di progetto ogni tipo di lavorazione possibile sul legno a livello di giunzione, come se ci si trovasse a lavorare in un vero e proprio centro di taglio. La visualizzazione 3D permette inoltre di potersi muovere in qualsiasi momento all'interno della costruzione, aiutando ad evitare errori grazie alla visione d'insieme del

progetto e permettendo di effettuare degli itinerari "virtuali". Ciò non prescinde che dallo stesso modello sia possibile esportare piante e sezioni dettagliate con le quote necessarie ad una cantierizzazione della struttura, e stampare distinte con le misure e le caratteristiche del materiale al singolo elemento/ pannello permettendo di ridurre al minimo il margine di errore di una computazione metrica.

La prima fase della collaborazione con la segheria Mariana Franco ha permesso di analizzare in maniera critica quello che era un progetto di tipo architettonico nell'ottica di renderlo un progetto anche ingegneristico, garantendone la sostenibilità strutturale. In questa fase ancora non si è fatto riferimento al software Dietrich's 3D-CAD/CAM, ma è stato reso possibile un confronto con gli ingegneri dell'ufficio tecnico per valutare quante delle nostre ipotesi fossero realizzabili e quante invece fossero migliorabili, in un processo di dialogo che ha permesso di implementare le conoscenze generali in materia "legno", portando a modifiche anche rilevanti dell'idea architettonica iniziale ed arrivando ad un'ipotesi di struttura definitiva. Nello specifico è stato proprio grazie alle informazioni fornite dalla segheria che la scelta della tecnologia costruttiva da utilizzare nelle chiusure verticali è passata da una struttura a telaio leggera, come da nostra prima ipotesi, ad una struttura a pannelli X-lam. Tale scelta, in apparenza opinabile, è stata frutto di valutazioni oggettive e di carattere parametrico nell'ottica di ottimizzare al meglio la realizzazione dell'idea di progetto, sia dal punto di vista ergotecnico che strutturale. Di fatto si è preferito utilizzare pannelli X-lam in quanto, a parità di prestazioni strutturali ed energetiche, la differenza di peso (molto influente vista la necessità di trasporto a mezzo di elicottero) e di costo è praticamente nulla (a differenza di quanto calcolato in prima ipotesi), per il fatto che volendo realizzare delle superfici interne faccia a vista in legno questo tipo di soluzione ci avrebbe permesso di sfruttare direttamente il pannello strutturale come finitura interna, mentre una soluzione a telaio leggero avrebbe comportato la necessità di una controparete interna con rivestimento in listelli con un conseguente aumento dei costi in termini di peso del pacchetto, materiali e posa in opera dei listelli stessi. Inoltre la valutazione del peso unitario del pacchetto parete a telaio leggero rappresenta sempre un'approssimazione della realtà, in quanto prende in considerazione una stratigrafia di riferimento con soli montanti ad interasse costante, trascurando di fatto il peso dei traversi da posizionare in prossimità di qualsiasi apertura e passaggio di piano all'incontro del solaio successivo. Resta infine da considerare la variabile data dai costi di progettazione, che nella tecnologia a pareti leggere a telaio lievita notevolmente rispetto a quella a pannelli X-lam in

quanto devono essere previste soluzioni specifiche per ogni singola apertura per il discorso detto sopra, che comporta un dispendio in termini di tempo ben maggiore.

Nella seconda fase della collaborazione si sono trasferite tutte le ipotesi fatte a livello concettuale e architettoniche nel software Dietrich's 3D-CAD/CAM, materializzando di fatto la reale struttura del rifugio. Per quanto riguarda i pannelli pieni in X-lam i vincoli da rispettare nella progettazione sono stati:

- dimensioni massime del pannello tipo BBS XL Binderholz pari a 3,50 m di larghezza e 22,00 m di lunghezza;
- peso massimo del singolo pannello di 950 kg per permetterne il trasporto e la posa in opera (nei casi in cui sia possibile direttamente senza il supporto della gru) via elicottero fino al sito di progetto;
- limitazioni di carattere ergotecnico, in quanto si è dovuto pensare ad una situazione di cantiere progressiva in cui fosse possibile posare in maniera sequenziale i pannelli procedendo dalla quota inferiore a livello del terreno verso la quota superiore della copertura, in maniera tale da poter sfruttare nella posa in opera di ogni piano successivo il piano di appoggio offerto dal piano immediatamente inferiore, in modo da evitare dove possibile il montaggio di ponteggi, limitandosi all'utilizzo di dispositivi di protezione individuali anti caduta quali linee vita e funi auto avvolgenti.

Gli spessori di riferimento dei pannelli (pannello a 3 strati di 123 mm per le pareti e pannello a 5 strati di 160 mm per i solai) sono stati attribuiti secondo il risultato delle verifiche strutturali al capitolo 9.4. Per quanto riguarda invece i vincoli da rispettare nella progettazione di travi e pilastri in legno lamellare questi sono stati esclusivamente di carattere ergotecnico, con la stessa logica descritta per i pannelli X-lam. Va inoltre ricordato, come già detto nel capitolo 9.5, che per un'ottimizzazione dal punto di vista ergotecnico è previsto che gli elementi della struttura lignea a telaio vengano portati in quota, quando possibile, già assemblati, in maniera tale da effettuare a valle la maggior parte delle lavorazioni relative alle connessioni di travi e pilastri ed ottimizzarne il trasporto. Le dimensioni di riferimento degli elementi in legno lamellare sono state attribuite secondo il risultato delle verifiche strutturali al capitolo 9.5.

Il modello che ne è risultato è mostrato nelle figure seguenti (Fig.10.12, Fig.10.13, Fig.10.14, Fig.10.15, Fig.10.16, Fig.10.17), poste in sequenza secondo la logica ergotecnica che si è pensato di seguire in fase di montaggio della struttura, che vede la ripetizione delle seguenti fasi partendo dal piano controterra e proseguendo fino al piano copertura:



Fig.10.12 Fasi 1 e 2

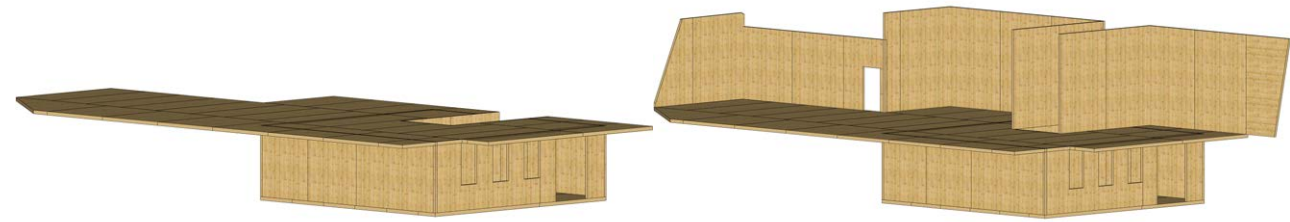


Fig.10.13 Fasi 3 e 4

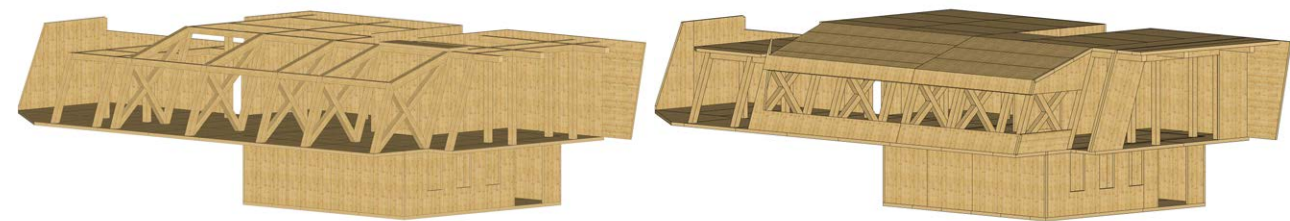


Fig.10.14 Fasi 5 e 6

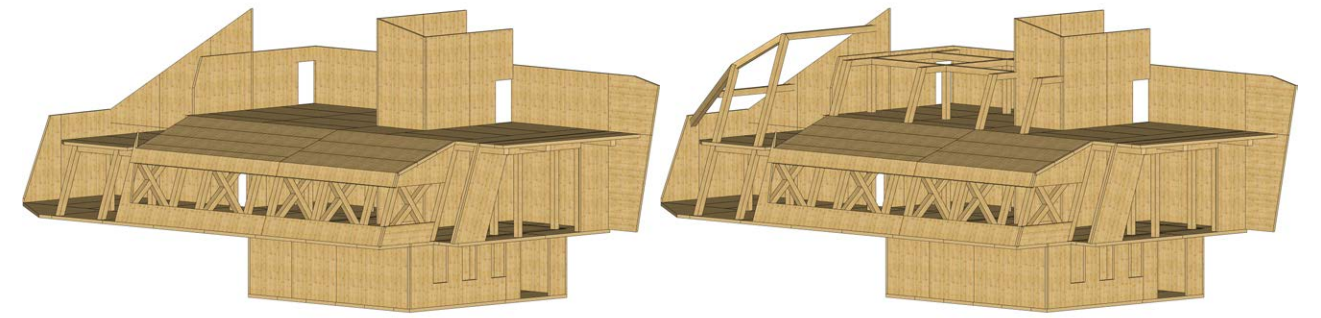


Fig.10.15 Fasi 7 e 8

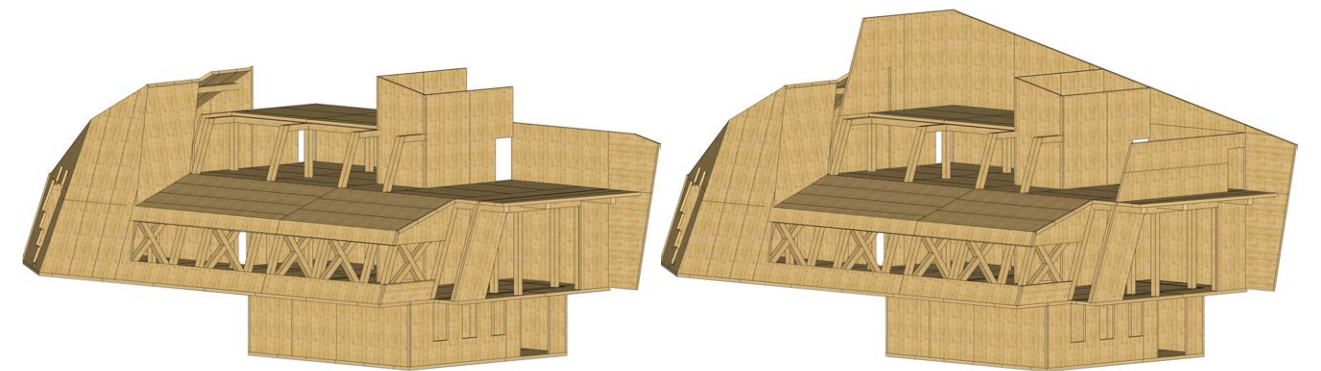


Fig.10.16 Fasi 9 e 10

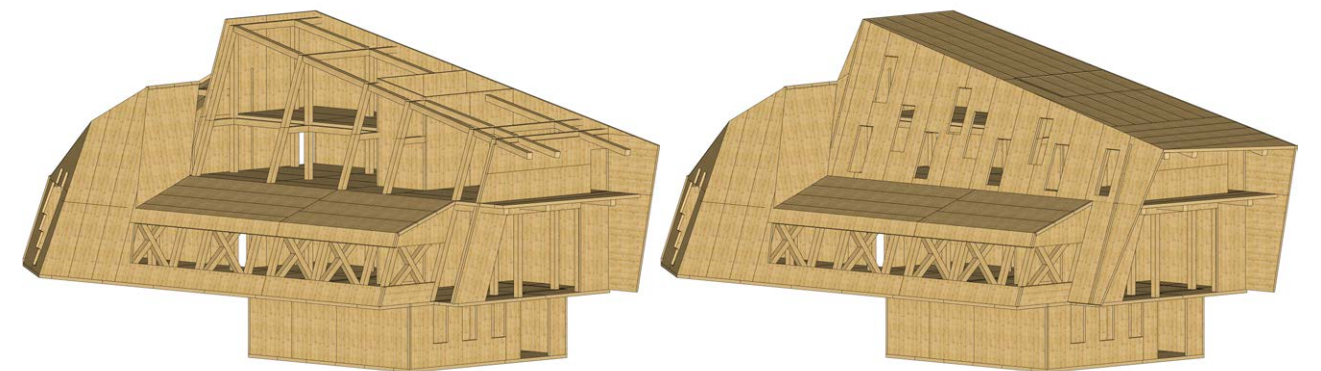


Fig.10.17 Fasi 11 e 12

- Posa dei pannelli X-lam relativi al solaio;
- Posa dei pannelli X-lam relativi alle chiusure verticali/inclinate;
- Posa di travi e pilastri in legno lamellare.

Grazie alla potenzialità del software Dietrich's 3D-CAD/CAM è stato possibile esportare direttamente dal modello 3D le distinte relative ai pannelli X-lam ed alle travi e pilastri in legno lamellare. A titolo esemplificativo si mostrano nelle seguenti tabelle (Tab.10.4 e Tab.10.5) i valori relativi ai dati in output forniti dal programma di 10 pannelli X-lam sui 186 totali e di 10 elementi in legno lamellare sui 131 totali. Nella tabella Tab.10.4 sono visibili 3 colonne relative a superficie, volume e peso e 3 colonne relative a superficie reale, volume reale e peso reale. Il programma determina infatti in automatico superficie, volume e peso relativi al pannello X-lam di partenza prima della lavorazione, che rappresentano i dati relativi alla computazione in termini di costo del materiale, in quanto la stessa viene effettuata nel caso di pannelli pieni con il metodo del "vuoto per pieno", andando

Pannello	Identificazione	Spessore	Larghezza	Lunghezza	Quantità	Superficie	Volume	Peso
[n°]		[mm]	[m]	[m]	[n°]	[m ²]	[m ³]	[kg]
1	Pannello a 3 strati	120,00	1,60	9,49	1	15,18	1,82	819,90
2	Pannello a 3 strati	120,00	1,60	9,82	1	15,72	1,89	848,70
3	Pannello a 5 strati	160,00	1,20	11,19	1	13,43	2,15	966,60
4	Pannello a 5 strati	160,00	1,20	11,19	1	13,43	2,15	967,10
5	Pannello a 5 strati	160,00	1,20	10,42	1	12,50	2,00	900,00
6	Pannello a 3 strati	120,00	3,10	4,80	2	29,76	3,57	1.607,00
7	Pannello a 3 strati	120,00	3,50	4,80	2	33,60	4,03	1.814,40
8	Pannello a 3 strati	120,00	3,17	4,80	1	15,22	1,83	821,70
9	Pannello a 5 strati	160,00	2,20	6,00	11	145,20	23,23	10.454,40
10	Pannello a 5 strati	160,00	2,20	6,00	1	13,20	2,11	950,40

Tab.10.67 Dati di output per i pannelli X-lam

Elemento	Larghezza	Altezza	Lunghezza	Quantità	Superficie	Volume	Peso
[n°]	[mm]	[mm]	[m]	[n°]	[m ²]	[m ³]	[kg]
1	300	300	7,59	1	9,28	0,68	280,00
2	300	300	3,58	2	8,95	0,65	264,50
3	300	400	4,19	4	24,44	2,01	825,30
4	300	300	5,05	3	18,73	1,36	559,20
5	300	300	3,09	3	11,67	0,84	342,40
6	300	300	3,25	1	4,08	0,29	119,70
7	300	300	3,66	5	22,85	1,65	674,90
8	300	300	6,31	5	38,74	2,84	1163,60
9	300	300	8,23	2	20,10	1,48	607,20
10	300	300	8,55	1	10,45	0,77	315,70

Tab.10.68 Dati di output per la struttura reticolare in legno lamellare

a pagare cioè anche il materiale di risulta. Superficie reale, volume reale e peso reale sono invece i dati relativi al pannello X-lam risultato della lavorazione, e rappresentano i dati utili alla computazione del trasporto a mezzo di elicottero, in quanto il peso del materiale di risulta non andrà considerato in questa fase.

E' stato a questo punto possibile effettuare la computazione dei costi relativi alla struttura lignea disponendo di tutti i dati necessari.

10.2.5 STRUTTURA IN X-LAM

Per il calcolo del costo dei pannelli X-lam si è fatto riferimento al listino prezzi fornito dalla Binderholz relativo ai pannelli BBS XL che si è ipotizzato di utilizzare. Nello specifico si avrà un costo di 56 €/m² per i pannelli a 3 strati di spessore 123 mm ed un costo di 75 €/m² per i pannelli a 5 strati di spessore 160 mm. Questi valori andranno moltiplicati per le relative superfici, in un'ottica di computazione "vuoto per pieno" che sono rispettivamente di 1100,41 m² per i pannelli a 3 strati di spessore 123 mm e 1271,38 m² per i pannelli a 5 strati di spessore 160 mm ottenendo:

$$C_{\text{materiale}} = 156976,46 \text{ €}$$

Per il costo della manodopera si è fatto invece riferimento ad un'analisi di mercato ed alle informazioni forniteci dalla segheria Mariana Franco, con un costo di 25 €/m², che andrà moltiplicato per la relativa superficie reale, non considerando la superficie di risulta, pari a 2085,77 m², ottenendo un valore di costo della manodopera pari a:

$$C_{\text{manodopera}} = 52144,25 \text{ €}$$

Si procederà quindi alla computazione della durata della lavorazione, andando a dividere il valore del costo della manodopera per il costo giornaliero della squadra di operai ottenendo:

$$D_{\text{lavorazione}} = 24 \text{ gg}$$

Come nella computazione dei plinti in CLS e della struttura in acciaio tale costo non tiene conto delle ipotesi precedenti su orari e giorni di lavoro. Si incrementerà pertanto lo stesso di una percentuale relativa all'incremento di costo dovuto al lavoro straordinario e festivo, pari a 15,56% nell'arco dell'intera settimana, e di un costo giornaliero di indennizzo pari a 325,36 € per 7 lavoratori, ottenendo

$$C_{\text{manodopera}} = 68066,54 \text{ €}$$

A tale costo va aggiunto il costo relativo al trasporto in elicottero delle merci, quantificato grazie alle distinte di Dietrich's 3D-CAD/CAM in 173 viaggi in elicottero corrispondenti a 5 uscite dello stesso in momenti diversi della lavorazione, trasportando ad ogni uscita i pannelli necessari al completamento di uno dei piani del rifugio, permettendo di procedere per step successivi dal basso verso l'alto come da ipotesi ergotecnica, in maniera tale da non stoccare nella zona adibita a deposita una quantità di materiale eccessiva. Ricordando le considerazioni fatte in precedenza, per il trasporto merci si avrà un costo a rotazione di 183,00 € cui andrà sommato il costo necessario al trasferimento dell'elicottero dalla base al punto di partenza della rotazione di 500 € ottenendo

$$C_{\text{trasporto merci}} = 34159,00 \text{ €}$$

Le rotazioni necessarie al trasporto delle persone durante questa lavorazione, ricordando che lo stesso avviene ciclicamente ogni 5 giorni ed in contemporanea, saranno in totale 12, corrispondenti a 6 trasferimenti dell'elicottero. Si avrà pertanto un costo totale per il trasporto delle persone di:

$$C_{\text{trasporto persone}} = 4980,00 \text{ €}$$

Complessivamente il costo totale relativo alla lavorazione, comprensivo di manodopera, materiale e trasporto merci e persone sarà pari a

$$C_{\text{totale lavorazione}} = 264182,00 \text{ €}$$

Con una durata della stessa

$$D_{\text{lavorazione}} = 24 \text{ gg}$$

10.2.6 STRUTTURA IN X-LAM

Per il calcolo del costo della lavorazione e del materiale si è fatto riferimento ad un'analisi di mercato ed alle informazioni forniteci dalla segheria Mariana Franco con un costo alla voce "Fornitura e posa in opera di struttura portante verticale ed orizzontale composta da pilastri e travi in legno lamellare trattato protettivo e tre mani di vernici ecologiche in dispersione acquosa. Compreso ancoraggio dei pilastri alla struttura di sottostante ed alle travi tramite piastre in acciaio zincato. Comprensivo di quanto altro occorre per il montaggio ed ogni altro onere e

magistero per dare l'opera finita a perfetta regola d'arte" di 900 €/m³ da moltiplicare per il volume di legno lamellare impiegato determinato dalle distinte pari a 49,21 m³ ottenendo:

$$C_{\text{materiale+manodopera}} = 44289,00 \text{ €}$$

Andando pertanto a ricavare dal costo totale ottenuto il costo della sola manodopera, facendo riferimento all'art. 39 del DPR 207/2010 e all'art. 118 del D.lgs. 163/2006 (Tab.10.1) che affermano che l'incidenza percentuale della manodopera nel caso di opere edili è pari al 40%, sarà possibile incrementare lo stesso di una percentuale relativa all'incremento di costo dovuto al lavoro straordinario e festivo, pari a 15,56% nell'arco dell'intera settimana, e di un costo giornaliero di indennizzo pari a 325,36 €/gg per 7 lavoratori. Si otterrà pertanto il seguente valore di costo totale relativo alla manodopera ed ai materiali

$$C_{\text{materiale+manodopera}} = 53783,25 \text{ €}$$

A tale costo va aggiunto il costo relativo al trasporto in elicottero delle merci, quantificato grazie alle distinte di Dietrich's 3D-CAD/CAM in 26 viaggi in elicottero corrispondenti a 5 uscite dello stesso in momenti diversi della lavorazione, trasportando ad ogni uscita i gli elementi necessari al completamento di uno dei piani del rifugio, permettendo di procedere per step successivi dal basso verso l'alto come da ipotesi ergotecnica in maniera tale da non stoccare nella zona adibita a deposita una quantità di materiale eccessiva. Ricordando le considerazioni fatte in precedenza, per il trasporto merci si avrà un costo a rotazione di 183,00 € cui andrà sommato il costo necessario al trasferimento dell'elicottero dalla base al punto di partenza della rotazione di 500 € ottenendo

$$C_{\text{trasporto merci}} = 7258,00 \text{ €}$$

Quantificando il costo relativo al trasporto delle maestranze in quota come nel caso del plinto, ricordando che per il trasporto persone si avrà un costo a rotazione di 165,00 € cui andranno sommati i 500 € per il trasferimento dell'elicottero, e ricavando la durata della lavorazione facendo riferimento all'incidenza della manodopera del 40%, si otterrà una durata della lavorazione di

$$D_{\text{lavorazione}} = 8 \text{ gg}$$

Le rotazioni necessarie al trasporto delle persone durante questa lavorazione, ricordando che lo stesso avviene ciclicamente ogni 5 giorni ed in contemporanea, saranno in totale 6, corrispondenti a 3 trasferimenti dell'elicottero. Si avrà pertanto un costo totale

per il trasporto delle persone di

$$C_{\text{trasporto persone}} = 2490,00 \text{ €}$$

Complessivamente il costo totale relativo alla lavorazione, comprensivo di manodopera, materiale e trasporto merci e persone sarà pari a

$$C_{\text{totale lavorazione}} = 63531,25 \text{ €}$$

Con una durata della stessa

$$D_{\text{lavorazione}} = 8 \text{ gg}$$

10.2.7 CONCLUSIONI

Nella seguente tabella Tab.10.6 sono riassunti i valori dei costi relativi ad ognuna delle quattro lavorazioni principali della struttura

	$C_{\text{materiale}}$	$C_{\text{manodopera}}$	$C_{\text{trasporto materiale}}$	$C_{\text{trasporto persone}}$	C_{totale}
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
Plinti in CLS	4262,64	3934,66	14725,00	1660,00	24582,30
Acciaio	61521,10	68370,02	5990,00	4980,00	140861,12
X-lam	156976,46	68066,54	34159,00	4980,00	264182,00
Lamellare	26573,40	27209,85	7258,00	2490,00	63531,25
TOTALE	249333,60	167581,07	62132,00	14110,00	493156,67
Incidenza %	50,56	33,98	12,60	2,86	100,00

Tab.10.69 Riassunto dei costi relativi alle lavorazioni con determinazione dell'incidenza percentuale

Com'è possibile vedere da un calcolo dell'incidenza percentuale, il costo che maggiormente influisce sulla spesa finale è rappresentato dal costo del materiale, con una percentuale del 50,56% sulla spesa totale. I costi relativi alla movimentazione a mezzo di elicottero hanno invece un'influenza del 15,46% per una spesa complessiva di 76242,00 €.

Complessivamente il costo totale della struttura, comprensivo di manodopera, materiale e trasporto merci e persone sarà pari a

$$C_{\text{totale struttura}} = 493156,67 \text{ €}$$

Con un tempo di realizzazione della stessa di

$$D_{\text{totale struttura}} = 58 \text{ gg}$$

PROGETTO IMPIANTISTICO

11

Viene di seguito proposta l'analisi degli elementi che compongono il sistema impiantistico del rifugio.

La progettazione è partita dallo studio del carico termico invernale che nel caso in analisi è quello più gravoso per l'impianto. Dopo aver definito l'entità del carico di progetto sui diversi ambienti si è proceduto al dimensionamento dei vari sistemi di riscaldamento, in particolare si è utilizzato il riscaldamento a pavimento per gli ambienti del piano terra, mentre per quelli al piano primo sono stati utilizzati pannelli a infrarossi.

Una volta definiti i terminali si è proceduto alla definizione degli elementi che compongono la rete di distribuzione e al calcolo della potenza richiesta dal sistema di generazione di calore. L'impianto che è stato deciso di utilizzare è un impianto ibrido che utilizza due fonti distinte di energia (solare e biomassa).

Definiti gli elementi che compongono il sistema di riscaldamento, si è passati allo studio degli elementi che formano l'impianto di trattamento dell'aria primaria dimensionando i diversi componenti in modo tale da garantire il corretto ricambio dell'aria all'interno dell'edificio.

Quindi si è dimensionato l'impianto per la produzione e la distribuzione dell'acqua calda sanitaria.

Altro tema affrontato è lo smaltimento delle acque reflue che ha portato alla definizione delle caratteristiche della rete di smaltimento e al calcolo dei sistemi di trattamento. Le acque attraversano un primo trattamento costituito da una vasca Imhoff che effettua la depurazione primaria delle acque che prima di essere immesse nell'ambiente subiscono un trattamento secondario costituito da un impianto di fitodepurazione a flusso sub-orizzontale.

L'ultimo componente del sistema impiantistico analizzato è stato l'impianto fotovoltaico dimensionato in modo tale da rendere l'edificio autosufficiente dal punto di vista energetico.

11.1 PREMESSA

Costruire un buon involucro termico per l'edificio permette, grazie al ridotto fabbisogno per riscaldamento e raffrescamento, di poter sfruttare meglio anche le tecnologie impiantistiche oggi a disposizione. Se quindi la riduzione dei fabbisogni energetici dell'edificio è il primo obiettivo di una costruzione ecologicamente sostenibile ed energeticamente autosufficiente, l'utilizzo di un'impiantistica moderna, efficiente e che faccia uso di energie rinnovabili è il passo successivo.

Nella progettazione dell'impianto è stata posta particolare attenzione nella scelta delle diverse tipologie di sistemi di generazione, regolazione e distribuzione delle diverse fonti energetiche in modo da poter ottimizzare i consumi per garantire l'autosufficienza dell'edificio.

11.2 FABBISOGNO TERMICO

Al fine del dimensionamento dell'impianto di condizionamento, è necessario definire il fabbisogno termico dell'intero edificio, ovvero la quantità di calore sensibile e latente che è necessario fornire o asportare per garantire le condizioni di comfort microclimatico all'interno dell'ambiente.

Per il calcolo del carico di progetto gravante sui diversi ambienti si è fatto riferimento alla normativa UNI EN 12831 che definisce la metodologia di calcolo del carico termico secondo un approccio che considera l'intero edificio al fine del dimensionamento del generatore di calore.

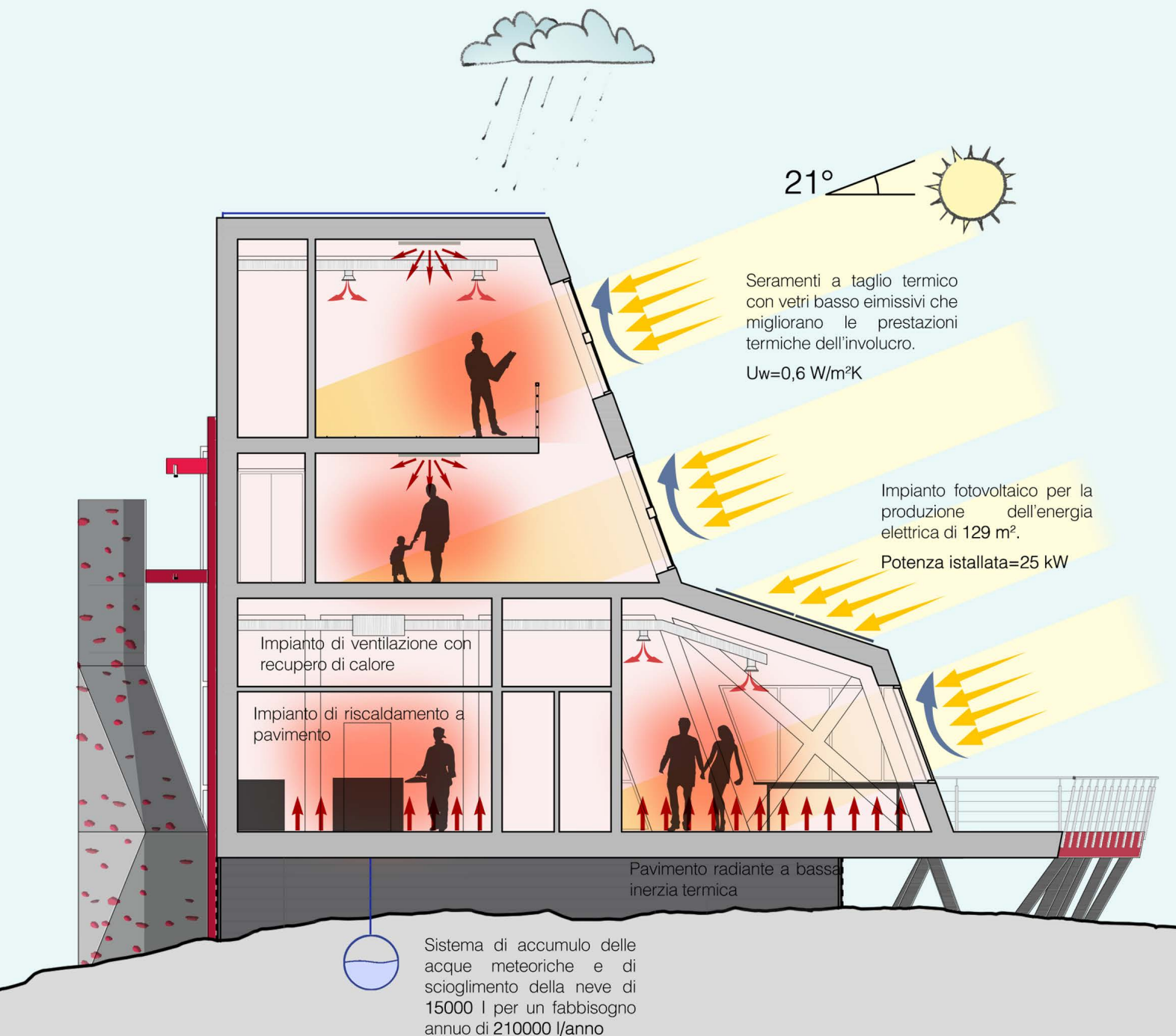
Dai risultati dello studio climatico emerge come il periodo estivo sia caratterizzato da temperature che non superano mediamente i 25°C per questo motivo si è scelto di studiare principalmente le problematiche impiantistiche relative alla situazione invernale.

Per quanto riguarda la situazione estiva, invece, si è scelto di studiare il carico termico in regime dinamico per poter ottimizzare le scelte di raffrescamento passivo per garantire il comfort durante questo periodo.

11.3 CARICO TERMICO INVERNALE

Il sito è posto a 1750 m s.l.m. all'interno del comune di Pasturo che fa parte della zona climatica E caratterizzata da 2890 GG.

Il calcolo del carico termico è stato effettuato, come definito da normativa, in regime statico andando ad analizzare la situazione peggiore ovvero quella che considera le dispersioni per trasmissione attraverso le componenti dell'involucro, quelle per ventilazione e quelle dovute alla ripresa del sistema di generazione del calore trascurando i guadagni sia solari sia



quelli dovuti alla presenza di persone e apparecchiature.

Come prima fase sono stati definiti le temperature di progetto, in particolare si è scelto 20°C come temperatura intera degli ambienti riscaldati e -10°C come temperatura esterna di progetto che risulta, dall'analisi climatica, la temperatura minima dell'area.

Il carico termico totale sarà quindi dato dalla seguente formula

$$Q_{th} = Q_t + Q_{inf} + Q_{rh}$$

Dove:

Q_t sono le perdite attraverso l'involucro sia opaco che trasparente;

Q_{inf} sono le perdite dovute all'infiltrazione di aria attraverso l'involucro;

Q_{rh} sono le perdite dovute alla ripresa del sistema di generazione.

Per la stima della prima componente, ovvero il flusso uscente attraverso l'involucro è stato utilizzato la seguente formula:

$$Q_t = A \times U \times i \times \Delta T$$

dove:

A è la superficie disperdente;

U è la trasmittanza termica dell'elemento considerato;

i è il coefficiente correttivo per l'esposizione che tiene conto degli influssi climatici quali una diversa insolazione;

ΔT è la differenza di temperatura che risulta essere 30°C;

Nella formula precedente i coefficienti correttivi andranno

	SUPERFICIE		U	%	Q _t
	[m ²]	[W/Km ²]			
N	0,00	0,110	1,20	0,00	0,00
N-E	0,00	0,110	1,00	0,00	0,00
E	0,00	0,110	1,15	0,00	0,00
S-E	30,53	0,110	1,15	115,84	
S	0,00	0,110	1,00	0,00	0,00
S-O	0,00	0,110	1,05	0,00	0,00
O	0,00	0,110	1,10	0,00	0,00
N-O	2,94	0,110	1,00	9,70	
SOLAIO	87,79	0,095	1,00	250,20	
COPERTURA	58,11	0,115	1,00	200,48	
					576,23

Tab.11.70 Perdite per trasmissione dell'involucro opaco sala invernale

	SUPERFICIE		U	%	Q _t
	[m ²]	[W/Km ²]			
N	0,00	0,69	1,20	0,00	0,00
N-E	0,00	0,69	1,00	0,00	0,00
E	0,00	0,69	1,15	0,00	0,00
S-E	26,00	0,69	1,15	616,69	
S	0,00	0,69	1,00	0,00	0,00
S-O	0,00	0,69	1,05	0,00	0,00
O	0,00	0,69	1,10	0,00	0,00
N-O	13,23	0,69	1,00	272,87	
					889,56

Tab.11.71 Perdite per trasmissione dell'involucro trasparente sala invernale

ad amplificare il flusso termico; tale valore sarà minimo per l'esposizione Sud poiché nell'emisfero Nord le pareti esposte a Sud sono raggiunte direttamente dai raggi del sole, ciò significa un guadagno solare per gli ambienti interni, mentre sarà massimo per l'esposizione Nord in quanto le pareti aventi tale esposizione non saranno mai raggiunte direttamente dai raggi del sole quindi non si determinano guadagni solari.

Per la stima della seconda componente, ovvero il flusso di calore uscente per ventilazione, è stato calcolato con la seguente formula:

$$Q_{inf} = H_v \times \Delta T$$

dove:

H_v è coefficiente di dispersione termica di progetto per ventilazione;

ΔT è la differenza di temperatura che risulta essere 30°C.

Il coefficiente di dispersione per ventilazione viene calcolato con la seguente formula:

$$H_v = 0,34 \times V_i$$

dove:

V_i è la portata d'aria dello spazio riscaldato.

La portata d'aria primaria da garantire può essere immessa nell'edificio in maniera naturale attraverso le aperture dell'involucro o attraverso un impianto di ventilazione meccanica.

La prima opzione, dato l'elevato ΔT , risulta essere più gravosa sull'impianto di generazione rispetto alla seconda tipologia.

Per questo motivo si è scelto l'utilizzo della ventilazione meccanica, in questo caso la portata d'aria per ventilazione è pari alla sola portata dovuta all'infiltrazione d'aria attraverso l'involucro che risulta essere data:

$$V_i = 2 \times n_{50} \times e_i \times \epsilon \times V$$

dove:

n_{50} è pari a 2;

e_i è pari a 1;

ϵ è pari a 0,05.

La terza componente, ovvero, potenza di ripresa richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente è data dalla seguente formula:

$$Q_{rh} = A \times f_{rh}$$

dove:

A è l'area del pavimento dell'ambiente riscaldato;

f_{rh} è fattore di correzione dipendente dal tempo di riscaldamento che nel nostro caso è pari a 4 [W/m²].

Queste valutazioni sono state effettuate su tutti gli ambienti presenti all'interno del rifugio ad eccezione del locale impiantistico e del bivacco invernale in quanto quest'ultimo viene utilizzato solo nei periodi di chiusura del rifugio.

Come si vede nella tabella sopra riportata il carico termico totale

VENTILAZIONE		
n_{50}	[h ⁻¹]	0,50
V_i	[m ³ /h]	177,45
Q_{VENT}	[W]	1809,99

Tab.11.72 Perdite per ventilazione sala invernale

INFILTRAZIONE		
e_i	--	0,05
ϵ	--	1,00
n_{50}	[h ⁻¹]	2,00
V_{inf}	[m ³ /h]	70,98
Q_{INF}	[W]	724,00

Tab.11.73 Perdite per infiltrazione sala invernale

LOCALE	PIANO	CONSUMI INVERNALI				
		SUPERFICIE [m ²]	Q _T [W]	Q _{INF} [W]	Q _{RH} [W]	Q _{HL} [W]
INGRESSO	Seminterrato	37,30	585,29	206,04	149,20	940,53
SALA INVERNALE	Terra	102,40	1465,78	724,00	409,60	2599,38
SALA ESTIVA	Terra	76,80	1241,17	655,45	307,20	2203,82
MUSEO	Terra	84,41	1086,16	1015,88	337,64	2439,68
CUCINA	Terra	45,70	378,87	251,72	182,80	813,39
BAGNO	Terra	17,00	51,02	93,64	68,00	212,65
CAMERA 1	Primo	40,10	364,44	263,77	160,40	788,62
CAMERA 2	Primo	40,10	218,18	237,25	160,40	615,83
GESTORE	Primo	43,50	302,12	233,38	174,00	709,49
CAMERE 3	Primo	19,20	146,54	134,44	76,80	357,78
CAMERE 4	Primo	23,00	160,27	128,93	92,00	381,19
CORRIDOIO	Primo	36,60	429,48	268,26	146,40	844,14
			6429	4213	2264	12907

Tab.11.74 Carico termico invernale

per l'intero edificio è pari a 12,9 kW e gli ambienti maggiormente sollecitati sono quelli posti al piano terra ad esclusione della cucina e dei servizi igienici.

11.4 SCELTA DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

Dall'analisi della tipologia di utenza e del tipo di fruizione dei rifugi da parte degli utenti della montagna, si è scelto di diversificare le strategie impiantistiche all'interno dei diversi ambienti dell'edificio.

In particolare si è optato per l'utilizzo di un impianto di riscaldamento a pavimento per gli ambienti che nei periodi invernali vengono maggiormente sfruttati e hanno un utenza minima quasi sempre presente, ovvero sala da pranzo, cucina e museo. Invece per le camere si è scelto di utilizzare un impianto di riscaldamento radiante a infrarossi che permette di ridurre di molto i tempi di attivazione riuscendo a creare le condizioni di comfort in breve tempo in ambienti che non sono sempre abitati.

11.4.1 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

Come evidenziato dalla curva ideale per poter assicurare in un locale condizioni di benessere termico si devono mantenere zone leggermente più calde a pavimento e più fredde a soffitto. Gli impianti che meglio si prestano a offrire tali condizioni sono quelli a pavimento radiante non solo per la loro posizione ma anche perché essi cedono calore soprattutto per irraggiamento, evitando così il formarsi di correnti convettive d'aria calda a soffitto e fredda a pavimento.

Per merito della loro elevata superficie disperdente, gli impianti a pannelli possono riscaldare con basse temperature del fluido termovettore.

Questa caratteristica rende conveniente il loro uso con sorgenti

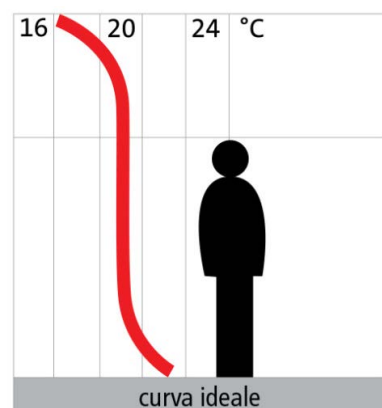


Fig.11.1 Curva ideale

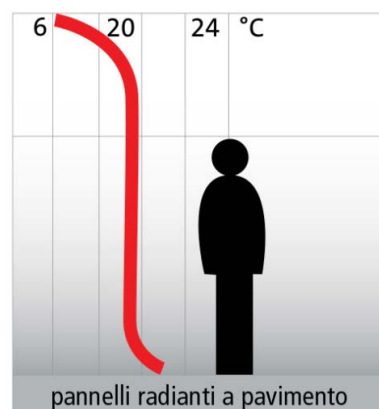


Fig.11.2 Curva pavimento radiante

di calore la cui resa aumenta al diminuire della temperatura richiesta, come nel caso di pompe di calore, pannelli solari e caldaie a condensazione.

Per il dimensionamento del sistema di riscaldamento a pavimento si è fatto riferimento alla norma UNI EN 1264 1-2-3-4. Come definito in precedenza il dimensionamento è stato fatto solo per i locali del piano terreno ovvero per la sala invernale, la sala estiva, museo e cucina. Nella tabella seguente sono riportati per ciascun locale i valori relativi alla sua superficie e al suo carico termico calcolato in precedenza.

LOCALE	PIANO	SUPERFICIE [m ²]	Q _{HL} [W]
SALA INVERNALE	Terra	81,50	2599,38
SALA ESTIVA	Terra	76,80	2203,82
MUSEO	Terra	84,41	2439,68
CUCINA	Terra	45,70	813,39

Tab.11.75 Valori di superficie e di carico termico

In prima istanza per il dimensionamento dell'impianto è stata valutata l'efficienza del sistema; questo calcolo coinvolge diversi fattori a partire dall'ambiente con cui confina che può essere un locale riscaldato o l'ambiente esterno e lo spessore di isolamento presente all'interno della stratigrafia.

Quindi per valutare la resa del sistema è stato effettuato il calcolo della resistenza termica dello strato di rivestimento del pavimento e della resistenza termica degli strati sottostanti le serpentine dell'impianto.

Queste valutazioni sono state eseguite sulla stratigrafia C.O.2 da cui risulta una resistenza termica verso l'alto pari a 0,113 [m²K/W] che è stata determinata con la seguente formula:

$$R_o = 0,093 + R_{ab}$$

Dove:

R_{ab} è la resistenza termica del rivestimento del pavimento.

Mentre la resistenza termica verso il basso risulta essere pari a 4,17 [m²K/W] che è stata determinata con la seguente formula:

$$R_u = R_{\lambda ins} + 1/\alpha_u$$

Dove:

$R_{\lambda ins}$ è la resistenza termica degli strati sottostanti il pavimento radiante;

α_u è il coefficiente di scambio termico liminare che nel nostro caso è caso vale 5,9 [W/m²K].

Per procedere con il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento è necessario, come dato di partenza, il flusso termico richiesto per riscaldare i singoli locali. Il calcolo del fabbisogno specifico di ogni ambiente è stato eseguito dividendo il carico termico del singolo ambiente per la relativa superficie di pavimento.

LOCALE	PIANO	SUPRFICIE [m ²]	q [W/m ²]
SALA INVERNALE	Terra	81,50	31,89
SALA ESTIVA	Terra	76,80	28,70
MUSEO	Terra	84,41	28,90
CUCINA	Terra	45,70	17,80

Tab.11.76 Valori di resa dell'impianto radiante per i diversi locali

Come mostrato in tabella, il locale maggiormente sollecitato con un fabbisogno specifico di 31,9 [W/m²] è la sala invernale che viene quindi presa in esame per poter dimensionare l'impianto. Data la presenza degli arredi fissi si è scelto di ridurre la superficie disponibile per l'impianto a 50 m² a cui corrisponde un fabbisogno specifico di 52 [W/m²]; questa scelta è stata fatta per massimizzare il fattore di vista dell'ambiente.

Una volta determinati i valori di resistenza della stratigrafia e del fabbisogno termico specifico è stato possibile procedere alla determinazione della potenza termica totale che deve essere immessa all'interno del sistema.

La potenza termica richiesta, tenendo conto anche delle dispersioni verso il basso, risulta essere pari a 61,8 [W/m²] che è stata calcolata con la seguente formula:

$$q_{tot} = q + q(R_o/R_u) + \Delta T/R_u$$

dove:

q è il fabbisogno termico specifico;

ΔT è la differenza di temperatura tra l'ambiente interno e quello esterno che nel nostro caso è pari a 30°C.

Prima di poter procedere con il calcolo si è scelto un prodotto specifico in modo tale da poter utilizzare i diagrammi di dimensionamento che rappresentano le caratteristiche del sistema radiante a pavimento. Questi grafici tengono conto sia degli elementi caratteristici del tipo di impianto quali materiali e geometria sia del tipo di massetto a copertura del sistema.

I diagrammi permettono quindi il calcolo dei parametri di dimensionamento dell'impianto mettendo in relazione le diverse grandezze che concorrono a definire le prestazioni del sistema in esame.

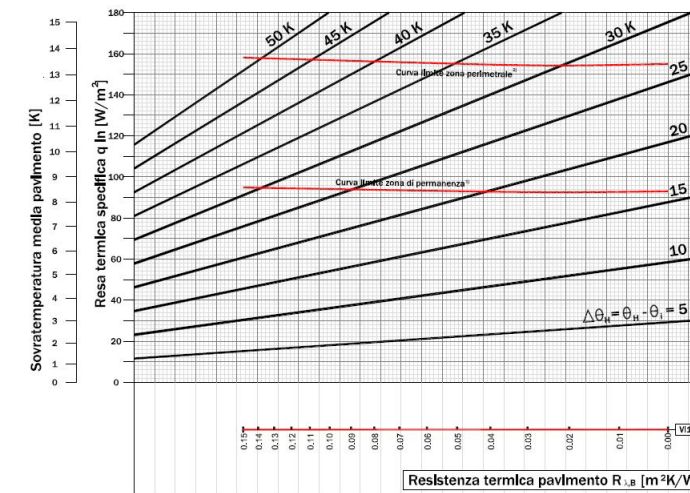


Fig.11.3 Diagramma di resa termica per riscaldamento

Dal diagramma è stato possibile determinare la temperatura dell'acqua necessaria per soddisfare il fabbisogno richiesto, in funzione dell'interasse di posa che è stato scelto pari a 15 cm e della resistenza termica dello strato di rivestimento del pavimento.

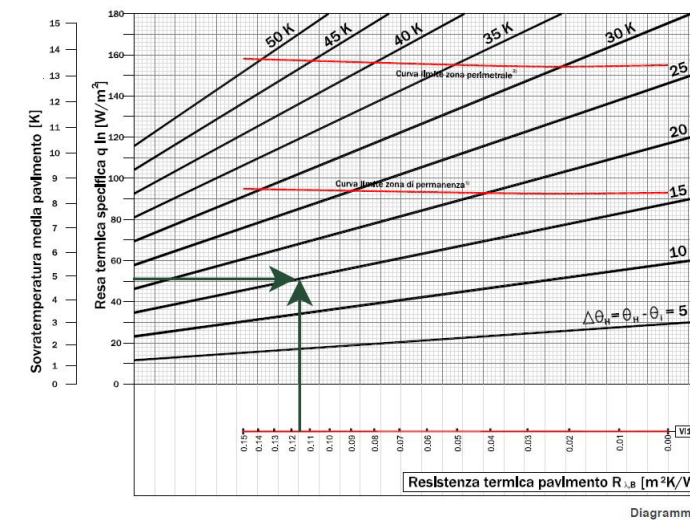


Fig.11.4 Diagramma di resa termica per riscaldamento con definizione del dimensionamento

Dal grafico si ottiene che la sovratemperatura media dell'acqua all'interno del circuito è pari a 15 °C; se si considera una temperatura ambiente pari a 20°C si può facilmente determinare una temperatura media del fluido pari a 35 °C.

Di conseguenza la temperatura di mandata e ritorno del fluido se si considera un salto termico tra i due di 3 °C significa che la temperatura di mandata è pari a 36,5°C mentre quella di ritorno è di 33,5°C.

Prima di procedere con il dimensionamento dell'impianto

bisogna verificare il superamento o meno della resa limite. Tale valore è definito, secondo la UNI EN 1264, in modo che la temperatura superficiale massima non superi i valori ritenuti di soglia per evitare problemi fisiologici agli occupanti; nel nostro caso tale valore è pari a 29°C.

Per eseguire questa verifica si utilizza il diagramma di resa. Nella scala a sinistra è indicata la sovratemperatura media del pavimento in funzione della resa specifica e del salto termico medio della temperatura dell'acqua; nel caso in esame tale temperatura è pari a circa 5°C ciò significa che la temperatura media del pavimento è di circa 25°C.

Note tutte le caratteristiche dell'impianto, si procede al dimensionamento delle serpentine e delle reti di distribuzione. Quindi si procede alla determinazione della lunghezza totale delle serpentine a pavimento che nel caso in esame, ovvero quello della sala invernale, risulta essere pari a 334 m esclusi i tratti di collegamento tra la serpentina e il collettore. Il produttore del sistema utilizzato consiglia di impiegare delle serpentine con lunghezza totale non superiore a 150 m per questo motivo è stato scelto di realizzare l'impianto tramite tre serpentine separate.



Fig. 11.5 Schema impianto piano terra

11.4.2 RETE DI DISTRIBUZIONE

Dopo il calcolo delle diverse caratteristiche dell'impianto di riscaldamento è stata calcolata la portata del fluido che deve essere garantita per il dimensionamento della rete di distribuzione ottenere le condizioni di comfort.

Per determinare la portata bisogna innanzitutto definire la potenza totale del sistema che si ottiene moltiplicando la superficie dell'impianto con la potenza totale immessa nel sistema per unità di superficie, calcolata in precedenza.

Una volta nota la potenza termica che deve essere fornita e il salto di temperatura tra il fluido di mandata e quello di ritorno si può ricavare la portata necessaria al circuito e si ricava con la

seguente equazione:

$$Q = 1,162 \times G \times \Delta T$$

Dove:

Q è la potenza termica fornita dal sistema;

G è la portata dell'acqua all'interno della rete;

ΔT è il salto di temperatura del fluido che è stato ipotizzato pari a 3 °C.

Una volta nota la portata di ogni serpentina e la relativa lunghezza, si procede al calcolo delle perdite di carico in modo tale da poter determinare il valore di prevalenza da garantire per il corretto funzionamento del circuito.

Le perdite di carico totali del pannello si calcolano sommando fra loro le perdite di carico continue e localizzate, il cui valore si determina come segue:

- le perdite di carico continue si calcolano moltiplicando la lunghezza del pannello per le perdite di carico unitarie;
- le perdite di carico localizzate si calcolano sommando fra loro le perdite di carico dovute alle curve del pannello che mediamente si considerano comprese fra il 20 e il 30% delle perdite di carico continue.

Per la definizione delle perdite di carico unitarie si fa riferimento al diagramma per la determinazione delle perdite unitarie realizzata dal produttore, per la loro valutazione di riferimento alla curva relativa alla tubazione in PE-ax.16-2

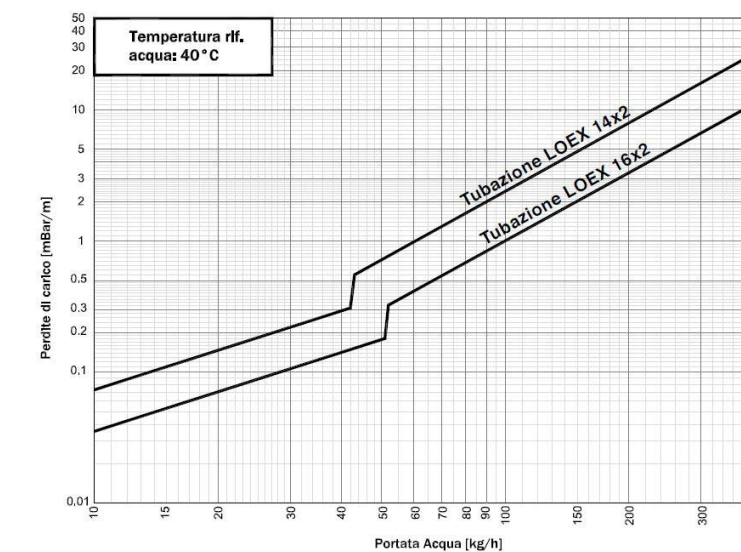


Fig. 11.6 Diagramma perdite di carico serpentine in PE-ax

Determinata la perdita di carico unitaria la si moltiplica per la lunghezza della serpentina ottenendo la perdita di carico continua che a sua volta deve essere incrementata di un 30% per poter tener conto delle perdite localizzate.

SERPENTINA 1-2			SERPENTINA 3		
PORTATA G	[m]	887,29	SUPERFICIE	[m ²]	20,25
L CIRCUITO	[m]	334,00	L CIRCUITO	[m]	148,00
N SERPENTINE	[-]	3,00	Q	[W]	1250,55
			PORTATA G	[l/h]	359,35
			PERDITE UNITARIE	[mmca/m]	70,00
			PERDITA LINEARI	[mca]	10,36
			PERDITA LOCALIZZATA	[mca]	4,14
			PERDITA TOTALE	[mca]	14,50
			SUPERFICIE	[m ²]	9,45
			L CIRCUITO	[m]	71,00
			Q	[W]	583,59
			PORTATA G	[l/h]	167,70
			PERDITE UNITARIE	[mmca/m]	22,00
			PERDITA LINEARI	[mBar]	1,56
			PERDITA LOCALIZZATA	[mca]	0,62
			PERDITA TOTALE	[mca]	2,19

Tab.11.77 Perdite di carico serpentine sala invernale

Questi calcoli sono stati eseguiti per tutti i locali del piano terra ottenendo i valori di superficie, portata e numero di serpentine riportati nella tabella seguente.

LOCALE	SUPURFICIE	Q _{th}	G	L _{CIRC}	N _{SERPENTINE}	PERDITE
	[m ²]	[W]	[l/h]	[m]	[-]	[mca]
SALA INVERNALE	81,50	2599	887,29	334,00	3,00	31,19
SALA ESTIVA	76,80	2204	752,27	283,00	2,00	31,50
MUSEO	84,41	2440	832,78	313,00	3,00	19,72
CUCINA	45,70	813	277,65	105,00	1,00	12,35

Tab.11.78 Tabella riassuntiva perdite di carico serpentine pavimento radiante

Dopo aver determinato le caratteristiche del sistema per ogni ambiente del piano terra, si procede alla determinazione della potenza termica che il generatore di calore deve fornire per poter garantire il comfort interno agli ambienti. Tale valore viene determinato con la seguente modalità:

$$Q = 1,162 \times G \times \Delta T$$

Dove:

G è la portata dell'acqua all'interno della rete;

ΔT è il salto di temperatura del fluido che è stato ipotizzato pari a 3 °C.

Da questa espressione risulta che la potenza richiesta al generatore di calore per garantire il comfort è pari a 9,6 [kW].

A completamento del sistema di riscaldamento a pavimento bisogna dimensionare anche la dorsale di distribuzione e i vari collettori determinando così la prevalenza che la pompa deve garantire per il corretto funzionamento del sistema.

Per la realizzazione della rete di distribuzione sono state utilizzate tubazioni in polietilene reticolato; i diametri sono stati scelti in modo tale da ottenere una perdita di carico unitaria compresa tra i 15 i 40 mmC.A./m in funzione della relativa portata.

La dorsale principale nel tratto iniziale deve essere in grado di portare 1980 l/h e quindi serve una tubazione di diametro 40-32,6 mm.

Nel determinare la perdita di carico totale della rete si considera una perdita di carico concentrata pari a 1 mC.A. che tiene conto dei cambi di direzione, delle variazioni delle sezioni del tubo e delle perdite dovute allo stacco dal collettore.

COLLETTORE A						
NOME TRATTO	PORTATA G	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[mm]	[m]	[mca]	[mmca/m]	[mca]
A1-1	359,35	20-16	2,80	1,00	24,00	1,07
A1-2	359,35	20-16	4,05	1,00	24,00	1,10
A1-3	167,70	16-14	4,25	1,00	22,00	1,09
A2-1	313,04	20-16	4,95	1,00	18,00	1,09
A-B	779,04	28-20	7,50	1,00	30,00	1,23
A-C	763,07	28-20	7,25	1,00	30,00	1,22
						6,79
COLLETTORE B						
NOME TRATTO	PORTATA G	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[mm]	[m]	[mca]	[mmca/m]	[mca]
B1-1	207,63	18-13	2,70	1,00	24,00	1,06
B1-2	255,54	20-16	9,05	1,00	16,00	1,14
B1-3	315,88	20-16	7,50	1,00	18,00	1,14
						3,34
COLLETTORE C						
NOME TRATTO	PORTATA G	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[mm]	[m]	[mca]	[mmca/m]	[mca]
C1-1	381,53	20-16	1,60	1,00	24,00	1,04
C1-2	381,53	20-16	2,00	1,00	24,00	1,05
						2,09

Tab.11.79 Tabella riassuntiva diametri delle condotte dell'impianto a pannello radiante

Come ultima analisi si individua la situazione idraulicamente più sfavorevole, che coincide con il tratto che dalla dorsale principale arriva all'impianto del museo, a cui corrisponde una perdita di carico totale pari a 14 mCA.

La pompa deve quindi essere dimensionata in modo tale da garantire nella situazione più sfavorevole almeno una pressione di 20 mCA; questo significa che la pompa deve avere almeno una prevalenza di 35 mCA.

Il resto del sistema di distribuzione è stato realizzato con un unico circuito. Innanzitutto è stata predisposta una regolazione climatica, oltre che in centrale, anche nei singoli ambienti attraverso termostati ambientali con comando delle testine elettriche sul collettore di distribuzione. È stato quindi previsto un collettore termoregolato all'interno di ogni ambiente.

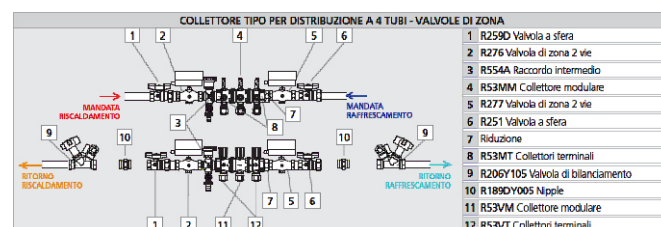


Fig.11.7 Collettore tipo

Dato che il sistema va ad alimentare anche la batteria di post riscaldamento, allo stacco al piano è stato previsto un collettore; nel ramo che alimenta la batteria è stata predisposta una valvola comandata elettronicamente che apre il circuito nel periodo invernale e lo chiude in quello estivo.



Fig.11.8 Valvola a comando elettronico

11.4.3 IMPIANTO RADIANTE A INFRAROSSI

Questa tipologia di impianto è stata scelta per riscaldare gli ambienti destinati al pernottamento degli ospiti posti al primo piano del rifugio.

Il riscaldamento con pannelli a raggi infrarossi produce calore per irraggiamento interagendo direttamente con le superfici di persone ed oggetti irraggiati, senza passare attraverso l'aria.

Le onde elettromagnetiche emesse dai pannelli a raggi infrarossi si trasformano in calore solo a contatto con i corpi ed evitano quindi la dispersione di energia termica mediante l'aria.

Il riscaldamento a raggi infrarossi è più adatto per locali ad uso saltuario e con interpiani alti, infatti, non riscaldano inutilmente l'enorme volume di aria presente, ma agiscono direttamente a distanza sui corpi, il riscaldamento a infrarossi permette quindi un elevato risparmio energetico.

Per il corretto dimensionamento dei pannelli ad infrarossi sono state utilizzate le indicazioni del produttore che, in funzione della classe energetica dell'edificio, definisce la massima superficie e il massimo volume riscaldabile dal singolo pannello.

La scelta della tipologia e del numero di pannelli a raggi infrarossi

TIPO DI PANNELLO	CLASSE A		CLASSE B		CLASSE C		CLASSE D	
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ³]
PANNELLO DA 550 W	43	116	20	54	14	38	10	27
PANNELLO DA 280 W	35	95	18	49	10	27	6	16

Tab.11.80 Valori pannelli infrarossi definiti da produttore

è stata fatta in base al carico termico calcolato in precedenza. All'interno dell'edificio sono stati usati, in funzione delle necessità, due tipologie di pannelli con potenza rispettivamente di 280 e 550 W per poter rispondere al meglio alle esigenze del rifugio.

LOCALE	PIANO SUPERFICIE		VOLUME	Q _{HL}	TIPOLOGIA	N° PANNELLI
	--	[m ²]				
BAGNO	Terra	17,00	45,90	212,65	280	2
CAMERA 1	Primo	40,10	129,30	788,62	550	2
CAMERA 2	Primo	40,10	116,30	615,83	550	2
GESTORE	Primo	43,50	114,40	709,49	550	2
CAMERE 3	Primo	19,20	65,90	357,78	550	1
CAMERE 4	Primo	23,00	63,20	381,19	550	1
CORRIDOIO	Primo	36,60	131,50	844,14	550	2

Tab.11.81 Tabella riassuntiva pannelli radianti a infrarossi

Data la necessità di rendere il rifugio autosufficiente dal punto di vista energetico, si è calcolato il consumo massimo derivante dall'utilizzo del sistema di riscaldamento per poi poter dimensionare il numero di pannelli fotovoltaici necessari per coprire l'intero fabbisogno dell'edificio.

Ciascun pannello radiante è dotato di una centralina programmabile e indipendente che consente di programmare tempi e temperature in modo ideale in funzione delle proprie esigenze e delle caratteristiche dell'ambiente. In questo modo è possibile garantire all'ambiente una temperatura di comfort di 20/21°C con un consumo che sarà di circa il 50% della potenza massima.

Per il calcolo del consumo totale è stata considerata una durata di funzionamento dell'impianto di circa 8 ore al giorno, considerando un consumo pari al 50% della potenza risulta un consumo totale di 25 kWh.

11.5 IMPIANTO DI AERAZIONE

L'edificio è stato dotato di una corretta superficie aereo illuminante in grado di garantire il corretto ricambio d'aria; ricambio che però risulta essere particolarmente oneroso, dal punto di vista termico, nel periodo invernale.

Infatti, se nel calcolo del carico termico invernale si considerano le dispersioni per ventilazione, nel caso in cui questa sia di tipo naturale, si ha un risultato pari a 10,5 kW quasi 80% in più rispetto alle dispersioni totali prima calcolate.

Perciò è stato scelto di dotare l'interno del nostro edificio un impianto di ventilazione meccanica in grado di garantire nei mesi invernali un corretto ricambio d'aria.

Per effettuare il calcolo della portata d'aria primaria necessaria si considera il numero degli occupanti del locale preso in esame e lo si moltiplica per la portata d'aria esterna da garantire per ogni persona in funzione dell'attività come definito dalla norma UNI 10339.

LOCALE	PIANO	SUPERFICIE [m ²]	PERSONE	Q _{OP} [10 ⁻³ m ³ /s]	PA [m ³ /h]
INGRESSO	Seminterrato	37,30	8,00	11,00	316,80
SALA INVERNALE	Terra	102,40	28,00	10,00	1008,00
SALA ESTIVA	Terra	76,80	32,00	10,00	1152,00
MUSEO	Terra	84,41	22,00	5,50	435,60
CUCINA	Terra	45,70	-	-	-
BAGNO	Terra	17,00	-	-	-
CAMERA 1	Primo	40,10	8,00	11,00	316,80
CAMERA 2	Primo	40,10	8,00	11,00	316,80
GESTORE	Primo	43,50	2,00	11,00	79,20
CAMERE 3	Primo	19,20	6,00	11,00	237,60
CAMERE 4	Primo	23,00	6,00	11,00	237,60
CORRIDOIO	Primo	36,60	-	-	-
					4100,40

Tab.11.82 Portate d'aria primaria

Tale ricircolo d'aria verrà effettuato meccanicamente tramite un'apposita macchina, l'unità trattamento aria, che, oltre a soddisfare tale requisito, è in grado di controllare temperatura e umidità dell'aria immessa in ambiente. Questo permette un controllo preciso sul comfort termico e la salubrità dell'aria nell'edificio.

Per il dimensionamento della macchina si è definita la portata d'aria che deve essere in grado di garantire.

Date le funzioni presenti all'interno del rifugio e la loro non contemporaneità, si deve garantire una portata d'aria di 2160 [m³/h].

Questa portata d'aria deve essere moltiplicata per un fattore correttivo che tiene conto dell'altitudine, come definito dalla UNI 10339, che nel nostro caso è pari a 1,18 da cui risulta una portata d'aria complessiva di 2550 [m³/h].

Per garantire l'apporto di aria primaria nei locali si è optato per macchinari di dimensioni ridotte che possono essere collocati nel controsoffitto degli ambienti.

L'impianto è stato scelto in base alla portata d'aria minima e massima che è in grado di garantire e in base alla potenza termica recuperabile.

È quindi stato scelto un sistema di recupero di calore a flussi incrociati con piastre in alluminio per garantire un elevato rendimento con l'inserimento di una batteria di post riscaldamento per garantire il comfort interno.

Per l'impianto è stato scelto il recuperatore di calore URHE_C della Aermec che è in grado di garantire una portata d'aria minima e massima di 2500 e 3300 [m³/h] con un'efficienza in

regime invernale pari al 71%.

Il recupero termico che il sistema è in grado di ottenere è stato calcolato con la seguente formula:

$$T = T_e + (T_i - T_e) \times \eta$$

Dove:

T_e è la temperatura esterna di progetto pari a -10°C;

T_i è la temperatura interna di progetto pari a 20 °C;

η è l'efficienza in regime invernale.

Da cui risulta una temperatura in uscita dal recupero a piastre di 11,3 °C; di conseguenza la batteria di post-riscaldamento deve essere in grado di generare una potenza termica di 7,5 kW.

Quindi si è scelto di utilizzare una batteria ad acqua che con una temperatura di mandata di 40°C è in grado di garantire una Potenza termica di 7,6 kW.

11.5.1 DIMENSIONAMENTO CANALIZZAZIONI

Per il dimensionamento dei canali si è seguito il metodo a riduzione di velocità. Secondo tale metodo è stata fissata la velocità nel canale principale pari a 5 m/s e una velocità inferiore nei canali secondari pari a 3 m/s. Tali velocità sono state scelte tra quelle consigliate per ottimizzare il comfort interno non solo termico, ma anche acustico.

È stata valutata la dimensione dei singoli canali e la perdita di carico distribuita degli stessi utilizzando il seguente diagramma, inserendo in input la portata e la velocità. Con il diagramma abbiamo prima individuato il diametro del canale e la relativa

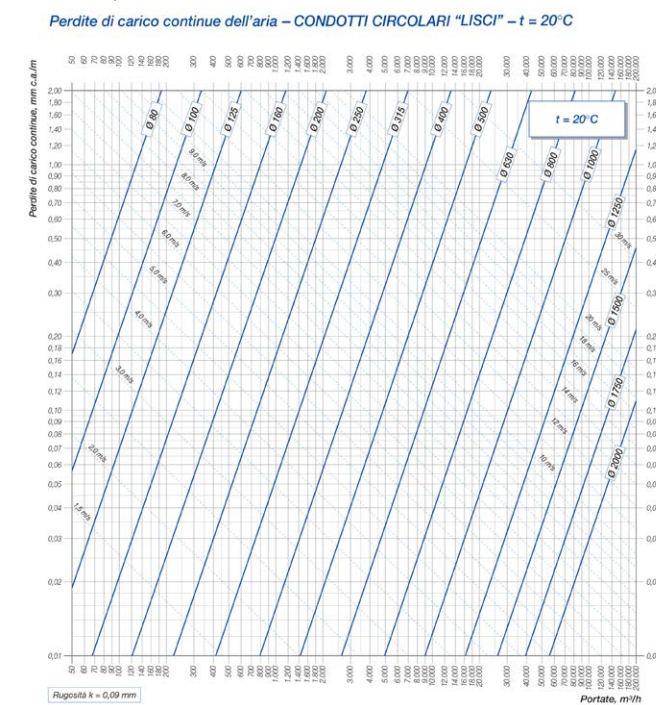


Fig.11.9 Diagramma perdite di carico condotti circolari

perdita di carico.

Con questa metodologia è stata determinata la dimensione sia della canalizzazione principale che di quella secondaria dell'intero sistema. Per il calcolo delle perdite di carico abbiamo valutato il tratto più problematico che è quello che porta dall'unità di trattamento d'aria alla camera invernale del piano primo.

Lungo questo tratto si sono considerate sia le perdite di carico localizzate, ovvero quelle che si verificano in presenza di una variazione di direzione e di velocità, sia le perdite di carico per attrito legate al passaggio dell'aria attraverso la condotta e sono state determinate attraverso il diagramma precedente. Il valore di caduta di pressione, necessaria per garantire una pressione statica adeguata su tutte le bocchette, è stato impiegato per il dimensionamento del ventilatore.

Si sono tenute in considerazione anche le perdite di carico lungo il canale di ripresa nonché sulle relative griglie di aspirazione.

Le perdite di carico localizzate si generano ad ogni cambiamento di sezione con riduzione di velocità e in ogni variazione di direzione vi è una trasformazione di pressione dinamica in pressione statica.

Queste perdite sono state calcolate secondo la seguente formula:

$$\Delta p = C \times \rho \times (v^2) / 2g$$

Dove:

C è il coefficiente per il calcolo delle perdite di carico relative ai cambiamenti di direzione e di sezione;

ρ è il peso specifico dell'aria;

v è la velocità dell'aria.

Il coefficiente C è stato valutato nel caso di un cambiamento di direzione attraverso il rapporto tra i lati, nel caso di un cambiamento di sezione in base al rapporto fra le aree.

Le bocchette di aerazione sono state dimensionate in base alla portata d'aria e alla velocità di fuoriuscita considerando una velocità pari a 2 m/s. Questo valore di velocità è stato scelto per minimizzare le dimensioni delle bocchette e quindi il loro ingombro negli ambienti, facendo attenzione alla riduzione al minimo della rumorosità.

LOCALE	[-]	Sala invernale	Sala estiva	Museo	Camera 1	Gestore	Camere 3
PORTATA D'ARIA	[m³/h]	1008	1152	436	317	79	238
N° BOCCHETTE	[-]	3	3	2	2	1	1
PORTATA BOCCHETTE	[m³/h]	336	384	218	158	79	238
VELOCITÀ BOCCHETTE	[m/s]	2	2	2	2	2	2
AREA BOCCHETTE	[m²]	0,05	0,06	0,03	0,02	0,02	0,04
PERDITA LINEARI	[Pa]	15,00	20,00	15,00	15,00	15,00	200,00

Tab. 11.83 Tabella dimensionamento bocchette di ventilazione

COLONNE DI DISTRIBUZIONE							
RETE DI DISTRIBUZIONE PIANO TERRA							
NOME TRATTO	PORTATA G	VELOCITÀ	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[m/s]	[mm]	[m]	[mmca]	[mmca/m]	[mmca]
1-A	217,80	3,00	160	7,50	0,19	0,12	1,09
2-A	217,80	3,00	160	4,05	0,00	0,12	0,49
A-B	435,60	3,00	200	4,00	0,01	0,12	0,49
3-B	336,00	3,00	200	3,50	0,19	0,07	0,43
B-C	771,60	3,00	315	4,00	0,00	0,04	0,16
4-C	336,00	3,00	200	3,50	0,00	0,07	0,25
5-D	384,00	3,00	200	3,50	0,00	0,09	0,32
6-D	384,00	3,00	200	3,50	0,00	0,09	0,32
7-D	384,00	3,00	200	3,50	0,00	0,09	0,32
D-E	1152,00	3,00	400	4,50	0,00	0,07	0,32
8-E	336,00	3,00	200	3,50	0,19	0,07	0,43
E-C	1488,00	3,00	400	3,50	0,00	0,03	0,11
C-O	2259,60	5,00	400	3,50	0,52	0,07	0,76

RETE DI DISTRIBUZIONE PIANO PRIMO							
NOME TRATTO	PORTATA G	VELOCITÀ	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[m/s]	[mm]	[m]	[mmca]	[mmca/m]	[mmca]
1-1A	158,40	3,00	125	5,50	0,19	0,16	1,07
2-1A	158,40	3,00	125	2,50	0,00	0,16	0,40
A1-B1	316,80	3,00	200	2,50	0,01	0,06	0,16
B1-C1	554,40	3,00	250	4,00	0,19	0,14	0,75
4-D1	237,60	3,00	160	3,00	0,00	0,12	0,36
C1-D1	475,20	2,50	250	7,00	0,26	0,06	0,68

RETE DI DISTRIBUZIONE PIANO SECONDO							
NOME TRATTO	PORTATA G	VELOCITÀ	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[m/s]	[mm]	[m]	[mmca]	[mmca/m]	[mmca]
1-2A	158,40	3,00	125	5,50	0,19	0,16	1,07
2-2A	158,40	3,00	125	2,50	0,00	0,16	0,40
A2-B2	316,80	3,00	200	2,50	0,01	0,06	0,16

RETE DI DISTRIBUZIONE COLONNE							
NOME TRATTO	PORTATA G	VELOCITÀ	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA CONCENTRATA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[m/s]	[mm]	[m]	[mmca]	[mmca/m]	[mmca]
B2-B1	316,80	5,00	160	3,00	0,00	0,20	0,60
B1-O	1663,20	5,00	250	3,00	0,00	0,12	0,36

Tab. 11.84 Tabella riassuntiva diametro canali di ventilazione

11.6 ACQUA CALDA SANITARIA

Il fabbisogno di energia termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria è stato calcolato facendo riferimento alla normativa UNI 11300-2 che definisce la portata d'acqua media giornaliera per le varie destinazioni d'uso e la differenza tra la temperatura di erogazione e quella di immissione alla base.

L'energia termica richiesta è stata quindi calcolata con la seguente formula:

$$Q_w = c_w \times V \times (t_e - t_i)$$

Dove:

c_w è il calore specifico dell'acqua;

V è il volume di acqua richiesto per la singola destinazione d'uso nell'arco di una giornata;

t_e è la temperatura di erogazione dell'acqua che nel nostro caso è pari a 40° C ;

t_i è la temperatura di ingresso dell'acqua fredda che nel nostro caso è pari a 15°C.

Per gli edifici ad uso non residenziale il volume d'acqua richiesto espresso in litri/giorno, è stato calcolato come :

$$V = a \times N_u$$

Dove:

a è il fabbisogno specifico giornaliero in litri /giorno in funzione del tipo di edificio, nel nostro caso è stato considerato pari a 40;

N_u è un parametro che varia in funzione del tipo di edificio.

Da qui risulta che il fabbisogno medio giornaliero considerando i 30 posti letto presenti all'interno del rifugio è pari a 39 [kWh].

11.6.1 DIMENSIONAMENTO PERIODO DI PUNTA

Per la determinazione del consumo totale di acqua calda nel periodo di punta, che nel caso specifico è pari a 1,5 ore, occorre tener conto del numero degli apparecchi sanitari installati e della loro frequenza d'uso.

Per la determinazione dei consumi di acqua in funzione dell'apparecchio si è fatto riferimento alla norma UNI 9182, nella tabella seguente sono riportati i consumi unitari e totali dei diversi apparecchi installati all'interno dell'edificio.

APPARECCHI	N°	QU-FREDDA		QU-CALDA	
		QU-FREDDA [l/s]	QU-FREDDA [l/s]	QU-CALDA [l/s]	QU-CALDA [l/s]
WC	9,00		0,10	0,00	0,90
LAVABO	9,00	0,10	0,10	0,90	0,90
DOCCIA	5,00	0,15	0,15	0,75	0,75
LAVASTOVIGLIE	1,00		0,20	0,00	0,20
LAVELLO	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20
TOTALE	25,00	-	-	1,85	2,95

Tab. 11.85 Tabella portate apparecchi installati

Per calcolare il fabbisogno massimo non si sommano i consumi di ciascun apparecchio, ma si calcola tenendo conto della contemporaneità.

La contemporaneità è stata ricavata nel modo seguente:

$$Q = Q_t \times (1 : (n - 1)^{0,5})$$

Dove :

Q_t è la somma delle portate erogate da tutti gli apparecchi;

N è il numero totale degli apparecchi.

La portata di contemporaneità così calcolata risulta essere pari a 0,51 l/s per l'acqua calda e 0,63 l/s per l'acqua fredda.

Il calcolo della potenza che deve essere erogata dal generatore di calore è il seguente:

$$Q = 1,162 \times G \times \Delta T$$

Dove:

G è la portata di contemporaneità espressa in [l/h];

ΔT è la differenza di temperatura tra l'acqua in mandata e quella in uscita che in questo caso è pari a 28°C.

Pertanto la potenza termica che il generatore di calore deve essere in grado di fornire è pari a 53 [kW].

Per la produzione dell'acqua calda sanitaria si è scelto un sistema di produzione istantanea in questo modo si evitano tutte le problematiche relative all'accumulo dell'acqua.

Si è adottato come sistema di produzione istantanea un serbatoio stratificato che permette di accumulare l'energia termica proveniente sia dal solare termico, sia dal sistema ausiliario e presenta al suo interno una serpentina che funge da scambiatore di calore tra l'acqua del circuito che entra a 15°C e l'acqua presente all'interno dello scambiatore che ha a una temperatura costante di 60°C.

Per poter garantire il fabbisogno di calore, la superficie di scambio della serpentina è stata dimensionata e deve avere una superficie superiore a 3,45 m².

Dopo la definizione delle portate che devono essere garantite ai diversi apparecchi, è stata dimensionata la rete di distribuzione.

L'impianto è stato diviso in due dorsali che si staccano dal sistema di generazione, una va a servire la parte invernale dell'edificio mentre l'altra va a servire il resto del rifugio. Quest'ultima parte dell'impianto viene dotata di una valvola di bypass in modo tale da permettere lo svuotamento delle condotte ed evitare fenomeni di congelamento durante i periodi di chiusura.

La rete viene dimensionata utilizzando il metodo del carico unitario lineare che prevede il dimensionamento dei tubi in base a un valore di carico unitario lineare prestabilito, in questo caso è compreso fra 10 e 40 mmC.A./m.

RETE ACQUA CALDA

NOME TRATTO	PORTATA G	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[mm]	[m]	[mmca/m]	[mca]
STACCO PT	720,00	28-20	4,00	28,00	0,11
STACCO PP	900,00	28-20	3,80	40,00	0,15
STACCO PS	1145,51	32-26	4,25	18,00	0,08
COLLETTORE 1A	831,38	28-20	5,40	35,00	0,19
COLLETTORE 1B	1080,00	32-26	7,50	16,00	0,12
COLLETTORE 2C	1039,23	32-26	8,70	16,00	0,14
COLLETTORE 3D	1396,21	32-26	9,65	24,00	0,23
DORSALE	1812,56	40-32,6	10,30	14,00	0,14

RETE ACQUA CALDA

NOME TRATTO	PORTATA G	DIAMETRO	LUNGHEZZA	PERDITA LINERE	PERDITA TOTALE
	[l/h]	[mm]	[m]	[mmca/m]	[mca]
STACCO PT	831,38	28-20	4,00	35,00	0,14
STACCO PP	890,95	28-20	3,80	35,00	0,13
STACCO PS	1143,15	32-26	4,25	18,00	0,08
COLLETTORE 1A	1088,54	32-26	5,40	16,00	0,09
COLLETTORE 1B	1247,08	32-26	7,50	20,00	0,15
COLLETTORE 2C	1126,98	32-26	8,70	18,00	0,16
COLLETTORE 3D	1650,71	32-26	9,65	35,00	0,34
DORSALE	2223,96	40-32,6	10,30	20,00	0,21

Tab.11.86 Tabella riassuntiva diametri rete acqua calda sanitaria

È stata infine dimensionata la pompa sulla base della prevalenza ricavata dal ramo idraulicamente più sfavorevole.

L'impianto è dotato inoltre di una rete di ricircolo dimensionata in modo da poter compensare le dispersioni termiche della rete. A tal fine si è proceduto definendo innanzitutto il salto termico ammesso fra la temperatura di partenza dell'acqua calda e quella di erogazione all'apparecchio più sfavorito che è stato assunto pari a 2°C. Dopo si determinano le portate delle colonne dividendo le dispersioni termiche delle colonne per il salto termico ammesso. Le dispersioni termiche della rete sono state calcolate ipotizzando che i tubi disperdano mediamente 10 kcal/h per ogni metro.

Una volta dimensionati i tubi in funzione delle portate così calcolate, con il metodo delle perdite lineari costanti viene determinata la perdita di carico totale sul ramo dell'impianto idraulicamente più sfavorevole.

Come ultimo elemento della rete di ricircolo viene dimensionata la pompa considerando la portata massima e la prevalenza che viene determinata con la seguente formula:

$$H = l \times r \times f$$

Dove:

H è la prevalenza della pompa;

l è la lunghezza massima della rete di ricircolo;

r è il valore della perdita di carico massima ;

f è il fattore che tiene conto delle perdite di carico localizzate, in questo caso vale 1,5.

11.7 IMPIANTO SOLARE TERMICO

Per la produzione di energia termica necessaria per il funzionamento del pavimento radiante e per la produzione di acqua calda sanitaria, si è scelto di utilizzare un impianto solare termico in grado di supportare parte della richiesta di energia dell'edificio.

L'impianto è stato realizzato con 31 pannelli solari ibridi integrati all'interno della copertura del volume del museo che risulta essere orientata a Sud-Ovest con un angolo di inclinazione di 30°. Per il dimensionamento si è fatto riferimento alla normativa UNI 11300-4 che definisce il metodo per il dimensionamento di sistemi solari termici per la produzione sia di acqua calda sanitaria sia per riscaldamento.

La procedura di calcolo si basa sul metodo F-Chart che parte dalla definizione del fabbisogno che l'impianto deve essere in grado di garantire. Tale fabbisogno è stato ipotizzato sulla base dei giorni di apertura del rifugio e sulla base del numero di utenti presenti nei diversi periodi di apertura, i valori del fabbisogno vengono riportati nella tabella seguente.

ACS

	GIORNI	PERSONE	N° PERSONE	CONSUMO	CONSUMO	ΔT	Q _{GN,OUT,MESE}
	[gg]	--	--	[l/perg]	[l/mese]	[°C]	[kWh]
GENNAIO	18	10	180	50,00	9000	30,00	314
FEBBRAIO	12	8	96	50,00	4800	30,00	167
MARZO	12	8	96	50,00	4800	30,00	167
APRILE	12	8	96	50,00	4800	30,00	167
MAGGIO	12	10	120	50,00	6000	30,00	209
GIUGNO	30	20	600	50,00	30000	30,00	1046
LUGLIO	31	20	620	50,00	31000	30,00	1081
AGOSTO	31	20	620	50,00	31000	30,00	1081
SETTEMBRE	30	15	450	50,00	22500	30,00	784
OTTOBRE	12	8	96	50,00	4800	30,00	167
NOVEMBRE	12	8	96	50,00	4800	30,00	167
DICEMBRE	18	10	180	50,00	9000	30,00	314

RISCALDAMENTO

	GIORNI	ORE	N° ORE	CONSUMO	CONSUMO	ΔT	Q _{GN,OUT,MESE}
	[gg]	[h]	[h]	[l/h]	[l/mese]	[°C]	[kWh]
GENNAIO	18	8	144	3000,00	432000	3,00	1506
FEBBRAIO	12	8	96	3000,00	288000	3,00	1004
MARZO	12	8	96	3000,00	288000	3,00	1004
APRILE	12	8	96	3000,00	288000	3,00	1004
MAGGIO	20	5	100	3000,00	300000	3,00	1046
GIUGNO	30	3	90	3000,00	270000	3,00	941
LUGLIO	31	3	93	3000,00	279000	3,00	973
AGOSTO	31	3	93	3000,00	279000	3,00	973
SETTEMBRE	20	5	100	3000,00	300000	3,00	1046
OTTOBRE	12	8	96	3000,00	288000	3,00	1004
NOVEMBRE	12	8	96	3000,00	288000	3,00	1004
DICEMBRE	18	8	144	3000,00	432000	3,00	1506

Tab.11.87 Tabella riassuntiva consumo ACS e riscaldamento

Successivamente si procede al calcolo del fattore adimensionale X che si calcola con la seguente formula:

$$X = A \times U_{loop} \times \eta_{loop} \times f_{st} \times t_m \times \Delta T / Q_{out,mese}$$

Dove:

A è la superficie di apertura del collettore solare ;

U_{loop} è il coefficiente di perdita di energia del circuito;

η_{loop} è il rendimento del circuito comprendente collettori, tubazioni e scambiatore, nel nostro caso è stato assunto pari a 0,8 come definito da normativa;

f_{st} è il coefficiente di correzione della capacità di accumulo;

t_m è la durata del periodo di calcolo espressa in ore del mese;

ΔT è la differenza di temperatura di riferimento.

Poi si procede al calcolo del fattore adimensionale Y definito come:

$$Y = A \times IAM \times \eta_0 \times \eta_{loop} \times I_m \times t_m / Q_{out,mese}$$

Dove :

A è la superficie di apertura del collettore solare;

IAM è il modificatore dell'angolo di incidenza;

η_0 è il rendimento del collettore a perdite nulle;

η_{loop} è il rendimento del circuito che nel nostro caso è pari a 0,8;

I_m è il valore di radianza solare sul piano del collettore;

t_m è la durata in ore del mese considerato.

Infine è stato inserito all'interno dell'impianto un serbatoio di accumulo stratificato da 1500 l in modo tale da poter sfruttare l'energia termica prodotta in eccesso.

Infine è quindi possibile determinare la quantità di calore prodotta mensilmente dai pannelli solari definita come segue:

$$Q_{sole,out} = (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3 + fX^3) \times Q_{out,mese}$$

Dove:

a,b,c,d,e,f sono coefficienti correttivi che dipendono dalle caratteristiche dell'impianto e da come il sottosistema di generazione solare è collegato al resto dell'impianto.

	T_m	$T_{E,AVG}$	T_{REF}	ΔT	I_m	$Q_{GN,OUT,MESE}$	X	Y	F	$Q_{SO,OUT,MESE}$
	[h]	[°C]	[°C]	[°C]	[W/m ²]	[kWh]				[kWh]
GENNAIO	744	-2,71	122,98	125,68	93,80	1819,69	7,46	0,84	0,32	582,46
FEBBRAIO	672	-2,66	122,86	125,52	133,88	1171,30	10,46	1,68	0,66	770,67
MARZO	744	0,03	116,62	116,59	184,49	1171,30	10,76	2,57	0,90	1054,61
APRILE	720	2,94	109,87	106,93	205,63	1171,30	9,55	2,77	0,97	1137,69
MAGGIO	744	8,01	98,12	90,11	221,57	1254,96	7,76	2,88	1,05	1316,60
GIUGNO	720	11,93	89,03	77,11	235,69	1987,02	4,06	1,87	0,97	1937,22
LUGLIO	744	13,04	86,44	73,40	240,17	2053,25	3,86	1,91	1,00	2046,49
AGOSTO	744	12,91	86,75	73,84	211,41	2053,25	3,89	1,68	0,91	1876,21
SETTEMBRE	720	8,82	96,25	87,43	178,12	1830,15	5,00	1,54	0,80	1465,86
OTTOBRE	744	5,78	103,28	97,50	135,49	1171,30	8,99	1,89	0,77	907,62
NOVEMBRE	720	1,14	114,05	112,91	95,38	1171,30	10,08	1,29	0,49	575,62
DICEMBRE	744	-2,07	121,50	123,57	74,60	1819,69	7,34	0,67	0,21	373,13

Tab.11.88 Metodo F-chart

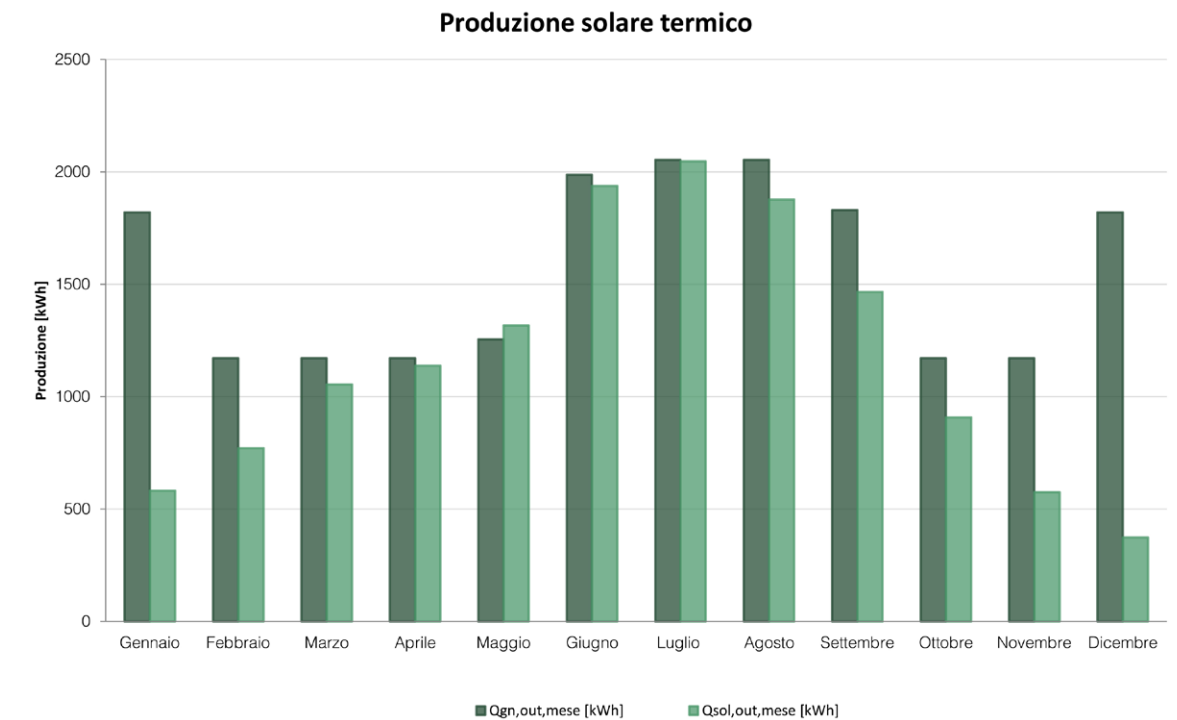


Fig.11.10 Grafico produzione solare termico

L'impianto così dimensionato è in grado di coprire il 75% del fabbisogno di energia termica, ipotizzata, necessario per il corretto funzionamento dell'interno edificio.

11.8 GENERATORE DI CALORE

Come emerso dai risultati sopra riportati è stato necessario introdurre un secondo sistema di generazione ausiliario che sia in grado di fornire, durante i normali periodi di funzionamento, la parte di energia che non viene coperta dal sistema solare termico e nei periodi più critici l'intero fabbisogno del rifugio.

Di conseguenza la caldaia dovrà essere in grado di garantire i 9 [kW] richiesti dall'impianto di riscaldamento a pavimento, i 7,5 [kW] richiesti invece dalla batteria di post riscaldamento e infine deve fornire i 53 [kW] richiesti per la produzione dell'acqua calda sanitaria.

Risulta, quindi, che il sistema ausiliario deve fornire almeno 69,5 [kW].

La normativa dei rifugi del CAI richiede che all'interno di ogni rifugio sia presente un generatore di corrente ausiliario che permetta il funzionamento degli apparecchi di emergenza. Per questo motivo si è scelto di utilizzare un sistema di cogenerazione che permette di produrre sia energia termica sia energia elettrica.

Per la fonte di energia si è optato per l'utilizzo di biomasse in

particolare è stata scelta una macchina che fornisce 80 [kW] di energia termica e allo stesso tempo 30 [kW] di energia elettrica. Il sistema quando funziona al 100% consuma circa 30 [kg/h] di

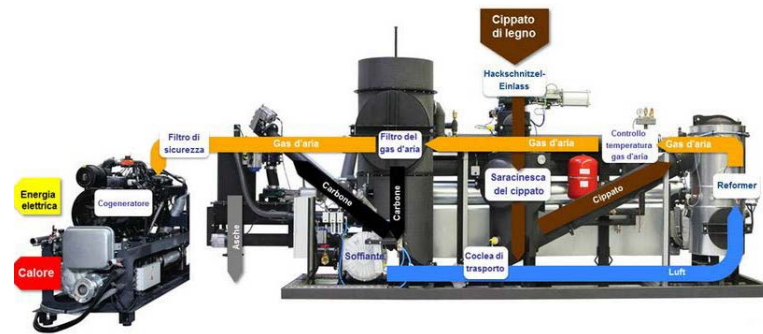


Fig.11.11 Impianto di cogenerazione

cippato quindi per poter coprire il 25% di fabbisogno lasciato scoperto dall'impianto di generazione solare sono necessarie circa 2 tonnellate di cippato questo significa che sono necessari due viaggi di elicottero ogni anno.

CONSUMO CIPPATO

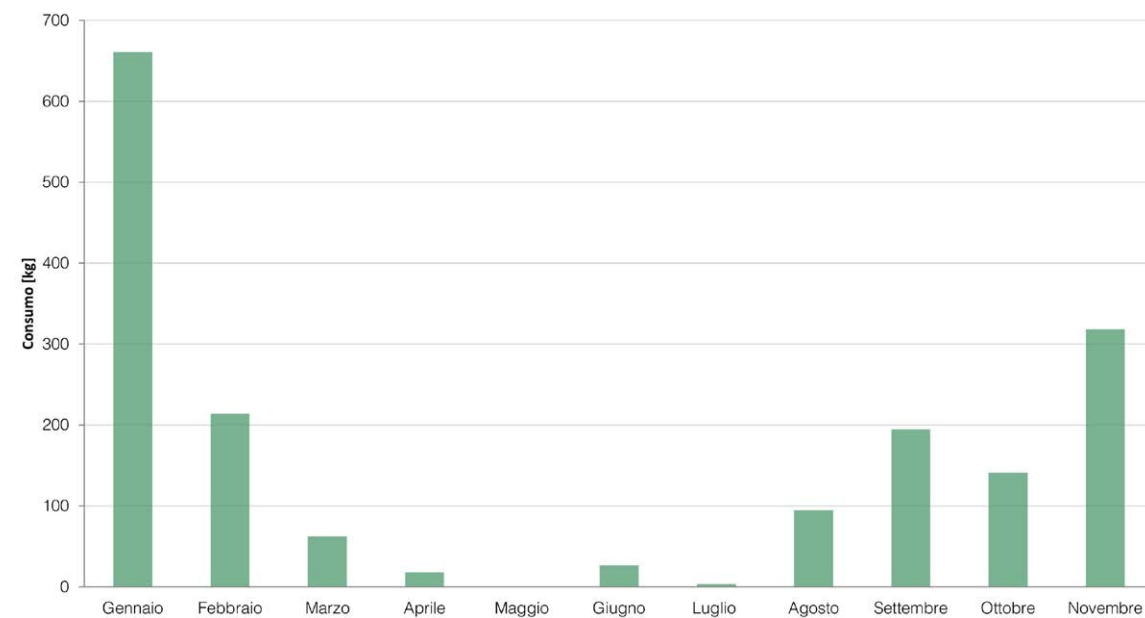


Fig.11.12 Grafico consumo cippato

11.9 ACQUE REFLUE

Per progettare e calcolare l'impianto di scarico è stato necessario conoscere i quantitativi massimi di acque scaricabili dai singoli apparecchi.

La rete di scarico per le acque nere dagli apparecchi sanitari, è stata realizzata mediante tubazioni in PVC per le colonne e i tratti sub orizzontali fino all'entrata nell'impianto di smaltimento. Tutte le colonne saranno munite al piede di sifone ispezionabile con chiusura idraulica, mentre in copertura le stesse verranno prolungate e protette da un esalatore d'aria.

La pendenza dei collettori sub orizzontali, sia di raccolta interni al fabbricato che esterni interrati, non dovrà essere inferiore all'1%.

Per il calcolo si tiene conto della contemporaneità di scarico, ovvero la percentuale di probabilità che due o più apparecchi, allacciati ad un'unica colonna, scarichino contemporaneamente. All'interno della rete di scarico è stato inserito il sistema di ventilazione parallela diretta il cui corretto dimensionamento permette di escludere la formazione di pressioni e depressioni idrostatiche evitando quindi il riempimento totale dei collettori e delle colonne di scarico,

Il sistema di ventilazione parallela diretta, costituito da una vera e propria colonna di ventilazione posata accanto alla colonna di scarico e collegata ad ogni piano permettendo di caricare maggiormente la condotta stessa.

I materiali che costituiscono le condotte e le cappe di ventilazione devono resistere all'aggressività dei gas di fognatura ed agli agenti corrosivi in generale.

Le colonne e i collettori di ventilazione primaria sono da dimensionare con un diametro maggiore dei 2/3 di quello della colonna di scarico.

La colonna di ventilazione deve sporgere dal tetto di una misura maggiore di 30 cm e non deve presentare nessuna copertura, né congegni che ne diminuiscano la sezione di passaggio dell'aria. Il dimensionamento della rete di scarico si effettua utilizzando delle tabelle di natura empirica che forniscono i diametri dei tratti della rete in funzione della portata di scarico e della loro pendenza.

Come unità di misura delle acque di scarico si adotta un valore base, corrispondente ad uno scarico specifico di 0,25 l/s o 15 l/min che prende il nome di unità di scarico. Tutti i punti di scarico di acque usate (apparecchi), sono ripartiti, secondo la loro potenzialità specifica di scarico, in unità costituenti dei gruppi di valori d'allacciamento.

Per il calcolo del carico totale Q_t di acque usate che affluiscono in una colonna o in un collettore, si esegue la somma dei singoli valori specifici di scarico secondo i tipi di apparecchi allacciati

che sono definito dalla normativa UNI EN 12056.

Il carico totale deve essere ridotta per tenere conto della contemporaneità, ciò viene fatto mediante la seguente formula:

Gruppo d'unità di scarico	Tipo di apparecchi idrosanitari	Intensità di scarico Q in l/sec.	Durata indicativa dello scarico in secondi
1	- bacinella ad uso dentistico - fontanella a zampillo	0,25	
2	- lavamani, lavabo - bidet - lavabo a canale (3 rubinetti) - centrifuga ad uso domestico - piatto doccia	0,50	10 sec.
4	- vasca da bagno - lavapiedi (5 pilette) - lavabo a canale (10 rubinetti) - orinatoio - lavello da cucina semplice e doppio - lavastoviglie - lavatoio per lavanderia - lavatrice fino a 6 kg - pozzetto a pavimento con uscita ϕ 63	1,00	180 sec. 10 sec. 30-60 sec.
6	- vasca da bagno terapeutica - lavatrice da 7 kg a 12 kg - pozzetto a pavimento con uscita ϕ 75 - lavastoviglie per ristoranti - lavatoio doppio per lavanderia	1,50	
10	- w.c. (tutti i tipi) - vuotatoio - lavatrice da 13 kg a 40 kg - pozzetto a pavimento con uscita ϕ 90-110	2,50	6- 8 sec. 60-120 sec.

Fig.11.13 Tabella intensità di scarico

$$Q_r = k \times Q_t^{0,5}$$

dove:

Q_r è il carico ridotto, cioè il carico probabile contemporaneo;

k è il coefficiente di frequenza che nel nostro caso è pari a 0,5;

Q_t è il carico totale delle acque reflue.

Quindi, secondo il sistema di ventilazione scelto o la pendenza fissata, si determinano i rispettivi diametri di colonne e collettori. All'interno dell'edificio sono state realizzate 3 colonne di scarico distinte: la prima che serve la cucina e la camera sovrastante, la seconda serve i bagni del piano terra, una camera e l'appartamento del gestore, l'ultima colonna di scarico serve le ultime due camere e il locale invernale.

Il dimensionamento delle colonne di scarico e la relativa condotta di ventilazione è stata fatta considerando il numero di apparecchi allacciati che nel nostro caso varia in funzione della colonna, come si vede in tabella, e la relativa portata. Avendo adottato un sistema di scarico a ventilazione parallela diretta, la capacità di scarico è circa il 40% più elevata di quella del sistema a sola ventilazione primaria.

COLONNA 1			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
		[l/s]	[l/s]
WC	2,00	2,50	5,00
LAVABO	2,00	0,50	1,00
DOCCIA	1,00	0,50	0,50
BIDET	1,00	0,50	0,50
LAVASTOVIGLIE	1,00	1,00	1,00
LAVELLO	1,00	1,00	1,00
TOTALE	8,00	6,00	9,00
CONTEMPORANEITÀ			1,50

COLONNA 2			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
		[l/s]	[l/s]
WC	6,00	2,50	15,00
LAVABO	6,00	0,50	3,00
DOCCIA	2,00	0,50	1,00
BIDET	2,00	0,50	1,00
LAVASTOVIGLIE	1,00	1,00	1,00
LAVELLO	1,00	1,00	1,00
TOTALE	18,00	6,00	22,00
CONTEMPORANEITÀ			2,35

COLONNA 3			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
		[l/s]	[l/s]
WC	3,00	2,50	7,50
LAVABO	3,00	0,50	1,50
DOCCIA	3,00	0,50	1,50
BIDET	2,00	0,50	1,00
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	1,00	1,00	1,00
TOTALE	12,00	6,00	12,50
CONTEMPORANEITÀ			1,77

Tab.11.89 Tabella riassuntiva portate colonne di scarico

ϕ interno/ esterno mm	portata Q l/sec.	totale* servizi tipo allacciabili	servizi* tipo allacciabili per piano	ventila- zione parallela ϕ mm
83/90**	4,0			63
101/110	6,1	30	6	75
115/125	7,0	40	7	90
147/160	14,0	160	20	110

Fig.11.14 Tabella portate colonne di scarico

È stata scelta una tubazione di 101/110 mm di diametro per le colonne di scarico visto che quella 83/90 non è utilizzabile nel caso siano collegati anche i wc.

Il dimensionamento dei collettori di scarico è stato fatto considerando la tipologia di apparecchi allacciati e la relativa portata.

Nella tabella seguente sono riportati i quantitativi massimi di acque usate ammessi per i vari diametri e le diverse pendenze corrispondono ad un'altezza di riempimento $h/d=0,5 \cdot x$

Per il calcolo è stata considerata una pendenza minima dell'1%.

COLLETTORE 1A			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	1,00	2,50	2,50
LAVABO	1,00	0,50	0,50
DOCCIA	0,00	0,50	0,00
BIDET	0,00	0,50	0,00
LAVASTOVIGLIE	1,00	1,00	1,00
LAVELLO	1,00	1,00	1,00
TOTALE	4,00	6,00	5,00
CONTEMPORANEITÀ			1,12

COLLETTORE 1B			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	1,00	2,50	2,50
LAVABO	1,00	0,50	0,50
DOCCIA	1,00	0,50	0,50
BIDET	1,00	0,50	0,50
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	4,00	6,00	4,00
CONTEMPORANEITÀ			1,00

COLLETTORE 2A-B			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	2,00	2,50	5,00
LAVABO	2,00	0,50	1,00
DOCCIA	0,00	0,50	0,00
BIDET	0,00	0,50	0,00
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	4,00	6,00	6,00
CONTEMPORANEITÀ			1,22


COLLETTORE 2C			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	1,00	2,50	2,50
LAVABO	1,00	0,50	0,50
DOCCIA	1,00	0,50	0,50
BIDET	1,00	0,50	0,50
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	4,00	6,00	4,00
CONTEMPORANEITÀ			1,00

COLLETTORE 2D			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	1,00	2,50	2,50
LAVABO	1,00	0,50	0,50
DOCCIA	1,00	0,50	0,50
BIDET	1,00	0,50	0,50
LAVASTOVIGLIE	1,00	1,00	1,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	5,00	6,00	5,00
CONTEMPORANEITÀ			1,12

COLLETTORE 3A			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	1,00	2,50	2,50
LAVABO	1,00	0,50	0,50
DOCCIA	1,00	0,50	0,50
BIDET	0,00	0,50	0,00
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	3,00	6,00	3,50
CONTEMPORANEITÀ			0,94

COLLETTORE 3B			
APPARECCHI	N°	Q UNIT	Q
	--	[l/s]	[l/s]
WC	2,00	2,50	5,00
LAVABO	2,00	0,50	1,00
DOCCIA	2,00	0,50	1,00
BIDET	2,00	0,50	1,00
LAVASTOVIGLIE	0,00	1,00	0,00
LAVELLO	0,00	1,00	0,00
TOTALE	8,00	6,00	8,00
CONTEMPORANEITÀ			1,41

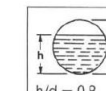
Tab. 11.90 Tabella riassuntiva portate collettori di scarico



pendenze in %					
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%
portata Q in l/sec.					
34/40**	0,11	0,15	0,19	0,22	0,24
44/50**	0,21	0,30	0,37	0,43	0,48
57/63**	0,43	0,61	0,75	0,87	0,98
69/75**	0,72	1,03	1,26	1,46	1,64
83/90	1,05	1,53	1,88	2,18	2,44
101/110	1,95	2,79	3,42	3,96	4,43
115/125	2,85	4,05	4,97	5,75	6,43
147/160	5,70	8,23	10,10	11,68	13,07
187/200	10,43	14,80	18,16	21,00	23,49
234/250	18,93	26,86	32,94	38,07	42,59
295/315	35,00	49,62	60,85	70,32	78,66

Fig.11.15 Tabella portate collettori di scarico

Infine per dimensionare le diramazioni di scarico di acque usate si utilizza la seguente tabella.



pendenze in %							
	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	4,0%	5,0%
portata Q in l/sec.							
69/75*	1,8	2,3	2,6	3,0	3,2	3,8	4,2
83/90*	2,8	3,4	4,0	4,5	4,9	5,6	6,3
101/110	5,0	6,2	7,2	8,0	8,9	10,2	11,5
115/125	7,4	9,0	10,5	11,7	12,9	14,9	16,7
147/160	15,0	18,0	21,0	23,5	26,0	30,0	33,0
187/200	27,0	33,1	38,1	42,8	47,0	54,3	60,8
234/250	48,0	60,1	69,5	77,7	85,2	98,4	110,1
295/315	90,6	111,1	128,4	143,6	157,4	181,8	203,3

Fig.11.16 Tabella portate collettori di raccordo

I quantitativi massimi di acque usate ammessi per i vari diametri e le diverse pendenze corrispondono ad un'altezza di riempimento h/d=0,8.

Data la portata del collettore pari a 3,18 l/s e la pendenza pari all'1% è stata scelta una tubazione di 101/110 mm di diametro.

11.10 TRATTAMENTO ACQUE DI SCARICO

Il trattamento delle acque reflue si compone di un trattamento preliminare costituito da un degrassatore con la funzione di rimuovere il materiale galleggiante prodotto da oli, grassi e detersivi in cui la separazione avviene attraverso il principio della flottazione.

Il secondo elemento dell'impianto è costituito da una vasca Imhoff che costituisce il trattamento primario. La vasca è costituita da due comparti uno superiore dove i solidi sedimentano e una inferiore in cui avviene la digestione dei fanghi per via anaerobica. Il tasso di depurazione di questo tipo di trattamento è pari al 25%, pertanto è necessario un impianto secondario.

Per il trattamento secondario si è scelto un sistema di fitodepurazione a flusso sub-orizzontale con successiva subirrigazione nel terreno.

Per eseguire il dimensionamento dei vari componenti del sistema è necessario andare a definire il numero di abitanti equivalenti. Con abitante equivalente (A.E.) viene indicata la quantità giornaliera di acque reflue cui corrisponde una richiesta biochimica di ossigeno a 5 giorni (BOD₅) pari a 60 grammi di O₂ al giorno (D.Lgs. 152/06). A un abitante equivalente corrisponde anche ad una domanda chimica di ossigeno COD di 130 grammi di O₂ al giorno o un volume di scarico di 200 litri di refluo per abitante al giorno.

Per il calcolo si è considerato per la zona del ristorante 39 abitanti equivalenti, calcolati considerando 1 A.E. ogni 3 persone; la massima capacità è stata calcolata considerando 1,2 m² per persona più il personale. Per le camere si considerano 21 A.E.

calcolati come 1 A.E. per ogni camera con superficie minore a 14 m^2 mentre per quelle con superficie superiore si considerano 2 A.E. più 1 per ogni 6 m^2 oltre i 14 m^2.

Da qui risulta che il totale degli abitanti equivalente è di 60.

In base a tale valore è stata scelta la capacità del trattamento primario che è risultata pari a 10000 l ripartiti in 3000 l per la parte di sedimentazione e 7000 l per la parte di digestione.

Per il trattamento secondario è stata scelta la fitodepurazione con flusso sommerso o sub-superficiale orizzontale ovvero bacini naturalmente o artificialmente impermeabilizzati, riempiti con materiale inerte ad elevata conducibilità idraulica (ghiaia, sabbia o terreno naturale) che funge da supporto di crescita per le macrofite emergenti e per la popolazione microbica.

Rispetto ai sistemi a flusso superficiale, in cui lo sviluppo di colonie di microorganismi è limitato ai soli fusti sommersi delle macrofite, la pellicola batterica dispone in questo caso di una maggiore superficie di adesione dovuta alla presenza del medium di crescita, riducendo così l'area richiesta dall'impianto.

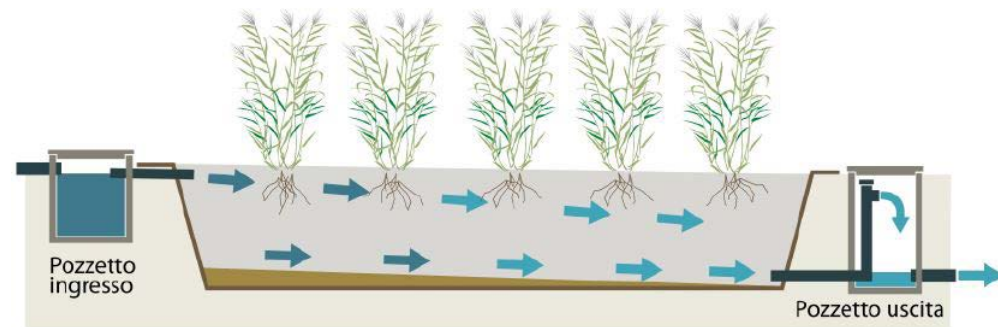


Fig.11.17 Sistema a flusso sub-orizzontale

Il flusso d'acqua è mantenuto costantemente al di sotto della superficie del materiale di riempimento, all'interno del quale si crea un ambiente prevalentemente anossico, ricco tuttavia di micro-siti aerobici posti in corrispondenza delle radici delle piante, che funzionano sostanzialmente come sistemi di trasferimento dell'ossigeno dall'atmosfera all'interno del letto filtrante. È proprio questa varietà delle condizioni redox del sistema a renderlo estremamente elastico, versatile ed efficiente a fronte di diverse tipologie di reflui da trattare e di variazioni del contenuto inquinante.

La forma di una vasca a flusso sommerso orizzontale deve essere necessariamente rettangolare; mentre la pendenza del fondo del letto può variare dall'1 al 5%.

La superficie necessaria per la realizzazione del bacino è di circa $2-4\text{ m}^2$ per A.E. nel nostro caso risulta essere compresa tra i 120 e 240 m^2.

La scelta di questa tipologia di trattamento è stata fatta sulla base delle sperimentazioni effettuate nei rifugi del parco dell'Adamello a quote superiori rispetto alla nostra.

Da questi casi risulta che il sistema funziona anche nei periodi invernali con appositi accorgimenti tra cui il posizionamento del versante in una zona esposta preferibilmente a Sud.

In oltre è possibile utilizzare come vegetazione le piante locali in modo tale da garantire la sopravvivenza delle stesse e il corretto funzionamento del sistema e come materiale di riempimento si è scelta la zeolite che permette di avere un'elevata conducibilità idraulica e una densità ridotta in modo da ridurre i tempi e i costi di trasporto.

11.11 ACQUE METEORICHE

La copertura dell'edificio è costituita da superfici inclinate con una inclinazione massima di 30°.

Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche dalla copertura è composto principalmente dai pluviali, tubazioni discendenti, serbatoio di raccolta e sistema di potabilizzazione.

Il dimensionamento dei pluviali è in funzione del carico delle acque meteoriche Q, dell'intensità pluviometrica I_p, che è stata ipotizzata e pari a $0,041\text{ l/s m}^2$, e del tipo di superficie esposta all'acqua, valutata in proiezione orizzontale per la quale si utilizza un fattore riduttivo K dell'intensità suddetta che nel nostro caso è pari a 1:

$$Q = I_p \times A \times K$$

Da cui risulta una portata totale pari a $13,5\text{ l/s}$; nella tabella seguente sono divise le diverse portate in funzione delle coperture.

NOME	SUPERFICIE		I_p [l/sm ²]	Q [l/s]
	[m ²]	K [-]		
TETTO MUSEO	54,25	1,00	0,041	2,22
TETTO RISTORANTE	72,37	1,00	0,041	2,97
TETTO CAMERE	163,52	1,00	0,041	6,70
FACCIATA CAMERE	38,11	1,00	0,041	1,56
				13,46

Tab.11.91 Tabella superfici di copertura

Il dimensionamento delle colonne di scarico è stato fatto considerando la superficie di copertura e in base alla relativa portata.

In base alle portate e al numero di colonne di scarico si sceglie, per comodità di installazione, di realizzare le condotte con tubature aventi un diametro pari a $83/90\text{ mm}$.

Il collettore invece viene dimensionato in modo tale che i quantitativi massimi di acque corrispondano ad un'altezza di riempimento $h/d=0,8$ da cui risulta un collettore da $115/125\text{ mm}$

con una pendenza pari al 2% che convogli le acque di scarico all'interno del serbatoio di accumulo previa eliminazione delle acque di prima pioggia che vengono raccolte nel serbatoio apposito che poi le immette nel sistema di trattamento delle acque usate.

La raccolta delle acque per soddisfare il fabbisogno del rifugio avviene in un serbatoio da 15000 l che è collegato al sistema di potabilizzazione per garantirne l'uso all'interno dell'edificio.

11.12 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Il dimensionamento del fotovoltaico è stato fatto ipotizzando un consumo medio giornaliero, sommando i consumi derivanti sia dagli impianti sia dall'utenza del rifugio.

Per la definizione dei consumi si è ipotizzato la presenza all'interno del rifugio di circa 20 persone e quindi il funzionamento dell'intero edificio. Di seguito sono state definite le potenze e i periodi di funzionamento dei diversi apparecchi installati all'interno dell'edificio.

Per quanto riguarda i consumi derivanti dal funzionamento

CONSUMI MEDI GIORNALIERI ELETTRODOMESTICI

	N°	POTENZA		ORE		CONSUMO	
		[-]	[kW]	[kWh]	[kWh]		
ILLUMINAZIONE	40	0,005	6	1,20			
CELLA FRIGORIFERE	1	0,65	24	15,60			
LAVASTOVIGLIE	1	3,56	2	7,12			
PIANO COTTURA	1	2,50	3	7,50			
CAPPA	1	0,42	3	1,26			
ELETTRODOMESTICI	1	3,68	3	9,20			
LAVATRICE	1	1,40	2	2,80			
						44,68	

Tab.11.92 Tabella consumi elettrodomestici

dell'impianto è stato fatto riferimento ai valori calcolati in precedenza relativamente ai pannelli infrarossi e il sistema di ventilazione mentre per i consumi degli altri impianti è stato incrementato il consumo del 10%.

Da questa analisi risulta un consumo medio di 81 kW; sulla base

CONSUMI MEDI GIORNALIERI IMPIANTO

	N°	POTENZA		ORE		CONSUMO	
		[-]	[kW]	[kWh]	[kWh]		
INFRAROSSO CAMERE	10	0,55	8	22,00			
INFRAROSSO BAGNO	2	0,28	8	2,24			
VENTILAZIONE	1	1,10	8	8,80			
VARI	-	-	-	-		3,30	
						36,34	

Tab.11.93 Tabella consumi impianto

di questo consumo è stato dimensionato l'impianto in modo tale da riuscire a coprirlo totalmente nei periodi estivi.

L'impianto è costituito da 79 pannelli fotovoltaici integrati nella struttura architettonica dell'edificio, di questi 32 sono ibridi per poter coprire parte del fabbisogno di energia termica, da cui risulta una potenza di picco di 24,9 kW.

I pannelli sono stati posizionati secondo due orientamenti, Sud-Est e Sud-Ovest, e secondo 3 inclinazioni, 18°, 30° e 70°. Per il calcolo della produzione totale è stato utilizzato il software PVgis che permette di calcolare la produzione media giornaliera e la produzione totale dell'impianto in funzione della potenza di picco, della localizzazione, dell'orientamento, e dell'inclinazione considerando le perdite dovute ai diversi componenti del sistema pari al 14%. I risultati di questa simulazione sono riportati nella seguente tabella.

Dalla tabella risulta che nei periodi che vanno da ottobre a

COPERTURA SUD-OVEST (37,5°)

	GIORNI	ED	EM	HD	HM
GENNAIO	31	11,40	352	1,64	50,80
FEBBRAIO	28	20,10	563	2,89	80,90
MARZO	31	31,40	973	4,63	144,00
APRILE	30	33,10	993	4,95	149,00
MAGGIO	31	38,10	1180	5,79	180,00
GIUGNO	30	41,10	1230	6,36	191,00
LUGLIO	31	43,90	1360	6,83	212,00
AGOSTO	31	39,20	1210	6,09	189,00
SETTEMBRE	30	31,40	942	4,80	144,00
OTTOBRE	31	19,50	606	2,93	90,90
NOVEMBRE	30	12,00	359	1,77	53,00
DICEMBRE	31	8,93	277	1,32	40,80
		27,51	10045,00	4,17	1525,40

Tab.11.94 Tabella produzione del fotovoltaico della copertura rivolta a sud-ovest

FACCIATA SUD-EST (70°)

	GIORNI	ED	EM	HD	HM
GENNAIO	31	8,87	275	2,07	64,00
FEBBRAIO	28	13,60	381	3,19	89,40
MARZO	31	17,00	528	4,13	128,00
APRILE	30	16,20	487	3,98	119,00
MAGGIO	31	17,70	550	4,38	136,00
GIUGNO	30	18,60	559	4,67	140,00
LUGLIO	31	20,10	625	5,08	158,00
AGOSTO	31	18,90	587	4,81	149,00
SETTEMBRE	30	16,30	489	4,10	123,00
OTTOBRE	31	11,80	365	2,90	89,80
NOVEMBRE	30	8,83	265	2,11	63,40
DICEMBRE	31	7,32	227	1,74	53,80
		14,60	5338,00	3,60	1313,40

Tab.11.95 Tabella produzione del fotovoltaico della facciata rivolta a sud-est

COPERTURA SUD-EST (20°)

	GIORNI	ED	EM	HD	HM
	[g]	[kWh]	[kWh]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
GENNAIO	31	14,70	457	1,71	53,10
FEBBRAIO	28	25,20	705	2,91	81,30
MARZO	31	36,90	1150	4,41	137,00
APRILE	30	39,40	1180	4,82	144,00
MAGGIO	31	46,50	1440	5,81	180,00
GIUGNO	30	50,80	1520	6,46	194,00
LUGLIO	31	53,90	1670	6,88	213,00
AGOSTO	31	47,00	1460	5,98	185,00
SETTEMBRE	30	36,90	1110	4,59	138,00
OTTOBRE	31	24,10	747	2,90	90,00
NOVEMBRE	30	15,40	462	1,82	54,60
DICEMBRE	31	11,80	365	1,39	43,10
		33,55	12266,00	4,14	1513,10

Tab.11.96 Tabella produzione del fotovoltaico della copertura rivolta a sud-est

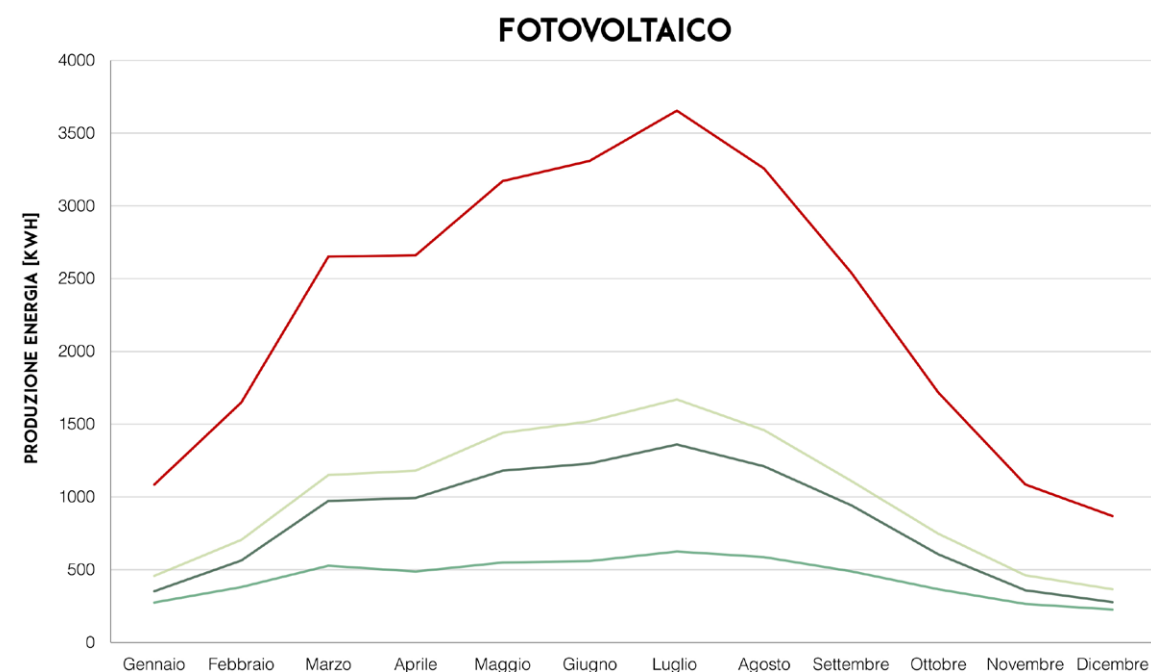


Fig.11.18 Grafico produzione energia elettrica

febbraio la produzione media giornaliera risulta non essere sufficiente per far fronte alle necessità del rifugio mentre nel periodo estivo la produzione risulta superiore. Questo ci permette di fare fronte ad affluenze superiori derivate da una maggior fruizione del rifugio.

Per quanto riguarda il periodo invernale, l'utilizzo del rifugio da parte degli utenti non è continuativo durante tutto il periodo ma si concentra durante alcuni giorni della settimana; questo permette di poter accumulare l'energia nei periodi di chiusura per poterla sfruttare poi nei giorni di apertura.

Il rifugio inoltre è stato dotato di un generatore ausiliario per

poter garantire il corretto funzionamento dell'edificio durante i periodi di brutto tempo, ovvero la parte di produzione elettrica fornita dal cogeneratore.

In ultima analisi è stata dimensionata una batteria di accumulo che permette il corretto funzionamento dell'impianto stand-alone.

Il calcolo della capacità delle batterie è stato fatto come segue:

$$C_{Ah} = (R \times A) / (V_n \times K_f \times \eta)$$

Dove:

R è l'energia richiesta giornalmente;

A sono i giorni di autonomia che nel nostro caso è stato considerato pari a 2 giorni;

V_n è la tensione nominale delle batterie;

K_f è il fattore di correzione che dipende dal numero di giorni di autonomia considerati, in questo caso è pari a 1,37;

η è il rendimento delle batterie.

Come sistema di accumulo sono state scelte delle batterie basate sulla tecnologia agli ioni ibridi acquosi che sono accumulatori puliti all'acqua salata con prestazioni e durate migliori delle batterie a chimica tradizionale. Le batterie non contengono metalli pesanti o sostanze chimiche tossiche; non si infiammano e non esplodono, di fatto sono le batterie più sicure al mondo, ideali per applicazioni in ambienti incontaminati.

Queste tipologie di batterie da 48 V hanno una profondità di scarica pari al 100% e un rendimento superiore al 90%. Per garantire l'autonomia necessaria è previsto un sistema di accumulo con capacità pari a 1370 Ah che è garantita da 81 batterie agli ioni salini che occupano una superficie di 7,5 m².

Viene di seguito proposta l'analisi delle condizioni di comfort presenti all'interno del rifugio.

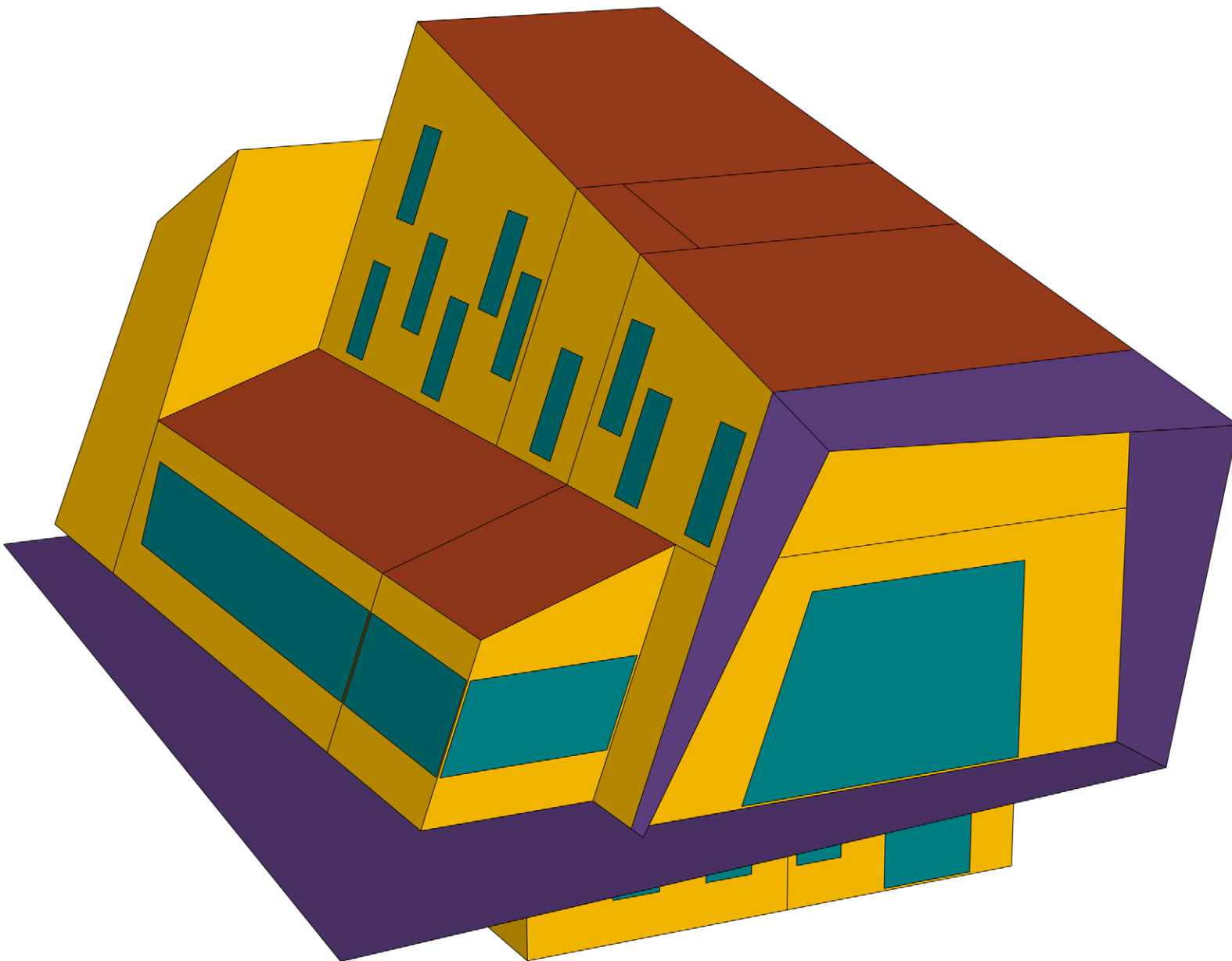
Lo studio parte dall'analisi in regime dinamico delle temperature presenti all'interno dei diversi ambienti durante il periodo invernale. Questa analisi simula il comportamento dell'edificio e dell'impianto così come è stato dimensionato nel capitolo precedente andando a definirne i consumi e la percentuale di ore in cui si raggiungono le temperature di comfort definite dalle normative vigenti.

Dopo lo studio del comportamento invernale si passa allo studio del comportamento estivo. In questo caso si è scelto di intervenire utilizzando alcune strategie passive che sono state ottimizzate in base alle esigenze emerse nelle diverse simulazioni.

Come prima strategia passiva è stata studiata la ventilazione naturale andando a definire i periodi di funzionamento e la portata necessaria a garantire il benessere termico.

La seconda strategia ottimizzata è stata l'utilizzo di schermature che in base alle simulazione sono state posizionate internamente e non esternamente.

Anche per le schermature sono stati definiti il periodo di funzionamento e il grado di schermatura che devono garantire in modo tale da massimizzare il numero di ore in cui si registrano le condizioni di comfort all'interno del rifugio.



12.1 PREMESSA

Un'analisi fondamentale per verificare le scelte effettuate in riferimento alla tecnologia utilizzata per la realizzazione dell'involucro dell'edificio e le scelte impiantistiche è lo studio del comportamento dell'edificio in un regime dinamico.

Per questo studio è stato utilizzato il software Trnsys 17 che permette, in base alle condizioni climatiche dell'ambiente e alla geometria dell'edificio, di simulare il comportamento in regime dinamico del rifugio.

Le analisi si concentrano principalmente sullo studio di due fattori che ci permettono di stabilire la presenza delle condizioni di comfort termico, ovvero la temperatura operativa presente all'interno dei diversi ambienti, e il calore che deve essere fornito per mantenere una temperatura di comfort.

Lo studio è stato strutturato in modo da verificare nel periodo invernale l'efficacia delle scelte effettuate nel capitolo precedente, mentre nel periodo estivo sono state ottimizzate le scelte in materia di raffrescamento passivo.

L'analisi è stata così suddivisa:

- dapprima è stata effettuata una simulazione sul comportamento dell'edificio in assenza dell'impianto di riscaldamento e della ventilazione per analizzare il comportamento del solo involucro;
- successivamente si procede all'inserimento dell'impianto di riscaldamento determinando il consumo di energia da esso richiesto;
- infine si completa l'analisi nel periodo invernale inserendo l'impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore determinando così i risparmi in termini di energia che deve essere fornita all'impianto;
- analizzato il comportamento invernale si passa a quello estivo studiando l'apporto della ventilazione naturale e determinando il numero di ricambi d'ora da garantire per ottenere le temperature di comfort all'interno dell'edificio;
- infine si studia l'apporto garantito dalla presenza delle schermature ottimizzandone i periodi di apertura e chiusura e la percentuale di schermatura che deve essere garantita.

Le analisi sono state fatte ipotizzando lo stesso periodo di funzionamento utilizzato per eseguire il dimensionamento di alcune parti dell'impianto e con una presenza di utenti che non coincide con la massima capienza del rifugio, bensì con una media plausibile di presenze.

12.2 IL COMFORT

Il comfort esprime la sensazione di benessere sia mentale che fisico di un individuo. Tuttavia, la condizione di benessere

varia in funzione dell'individuo e non è unica. Essa dipende dall'interazione tra uomo e ambiente.

Il comfort è determinato da valori statistici quindi non è valido in assoluto; si ricerca un livello tale per cui la maggior parte delle persone si trovi in una condizione di benessere. Il benessere termoigrometrico è definito dall'American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) come quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione con l'ambiente circostante.

In Italia il benessere è valutato secondo due normative la UNI EN ISO 7730 e la UNI EN 15251.

La UNI EN ISO 7730 Ergonomia degli ambienti termici.

È la Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale. Questa norma definisce i metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il grado di disagio delle persone esposte in ambienti termici moderati. Mediante il calcolo del PMV (voto medio previsto) e del PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) è possibile determinare il benessere termico. Queste due grandezze sono state definite

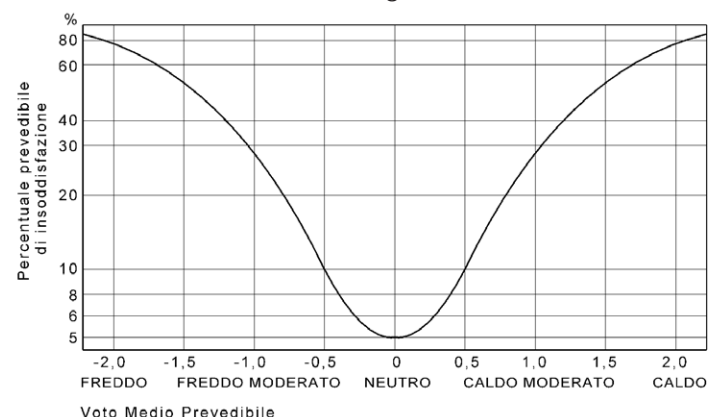


Fig. 12.1 Grafico Percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV)

statisticamente.

La norma classifica gli ambienti secondo tre categorie:

- A (94% di soddisfatti)
- B (90% di soddisfatti)
- C (85% di soddisfatti)

Per ciascuna devono essere verificati i valori di DR (rischio corrente d'aria) e PD per i valori di asimmetria radiante. La norma impone degli intervalli di temperatura e di velocità dell'aria per verificare la classe di appartenenza degli ambienti. Misurando quindi alcuni parametri all'interno dell'ambiente come la temperatura dell'aria è possibile determinare quale è il livello di comfort di esso.

La UNI EN 15251 Criteri per la valutazione dell'ambiente interno e per la valutazione della prestazione energetica degli edifici, in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico,

all'illuminazione e all'acustica.

Il modello di studio della norma UNI 7730 considera le persone all'interno degli ambienti come soggetti passivi di scambio termico e prescrive temperature ottimali costanti (min 20° C invernali e max 26° C estive).

Negli ultimi anni si è introdotto un nuovo modello adattivo; questo spiega come la storia termica di ciascun soggetto possano modificare le aspettative e le preferenze termiche degli occupanti. Il modello di comfort adattivo propone una correlazione tra la temperatura di comfort per gli occupanti di

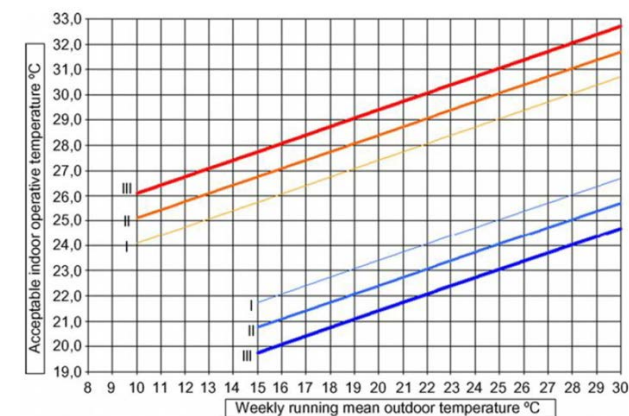


Fig. 12.2 Grafico dei livelli di temperature interne accettabili in edifici senza raffrescamento meccanico

un edificio e la temperatura dell'aria esterna.

Anche in questo caso vengono classificati gli ambienti in tre categorie in funzione della percentuale di utenti soddisfatti:

- A (94% di soddisfatti)
- B (90% di soddisfatti)
- C (85% di soddisfatti)

Nel periodo invernale si studia il comfort imponendo un intervallo di temperature costanti, mentre per il periodo estivo si utilizza un approccio adattivo.

12.3 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO

Per la modellazione dell'edificio si parte dalla definizione delle zone climatiche in cui è suddiviso il nostro edificio.

Le zone climatiche sono costituite da ambienti aventi caratteristiche termiche e di comfort identiche tra di loro. Uno dei limiti di questa tipologia di modellazione è la l'impossibilità di definire delle zone climatiche di forma concava.

Il rifugio è stato suddiviso nelle seguenti zone:

- 1A_Ingresso;
- 1B_Locale invernale;
- 1C_Locale impianti;
- 2A_Scala;
- 2B_Sala Invernale

- 2C_Sala estiva;
- 2D_Museo;
- 2E_Cucina;
- 3A_Scala;
- 3B_Camere invernali;
- 3C_Gestore;
- 3D_Camere estiva.

Oltre alla definizione delle zone climatiche, risulta opportuno individuare le pareti virtuali. La parete virtuale è un elemento puramente di disegno del modello, non esistente nella realtà, che però permette un controllo maggiore delle caratteristiche degli spazi termici particolari come ad esempio corridoi.

Nel nostro caso andiamo è stata posizionata una parete virtuale nella zona 3C (per metterla in comunicazione con le camere invernali) e nella zona 1C (per metterla in comunicazione con il locale invernale).

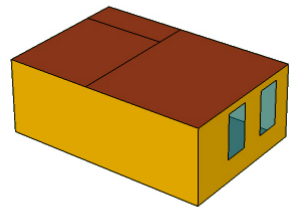


Fig.12.4 Modello piano interrato



Fig.12.3 Pianta piano interrato

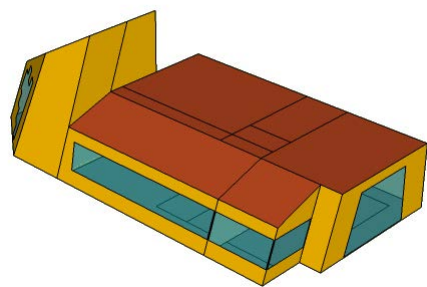


Fig.12.6 Modello piano terra

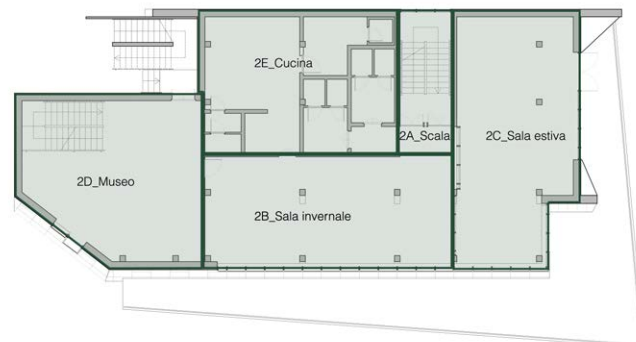


Fig.12.5 Pianta piano terra

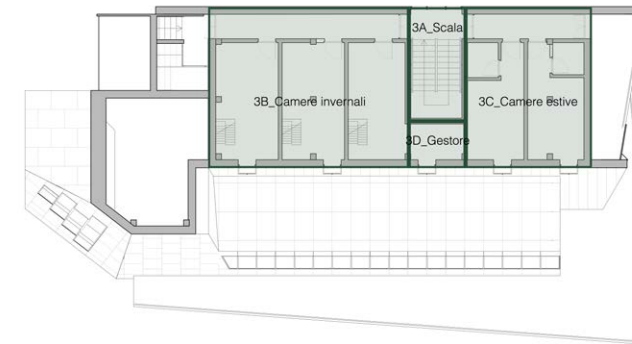


Fig.12.9 Pianta piano primo

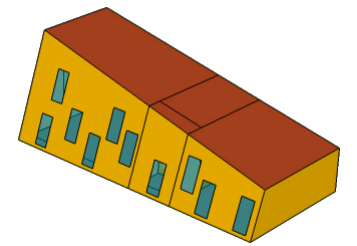


Fig.12.7 Modello piano primo

Nella modellazione si presta particolare attenzione all'assegnazione delle corrette unità tecnologiche sulle singole parti: soffitto-solaio, parti ombreggianti. Si riporta qui sotto il modello ottenuto con la corretta modellazione pronto per essere importato in Trnsys per dare avvio alle simulazioni che sono state descritte nei seguenti paragrafi.

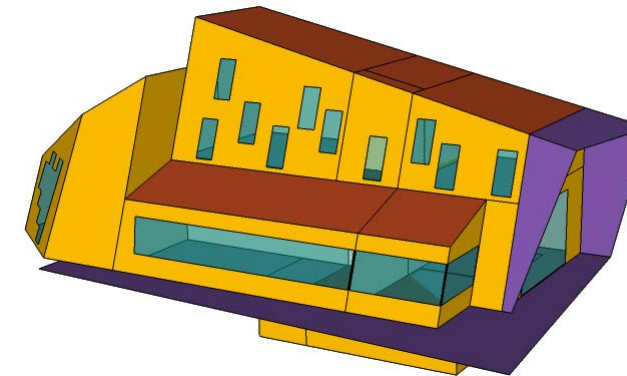


Fig.12.8 Modello finale comprensivo delle zone d'ombra

12.3.1 IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI

Prima di poter effettuare lo studio in regime dinamico delle condizioni presenti all'interno dell'edificio è stato necessario definire le caratteristiche dell'involucro sia opaco sia trasparente; inoltre sono state considerate le caratteristiche di tenuta all'aria andando a definire le infiltrazioni d'aria esterna e infine i carichi termici dovuti dalla presenza delle persone e delle apparecchiature.

Per quanto riguarda le caratteristiche dell'involucro sono state inserite le stratigrafie delle diverse soluzioni tecnologiche che compongono le chiusure dell'edificio.

Il software per definire le caratteristiche termiche dell'edificio richiede l'inserimento delle caratteristiche dei diversi strati in particolare richiede la trasmittanza, il calore specifico e la densità.

Una volta definite le caratteristiche delle componenti opache sono state definite le prestazioni delle componenti trasparenti. Le componenti vetrate sono state scelte tra quelle presenti all'interno del software in particolare è stato scelto un vetro con un basso valore di trasmittanza termica e un alto valore del fattore solare per massimizzare gli apporti solari durante il periodo invernale.

Una volta definite le prestazioni termiche dell'involucro si passa alla definizione delle caratteristiche di tenuta all'aria.

Per definire il volume di aria esterna entrante all'interno dell'edificio si fa riferimento alla norma UNI EN 12831 da cui risulta che nel caso di edifici con ventilazione meccanica questo è pari a $0,25 \text{ h}^{-1}$.

Prima di poter proceder con le simulazioni si definisce l'entità dei carichi interni e i periodi in cui essi sono presenti.

In questa fase si rifanno le ipotesi di funzionamento fatte in precedenza, ovvero si ipotizza l'apertura del rifugio al pubblico 3 giorni alla settimana durante il periodo invernale, mentre tutti i giorni di apertura durante il periodo estivo.

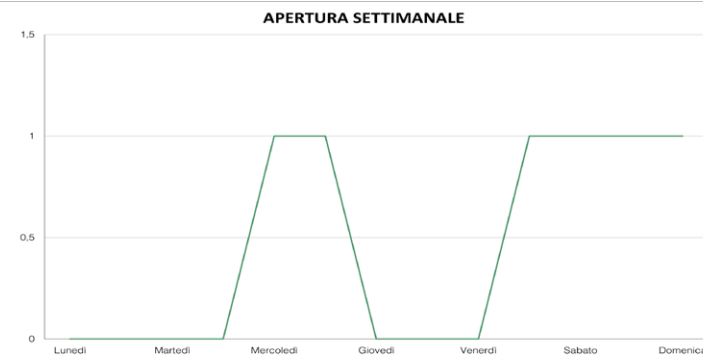


Fig.12.10 Grafico settimanale

Dopo aver definito i periodi di apertura si sono definite le ore durante la giornata in cui è presente il massimo affollamento, ovvero le prime ore della mattina (ipotizzando che siano presenti le persone pernottanti) e le ore del pranzo e della cena.

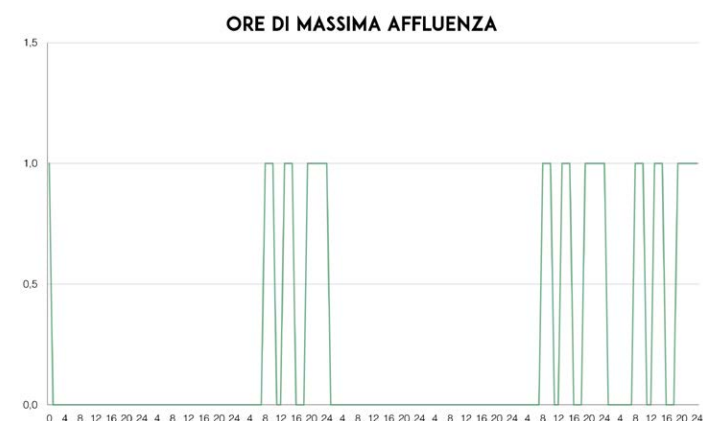


Fig.12.11 Grafico ore di massima affluenza

12.3.2 DEFINIZIONE DELLE SIMULAZIONI

Si è proceduto allo studio del comfort andando ad analizzare il comportamento del nostro edificio in due periodi distinti dell'anno: l'inverno e l'estate.

Le analisi eseguite per valutare le condizioni di comfort nel periodo invernale hanno lo scopo di determinare l'esattezza delle scelte effettuate fino a ora.

Come prima simulazione si sono analizzate le temperature interne dei diversi locali per capire l'apporto derivante dalle scelte tecnologiche dell'involucro.

La seconda simulazione è stata fatta per analizzare il comportamento dell'edificio con l'inserimento del solo riscaldamento.

La terza simulazione prevede di analizzare il risparmio di energia richiesta dall'impianto con l'inserimento di un impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore.

Una volta analizzato il comportamento invernale si passa a quello estivo. In queste simulazioni si è valutato l'apporto di due strategie di raffrescamento passivo, ovvero lo sfruttamento della ventilazione naturale, e la riduzione degli apporti solari con l'utilizzo di schermature.

Per quanto riguarda la ventilazione naturale si verifica come varia il comfort in funzione delle diverse portate d'aria immesse all'interno dell'edificio, mentre per quanto riguarda le schermature si è studiato come varia la temperatura in funzione del grado di schermatura e al tipo di schermatura.

Infatti si è verificato se convenga avere una schermatura fissa esterna o se, in termini di comfort e di consumo di energia nel periodo invernale, sia meglio avere una schermatura mobile interna.

Una volta scelta la soluzione migliore si sono individuati le condizioni e i periodi in cui questa deve funzionare e infine si è definito il grado di schermatura che deve essere garantito.

12.4 STUDIO DEL COMFORT DELLA TECNOLOGIA COSTRUTTIVA

L'analisi ha come fine ultimo quello di verificare che le scelte in termini di tecnologia siano quelle corrette per questo tipo di clima.

Pertanto la simulazione è stata eseguita senza definire i parametri né del sistema di riscaldamento, né di quello di ventilazione. Non avendo alcun tipo di calore fornito dall'impianto si è proceduto ad analizzare l'andamento delle temperatura dei locali riscaldati. In quest'analisi si è ipotizzato che durante i giorni di apertura nelle ore che vanno dalle 10 alle 12 e dalle 15 alle 18 ci sia la presenza in ogni zona termica sia di almeno due persone, mentre nelle ore di massimo utilizzo si sono considerate 8 persone nelle due sale da pranzo e 6 persone nelle due camerate e 4 persone nelle restanti due camere.

I risultati della simulazione sono stati analizzati secondo i metodi descritti nelle due normative permettendo di definire la percentuale di persone soddisfatte dalle condizioni di comfort presenti all'interno del rifugio

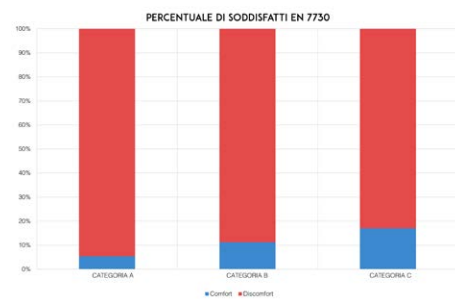


Fig.12.13 Percentuale di soddisfatti

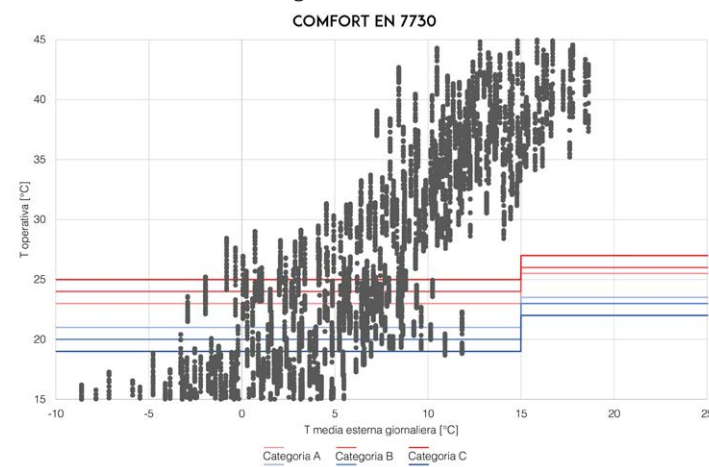


Fig.12.12 Grafico secondo la norma UNI EN 7730

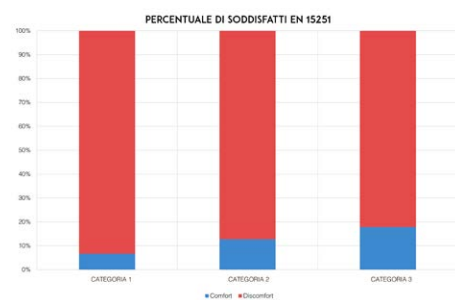


Fig.12.15 Percentuale di soddisfatti

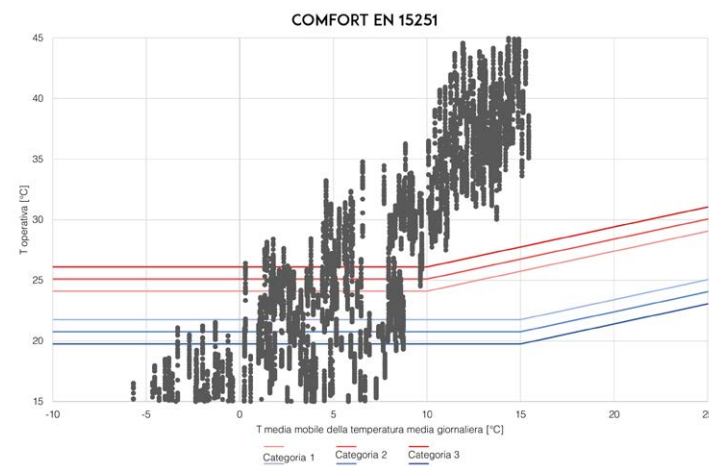


Fig.12.14 Grafico secondo la norma UNI EN 15251

Dall'analisi si osserva come solo il 13% delle ore dell'anno sono in grado di garantire al 90% delle persone (categoria B UNI EN 7730 e Categoria 2 UNI EN 15251) le condizioni di comfort; la percentuale sale al 17% delle ore se si considerano le categorie B e 3 dei due modelli di studio.

Dai due grafici si nota che durante i periodi intermedi come l'autunno e la primavera in cui le temperature medie vanno dai 5°C a 10°C si concentra la maggior parte dei punti che si trovano nel range di temperature soddisfacenti per la maggioranza delle persone.

Il risultato ottenuto, come dalle attese, garantisce un minimo di ore di comfort che permettono di ridurre al minimo le ore di funzionamento dell'impianto nelle stagioni intermedie.

12.5 STUDIO DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

L'analisi ha come fine ultimo quello di analizzare l'effetto che ha un impianto di riscaldamento sulle condizioni di comfort dell'edificio.

La simulazione implementa le condizioni utilizzate in quella precedente andando a inserire un impianto di riscaldamento.

L'impianto è stato inserito in modo tale che funzioni nei periodi di massimo utilizzo nel periodo invernale, mentre in quello estivo il sistema funziona solo durante le ore notturne.

La temperatura di funzionamento è stata settata in modo tale da garantire una temperatura minima di 20°C nei periodi di accensione del sistema mentre nella restante parte della giornata e nei periodi di chiusura del rifugio si è indagato quale sia la temperatura migliore che permette di ottenere non solo il comfort interno ma anche il minor consumo di energia necessaria per il riscaldamento.

Di seguito sono riportati i risultati della simulazione con una temperatura minima di accensione nei periodi di chiusura pari a 16°C.

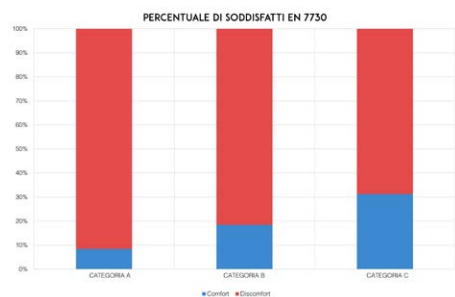


Fig.12.17 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 16°C

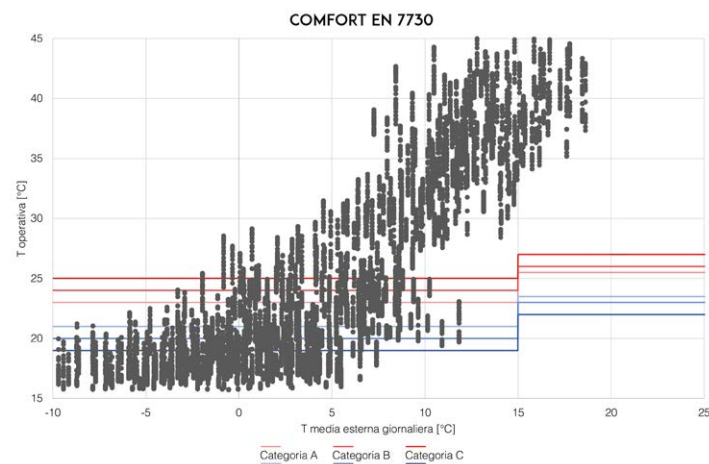


Fig.12.16 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 riscaldamento 16°C

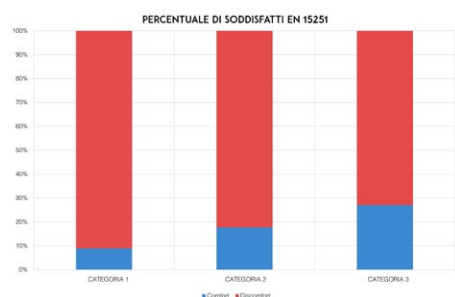


Fig.12.19 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 16°C

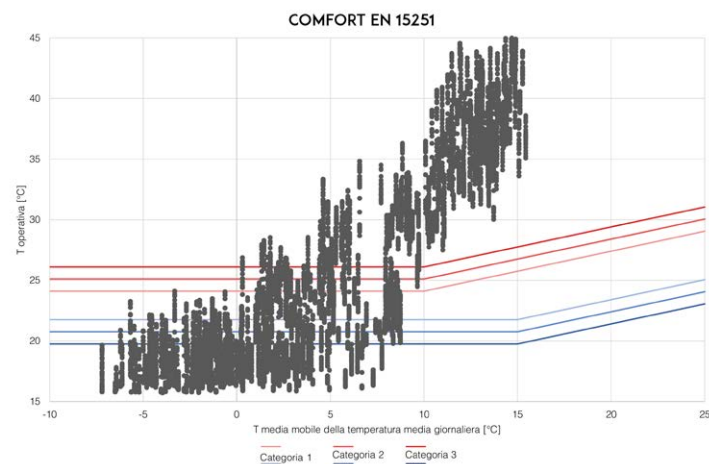


Fig.12.18 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 riscaldamento 16°C

Dal confronto con la situazione precedente si vede subito come sono aumentati i giorni in cui si ha una percentuale del 85% di persone soddisfatte.

Nel grafico inoltre si tiene conto dei giorni di chiusura in cui la temperatura di funzionamento dell'impianto è pari a 16°C in cui non si garantisce la temperatura minima di comfort.

Nonostante i giorni di chiusura, l'introduzione dell'impianto fa sì che la percentuale delle ore in cui la temperatura rientra nelle categorie B e 2 sia in entrambi i modelli pari a circa il 18% del totale dei giorni.

Dal confronto con la situazione precedente si nota un incremento di circa il 64% nel caso dell'analisi secondo la EN 7730 mentre di circa il 38% nel caso dello studio secondo la EN 15251.

Si è eseguita in questo caso una seconda osservazione andando ad analizzare l'energia utile richiesta dall'impianto che in queste condizioni risulta essere pari a 19,8 kWh/m² anno.

Dal grafico seguente si nota come i periodi di massima richiesta di energia da parte del sistema di riscaldamento sono quelli invernali in mentre in quelli estivi, come era prevedibile, risulta essere minima se non nulla come nei mesi di Luglio e Agosto.

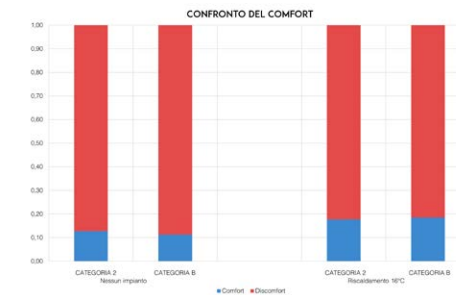


Fig.12.20 Confronti tra la simulazione senza impianto e quella con riscaldamento a 16°C

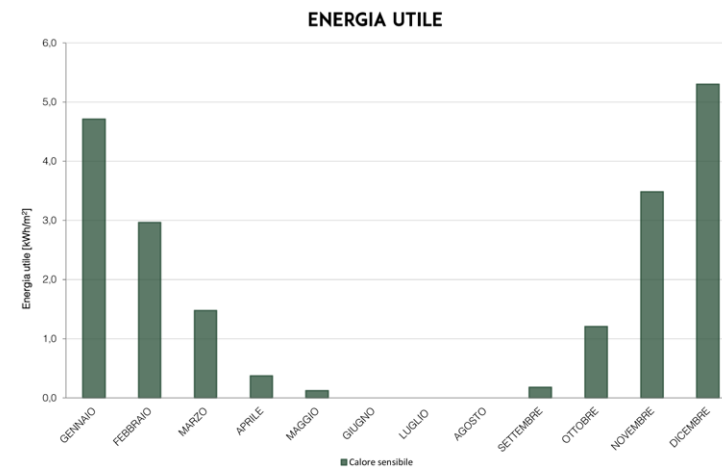


Fig.12.21 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento 16°C

Dallo studio emergono le criticità dovute alla bassa temperatura nei periodi di chiusura o di minima affluenza dell'impianto. Questa condizione va a gravare non solo sul comfort, ma anche sul consumo di energia in quanto all'impianto è richiesto di intervenire, per far fare alla temperatura interna con un salto di 4°C.

Per questo motivo si è deciso di studiare la situazione in cui la temperatura minima di funzionamento è di 18°C riducendo così il salto termico a 2°C permettendo di ridurre il tempo necessario per raggiungere una condizione di benessere interno.

12.6 STUDIO DELL'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO 18°C

L'analisi precedente ha evidenziato alcune criticità dovute alla bassa temperatura di esercizio nei periodi di chiusura e di basso affollamento.

Questa simulazione è stata eseguita mantenendo inalterate le condizioni di affollamento e i periodi di accensione e spegnimento dell'impianto di riscaldamento, ma si è intervenuto sulla temperatura minima che il sistema di condizionamento deve garantire; questa è stata incrementata portandola a 18°C dai 16 della simulazione precedente.

Da questa simulazione ci aspettiamo un lieve incremento delle condizioni di comfort studiate con le due normative e un aumento dei consumi dovuti principalmente all'incremento delle ore di funzionamento dell'impianto.

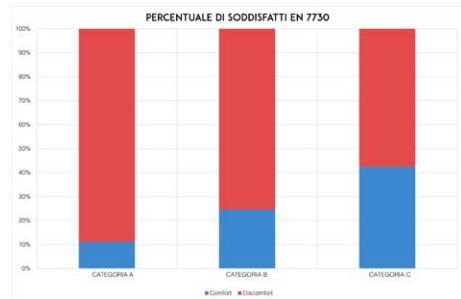


Fig.12.23 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 18°C

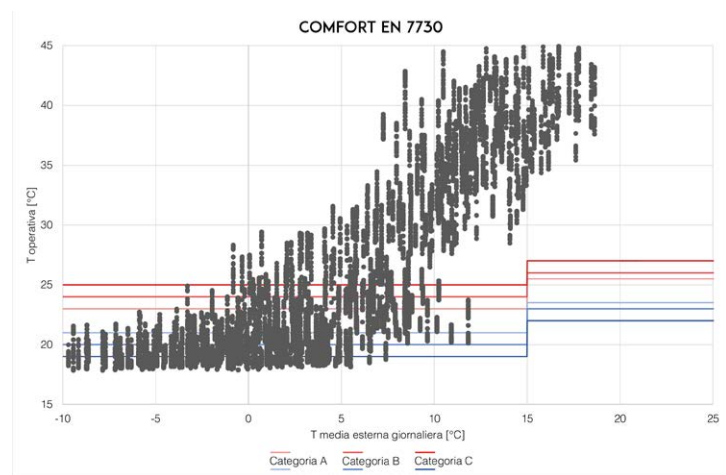


Fig.12.22 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 riscaldamento 18°C

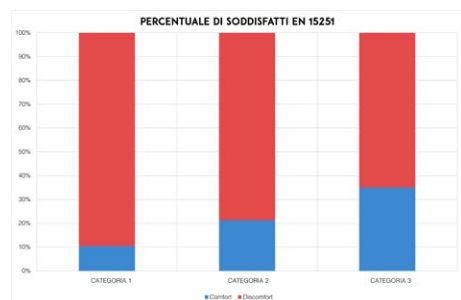


Fig.12.25 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 18°C

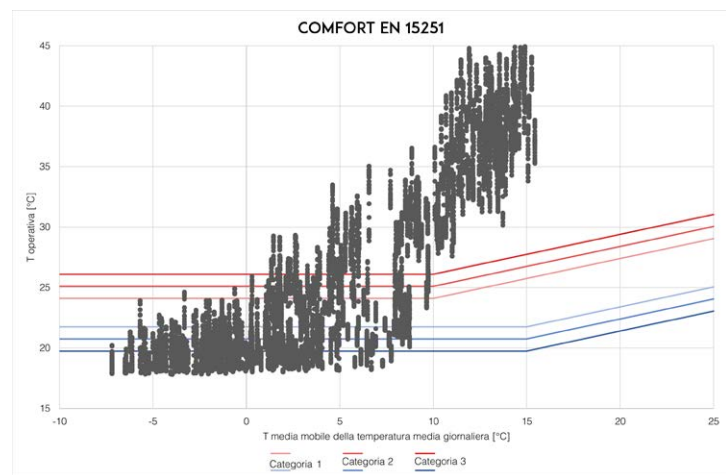


Fig.12.24 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 riscaldamento 18°C

Dai dati ottenuti nelle simulazioni si nota subito come i punti nel regime invernale si siano alzati questo ha fatto sì che i giorni in cui si ha 85% delle persone soddisfatte siano aumentati di circa il 20% in entrambe le modalità di analisi del comfort.

Anche se nei giorni di chiusura la temperatura minima sia inferiore di circa 1°C al limite inferiore di temperatura delle categorie C e 3, l'impianto riesce a portare la percentuale dei giorni in cui la temperatura rientra nelle categorie B e 2 rispettivamente al 22% e al 20% del totale dei giorni.

Dal confronto con la situazione iniziale, in cui non c'era l'impianto, si nota un incremento di circa il 21% nel caso dell'analisi secondo la EN 7730 mentre di circa il 18% nel caso dello studio secondo la EN 15251.

In questo caso si è eseguita una seconda osservazione andando ad analizzare l'energia utile richiesta dall'impianto che in queste condizioni risulta essere pari a 23,4 kWh/m² anno.

Dal grafico riportato sotto si nota che la distribuzione di energia richiesta è rimasta invariata bensì quello che varia è

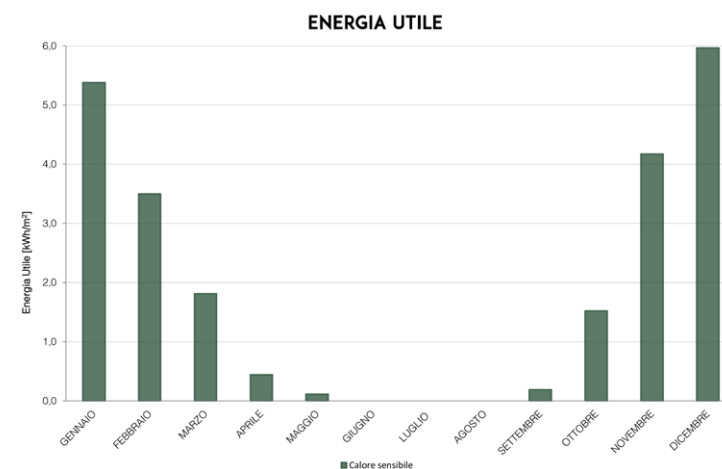


Fig.12.27 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento 18°C

solo il fabbisogno richiesto. Questa variazione risulta essere più evidente nei mesi di Gennaio e Dicembre mentre è quasi assente nei mesi di Maggio, Giugno e Settembre.

Data la variazione dell'energia richiesta, si è scelto di utilizzare durante le ore in cui rifugio è aperto una temperatura minima di attivazione dell'impianto di 18°C mentre nei periodi di chiusura si imposta una temperatura minima di 16°C. Questa scelta non va ad influire sulle condizioni di comfort in quanto la temperatura di 18°C si trova sotto il range di temperature che garantiscono il benessere degli utenti.

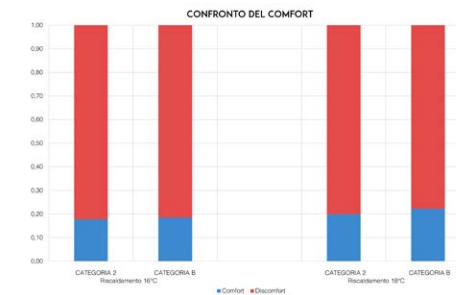


Fig.12.26 Confronti tra la simulazione con riscaldamento a 16°C e quella con riscaldamento a 18°C

12.7 STUDIO DELLA VENTILAZIONE MECCANICA

Dall'analisi precedente si è definito il comportamento del sistema di condizionamento del rifugio; da quest'analisi si va ad indagare l'influenza sulle condizioni di comfort e sulla richiesta di energia con la presenza della ventilazione meccanica.

Per questa simulazione è stato necessario inserire all'interno del programma il recuperatore di calore in cui sono state settate le caratteristiche del sistema come definite dalla scheda tecnica del prodotto scelto nel capitolo precedente. Il recuperatore riceve come input la temperatura interna e quella esterna e dà come output la temperatura dell'aria esterna incrementata dell'energia recuperata. Come si è visto nel capitolo precedente è necessario inserire una batteria di post-riscaldamento che ha una potenza massima di 7,6 kW.

Il sistema è stato settato in modo da funzionare tutto l'anno ad esclusione dei mesi estivi e le portate sono state inserite in funzione della portata d'aria primaria richiesta dalle singole zone climatiche; l'aria viene immessa a una temperatura di 20°C.

Dato che l'impianto di ventilazione meccanica è stato

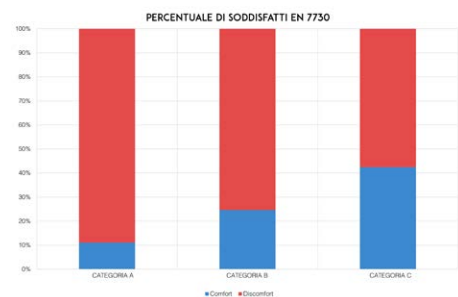


Fig.12.29 Percentuale di soddisfatti ventilazione meccanica

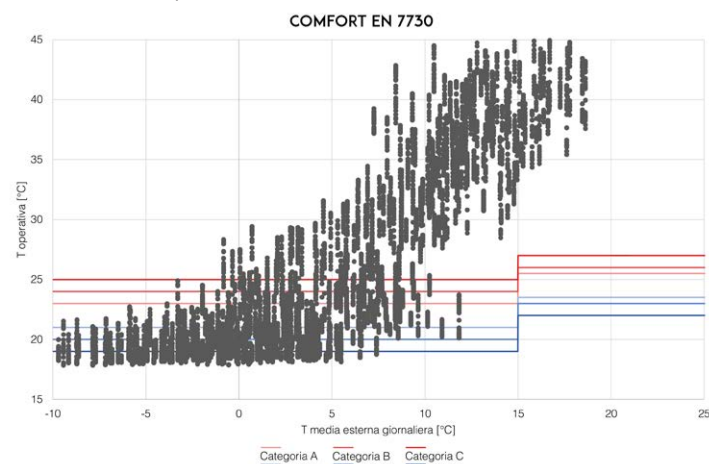


Fig.12.28 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione meccanica

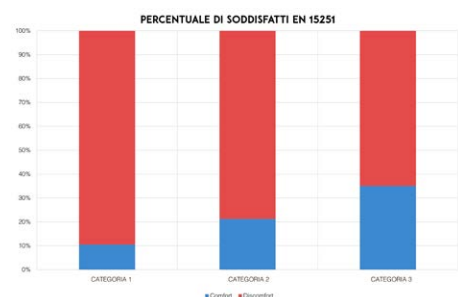


Fig.12.31 Percentuale di soddisfatti ventilazione meccanica

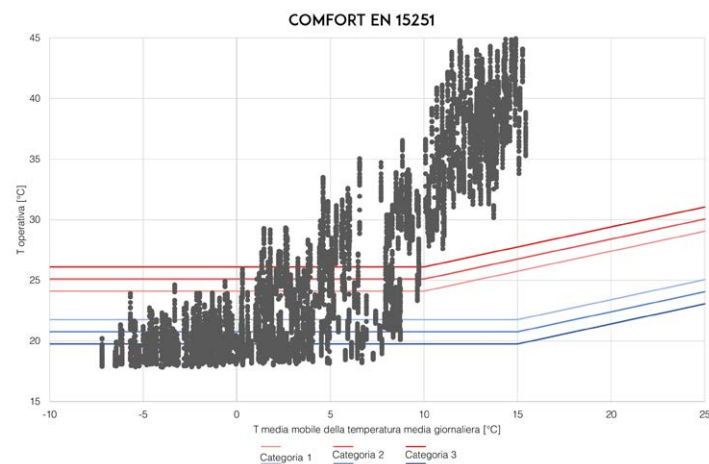


Fig.12.30 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione meccanica

dimensionato solo per garantire i ricambi d'aria minimi richiesti da normativa e non anche per riscaldare gli ambienti, non si notano significative variazioni nelle condizioni di comfort.

Si osserva soltanto un leggero incremento delle condizioni di benessere nell'analisi secondo il modello non adattivo, in particolare il valore della categoria A rimane invariata rispetto a quella della simulazione precedente mentre i valori della categoria B e C aumentano rispettivamente del 10% e del 7%. Se si osserva che la richiesta di energia da parte dell'impianto si riduce notevolmente portando la richiesta di energia utile a 12,5 kWh/m² anno.

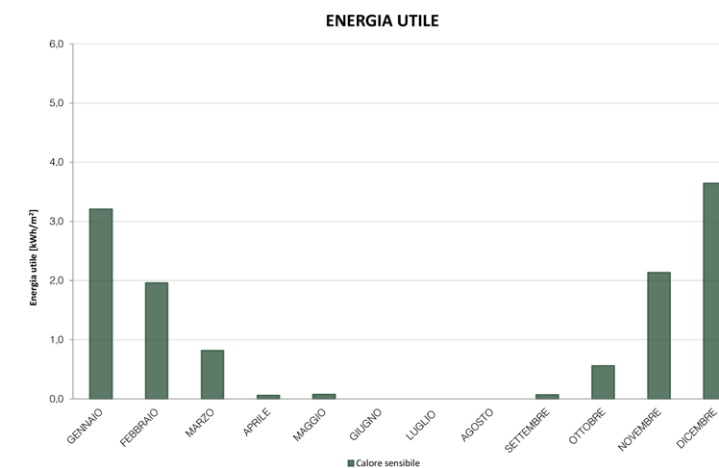


Fig.12.33 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento con ventilazione meccanica

Da quest'ultima simulazione risulta una percentuale di giorni in cui si ha lo 85% di persone soddisfatte pari rispettivamente al 42% e al 35%; all'interno di queste percentuali sono compresi anche i giorni di chiusura del rifugio in cui non si garantiscono le condizioni minima di comfort.

Dopo questa analisi si passa allo studio delle condizioni estive il cui scopo è quello di ottimizzare le scelte di raffrescamento passivo in modo da abbassare il più possibile i punti che nei grafici si trovano nella parte sinistra dei grafici.

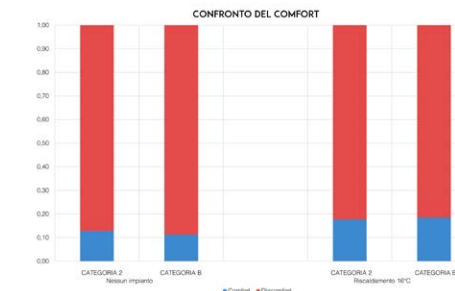


Fig.12.32 Confronti tra la simulazione con riscaldamento a 18°C e con la ventilazione meccanica

12.8 STUDIO DELLA VENTILAZIONE NATURALE

Per la fase estiva si analizzano gli effetti della ventilazione naturale sulle condizioni di benessere interno. Con queste simulazioni si vuole ottimizzare la portata d'aria e il periodo di apertura e chiusura delle finestre.

Con la prima simulazione si è ipotizzato che la portata d'aria esterna sia pari a 1 vol/h e si attivi solo nel caso in cui la temperatura interna sia superiore a 25°C e quella esterna è sia superiore a 15°C (questo per evitare di immettere all'interno del rifugio aria troppo fredda che rischia di creare una situazione di discomfort all'interno degli ambienti).

In questa ipotesi si è scelto di far funzionare il sistema di ventilazione naturale solo nel periodo estivo, che come si vede dalle simulazioni precedenti, è quello più critico per il nostro edificio.

Questa analisi andrà quindi ad abbassare i punti che si trovano a destra della temperatura esterna di pari a 15°C.

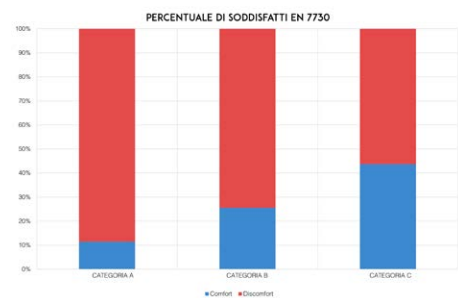


Fig.12.35 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale

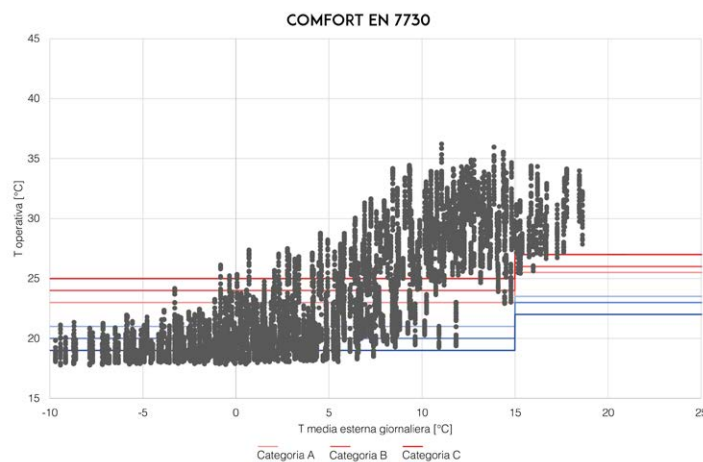


Fig.12.34 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale

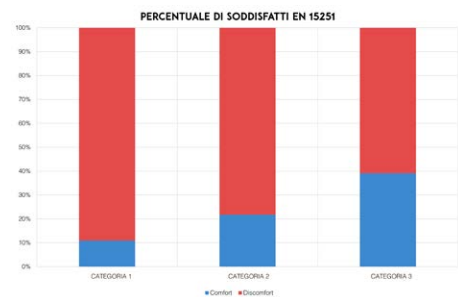


Fig.12.37 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale

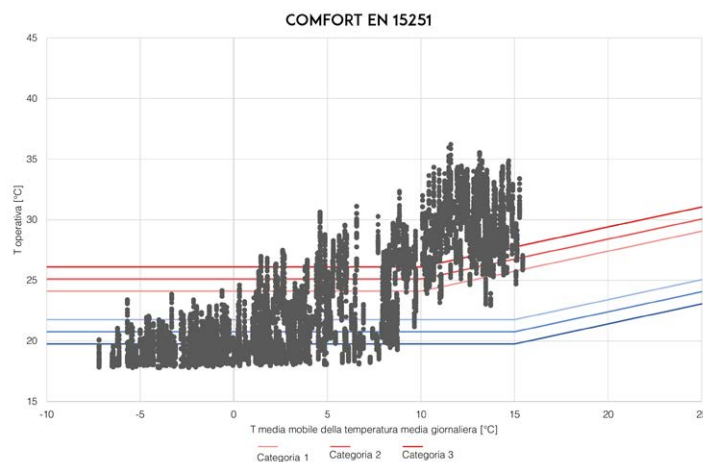


Fig.12.36 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale

Dai dati ottenuti si evince subito che questa strategia passiva di raffrescamento durante il periodo estivo è quella che permetterà di ridurre il numero dei punti che si trovano al disopra delle linee delle categorie di comfort.

Dal confronto emerge un netto incremento delle giornate in cui la percentuale di persone soddisfatte dalle condizioni termigrometriche è superiore all' 85% .

In particolare se si considerano le categorie intermedie si vede come sia nel modello adattivo che in quello non adattivo si abbia un incremento di un punto percentuale rispetto alla simulazione precedente.

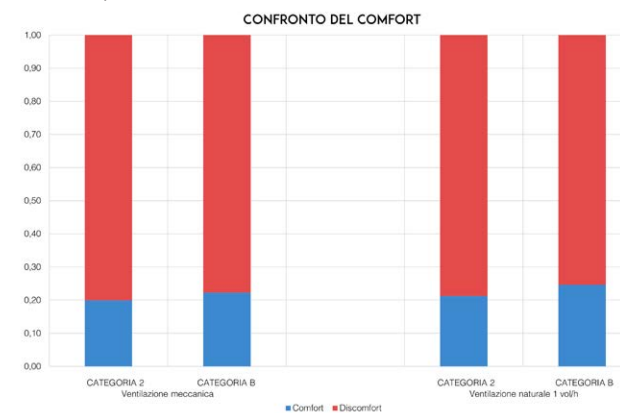


Fig.12.38 Confronti tra la simulazione con la ventilazione meccanica e la ventilazione naturale

Se si esaminano le categorie C e 3 si osserva che con queste impostazioni le ore di comfort sono rispettivamente il 44% e 39% del totale comprese quelle in cui il rifugio rimane chiuso.

Per ottimizzare la ventilazione naturale si è scelto di intervenire ampliando il periodo di funzionamento del sistema ai mesi con temperature intermedie quali Maggio e Settembre.

Sulla base di questi risultati si procederà ad aumentare la portata d'aria al fine di massimizzare le condizioni di comfort.

12.9 STUDIO DELLA VENTILAZIONE NATURALE DA APRILE A SETTEMBRE

Prima di procedere all'ottimizzazione della portata d'aria esterna da immettere nell'edificio, si definisce il periodo in cui attivare la ventilazione naturale.

A differenza della simulazione precedente in cui la ventilazione avveniva solo nei mesi da Maggio ad Agosto, si è deciso di ampliare questo periodo considerando la possibilità di aprire le finestre anche nei mesi di Aprile e Settembre in modo da intervenire nella parte centrale dei grafici abbassandone i punti. In questa simulazione sono state mantenute le condizioni di temperatura d'aria sia interna che esterna con cui è stata eseguita la simulazione precedente.

Dall'analisi ci si aspetta una minima riduzione delle ore che si collocano al di sopra delle linee di comfort in quanto i limiti di temperatura imposti prima sono presenti solo in poche ore dei mesi che si vanno ad analizzare.

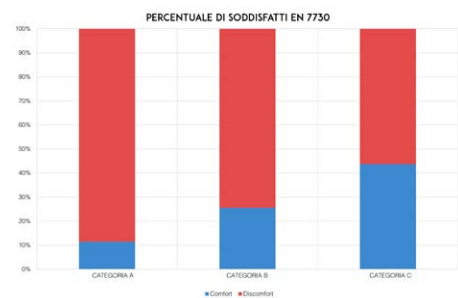


Fig.12.40 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale stagioni intermedie

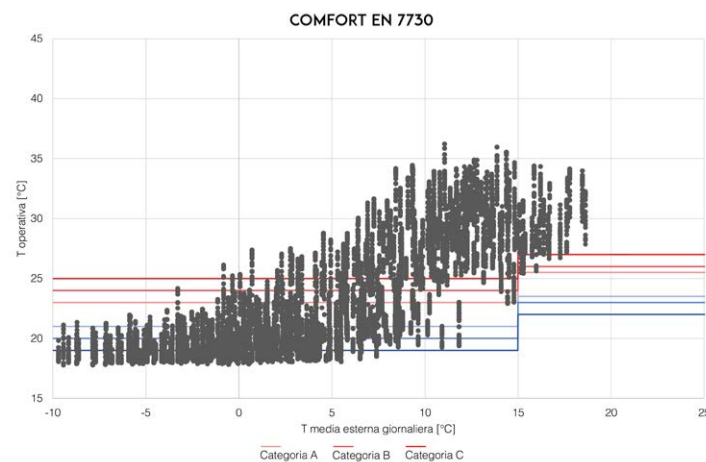


Fig.12.39 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale stagioni intermedie

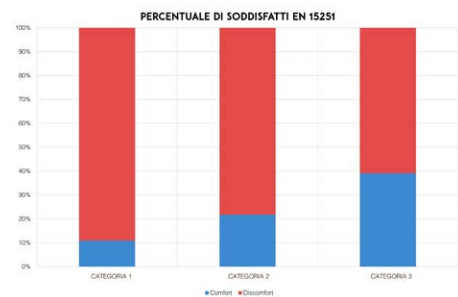


Fig.12.42 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale stagioni intermedie

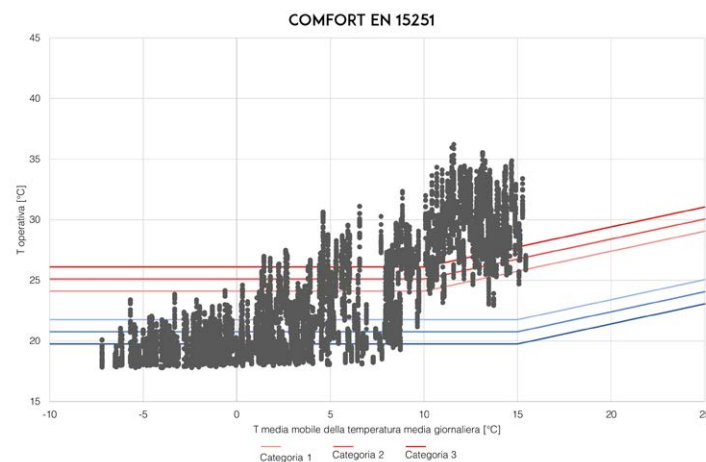


Fig.12.41 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale stagioni intermedie

Come si evince dai grafici la distribuzione dei punti è rimasta invariata rispetto alle simulazioni precedenti, questo significa che nei mesi di Aprile e Settembre non sono presenti le condizioni minime perchè si attivi il sistema di ventilazione naturale così come è stato settato.

Per intervenire sulla parte centrale del grafico si può andare a modificare la temperatura minima dell'aria esterna con cui il sistema si attiva, questo però significa immettere aria nel rifugio a una temperatura inferiore a 15°C rischiando di creare condizioni di discomfort.

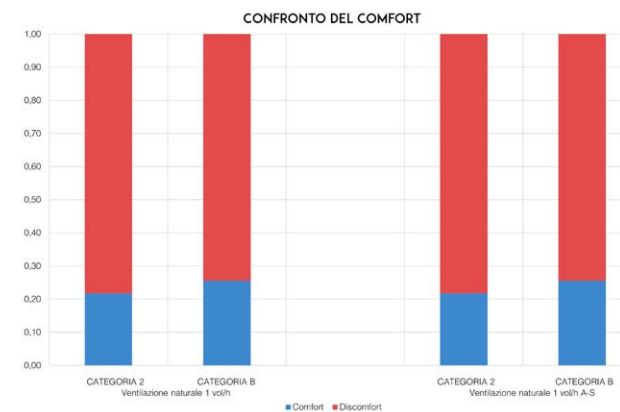


Fig.12.43 Confronti tra la simulazione con ventilazione naturale e con la ventilazione naturale nelle stagioni intermedie

Quindi per poter abbassare i punti che si trovano nella parte centrale del grafico si ottimizzeranno i sistemi di schermatura della radiazione solare in modo tale da ridurre al minimo le ore di discomfort.

Dati i risultati ottenuti con questa simulazione si è scelto di passare all'ottimizzazione della portata d'aria che viene immessa nel rifugio considerando di aprire le finestre per immettere l'aria esterna solo nei mesi che vanno da Maggio ad Agosto.

12.10 STUDIO DELLA VENTILAZIONE NATURALE 2 VOL/H

Definito il periodo di funzionamento del sistema di ventilazione naturale si è passati allo studio della portata ottimale per garantire le condizioni di comfort nel periodo estivo.

Poiché i risultati della simulazione precedente non evidenzia nessun miglioramento in termini di condizioni di benessere all'interno del rifugio, per questa la simulazione si è settato come periodo di funzionamento della ventilazione naturale quello della simulazione descritta nel paragrafo 8.8.

In questa analisi si sono studiati gli effetti sulla temperatura interna con una portata d'aria esterna doppia rispetto a quella precedente, ovvero considerando di immettere 2 vol/h.

Dall'analisi ci si aspetta che i punti che si trovano nella parte destra dei grafici si abbassino ulteriormente per rientrare tra i limiti della temperatura di comfort.

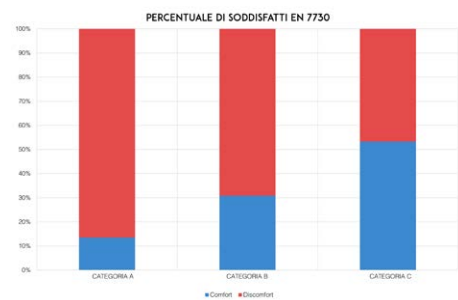


Fig.12.45 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 2 vol/h

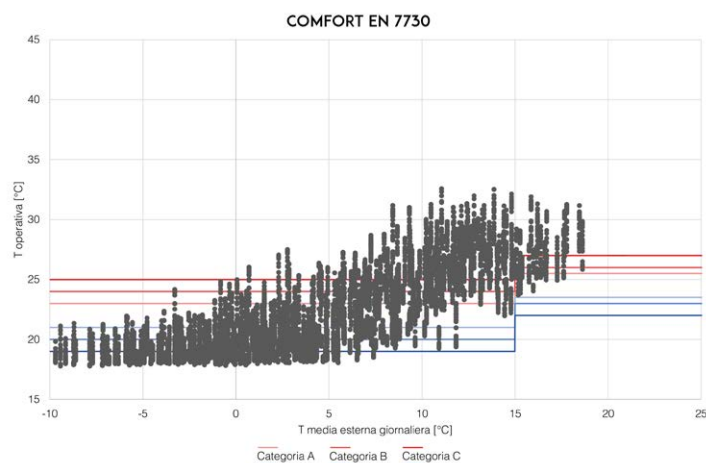


Fig.12.44 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale 2 vol/h

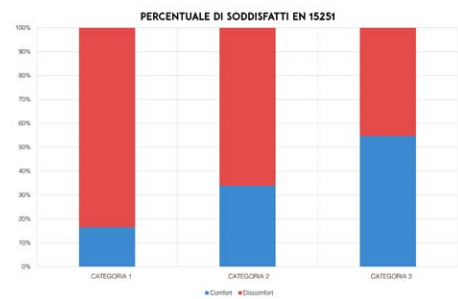


Fig.12.47 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 2 vol/h

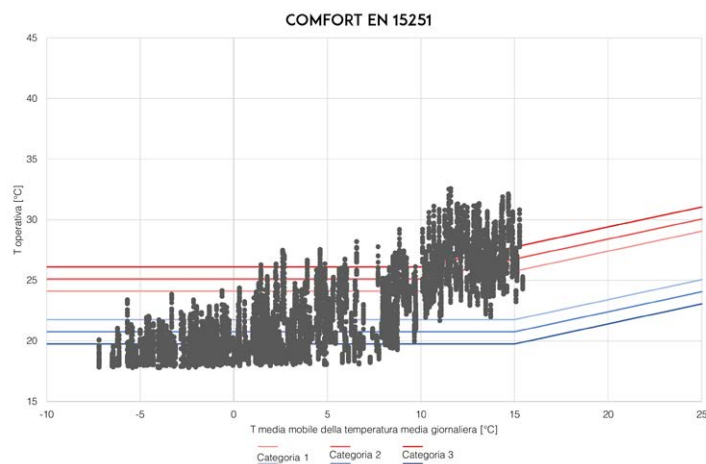


Fig.12.46 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale 2 vol/h

Come si nota nei grafici il numero di ore che rientrano all'interno delle temperature di comfort sono aumentati di circa il 40% nello studio eseguito con il modello adattivo, mentre di circa il 22% con il modello non adattivo.

Se si osservano le categorie B e 2 si nota come la prima si è incrementata di circa il 21%, mentre la seconda si è incrementata del 56%.

Questa netta differenza è dovuta principalmente alla diversa configurazione delle rette che indicano i limiti di temperatura nelle due metodologie di studio.

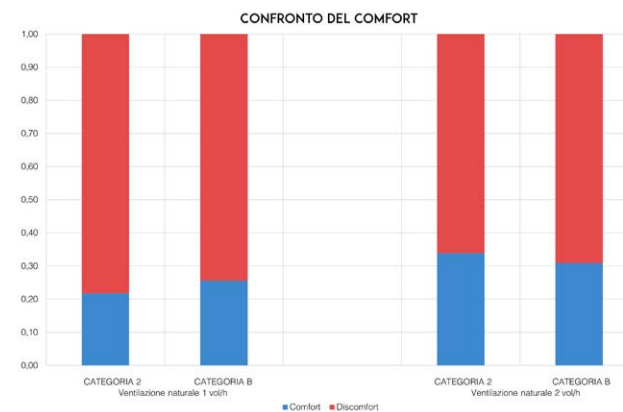


Fig.12.48 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale a 1 vol/h e con la ventilazione naturale a 2 vol/h

Da questa simulazione si ottiene, con le due normative, una percentuale di ore in cui si ha una soddisfazione per l'85% delle persone pari rispettivamente a 53% per il primo metodo e del 55% per il secondo metodo.

Dati i risultati di quest'analisi si è scelto di proseguire con l'ottimizzazione delle portate per ridurre al minimo il numero di ore di discomfort.

12.11 STUDIO DELLA VENTILAZIONE NATURALE 4 VOL/H

Dati i risultati della simulazione precedente si procede ad ottimizzare la portata d'aria da immettere all'interno del rifugio. Si è scelto di raddoppiare anche in questo caso la portata d'aria rispetto all'analisi precedente portandola a 4 vol/h.

L'analisi, come quelle precedenti, lascia invariati i parametri definiti con le altre simulazioni andando solo a intervenire sul volume di aria che viene immesso.

Da questo studio ci aspettiamo un'ulteriore riduzione delle ore che si trovano nella parte alta dei due grafici con un aumento delle ore che si trovano nella categoria intermedia.

In questa simulazione c'è il rischio, data la bassa temperatura minima che l'aria deve avere per essere immessa nel rifugio, che alcuni punti che ora si trovano all'interno delle rette di comfort si spostino al sotto della temperatura minima andando quindi a creare una situazione di discomfort all'interno dell'edificio.

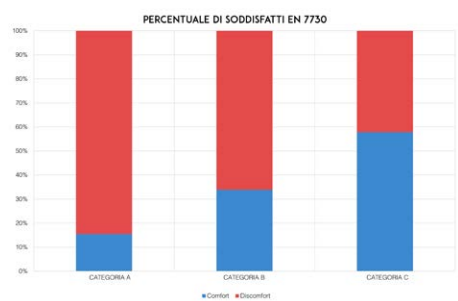


Fig.12.50 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 4 vol/h

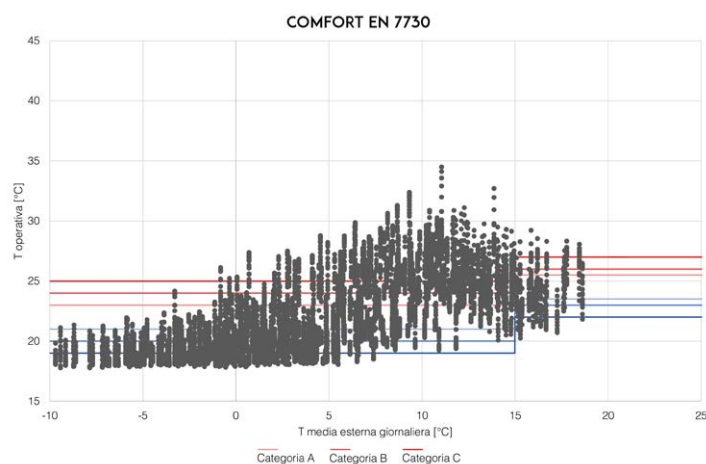


Fig.12.49 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale 4 vol/h

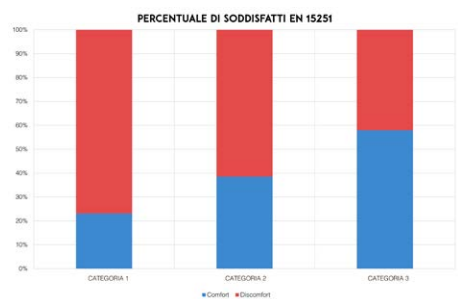


Fig.12.52 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 4 vol/h

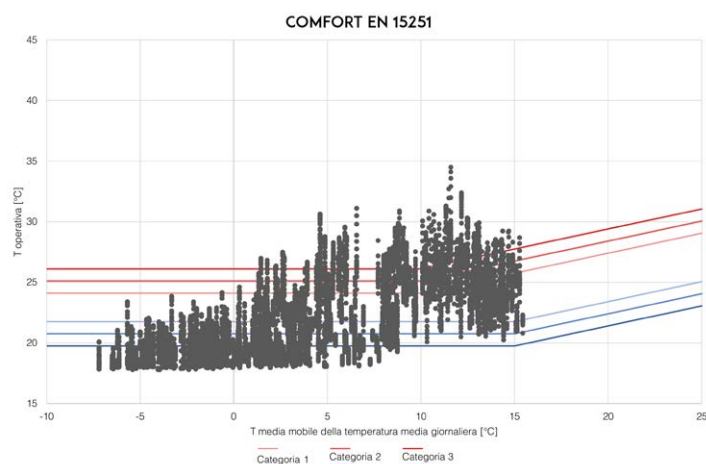


Fig.12.51 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale 4 vol/h

Dai grafici si nota che la maggior parte dei punti che prima si trovavano fuori dal range di temperature consigliate si sono abbassati al livello della temperatura massima consigliata.

Se si osservano bene i risultati dell'analisi secondo quanto descritto dalla normativa UNI EN 7730 si nota che un piccolo numero di ore sono andate oltre il range di temperatura minima consigliata creando un situazione di discomfort.

Nel complesso questa simulazione ha dato alcuni miglioramenti che sono maggiormente visibili se si considerano le categorie A e 1 che sono passate rispettivamente dal 14% al 15% e dal 16% al 23%, mentre se si valutano le categorie C e 3 si nota che sono passate dal 53% e 55% al 58%

Come si vede dal grafico sottostante la percentuale di ore in cui si ha il 90% di utenti soddisfatti sono aumentati di circa il 10% e di circa il 14% portandosi a poco meno del 40% delle giornate.

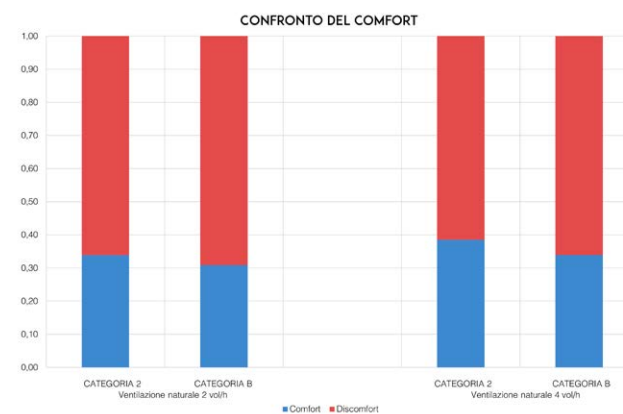


Fig.12.53 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale 2 vol/h e con la ventilazione naturale 4 vol/h

Si potrebbe aumentare la portata a 6 vol/h ma questo andrebbe a influire negativamente sulle temperature interne generando molte ore che si trovano al di sotto del valore di temperatura minima consigliata per la stagione estiva.

Nei grafici sono presenti ancora alcune ore in cui le temperature sono sopra il range consigliato. Per questo motivo si utilizzeranno delle schermature che riducano gli apporti solari.

12.12 STUDIO DELLA SCHERMATURA FISSA

Dai risultati ottenuti dalle simulazioni eseguite si osservano ancora diversi punti fuori dall'intervallo di temperature consigliate per garantire il benessere termo-igronometrico all'interno del rifugio.

Per ovviare a questo inconveniente si procede ad analizzare gli effetti sulla temperatura interna dati della presenza di schermature.

Come prima analisi si sceglie di verificare quale tipologia di schermatura sia meglio. Si è simulato l'effetto di una schermatura fissa esterna in grado di schermare il 60% delle radiazioni incidenti.

Questa soluzione dal punto di vista tecnologico è quella maggiormente sconsigliata in quanto nel periodo invernale funge da zona di accumulo della neve schermando maggiormente i raggi solari entranti e andando a sovraccaricare la struttura.

Ci si aspetta da questa simulazione una riduzione delle ore di discomfort nel periodo estivo e un abbassamento delle temperature nel periodo invernale.

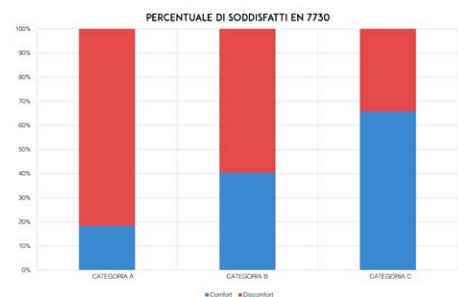


Fig.12.55 Percentuale di soddisfatti schermature fisse

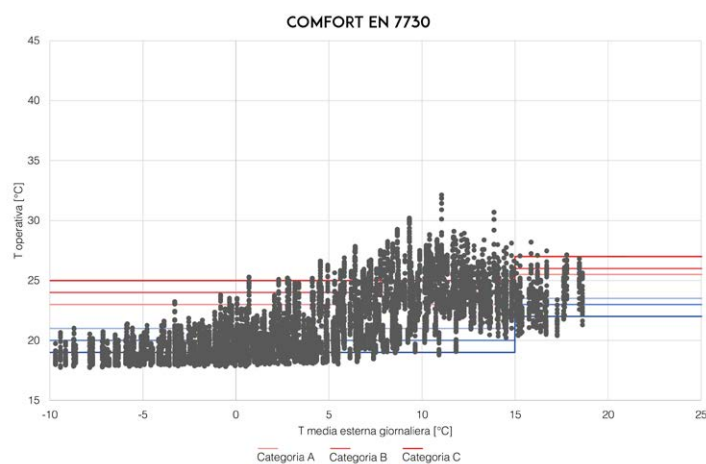


Fig.12.54 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermature fisse

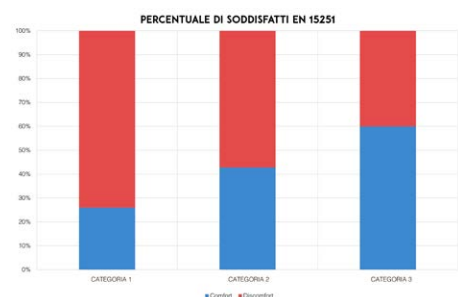


Fig.12.57 Percentuale di soddisfatti schermature fisse

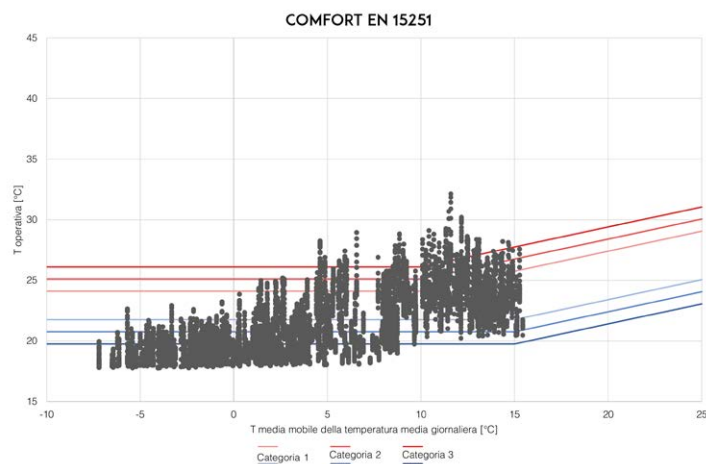


Fig.12.56 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermature fisse

Come si vede dai grafici è presente un abbassamento delle temperature di picco raggiunte nel periodo estivo che passa dai circa 35°C nella simulazione precedente a circa i 32°C nel caso in esame.

Sempre dal confronto tra le due simulazioni si osserva una riduzione dei punti che si collocano nelle categorie A e 1 nel periodo invernale; questa variazione non si apprezza dal punto di vista percentuale che passa rispettivamente da 15% a 18% e da 23% a 26%, in quanto l'aumento delle ore in queste categorie durante le stagioni intermedie va a compensare le perdite del periodo invernale.

Osservando invece le categorie centrali si osserva un incremento che per la categoria b è di circa il 19% portando il numero di ore di comfort al 40% di quelle dell'anno, mentre se si considera la categoria 2 l'incremento è di circa 11% portando il numero di ore di comfort al 43%.

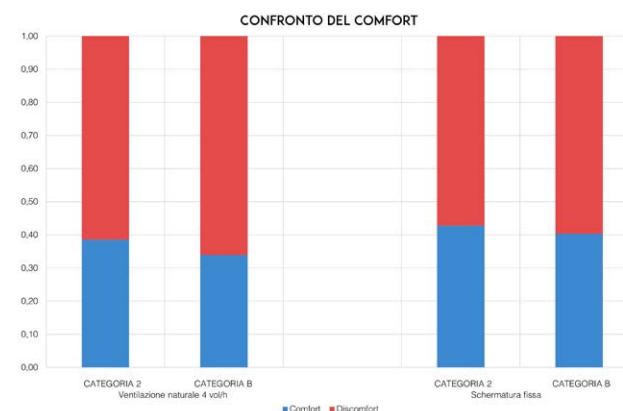


Fig.12.58 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale 4 vol/h e con le schermature fisse

Per ovviare alla riduzione della temperatura di alcune ore nel periodo invernale si è scelto di studiare gli effetti di una schermatura mobile che sarà posizionata internamente.

12.13 STUDIO DELLA SCHERMATURA MOBILE

In questa simulazione si vuole confrontare gli effetti sulla temperatura interna dovuti alla presenza di una schermatura mobile con i risultati ottenuti con la simulazione precedente.

La schermatura mobile è stata settata in modo tale che non interferisca con il funzionamento invernale in cui si vanno a massimizzare gli apporti solari e che non si attivi nelle stagioni intermedie quando all'interno degli ambienti si ha una temperatura di comfort.

Per far sì che la schermatura non si attivi nel periodo invernale è stata inserita una schedule che si attiva solo nei mesi che vanno da Aprile a Settembre. Mentre per evitare che la schermatura si attivi anche quando non è necessario si è inserito un ulteriore controllo che fa sì che vengano schermate le radiazioni entranti all'interno del rifugio solo quando la temperatura interna risulta essere superiore a 24°C.

Per poter confrontare i risultati con quelli della simulazione precedente si considera la stessa percentuale di schermatura.

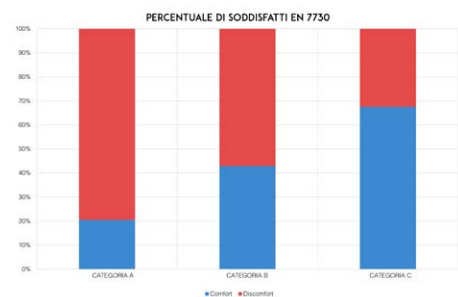


Fig.12.60 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile

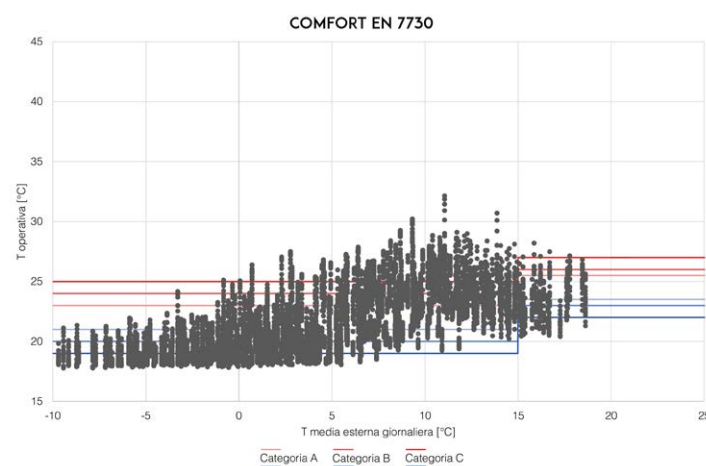


Fig.12.59 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile

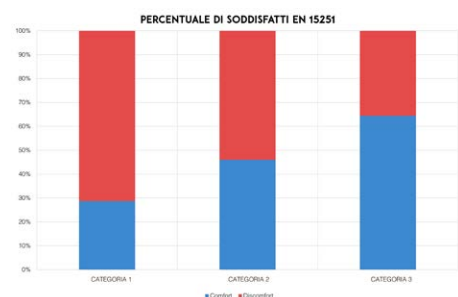


Fig.12.62 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile

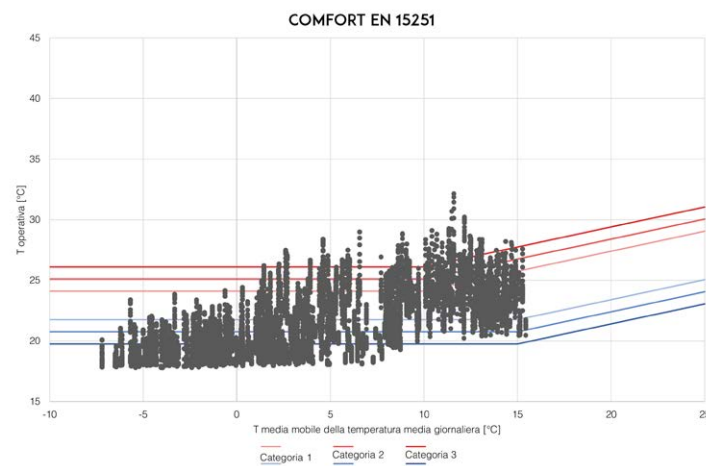


Fig.12.61 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile

Dal confronto con la simulazione precedente si nota un aumento dei punti che nel periodo invernale si trovano nell'intervallo di temperatura più interno mentre nel resto del grafico non si notano significativi cambiamenti.

Se si va a confrontare la percentuale di ore che si trovano all'interno della categoria B e 2 si osserva un incremento di circa tre punti percentuali rispetto all'analisi precedentemente fatta che porta a una percentuale rispettivamente del 43% e del 46%.

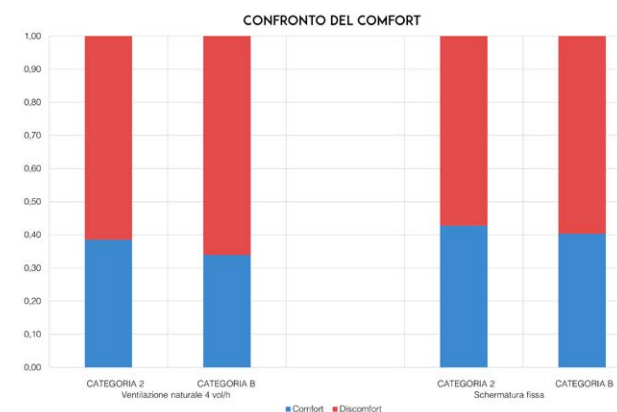


Fig.12.63 Confronti tra la simulazione con la schermatura fissa e con la schermatura mobile

Se si va ad osservare l'intervallo di temperature che riguarda una percentuale di persone soddisfatte dell' 85 % l'incremento è leggermente maggiore a quello della categoria inferiore e corrisponde a una percentuale di circa il 68% di ore di comfort. Questa percentuale risulta essere particolarmente rilevante in quanto nel 32% di ore di discomfort rientrano anche i giorni di chiusura invernale del rifugio in cui la temperatura media interna viene mantenuta dall'impianto a circa 16°C.

Si sceglie di proseguire l'ottimizzazione delle schermature andando a variare la percentuale di schermatura tra le due soluzioni sopra analizzate si sceglie di portare avanti quest'ultima che è in grado di garantire una percentuale superiore di comfort.

12.14 STUDIO DELLA SCHERMATURA 80%

Per studiare gli effetti delle schermature sulle condizioni di comfort all'interno dell'edificio si è analizzato come prima cosa la tipologia di schermatura che, come è emerso dall'analisi precedente, è quella mobile mentre ora si procede alla definizione delle percentuale di schermatura ottimale.

La simulazione precedente è stata eseguita considerando di schermare il 60% della radiazione incidente sulle superfici vetrate mentre in questa si è scelto di considerare una schermatura dell' 80% della radiazione solare.

Questo grado di schermatura permette di ridurre la radiazione incidente senza creare problemi dal punto di vista del comfort visivo.

Da questa simulazione ci aspettiamo un abbassamento dei picchi che ancora sono presenti all'interno dei due grafici e un incremento del numero di ore che rientrano nelle diverse categorie.

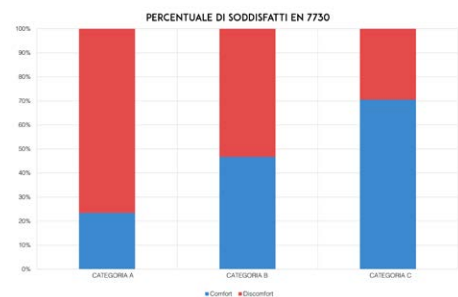


Fig.12.65 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 80%

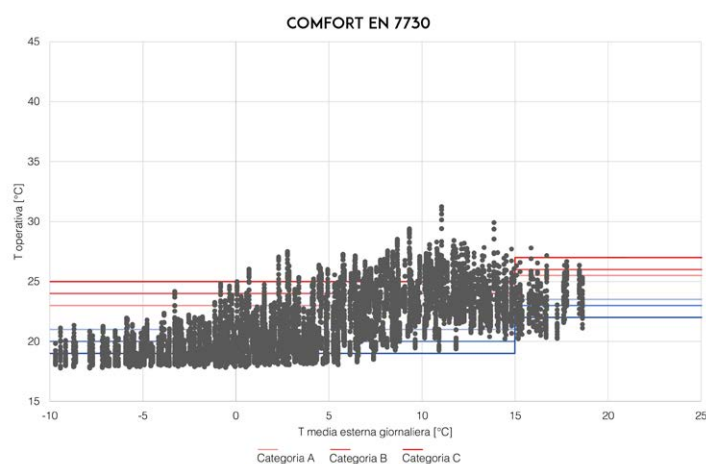


Fig.12.64 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile 80%

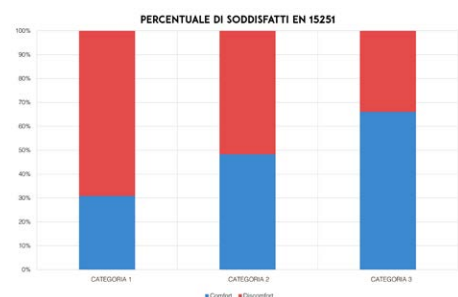


Fig.12.67 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 80%

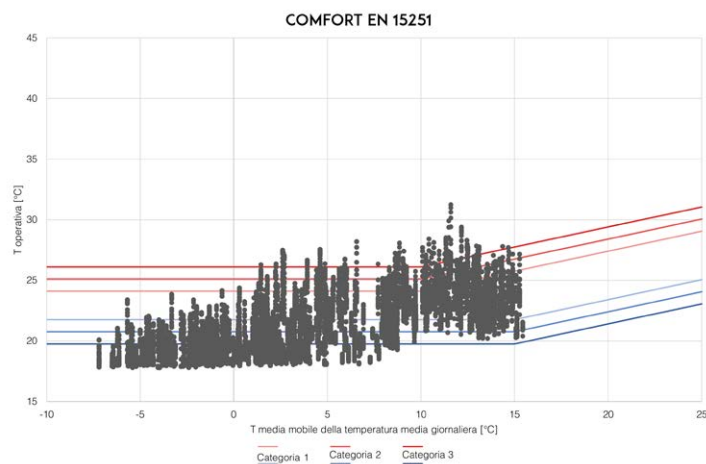


Fig.12.66 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile 80%

Dal confronto con la situazione precedente si nota una leggera variazione del numero di punti che si trovano all'interno del range di temperatura di comfort.

Se si va ad analizzare il numero di ore in cui si registra una condizione di temperatura rientrante nelle categorie B e 2 si nota un incremento rispettivamente pari al 9% e al 5% portando il numero di ore a circa il 50% delle ore dell'intero anno.

Se si osservano invece le categorie corrispondenti all'85% di

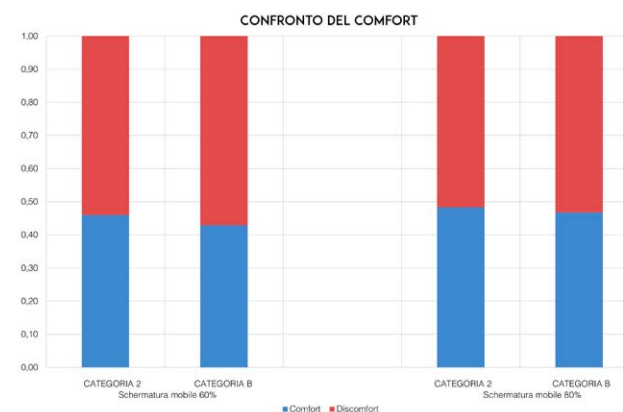


Fig.12.68 Confronti tra la simulazione con la schermatura mobile e con la schermatura mobile 80%

persone soddisfatte questa percentuale sale a circa il 70% delle ore totali.

Se si considera che per circa 65 giorni non si applica alcun controllo specifico sulle condizioni interne significa che nei giorni di apertura le condizioni di comfort per la maggior parte delle persone sono garantite.

12.15 STUDIO DELLA SCHERMATURA 90%

Infine come ultima analisi si è scelto di aumentare la percentuale di radiazione incidente sulla superficie portandola dall'80% al 90%.

L'obiettivo della simulazione è verificare se con questa schermatura si riesca ad abbassare il picco di temperatura che si nota nei grafici precedenti in cui ci sono alcune ore in cui la temperatura interna supera di circa 2°C i 30°C

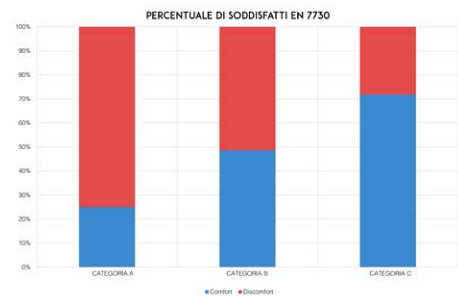


Fig.12.70 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 90%

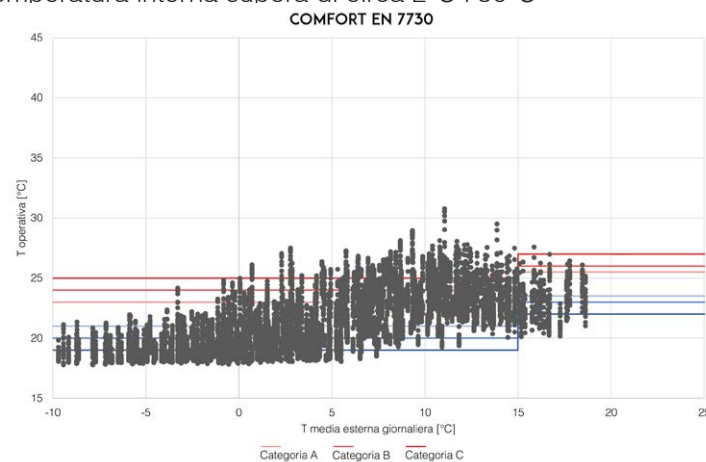


Fig.12.69 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile 90%

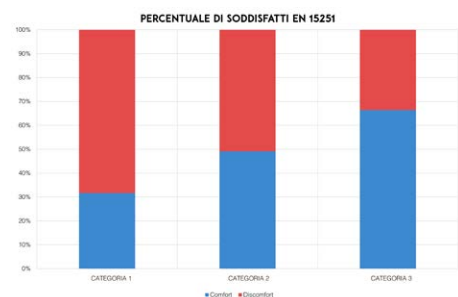


Fig.12.72 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 90%

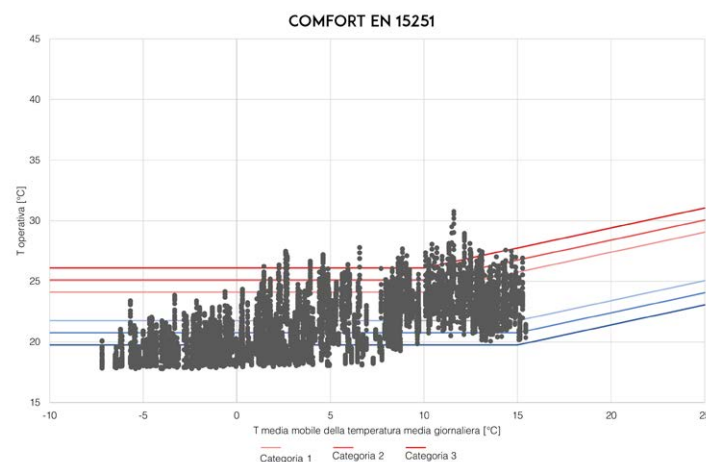


Fig.12.71 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile 90%

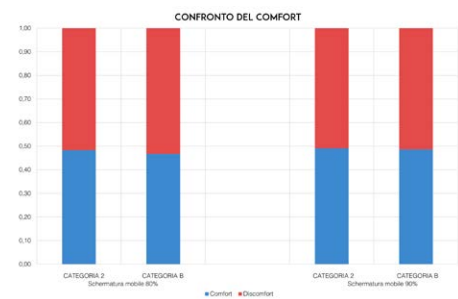


Fig.12.73 Confronti tra la simulazione con la schermatura mobile 80% e con la schermatura mobile 90%

I risultati dell'analisi mostrano un leggero abbassamento dei punti in questione e un relativo miglioramento delle condizioni di comfort rispetto all'analisi precedente.

Questa tipologia di schermatura però può generare condizioni di discomfort visivo dovute a un'eccessiva riduzione della luce naturale entrante all'interno del rifugio. Per questo motivo è stato scelto di utilizzare una schermatura mobile interna che sia in grado di schermare al massimo l'80% della radiazione solare entrante attraverso le componenti trasparenti dell'involucro.

12.16 CONCLUSIONI

Dallo studio delle condizioni di comfort interno attraverso una serie di simulazioni eseguite in regime dinamico si è potuto verificare che nel periodo invernale le scelte eseguite in fase di progettazione (l'orientamento, la posizione delle vetrate, e le scelte tecnologiche) sono state corrette permettendo, in particolare nelle stagioni intermedie, di ridurre al minimo i consumi massimizzando gli apporti gratuiti.

Da questa serie di simulazioni sono state dedotte alcune caratteristiche di funzionamento dell'edificio tra cui la temperatura migliore da garantire nelle diverse ore della giornata in modo da ottenere condizioni di benessere interno; questa è risultata essere nei giorni di apertura pari a 20°C nei periodi di massimo affollamento e 18°C nelle altre ore mentre nei giorni di chiusura è stata settata pari a 16°C.

Dopo aver definito queste caratteristiche, per completare lo studio del periodo invernale, si è inserito l'impianto di ventilazione meccanica con recupero di calore così come è stato dimensionato nel capitolo precedente. Da qui abbiamo ottenuto un consumo medio annuo di circa 12 kWh/m²anno.

Dopo lo studio della fase invernale si è passati allo studio delle strategie passive per garantire le condizioni di comfort all'interno dell'ambiente nel periodo estivo.

La prima strategia studiata è stata la ventilazione naturale che dato le temperature medie stagionali del sito di progetto risulta essere quella che influisce maggiormente sulle condizioni di benessere termico all'interno degli ambienti.

L'analisi di questa strategia passa attraverso la definizione dei periodi nei quali si immette l'aria dall'esterno che sono stati definiti, come mostrato nelle simulazioni, nei mesi che vanno da Maggio ad Agosto. Dopo l'ottimizzazione dei mesi di funzionamento si è analizzato il volume d'aria che deve essere immessa nei locali da cui è risultato che, la soluzione ottimale corrisponde a 4 vol/h che garantisce al 90% degli utenti circa il 35% di ore dell'anno in cui le condizioni interne rientrano nelle temperature di benessere termoisometrico.

Dopo aver definito i parametri di funzionamento per quanto riguarda la ventilazione naturale, si è passati allo studio degli effetti della presenza di schermatura, in particolare nei periodi intermedi in cui, data la bassa temperatura dell'aria esterna, si è scelto di non utilizzare la ventilazione naturale.

Lo studio della schermatura passa attraverso il confronto tra gli effetti di una schermatura fissa e quelli di una mobile. La prima influisce negativamente sulle condizioni nel periodo invernale andando a ridurre i punti che si trovano nel range di temperatura che garantisce una percentuale di persone soddisfatte superiore al 95% mentre la seconda opzione permette di andare

a intervenire solo quando è necessario.

Dai risultati delle due simulazione si è scelto di utilizzare una schermatura interna di tipo mobile che interviene solo quando all'interno dei locali la temperatura supera i 24°C.

Dopo aver definito la tipologia di schermatura si è passato ad analizzare la percentuale di raggi che questa deve schermare. Le simulazioni sono state eseguite considerando una grado di schermatura pari a 60%, 80% e 90%.

Dalle analisi risulta evidente che le condizioni di comfort termico migliori vengono ottenute con una schermatura del 90% ma questo va ad influire negativamente sulle condizioni di benessere visivo; per tanto si è scelto di utilizzare una schermatura che sia in grado di schermare al massimo l'80% della radiazione incidente.

Dal confronto tra le due soluzioni emerge come la scelta di utilizzare una schermatura dello 80% permette di avere circa il 70% delle ore dell'anno in cui la percentuale di utenti soddisfatti è pari a 85%. Questo valore risulta essere inferiore solo di qualche punto percentuale rispetto alla soluzione con il 90% di radiazione schermata.

Lo studio è stato fatto confrontando i risultati che si ottengono analizzando le condizioni di benessere con le due metodologie descritte nella normativa. Emerge come nella situazione invernale i due modelli restituiscono all'incirca lo stesso risultato, con il modello non adattivo che restituisce qualche punto percentuale in più rispetto al modello adattivo. Questa situazione si inverte invece nel periodo estivo in cui la percentuale di ore di benessere termoigronometrico risulta maggiore nel modello adattivo in quanto tiene conto delle condizioni esterne per la definizione delle temperatura di comfort.

VERIFICHE NORMATIVE

13

Viene di seguito proposta l'analisi svolta per verificare il rispetto dei requisiti minimi strutturali e igienico-sanitari all'interno del rifugio.

Quindi è stata effettuata la verifica della presenza dei volumi minimi e delle superfici delle aperture richieste per i diversi ambienti del rifugio.

All'interno del capitolo si è analizzato anche il rispetto delle normative vigenti in materia di sicurezza e prevenzione incendi verificando il numero e la lunghezza delle vie di fuga.

In ultima analisi è stata valutato l'illuminamento naturale all'interno degli ambienti.

13.1 QUADRO NORMATIVO

Il quadro delle normative e dei regolamenti che disciplinano la costruzione e la gestione dei rifugi e dei bivacchi montani in Italia appare assai articolato e frammentario: non esistono disposizioni legislative omogenee, unitarie e ben codificate sulle strutture ricettive in alta quota che coprano l'intero territorio nazionale.

Fanno eccezione la normativa antincendio e quella per l'eliminazione delle barriere architettoniche che disciplinano le strutture raggiungibili attraverso mezzi meccanici.

13.1.1 NORMATIVA NAZIONALE

Le normative valide a livello nazionale possono essere raggruppate in due aree tematiche quella relativa alla normativa antincendio e quella per l'eliminazione delle barriere architettoniche.

A queste disposizioni ufficiali e universali si affianca il "Regolamento Generale Rifugi", un insieme di norme definite dal Club Alpino Italiano nel 2011, che non sostituisce o integra le leggi vigenti emanate dagli organi statali e locali.

Le normative di riferimento in materia di prevenzione incendi sono:

- D.M. 3 agosto 2015 "Norme tecniche di prevenzioni incendi";
- D.M. 9 aprile 1994 "La regola tecnica di prevenzione incendi definisce i criteri di sicurezza da applicarsi alle strutture adibite alla ricettività su tutto il territorio nazionale" e successive integrazioni e modifiche.

Le normative di riferimento in materia di eliminazione delle barriere architettoniche sono:

- D.L. del 09 gennaio 1989 n. 16;
- D.M. 14 giugno 1986 n. 236;
- D.P.R. 24 luglio 1996 n. 503.

13.1.2 NORMATIVA LOCALE

A livello locale si fa invece riferimento a tutte le disposizioni normative regionali e provinciali in materia di strutture ricettive, rifugi alpini, sviluppo alpinistico e turistico, che regolano in modi diversi la realizzazione e la gestione di rifugi e bivacchi.

La regione Lombardia ha legiferato in materia attraverso:

- L.R. del 16 luglio 2007 n. 15 che riunisce le disposizioni in materia di turismo;
- L.R. del 22 febbraio 2002 n. 11 che integra e specifica la L.R. n. 15 in merito di rifugi alpini;
- R.R. del 15 febbraio 2010 n. 5 che disciplina i requisiti strutturali e igienico sanitario dei rifugi.



13.1.3 ESTRATTO LEGGE REGIONALE N°15

La legge regionale del 16 luglio 2007 n. 15 tratta il tema delle strutture ricettive presenti sul territorio regionale.

Gli articoli 37 e 38 dividono le strutture alpine in:

- rifugi alpinistici: sono strutture ricettive idonee a offrire ospitalità e ristoro, gestite e poste a quota non inferiore a 1.000 metri di altitudine in zone isolate di montagna, inaccessibili mediante strade aperte al traffico ordinario o linee funiviarie di servizio pubblico oppure distanti da esse almeno 1.500 metri lineari o 150 metri di dislivello, ad esclusione delle sciovie;
- rifugi escursionistici: sono strutture ricettive idonee ad offrire ospitalità e ristoro, gestite e poste a quota non inferiore a 700 metri di altitudine, in luoghi accessibili anche mediante strade aperte al traffico di servizio o impianti di trasporto pubblico, ad esclusione delle sciovie;
- bivacchi fissi: sono locali di alta montagna incustoditi e senza viveri, allestiti con un minimo di attrezzatura per fornire riparo ad alpinisti ed escursionisti, posti in luoghi isolati a quota non inferiore a 2.000 metri di altitudine e distanti almeno 3.000 metri lineari o 300 metri di dislivello da strade aperte al traffico di servizio, rifugi alpinistici o impianti di risalita.

Per viabilità alpina si intendono i sentieri di accesso ai rifugi dal fondovalle, i sentieri di collegamento tra i rifugi ed i sentieri o le vie che dai rifugi consentono di raggiungere mete di interesse escursionistico o alpinistico.

La normativa definisce con l'articolo 40 le caratteristiche funzionali dei rifugi alpini che devono essere dotati di strutture e caratteristiche igienico sanitarie idonee per il pernottamento degli utenti.

L'articolo 40 definisce inoltre che i rifugi devono disporre oltre ai locali per il ristoro e il pernottamento anche di:

- servizio cucina;
- spazio attrezzato utilizzabile per il consumo di alimenti e bevande;
- spazi destinati al pernottamento, attrezzati con letti o cuccette, che nei rifugi possono essere sovrapposti;
- servizi igienico-sanitari essenziali e proporzionati alle capacità ricettive;
- impianto di chiarificazione e smaltimento delle acque reflue compatibilmente alla quota di ubicazione della struttura;
- posto telefonico pubblico o, nel caso di impossibile allacciamento, di apparecchiature radio-telefoniche o similari;
- idoneo impianto di produzione di energia elettrica, possibilmente ricorrendo a fonte rinnovabile.

13.1.4 ESTRATTO REGOLAMENTO REGIONALE N°5

Il regolamento regionale, in attuazione dell'articolo 40 quinquies della legge regionale 16 luglio 2007 n. 15, definisce i requisiti minimi strutturali e igienico-sanitari, nonché il periodo di apertura dei rifugi alpinistici ed escursionistici.

L'articolo 2 definisce i requisiti minimi per i rifugi alpinistici ed escursionistici. Nei rifugi deve essere presente:

- acqua potabile se non fornita deve essere garantita da sistemi di captazione anche da sorgenti, scorrimento superficiale, lago, scioglimento neve, dotati di sistema di potabilizzazione;
- adeguati sistemi di prevenzione incendi;
- cassetta primo soccorso con dotazione minima per le aziende di tipo B;
- locale ristoro per gli escursionisti anche per il consumo di propri alimenti.

I rifugi con apertura non continuativa devono disporre di un locale con funzione bivacco sempre aperto e accessibile dall'esterno.

L'articolo 3 definisce i requisiti strutturali e igienico-sanitari per i rifugi alpinistici.

I locali adibiti al pernottamento hanno:

- un volume minimo di 10 metri cubi e, in presenza di letti a castello, un'altezza minima di 2,10 metri;
- un volume minimo d'aria per ogni posto letto pari a 3,5 metri cubi se si tratta di sottotetti e a 4 metri cubi per persona se si tratta di camere;
- una permanente aerazione naturale o meccanica;
- un rapporto di aeroilluminazione naturale diretta non inferiore a 1/30 delle superfici di pavimento per i sottotetti e a 1/20 per gli altri locali.

I locali adibiti a servizi igienici destinati agli utenti hanno:

- rivestimenti in piastrelle o altro materiale facilmente lavabile e disinfettabile fino ad una altezza non inferiore a 1,80 metri;
- un w.c. con lavabo ogni 50 metri quadrati di superficie utile o frazione di 50 metri quadrati delle sale di ristoro e bar;
- un w.c. con lavabo ogni 25 posti letto o cuccette ad uso dei locali adibiti al pernottamento;
- almeno una doccia salvo casi in cui la dotazione idrica o vincoli strutturali non la consentano;
- aeroilluminazione naturale diretta non inferiore a 0,4 metri quadrati oppure un impianto di aerazione forzata.

I locali adibiti a servizi igienici destinati al personale hanno:

- un w.c. con lavabo ad uso esclusivo del personale addetto alla manipolazione di alimenti e bevande;
- aeroilluminazione naturale diretta non inferiore a 0,4 metri quadrati oppure un impianto di aerazione forzata;

- una doccia.

I locali adibiti a cucina hanno:

- un'altezza minima pari a 2,20 metri e una larghezza minima delle porte pari a 65 centimetri;
- una zona cottura dotata di idonea cappa di aspirazione oppure adeguata aerazione naturale;
- almeno una finestra apribile, dotata di rete protettiva contro gli insetti.

I locali per la sosta, il ristoro e la somministrazione al pubblico di alimenti e bevande hanno:

- un'altezza minima pari a 2,20 metri e una larghezza delle porte non inferiore a 65 cm;
- una superficie complessiva di almeno 25 metri quadrati e una superficie di almeno 0,90 metri quadrati a persona, riferita alla capacità ricettiva del rifugio;
- un rapporto di aeroilluminazione non inferiore a 1/20 delle superfici di pavimento.

13.1.5 ESTRATTO REGOLAMENTO GENERALE RIFUGI

Il Regolamento Generale Rifugi è un insieme di norme definite dal CAI e non sostituisce o integra le norme legislative vigenti emanate dagli Organi Statali e locali.

Il CAI definisce i rifugi come strutture ricettive sorte per rispondere alle esigenze di carattere alpinistico ed escursionistico gestite o custodite ed aperte al pubblico con le modalità stabilite dalla sezione, convenientemente predisposte ed organizzate per dare ospitalità e possibilità di sosta, ristoro, pernottamento e servizi connessi ed attrezzate per il primo intervento di soccorso. Queste strutture devono essere dotate di locali separati ad uso Gestore/Custode e di un locale invernale con accesso indipendente per il pernottamento durante i periodi di chiusura.

Le Sezioni devono dotare i loro rifugi di una cassetta di "Pronto soccorso e medicazione" e ove possibile devono disporre di una piazzola idonea all'atterraggio di elicotteri in azione di soccorso.

13.2 VERIFICHE NORMATIVE

Di seguito sono riportate le verifiche eseguite, in particolare sono stati verificati i requisiti minimi richiesti dal regolamento regionale n°5 per quanto riguarda gli spazi minimi che devono essere garantiti e la presenza del corretto rapporto areoilluminante.

Per quanto riguarda gli spazi minimi è stato verificato come, prescrive la norma, che i locali per la somministrazione degli alimenti al pubblico abbiano una superficie superiore a 25 m² e che la superficie sia di almeno 0,9 m² per persona.

La normativa inoltre definisce un numero minimo di servizi

LOCALE	PIANO	N°PERSONE	S _{NORMATIVA}	S _{PROGETTO}
		[-]	[m ²]	[m ²]
SALA INVERNALI	Terra	28,00	25,20	102,40
SALA ESTIVA	Terra	32,00	28,80	76,80

Tab.13.1 Superficie minima locali somministrazione di alimenti

igienici per gli utenti che risultano essere pari a 1 wc ogni 50 m², o frazione di essi, per i locali destinati al ristoro da cui è risultato un fabbisogno di almeno 4 wc.

Per i locali adibiti al pernottamento, invece, il regolamento prescrive una dotazione minima di aria che deve essere garantita in funzione dei posti letto. La norma prevede un volume minimo che nel nostro caso è pari a 4 m³ per persona, di seguito è riportato l'esito delle verifiche.

Anche in questo caso la norma prevede una dotazione minima

LOCALE	PIANO	N°PERSONE	S _{NORMATIVA}	S _{PROGETTO}
		[-]	[m ³]	[m ³]
CAMERA 1	Primo	8,00	32,00	129,30
CAMERA 2	Primo	8,00	32,00	116,30
GESTORE	Primo	2,00	8,00	114,40
CAMERE 3	Primo	6,00	24,00	65,90
CAMERE 4	Primo	6,00	24,00	63,20

Tab.13.2 Superficie minima locali somministrazione di alimenti

di servizi igienici da destinare agli utenti ovvero un wc e un lavabo ogni 25 posti letto; nel caso in esame, data la presenza di 28 posti letto, sono necessari almeno 2 wc e 2 lavabo. Si è scelto, però, di garantire un servizio completo per ogni stanza dotando ogni camera di una doccia.

Dopo aver verificato la dotazione minima in termini di spazio, si è proceduto alla definizione del corretto rapporto areoilluminante che per i rifugi, come richiesto dal regolamento regionale, deve essere pari ad almeno 1/20 della superficie di pavimento.

Il calcolo è stato eseguito come prescrive la normativa; l'altezza utile delle finestre è stata calcolata nel seguente modo:

$$H=B+1/3A$$

Si considera come in figura:

L lunghezza dell'oggetto superiore;

P proiezione dell'oggetto che è pari a L/2 e si calcola solo per L > 150 cm;

A superficie finestrata utile considerata per 1/3 agli effetti dell'illuminazione

B superficie utile agli effetti dell'illuminazione;

C superficie che, anche se finestrata, comunque non utile ai fini dell'illuminazione, pari a 60 cm.

Di seguito sono riportati i risultati della verifica condotta sui diversi locali del rifugio.

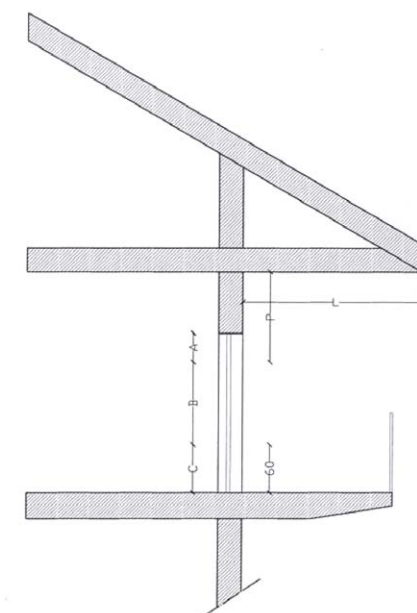


Fig.13.1 Calcolo RAI

LOCALE	PIANO	R.A.I.NORM	S _{PAVIMENTO}	S _{VETRATA}	R.A.I.PROG
	--	[-]	[m ²]	[m ²]	[-]
INGRESSO	Seminterrato	0,05	37,30	2,53	0,07
SALA INVERNALE	Terra	0,05	102,40	22,94	0,22
SALA ESTIVA	Terra	0,05	76,80	32,21	0,42
MUSEO	Terra	0,05	84,41	13,60	0,16
CUCINA	Terra	-	45,70		
CAMERA 1	Primo	0,05	40,10	3,76	0,09
CAMERA 2	Primo	0,05	40,10	3,76	0,09
GESTORE	Primo	0,05	43,50	5,64	0,13
CAMERE 3	Primo	0,05	19,20	1,88	0,10
CAMERE 4	Primo	0,05	23,00	1,88	0,08

Tab.13.3 Verifica del rapporto areoilluminante

13.3 VERIFICA DELLA NORMATIVA ANTINCENDIO

Il testo di riferimento è il Decreto Ministeriale 9 Aprile 1994 che è stato emanato allo scopo di tutelare l'incolumità delle persone e salvaguardare i beni contro i rischi dell'incendio. Ha per oggetto i criteri di sicurezza da applicarsi agli edifici ed ai locali adibiti ad attività ricettive turistico-alberghiere tra cui i rifugi alpini.

N	ATTIVITÀ	CATEGORIA		
		A	B	C
66	Alberghi, pensioni, motel, rifugi alpini, con oltre 25 posti-letto	Fino a 50 posti letto	Da 50 a 100 posti letto	Oltre i 100 posti letto

Tab.13.4 Classificazione secondo il D.M. 9/04/1994

Il decreto classifica le strutture ricettive in funzione del numero di posti letto presenti all'interno della struttura. Nel caso in esame la struttura risulta essere di tipo A in quanto sono presenti 28 posti letto più altri 2 per il personale. L'altezza antincendio è definita come l'altezza massima misurata dal livello inferiore dell'apertura più alta dell'ultimo piano abitabile e/o agibile, escluse quelle dei vani tecnici, al livello del piano esterno più basso. L'altezza antincendio di progetto è quindi pari a 10,20 m.

ALTEZZA ANTINCENDIO	MASSIMA SUPERFICIE COMPARTIMENTO
Fino a 24 m	3000 m ²
Da 24 m fino a 54 m	2000 m ²
Oltre 54 m	1000 m ²

Tab.13.5 Superficie minima locali somministrazione di alimenti

Dato che la superficie totale di progetto è pari a 630 m² non è necessaria alcuna compartimentazione all'interno dell'edificio.

Il rifugio è stato provvisto di un sistema organizzato di vie di uscita, dimensionato in base al massimo affollamento previsto in funzione della capacità di deflusso e che adduca in luogo sicuro.

Per il calcolo del massimo affollamento si è fatto riferimento a quanto prescritto della normativa in particolare si è considerato:

- il numero dei posti letto per le camere;
- la densità di affollamento pari a 0,4 persone/m² per le aree comuni a servizio del pubblico;
- le persone effettivamente presenti più il 20 % per le aree destinate ai servizi.

Una volta definito il massimo affollamento dei diversi piani, sono state definite le capacità di deflusso dei singoli moduli che risultano essere pari a:

- 50 per il piano seminterrato;
- 37,5 per gli altri piani fuori terra.

LOCALE	PIANO	N°PERSONE	N°MODULI RICHIESTI	N°MODULI PROGETTO
	--	[-]	[-]	[-]
INGRESSO	Seminterrato	15	2	-
PIANO SEMINTERRO		15	2	3
SALA INVERNALE	Terra	34	-	-
SALA ESTIVA	Terra	39	-	-
MUSEO	Terra	27	-	-
CUCINA	Terra	19	-	-
PIANO TERRA		149	4	6
CAMERA 1	Primo	8	-	-
CAMERA 2	Primo	8	-	-
GESTORE	Primo	2	-	-
CAMERE 3	Primo	6	-	-
CAMERE 4	Primo	6	-	-
CORRIDOIO	Primo	15	-	-
PIANO PRIMO		45	2	4

Tab.13.6 Affollamento dei piani del rifugio

Il sistema delle vie di fuga si compone di una scala interna di tipo protetto che serve tutti i piani dell'edificio e che funge da via di fuga principale.

Il titolo IV del D.M. 9 aprile 1994 nel caso di rifugi con capacità superiore a 25 posti letto rimanda a quanto prescritto dal titolo II in merito al numero e alla lunghezza delle vie di fuga che impone un numero di uscite dai singoli piani dell'edificio non inferiore a due e devono essere il più possibile contrapposte. Data la necessità di una seconda via di fuga per i singoli piani, sono state posizionate due ulteriori vie di fuga al piano

terra una che dà direttamente accesso all'esterno dal museo e la seconda è stata posizionata in modo contrapposto dando accesso alla terrazza.

Al piano primo è stata realizzata una seconda via di fuga costituita da una scala esterna posizionata sul prospetto Sud-Ovest in modo da essere il più possibile contrapposta alla scala di tipo protetta interna.

La larghezza utile delle vie di uscita è stata considerata multipla del modulo di uscita e non inferiore a due moduli (1,20 m), fatta eccezione per la larghezza dei corridoi interni agli appartamenti per gli ospiti e delle porte delle camere. Dalla porta di ciascuna camera e da ogni punto dei locali comuni è possibile raggiungere una uscita su luogo sicuro o su scala di sicurezza esterna con un percorso non superiore a 40 m.

Gli estintori sono stati ubicati in posizione facilmente accessibile e visibile; appositi cartelli segnalatori per facilitarne l'individuazione, anche a distanza. Gli estintori portatili devono essere installati in ragione di uno ogni 200 mq di pavimento, o frazione, con un minimo di un estintore per piano, ottenendo per il progetto un totale di 9 elementi. Gli estintori portatili dovranno avere capacità estinguente non inferiore a 13 A - 89 B; a protezione di aree ed impianti a rischio specifico devono essere previsti estintori di tipo idoneo.

13.4 VERIFICHE ILLUMINOTECNICHE

La progettazione della luce è finalizzata a garantire le condizioni di comfort: luce diffusa e d'ambiente, luce concentrata sui piani di lavoro, luce d'effetto su oggetti e superfici. Per soddisfare queste esigenze è necessario riferirsi a parametri qualitativi e quantitativi definiti per i sistemi di illuminazione naturale.

Le principali grandezze fotometriche sono:

- il flusso luminoso (Φ [lm]): esprime l'energia luminosa emessa da una sorgente puntiforme e ponderata in base alla curva di visibilità relativa;
- l'intensità luminosa (I [cd]): esprime il flusso emesso da una sorgente puntiforme in una determinata direzione entro un angolo solido unitario;
- la luminanza (L [cd/m²]): esprime l'intensità luminosa prodotta o riflessa da una superficie estesa in rapporto all'area di tale superficie così come è vista dall'osservatore.

Per definire il grado di illuminazione presente all'interno degli ambienti si è utilizzata una grandezza sintetica e adimensionale detta fattore di luce diurna, FLD, in grado di descrivere le prestazioni luminose dell'involucro edilizio. Questo parametro non dipende dal livello di illuminamento esterno, ma solo dalle

relazioni geometriche tra il punto considerato all'interno dell'ambiente e la volta celeste.

Tale grandezza è definita come il rapporto tra l'illuminamento, E , che si realizza su di una superficie orizzontale posta all'interno dell'ambiente considerato, grazie alla luce proveniente dalla volta celeste, e quello che contemporaneamente si ha su di una superficie orizzontale posta all'esterno senza alcuna ostruzione E_o .

Tale parametro consente di valutare la capacità delle aperture trasparenti di uno spazio chiuso di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli e un accettabile sfruttamento della luce naturale.

Per raggiungere questi obiettivi l'FLD deve essere superiore ad un certo valore, fissato come valore di soglia al di sotto del quale non sono verificate le condizioni di illuminazione naturali sufficienti alle specifiche esigenze di benessere fisico e psicologico. Uno schema di valutazione indicativo è il seguente:

- $F < 0,3\%$ insufficiente;
- $0,3\% < F < 2\%$ discreto;
- $2\% < F < 4\%$ buono;
- $F > 4\%$ ottimo.

Per verificare il fattore di luce diurna presente all'interno degli ambienti del rifugio sono state eseguite alcune simulazioni con il software VELUX Daylight Visualizer che ci ha permesso, una volta definita la geometria e i materiali dei diversi ambienti, di determinare il valore di FLD presente considerando la situazione più sfavorevole ovvero con cielo coperto.

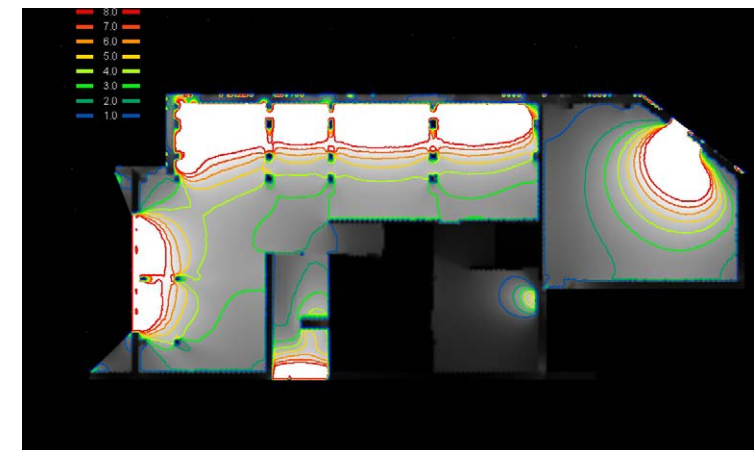


Fig.13.2 Fattore di luce diurna piano terra

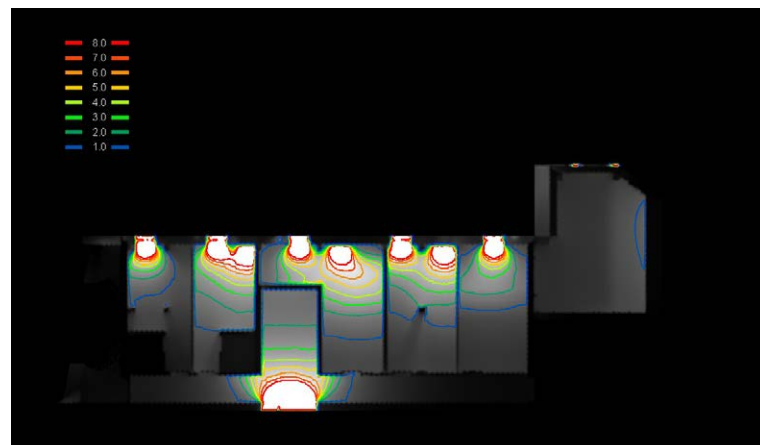


Fig.13.3 Fattore di luce diurna piano primo

Dopo lo studio del fattore di luce diurna, per valutare meglio il comfort visivo si sono analizzati i valori di illuminamento espressi in Lux all'interno del rifugio in corrispondenza del solstizio d'inverno e in quello d'estate.

Sono stati verificati i valori d'illuminamento presenti nei diversi ambienti che devono essere superiori rispettivamente a 200 lx per la sala da pranzo, a 100 lx per gli ambienti di passaggio mentre per le camere deve essere superiore a 150 lx.

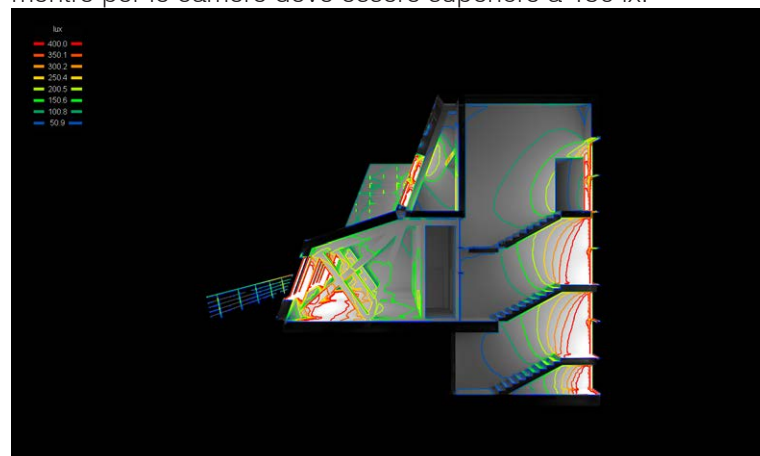


Fig.13.4 Illuminamento solstizio d'inverno 21 dicembre

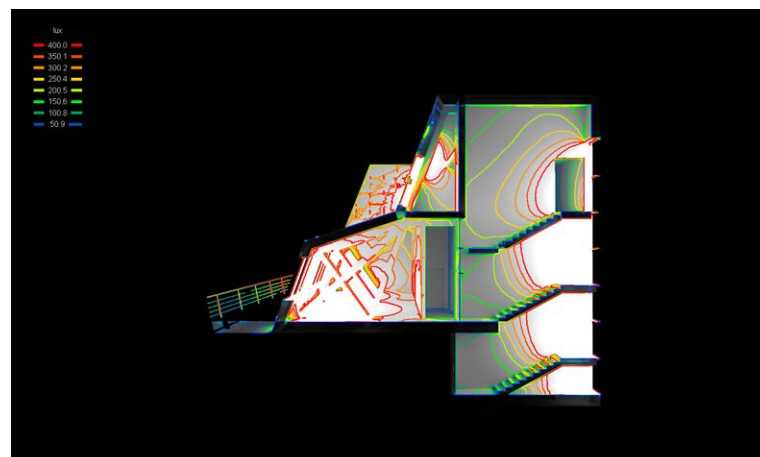


Fig.13.5 Illuminamento solstizio d'estate 21 giugno

Infine è stata valutata la luminanza presente all'interno dei diversi ambienti del rifugio.

La distribuzione delle luminanze nello spazio può essere descritta in relazione alla posizione di un osservatore e ad una direzione di osservazione.

La luminanza di un oggetto varia con la direzione di osservazione e dipende anche dalle proprietà riflettenti o assorbenti delle superfici.

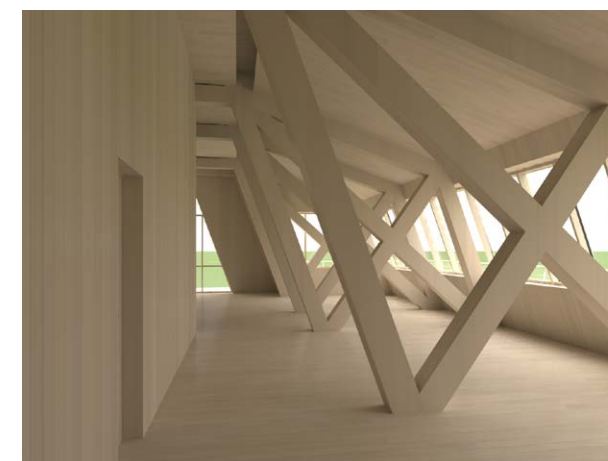


Fig.13.6 Sala invernale

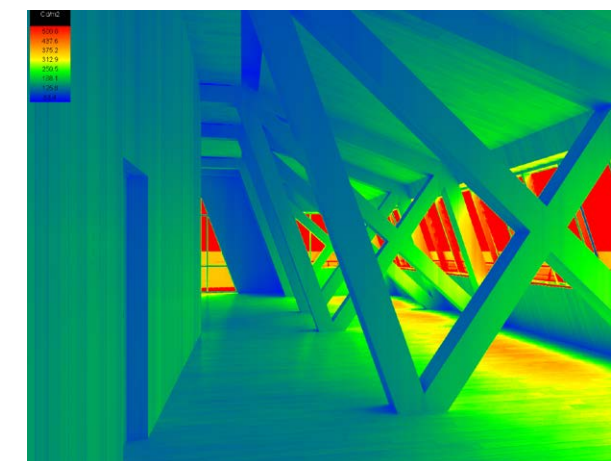


Fig.13.7 Sala invernale



Fig.13.8 Sala estiva

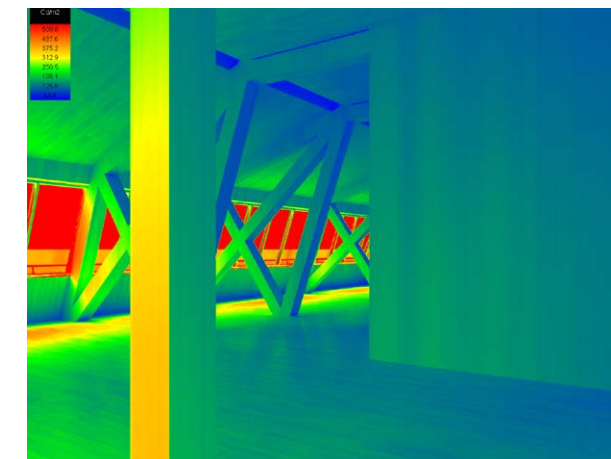


Fig.13.9 Sala estiva



Fig.13.10 Camerata

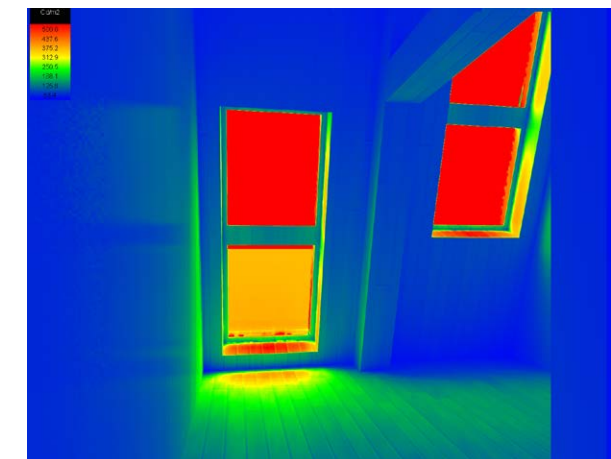


Fig.13.11 Camerata

13.5 CALCOLO DELL'ENERGIA PRIMARIA

Il calcolo dell'energia primaria è stato eseguito come definito all'interno del d.g.r. 3868 del 17 luglio 2015.

La prestazione energetica dell'edificio è quantificata da due indici, l'indice di energia primaria globale non rinnovabile e l'indice di energia primaria globale totale, calcolati come segue:

$$EP_{gl,nren} = E_{p,gl,nren} / A$$

Dove:

$EP_{gl,nren}$ è l'indice di energia primaria non rinnovabile dell'edificio;

$E_{p,gl,nren}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile dell'edificio;

A è l'area della superficie utile dell'edificio.

$$EP_{gl,tot} = E_{p,gl,tot} / A$$

Dove:

$EP_{gl,tot}$ è l'indice di energia primaria totale dell'edificio;

$E_{p,gl,tot}$ è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale dell'edificio.

Per poter definire gli indici prestazionali, sono stati individuati i fabbisogni energetici dei diversi servizi presenti all'interno dell'edificio. La normativa considera come servizi:

- riscaldamento;
- acqua calda sanitaria;
- ventilazione;
- illuminazione generale.

Per questi servizi i fabbisogni mensili sono stati calcolati sia con l'utilizzo di simulazioni dinamiche, riscaldamento e ventilazione, sia tramite ipotesi di funzionamento del rifugio, ACS e illuminazione generale.

Di seguito sono riportati i valori dell'energia utile richiesti dai diversi servizi nei diversi mesi dell'anno.

	$E_{RISC.PAV}$	$E_{RISC.INF}$	E_{VENT}	E_{ACS}	$Q_{ELETRICA}$
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
GENNAIO	975,99	686,52	515,83	313,74	1022,11
FEBBRAIO	603,74	421,15	362,31	167,33	681,41
MARZO	251,51	187,40	164,06	167,33	681,41
APRILE	15,52	17,37	22,67	167,33	681,41
MAGGIO	31,95	9,64	0,00	209,16	681,41
GIUGNO	0,00	0,00	0,00	1045,80	1703,52
LUGLIO	0,00	0,00	0,00	1080,66	1760,30
AGOSTO	0,00	0,00	0,00	1080,66	1760,30
SETTEMBRE	18,19	20,64	33,61	784,35	1703,52
OTTOBRE	163,66	138,22	119,77	167,33	681,41
NOVEMBRE	635,96	480,70	416,66	167,33	681,41
DICEMBRE	1130,58	766,77	593,72	313,74	1022,11
	3827,10	2728,41	2228,63	5664,75	13060,32

Tab.13.7 Energia utile richiesta dai diversi servizi

Dopo aver stabilito i diversi fabbisogni, è stato calcolato il rendimento globale medio stagionale dell'impianto di riscaldamento come segue;

$$\eta_g = \eta_e \times \eta_{rg} \times \eta_d \times \eta_{gn}$$

Dove:

η_e è rendimento di emissione;

η_{rg} è rendimento di regolazione;

η_d è rendimento di regolazione;

η_{gn} è rendimento di generazione.

I valori di rendimento considerati nel calcolo sono stati ricavati dai prospetti della norma UNI EN 11300-2 ed è risultato un rendimento totale di 0,88.

Dato che all'interno dell'impianto del rifugio sono presenti più vettori energetici è stata definita la produzione dei diversi vettori come definito nei capitoli precedenti i cui valori sono riportati nella tabella seguente.

	$Q_{FOTOVOLTAICO}$ Q_{SOLARE}	
	[kWh]	[kWh]
GENNAIO	1084,00	582,46
FEBBRAIO	1649,00	770,67
MARZO	2651,00	1054,61
APRILE	2660,00	1137,69
MAGGIO	3170,00	1316,60
GIUGNO	3309,00	1937,22
LUGLIO	3655,00	2046,49
AGOSTO	3257,00	1876,21
SETTEMBRE	2541,00	1465,86
OTTOBRE	1718,00	907,62
NOVEMBRE	1086,00	575,62
DICEMBRE	869,00	373,13

Tab.13.8 Energia prodotta dai diversi vettori

Dopo di che sono stati definiti i diversi vettori di conversione in energia primaria che risultano essere:

- le biomasse solide sono rispettivamente:
 - $f_{p,nren} = 0,20$;
 - $f_{p,ren} = 0,80$;
 - $f_{p,tot} = 1,00$.
- il solare termico sono rispettivamente:
 - $f_{p,nren} = 0,00$;
 - $f_{p,ren} = 1,00$;
 - $f_{p,tot} = 1,00$.
- il fotovoltaico sono rispettivamente:
 - $f_{p,nren} = 0,00$;
 - $f_{p,ren} = 1,00$;
 - $f_{p,tot} = 1,00$.

	EPH _{TOT}	EPH _{NREN}	EPH _{REN}
	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]	[kWh/m ²]
GENNAIO	6,39	0,72	5,67
FEBBRAIO	4,07	0,00	4,07
MARZO	2,64	0,00	2,64
APRILE	1,64	0,00	1,64
MAGGIO	1,69	0,00	1,69
GIUGNO	5,00	0,00	5,00
LUGLIO	5,17	0,00	5,17
AGOSTO	5,17	0,00	5,17
SETTEMBRE	4,66	0,00	4,66
OTTOBRE	2,31	0,00	2,31
NOVEMBRE	4,33	0,29	4,04
DICEMBRE	6,96	1,00	5,96

Tab.13.9 Indici energetici

Da ciò risultano rispettivamente un indice di energia primaria non rinnovabile pari a 2,01 [kW/m²anno] e un indice di energia primaria totale dell'edificio pari a 50,02 [kW/m²anno]. In conclusione si ottiene un indice di energia primaria rinnovabile di 48,01 [kW/m²anno].

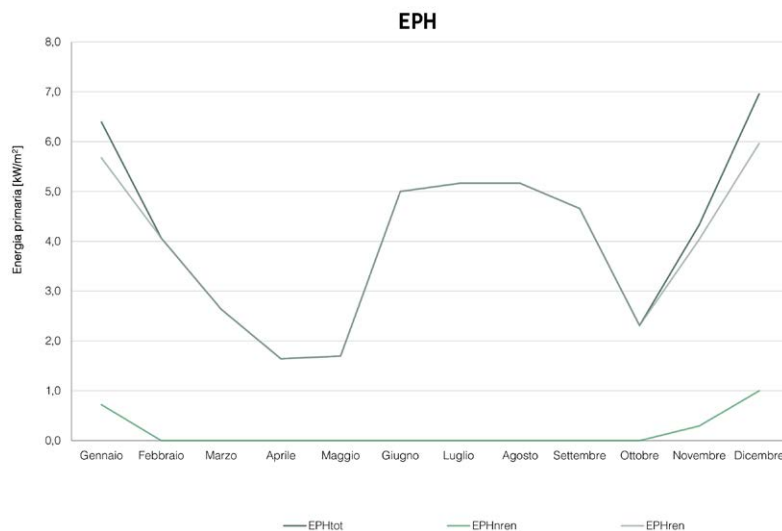


Fig.13.12 Grafico andamento dell'energia primaria

Dall'osservazione del grafico si vede come solo nei mesi di Gennaio, Novembre e Dicembre il fabbisogno di energia primaria non è coperto da fonti rinnovabili.

14

CONCLUSIONI

A conclusione del lavoro di tesi si ritiene opportuno verificare il raggiungimento degli obiettivi prefissati. In primo luogo si è riusciti ad affrontare la progettazione di una tipologia di edifici molto particolare, ovvero quella del rifugio di montagna. Il confronto con un tema progettuale che esula dalla pratica standard dell'edificazione ha permesso di applicare a pieno l'iter appreso in ambito accademico: al fine di attuare una buona progettazione è stato necessario capire quali fossero i parametri da tenere in maggior conto per il caso in analisi, creare un bagaglio di conoscenza relativamente a questi aspetti e quindi attuare delle scelte giustificate.

È stato possibile e necessario interloquire con diverse figure esperte nei diversi campi affrontati, fatto che ha permesso di ampliare le conoscenze e di venire a contatto con realtà del tutto nuove da quelle finora affrontate. Il dialogo e la collaborazione tra esponenti di ambiti diversi ha permesso di massimizzare la qualità dei risultati.

Particolarmente importante è stato interfacciarsi con personalità esterne all'ambiente universitario: il contatto con chi opera sul campo ha permesso un contatto diretto con i temi affrontati, consentendo di cogliere aspetti altrimenti di difficile individuazione.

Infine il progetto di tesi mostra il carattere di multidisciplinarietà seguito durante il percorso di studi, affrontando con pari dignità aspetti architettonici e ingegneristici e applicando ad ognuno di essi gli strumenti appresi durante la carriera accademica.

15

BIBLIOGRAFIA E INDICI

14.1 BIBLIOGRAFIA

- Aimar L., Maconi A., Marieni A., Merazzi M., Premazzi A., Grigne. Sotto quel ramo del Lago di Como, su "Speleologia" n°54, rivista della Società Speleologica Italiana, Bologna, Giugno 2006
- Apollonio G., Ferreri E., Il Piano rifugi del CAI nelle Alpi Occidentali, in "Lo Scarpone", nn.6-7, 15 marzo-1 aprile 1994
- Aurora F., 20 anni in Grigna. Storia e ricordi di un rifugista, Bellavite editore, Missaglia 2011
- Becker-Becker J., Les cabanes du Club Alpin Suisse, Wyss & Duchêne, Ginevra 1892
- Benedetti C., Costruire in legno: edifici a basso consumo energetico, Bozen-Bolzano University Press 2009
- Benedetti C., Risanare l'esistente, Bozen-Bolzano University Press 2001
- Bini A., Parco regionale della Grigna settentrionale, Bellavite editore, Missaglia 2008
- Calzolari L., Maggiore A., Guida ai Rifugi del CAI, RCS MediaGroup, Milano 2016
- Coolidge W., Swiss Travel and Swiss guide-Books, Longmans, Green & C., Londra 1889
- De Rossi A., Dini R., Architettura alpina contemporanea, Priuli & Verlucca, 2012
- Doninelli M., Gli impianti a pannelli radianti, Quaderni Caleffi
- Doninelli M., Impianti idrosanitari, Grafiche Nicolini, Gavirate 2011
- Doninelli M., Le reti di distribuzione, Quaderni Caleffi
- Doninelli M., Tabelle e diagrammi perdite di carico acqua, Quaderni Caleffi
- Eschenmoser J., Vom Bergsteigen und Hüttenbauen, Orell Füssli, Zurigo 1973
- Ferrari A., I rifugi del Club Alpino Italiano, CAI, Torino 1905

Frattari A.(a cura di), Soluzioni costruttive per edifici in legno, Eurograf s.a.s., Cesano Boscone, 2015

Gibello L., Cantieri d'alta quota. Breve storia della costruzione dei rifugi sulleAlpi, Lineadaria, Biella 2011

Gnecchi O., Rifugi lecchesi. Itinerari e storia, Editrice Stefanoni, [S.n.] 1999

Gruppo mineralogico paleontologico Iariano, Geologia delle Grigne. Guida alla mostra, cicl. in proprio, Lecco 1982

Hemmler J., Nanga parbat 1970: il dramma e le sue controversie, Versante Sud, Milano 2012

Magrini A., Ena D., Tecnologie solari attive e passive, EPC Libri, 2007

Marazzi S., Atlante Orografico delle Alpi. SOIUSA, Priuli & Verlucca, Pavone Canavese 2005

Motti G.P., La storia dell'alpinismo, L'Arciere/Vivalda, Cuneo 1994

Quartiere A., Progettazione impiantistica. Linee guida per la progettazione di impianti di climatizzazione e idrico-sanitari, Maggioli editore, [S.n.] 2011

Rota A., Il gruppo delle Grigne, Club Alpino Italiano, Milano 2010

Rota A., Intorno al lago di Lecco. Itinerari naturalistici, panoramici e storici sulle montagne lecchesi, Club Alpino Italiano, Milano 2010

Saglio S., Rifugi e bivacchi, in Coll., 1863-1963. I cento anni del Club Alpino Italiano, Milano 1964

Sartorelli M. (a cura di), Monitoraggio ambientale impianti di fitodepurazione, [S.I.], [S.n.] 2004

Serre P., Jeudy J., Refuges des Alpes de Nice au Léman, Glénat, Grenoble 1985

Soregali P., Grigne. Guida escursionistica e alpinistica, Nordpress, Chiari 2006

Stephen L., The playground of Europe, Longmans, Green & C., Londra 1871

Vecchi rifugi in Valle d'Aosta (1852-1891), in "Quaderni museo montagna", n.37, 1985

14.2 INDICE DELLE FIGURE

Fig.1.1 Frontespizio dell'Essai sur l'architecture di Marc Antoine Laugier, 1753	14
Fig.1.2 La "Pierre des anglais", Chamonix, in una veduta di Rodolphe Töpffer del 1844	14
Fig.1.3 "Hotel" a Monteners in una veduta di Marc-Théodore Bourrit del 1795	14
Fig.1.4 Il riparo di Franz Josef Hugi sull'Unteraagletscher del 1827	15
Fig.1.5 Rifugio ai Grand Mulets in una veduta di Isidore-Laurent Deroy del 1853	16
Fig.1.6 Rifugio ai Grand Mulets in una foto di Joseph Vallot del 1900	16
Fig.1.7 Resti delle balme della Bonne-Pierre negli Ecrins	17
Fig.1.8 Rifugio dell'Alpetto al Monviso, il primo del CAI (2268 m s.l.m)	17
Fig.1.9 La piramide di sassi sul luogo prescelto per la capanna Valsesia, Monte Rosa, nel 1898	18
Fig.1.10 Il rifugio in vetta: Capanna Carrel al Grand Tournalin del 1879	18
Fig.1.11 Vestibolo di ingresso al rifugio della Marmolada del 1877	18
Fig.1.12 Esempio di rifugio in legno: il LyonRépublicain del 1896	19
Fig.1.13 Il distacco dalla roccia: il rifugio delle Grandes Jorasses del 1881	20
Fig.1.14 Il distacco dalla roccia effettivo: la capanna Luigi Amedeo Savoia del 1893	20
Fig.1.15 Il rifugio Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso di Boggio del 1885	21
Fig.1.16 Planimetria del Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso	21
Fig.1.17 Progetto di Emil Hilgard per la Spannorthütte del 1880	21
Fig.1.18 Alcune delle precise rappresentazioni grafiche di Becker	22
Fig.1.19 Osservatorio Vallot in vetta al Monte Bianco nella sua prima edificazione del 1890	22
Fig.1.20 Osservatorio Janssen sul Monte Bianco di Vaudremer del 1893	23
Fig.1.21 Scivolamento e sprofondamento nel ghiaccio dell'osservatorio Janssen	23
Fig.1.22 Le prime travi lignee della capanna Regina Margherita nel 1892	23
Fig.1.23 Il rifugio-albergo in Italia: il rifugio Torino sul Colle del Gigante	24
Fig.1.24 Capanna Campo Tencia in Canton Ticino del 1912	25
Fig.1.25 Pianta della struttura prefabbricata della Medelserhütte nei Grigioni del 1910	26
Fig.1.26 L'articolazione su livelli sfalsati e il disegno dei prospetti della Medelserhütte	26
Fig.1.27 Planimetrie della Planurahütte di Leuzinger nei Grigioni del 1929	26
Fig.1.28 Le aperture irregolari, le finestre a nastro e la copertura a singola falda della Planurahütte	26
Fig.1.29 Il Vittorio Emanuele II al Gran Paradiso di Melis, iniziato nel 1931	27
Fig.1.30 Le strutture per bivacchi di Perriand in tubolari metallici e pannelli standard	27
Fig.1.31 Il "refuge tonneau" di Perriand e Jeanneret del 1938	27
Fig.1.32 Planimetria per la ricostruzione del Boccalette-Piolti di Giulio Apollonio	28
Fig.1.33 Prospetto per la ricostruzione del Boccalette-Piolti di Giulio Apollonio	28
Fig.1.34 La "casa capriata" di Carlo Mollino, del 1954, realizzata nel 2008	29
Fig.1.35 Il primo rifugio ad essere costruito con l'ausilio dell'elicottero: il Soreiller	30
Fig.1.36 Il Goûter di Lederlin e Kaminsky con struttura in acciaio e rivestimento in alluminio	30

Fig.1.37 L'uso del sistema tecnologico a secco per il Mischabel nel 1965	30
Fig.1.38 Il rifugio delle Evettes e l'uso dei pannelli prefabbricati, 1965	30
Fig.1.39 Il bivacco del Dolent del 1973 calato in elicottero e con scocca in poliestere	31
Fig.1.40 Il bivacco dello Stockhorn del 1974 dall'aspetto futuristico	31
Fig.1.41 Bivacco Ferrario sulla Grigna Meridionale, unica avanguardia italiana negli anni '70	31
Fig.1.42 Esempio dell'architettura di Eschenmoser nel Domhütte in Vallese	31
Fig.1.43 La pianta del dormitorio al secondo piano del Domhütte	32
Fig.1.44 La celebre Cabane de Bertol a Zinal di Eschenmoser	32
Fig.1.45 Il rifugio Monzini sul Monte Bianco (2590 m s.l.m)	32
Fig.1.46 Nuova capanna Gnifetti al Garstelet del 1967, esempio dimensioni sproporzionate	33
Fig.1.47 Il rifugio Vallanta sul Monviso, di Bellezza e Momo, 1975	33
Fig.1.48 La reiterazione delle forme nel rifugio Garelli del 1991	33
Fig.1.49 Nuova capanna Regina Margherita sulla Punta Gnifetti del Monte Rosa del 1980	33
Fig.1.50 Il "muro di Trombe" realizzato da Zanassi all'Adèle Planchard nel 1982	34
Fig.1.51 La nuova parte del Goûter progettata da Jeanvoine	34
Fig.1.52 Il famoso "totem" della Cabane du Vêlan di Troillet del 1993	34
Fig.2.1 Schema relativo alla nuova suddivisione orografica unificata del Sistema Alpino	39
Fig.2.2 Porzione Est delle Alpi Orientali, in evidenza la sezione Alpi e Prealpi Bergamasche	39
Fig.2.3 L'interpretazione, errata, di Stoppani che interpreta le Grigne come piaghe piuttosto che come scaglie	40
Fig.2.4 Rappresentazione delle tre scaglie di scorrimento immergenti verso Nord	40
Fig.2.5 Verrucano Lombardo	41
Fig.2.6 Servino	41
Fig.2.7 Calcere di Esino	41
Fig.2.8 Calcere di Perledo-Varenna	41
Fig.2.9 Schema strutturale del territorio lecchese come riportato nella Carta Geologica d'Italia	42
Fig.2.10 Massi erratici: il Sasso Preguda e l'annessa cappella di Sant'Isidoro sul Moregallo	42
Fig.2.11 La "Porta di Prada", arco carsico naturale presso la Bocchetta di Prada	43
Fig.2.12 Torrioni e spuntoni in Grignetta prodotti dal fenomeno della milonizzazione	43
Fig.2.13 Calcere di Angolo: Val Melma, Mandello del Lario (A-B), Monte Melma, Lecco (C)	44
Fig.2.15 Pieghe nel calcere di Perledo-Varenna presso Mandello del Lario	44
Fig.2.14 Formazione di Livinallongo	44
Fig.2.16 Bancata di calcari scistosi stratificati dell'anisico del "Sett" al buco di Grigna	45
Fig.2.17 Formazione di Gorno di Nocrebbio, Abbadia Lariana	45
Fig.2.18 Lo Zucco di Teral e il Dito Dones, a Ballabio, sono costituiti di Dolomia Principale che non è frequente nel gruppo delle Grigne	46
Fig.2.19 La conca del Mocodeno, sul versante settentrionale del Grignone	47
Fig.2.20 Stalattiti e stalagmiti di ghiaccio nella Ghiacciaia di Moncodeno	47
Fig.2.21 Ingresso alla Ferrera, o Grotta dell'Acqua Bianca	47
Fig.2.22 Il torrente Fiumelatte nei pressi dell'omonima frazione	48
Fig.2.23 Porzione della mappatura dell'abisso "W le Donne" (in giallo)	48

Fig.2.24 L'Alpe Campione, ricca di doline e campi solcati	48	Fig.3.23 Andrea Zaccagni, deceduto mentre scalava il versante svizzero del Cervino	69	Fig.4.35 Immagine della Webcam del Brioschi il 20 Settembre alle 18:20	94	Fig.5.55 Rifugio Schiestlhaus	124
Fig.2.27 Tavola dell'opera di Stoppani con la rappresentazione di fossili delle Grigne	49	Fig.3.25 Gregge di ovini in prossimità dell'alpeggio Cainallo, nei pascoli del Moncodeno	70	Fig.4.37 Immagine della Webcam del Brioschi il 22 Ottobre alle 16:25	94	Fig.5.56 Pianta piano terra del rifugio Schiestlhaus	125
Fig.2.28 Laurosaurus balsami scoperto a Perledo nel 1830 da Giuseppe Balsamo	49	Fig.3.26 Il laghetto alpino dell'Alpe Pialleral, vicino al quale sorge il rifugio Antonietta	70	Fig.4.39 Immagine della Webcam del Brioschi il 14 Novembre alle 13:15	94	Fig.5.57 Pianta piano terra del rifugio Schiestlhaus	125
Fig.2.26 Ammonite in sezione trasversale nella grotta Topino e le Giotre, sul Grignone	49	Fig.3.27 Quartirolo di Monte, uno dei formaggi tipici della regione Lombardia	72	Fig.4.41 Immagine della Webcam del Brioschi il 21 Dicembre alle 13:45	94	Fig.5.58 Localizzazione Capanna cristallina	126
Fig.2.25 Particolare della bocca del Saurichthys con i denti a cono	49	Fig.3.28 Taleggio, formaggio molle a crosta lavata	72	Fig.4.42 Analisi delle ombre il 21 Gennaio alle 14:30	95	Fig.5.59 Capanna Cristallina	126
Fig.2.29 Ctenognathichthys bellottii rinvenuto nel gruppo delle Grigne da Tintori	50	Fig.3.29 Caprini a coagulazione acida prodotti nel Rifugio Bogani	73	Fig.4.44 Analisi delle ombre il 21 Febbraio alle 16:45	95	Fig.6.1 Vista della traversata alta con, sullo sfondo, la cima della Grignetta	129
Fig.2.30 La stella marina rinvenuta sul Grignone da Tintori	50	Fig.3.30 Polenta taragna, realizzata con farina mista di mais e grano saraceno e formaggi	73	Fig.4.43 Immagine della Webcam del Brioschi il 25 Gennaio alle 14:25	95	Fig.6.2 Vista della traversata alta molto simile a quella della Fig.1.1 ma in periodo invernale	129
Fig.2.31 Camoscio delle Alpi	51	Fig.3.31 Olio del lago, ottenuto da coltivazioni localizzate su terrazzamenti a lago	73	Fig.4.45 Immagine della Webcam del Brioschi il 22 Febbraio alle 15:40	95	Fig.6.3 Chiesa del Sacro Cuore di Balisio (882 m), partenza per raggiungere il Brioschi	129
Fig.2.34 Ermellino	51	Fig.3.32 Il rifugio Arnaldo Bogani	74	Fig.5.1 Localizzazione Monte Rosa Hütte	100	Fig.6.4 Rifugio Bietti-Buzzi, raggiungibile da Esino Lario	129
Fig.2.32 Moscardino	51	Fig.3.33 L'alpeggio dell'Alpe Campione	75	Fig.5.2 Monte Rosa Hütte	100	Fig.6.5 Ferrata che dalla traversata alta, superando gli Scudi, conduce al Brioschi	130
Fig.2.33 Rinolofo maggiore	51	Fig.4.1 Classificazione climatica secondo W. Koppen-Geiger	81	Fig.5.3 Zona pranzo Monte Rosa Hütte	100	Fig.6.6 Ferrata che collega la traversata alta con il sentiero 10, che conduce al Rosalba	130
Fig.2.36 Tritone crestato italiano	52	Fig.4.2 Classificazione dell'Italia secondo Koppen	81	Fig.5.4 Impianto trattamento acque Monte Rosa Hütte	101	Fig.6.7 Vista del Buco di Grigna e delle catene Svizzere dalla traversata alta	130
Fig.2.35 Albanella reale	52	Fig.4.3 Stazioni di monitoraggio	83	Fig.5.5 Impianto fotovoltaico Monte Rosa Hütte	101	Fig.6.8 Bocchetta di Valmala, punto di arrivo del sentiero 32131	131
Fig.2.37 Gallo forcello	52	Fig.4.4 Grafico confronto delle temperature medie mensile dei tre siti in esame	84	Fig.5.6 Impianto di ventilazione Monte Rosa Hütte	101	Fig.6.9 Scatto nella Valle dei Crassi Lunghi, in una delle parti iniziali del sentiero 32	131
Fig.2.38 Aquila reale	52	Fig.4.5 Grafico confronto dell'umidità relativa medie mensile dei tre siti in esame	84	Fig.5.7 Pianta piano terra del Monte Rosa Hütte	102	Fig.6.10 Claudio Ghezzi, 63 anni, recordman della Grigna con oltre 4000 salite in vetta.	131
Fig.2.42 Re di quaglie	53	Fig.4.6 Grafico confronto delle radiazioni solari globali medie mensile dei tre siti in esame	85	Fig.5.8 Pianta piano seminterrato del Monte Rosa Hütte	102	Fig.6.11 Alberto Pirovano, presidente CAI Lecco e membro Commissione Lombarda Rifugi	132
Fig.2.41 Salamandra maculata	53	Fig.4.7 Grafico confronto delle velocità del vento medie mensile dei tre siti in esame	85	Fig.5.9 Pianta piano primo del Monte Rosa Hütte	103	Fig.6.12 Prima ipotesi di localizzazione del rifugio, sulla traversata alta	132
Fig.2.40 Carabo delle Grigne	53	Fig.4.9 Temperatura media settimanale	86	Fig.5.10 Pianta piano secondo del Monte Rosa Hütte	103	Fig.6.13 Seconda ipotesi di localizzazione del rifugio, nei pressi del lago alpino	132
Fig.2.39 Pavonia maggiore	53	Fig.4.8 Grafico delle temperature medie giornaliere	86	Fig.5.11 Pianta piano terzo del Monte Rosa Hütte	103	Fig.6.14 Terza ipotesi di localizzazione (quella più idonea), sulla "Costa Curnunec"	133
Fig.2.44 Carpino nero	54	Fig.4.10 Grafico delle temperature medie mensili; confronto tra la temperatura media, la massima e la mese	86	Fig.5.12 Localizzazione Rifugio Gouter	104	Fig.6.15 Vista in direzione della cima della Grigna dalla "Costa Curnunec"	133
Fig.2.43 Pino mugo	54	Fig.4.11 Grafico delle temperature medie mensili; confronto tra la temperatura media mensile e la media del giorno e della notte	87	Fig.5.13 Rifugio Gouter	104	Fig.6.16 Vista in direzione della cima della Grignetta dalla "Costa Curnunec"	133
Fig.2.45 Maggiociondolo	54	Fig.4.12 Grafico delle temperature medie giornaliere	87	Fig.5.14 vista sul picco del Rifugio Gouter	104	Fig.6.17 Vicinanza tra il sito di progetto (rosso) e la baita dell'Alpe Campione (verde)	134
Fig.2.46 Gladiolo	54	Fig.4.13 Umidità relativa	87	Fig.5.15 Sezione Rifugio Gouter	105	Fig.6.18 Quasi planarità dell'area di progetto, vantaggio della realizzazione costruttiva	134
Fig.2.48 Campanula insubrica	55	Fig.4.15 Radiazione solare diretta	88	Fig.5.16 Pianta piano seminterrato del rifugio Gouter	105	Fig.6.19 Tavola riassuntiva delle tavole della componente geologica del comune di Pasturo	134
Fig.2.47 Sassifraga di Vandelli	55	Fig.4.16 Radiazione solare diffusa	88	Fig.5.17 Pianta piano terra del rifugio Gouter	106	Fig.6.20 Area di indagine con evidenziati i 38 rifugi suddivisi per località	135
Fig.2.49 Primula delle Grigne	55	Fig.4.14 Grafico della radiazione solare media mensile;	88	Fig.5.18 Pianta piano primo del rifugio Gouter	106	Fig.6.21 Distribuzione altimetrica dei rifugi analizzati	135
Fig.2.50 Petrocallide	55	Fig.4.17 Grafico della radiazione solare media mensile;	88	Fig.5.19 Pianta piano secondo del rifugio Gouter	107	Fig.6.22 Periodi di apertura dei rifugi oggetto dell'indagine	135
Fig.3.1 La "Grigna Settentrionale" vista dalla "Grigna Meridionale"	59	Fig.4.18 Grafico della distribuzione della radiazione solare nell'arco di un anno	89	Fig.5.20 Localizzazione Tracuit Hütte	108	Fig.6.23 Modalità di accesso ai rifugi per i gestori	136
Fig.3.2 Il "Bivacco Ferrario" sulla cima della "Grigna Meridionale"	59	Fig.4.20 Grafico della distribuzione della radiazione solare nel periodo invernale	89	Fig.5.21 Vista del Tracuit Hütte	108	Fig.6.24 Ripartizione sulle modalità di approvvigionamento dell'energia elettrica	137
Fig.3.3 Il Monte Coltiglione - San Martino sullo sfondo della città di Lecco	59	Fig.4.22 Grafico della distribuzione della radiazione solare nel periodo estivo	89	Fig.5.22 Accesso al Tracuit Hütte	108	Fig.6.25 Ripartizione sulle modalità di soddisfacimento del fabbisogno per il riscaldamento	137
Fig.3.4 Il "Resegone", montagna simbolo della città di Lecco	59	Fig.4.19 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nell'arco di un anno	89	Fig.5.23 Pannelli fotovoltaici integrati nella facciata del Tracuit Hütte	109	Fig.6.26 Ripartizione sulle modalità di approvvigionamento idrico	138
Fig.3.5 Escursionisti alle prese con la ferrata "Direttissima" sulla "Grigna Meridionale"	60	Fig.4.21 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nel periodo invernale	89	Fig.5.24 Pianta piano terra del Tracuit Hütte	109	Fig.6.27 Ripartizione sulle modalità produzione di acqua calda sanitaria	138
Fig.3.6 Il "Monte Barro" area tutelata come parco naturale regionale	62	Fig.4.23 Grafico della distribuzione delle frequenze dell'azimut solare nel periodo estivo	89	Fig.5.25 Pianta piano primo seminterrati del Tracuit Hütte	110	Fig.6.28 Ripartizione sulle modalità produzione dell'energia elettrica	138
Fig.3.7 Come la mano dell'uomo ha modificato il paesaggio naturale nel "Parco del Curone"	62	Fig.4.25 Precipitazioni media	90	Fig.5.26 Pianta piano secondo seminterrato del Tracuit Hütte	110	Fig.7.1 Sviluppo di vari tipi di socialità in un ambiente montano.	141
Fig.3.8 Uno scorcio del Parco della Valle del Lambro	62	Fig.4.24 Grafico della distribuzione delle velocità del vento	90	Fig.5.27 Pianta piano secondo seminterrato del Tracuit Hütte	110	Fig.7.1 Obiettivo di sviluppo dell'area, strategie ed azioni per attuarlo	141
Fig.3.9 Vista di Pasturo e del versante orientale del "Gruppo delle Grigne"	63	Fig.4.26 Grafico della distribuzione delle precipitazioni	90	Fig.5.29 Facciata sud del Olperer Hütte	111	Fig.7.2 Obiettivo di valorizzazione del paesaggio, strategie ed azioni per attuarlo	141
Fig.3.10 Vista del Lago di Como e del versante occidentale del "Gruppo delle Grigne"	63	Fig.4.27 Tabella riepilogativa	91	Fig.5.28 Localizzazione Olperer Hütte	111	Fig.7.3 Obiettivo di sviluppo di tematiche sociali, strategie ed azioni per attuarlo	142
Fig.3.11 La parete del Sasso Cavallo, alta più di 400 metri	64	Fig.4.28 Diagramma stereografico	91	Fig.5.30 Olperer Hütte	112		
Fig.3.12 Il canyon della Val d'Era sul "sentiero del fiume"	64	Fig.4.29 Proiezione ortografica	92	Fig.5.31 Pianta piano terra del Olperer Hütte	113		
Fig.3.13 Porta di Prada	64	Fig.4.30 Shadow range dell'equinozio d'autunno 21 Settembre (6-18)	92	Fig.5.32 Pianta piano primo del Olperer Hütte	113		
Fig.3.14 Foresta termofila di faggio localizzata su substrato calcareo	65	Fig.4.31 Shadow range dell'equinozio di primavera 21 Marzo (7-19)	92	Fig.5.33 Localizzazione Rifugio Gonella	114		
Fig.3.15 "Primula galuescens", uno degli endemismi floreali della catena montuosa	65	Fig.4.32 Shadow range del solstizio d'inverno 21 Dicembre (8-16)	93	Fig.5.34 Rifugio Gonella	114		
Fig.3.16 Come si presentava il 30/01/14 il rifugio Brioschi a seguito di una violenta nevicata	66	Fig.4.33 Shadow range del solstizio d'estate 21Giugno (5-20)	93	Fig.5.35 Rifugio Gonella	114		
Fig.3.17 Riccardo Cassin, uno dei fondatori dell'alpinismo italiano	67	Fig.4.34 Analisi delle ombre il 21 Settembre alle 18:15	94	Fig.5.36 Zona pranzo del Rifugio Gonella	115		
Fig.3.18 Uno scalatore alle prese con la via della Luna	67	Fig.4.36 Analisi delle ombre il 21 Ottobre alle 16:15	94	Fig.5.37 Localizzazione Rifugio Mollino	116		
Fig.3.19 La Parete Fasana in uno scatto fotografico invernale	67	Fig.4.38 Analisi delle ombre il 21 Novembre alle 14:45	94	Fig.5.38 Rifugio Mollino	116		
Fig.3.20 Eugenio Fasana, alpinista che battezzò la celebre Parete Fasana a suo nome	68	Fig.4.40 Analisi delle ombre il 21 Dicembre alle 14:15	94	Fig.5.39 Zona pranzo Rifugio Mollino	116		
Fig.3.21 Vitale Bramani, alpinista che ha aperto circa 100 vie nell'arco alpino	68			Fig.5.40 Schema impiantistico Rifugio Mollino	117		
Fig.3.22 Giacomo Scaccabarozzi, cui è dedicata la Skymarathon "Sentiero delle Grigne"	69			Fig.5.41 Impianto fotovoltaico Rifugio Mollino	117		
Fig.3.24 Kilian Jornet, atleta spagnolo detentore del record nel "Sentiero delle Grigne"	69			Fig.5.42 Rifugio Piz Boè	118		

Fig.7.7 Risposta sull'arco della radiazione incidente su ogni lato al variare dell'orientamento	144	Fig.7.44 Doghe in zinco-titanio con sistema di fissaggio a scorrimento	161	statica di portale (assiale, taglio e momento)	255	ipotesi	290
Fig.7.8 Strategia di sospensione sul suolo naturale composto da materiale compatto	145	Fig.7.45 Riferimento: X-lam a vista negli ambienti interni nel Monte Rosa Hütte	162	Fig.9.34 Reticolo di seconda ipotesi	255	Fig.9.77 Reticolo strutturale di seconda ipotesi	291
Fig.7.9 Primo taglio di 30° per il posizionamento di moduli fotovoltaici	145	Fig.7.46 Parquet in legno di larice spazzolato trattato ad olio	162	Fig.9.35 Sezioni in legno lamellare	256	Fig.9.78 Deformata allo SLU della struttura di seconda ipotesi	291
Fig.7.10 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare	145	Fig.7.47 Dimensioni dell'elisupeficie come definite da normativa	162	Fig.9.36 Trazione parallela alla fibratura	259	Fig.9.79 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di seconda ipotesi	291
Fig.7.11 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare	145	Fig.7.48 Terrazza esterna dalla forma irregolare, con larghezza maggiore a Est	163	Fig.9.37 Compressione parallela alla fibratura	259	Fig.9.80 Spostamenti verticali	297
Fig.7.12 Taglio sul prospetto Sud-Est per la captazione solare	145	Fig.7.49 Struttura in acciaio: profili IPE e a sezione circolare	163	Fig.9.38 Flessione	260	Fig.9.83 Esempio di telaio "Steel moment frame" telaio resistente e momento per mezzo di connessioni rigide fra travi e colonne.	299
Fig.7.13 Abbassamento della copertura là dove si prevede di creare sala espositiva/corsi	146	Fig.7.50 Deck in larice che si incunea nel pendio in modo irregolare	163	Fig.9.39 Variazione della lunghezza di libera inflessione l_0 al variare delle condizioni di vincolo	263	Fig.9.81 Giunto flangiato con piatto di collegamento a filo trave (vincolo a cerniera)	299
Fig.7.14 Traslazione dei volumi lungo l'asse Sue-Est - Nord-Ovest	146	Fig.8.1 Procedimento a setti	172	Fig.9.40 Collegamenti di carpenteria lignea tipici delle tradizionali costruzioni storiche	272	Fig.9.82 Giunto flangiato con piatto esteso oltre al filo trave (vincolo ad incastro)	299
Fig.7.15 Formazione dell'aggetto sul fronte Nord-Est	146	Fig.8.2 Procedimento a gabbia	172	Fig.9.41 Schemi di collegamento di carpenteria lignea	273	Fig.9.84 Armatura in acciaio di plinto di fondazione gettato in opera	300
Fig.7.16 Inserimento 3D dell'edificio nell'ambiente naturale	146	Fig.8.3 Sistema X-lam	173	Fig.9.42 Schemi di collegamento di carpenteria lignea e acciaio (soluzioni ormai superate)	273	Fig.9.85 Piatto di collegamento colonna-plinto	300
Fig.7.17 Raccordo con il sentiero che da Pian dei Resinelli sale all'Alpe Campione	147	Fig.8.4 Sistema a telaio	173	Fig.9.43 Collegamento meccanico con l'ausilio di piastre in acciaio	273	Fig.9.86 Tirafondi di ancoraggio colonna-plinto realizzati prima del getto	300
Fig.7.18 Distribuzione planimetrica del piano interrato	147	Fig.8.5 Sistema massivo	173	Fig.9.44 Mezzi di unione metallici a gambo cilindrico	273	Fig.9.87 Tirante a barre (1- testata, 2- struttura di contrasto, 3- struttura, 4- barra, 5- iniezione, 6- distanziatore)	302
Fig.7.19 Planimetria del piano terra e distinzione tra sala invernale (verde) ed estiva (rossa)	147	Fig.8.6 Disposizione delle tavole nei pannelli X-lam	174	Fig.9.45 Giunto di connessione con spinotti resistente a momento	274	Fig.9.88 Modello 3D della giunzione piatto-plinto secondo l'ipotesi di verifica e pianta con gli interessi degli ancoraggi	305
Fig.7.20 Piano terra: dettaglio degli spazi di servizio concentrati sul lato Nord-Ovest	148	Fig.8.7 Schema esplicativo della posizione e tipologia di dettaglio analizzati	194	Fig.9.46 Elementi trave vincolati a momento (in verde il nodo considerato nella verifica)	274	Fig.10.1 Localizzazione di massima dell'area di intervento e del campo base	311
Fig.7.21 Piano terra: dettaglio della sala espositiva/corsi e del blocco scale esterno	148	Fig.9.1 Esempio di plinto per struttura in acciaio	223	Fig.9.47 Elementi pilastro vincolati a momento in verde il nodo considerato nella verifica)	274	Fig.10.2 Lavoro al gancio in elicottero	311
Fig.7.22 Sezione che mostra le diverse altezze di interpiano	149	Fig.9.2 Esempio di struttura portante in legno lamellare	223	Fig.9.48 Collegamento con mezzo di unione a 4 piani di taglio	275	Fig.10.3 Rete plastificata forata di colore verde	312
Fig.7.23 Planimetria del piano primo e distinzione tra parte invernale (verde) ed estiva (rossa)	149	Fig.9.3 Esempio di struttura in X-lam	223	Fig.9.49 Meccanismo di rottura a taglio nel caso di mezzo di unione a 2 piani di taglio	275	Fig.10.4 Miniescavatore Komatsu PC09-1	312
Fig.7.24 Piano primo: dettaglio delle due camere da 6 persone posizionate nella parte estiva	149	Fig.9.4 Pacchetto P.O.1	229	Fig.9.50 Disposizione dei fori per la realizzazione di unioni chiodate e bullonate	276	Fig.10.5 Gruppo elettrogeno semovente silenziato	313
Fig.7.25 Piano primo: dettaglio dell'appartamento del gestore	152	Fig.9.5 Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano	231	Fig.9.52 Modellazione 3D del giunto di connessione a momento	277	Fig.10.6 Cisterna in polietilene per l'approvvigionamento idrico	313
Fig.7.26 Piano primo: dettaglio delle camerate da 10 persone	152	Fig.9.6 Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_s=1$)	232	Fig.9.51 Parametri geometrici di riferimento delle piastra in acciaio	277	Fig.10.7 Testimonianza storica del trasporto a mezzo di mulo	315
Fig.7.27 Soppalco: dettaglio dell'appartamento del gestore e delle camerate da 10 persone	152	Fig.9.7 Ricoduzione della pianta dell'edificio ad una delle tipologie delle NTC2008	233	Fig.9.53 Sezione verticale strutturale del reticolo ligneo in legno lamellare (in verde sono indicate le travi singole vincolate con connessioni a cerniera)	279	Fig.10.8 Elicottero monomotore ECUREUIL AS 350 B3	315
Fig.7.28 Parti trattate in modo diverso nella visualizzazione 3D	153	Fig.9.8 Discretizzazione dei 4 prospetti principali dell'edificio per lo studio delle pressioni	233	Fig.9.54 Esempi di collegamento a terra di pilastri in legno	279	Fig.10.9 Miniescavatore con martello demolitore integrato	317
Fig.7.29 Riferimento: pareti metalliche inclinate di colore scuro nel Dronning Ingrid's Hospital	153	Fig.9.9 Zone di carico da neve	235	Fig.9.55 Esempi di collegamento trave- pilastro con vincolo a cerniera	279	Fig.10.10 Area di reimpiego del materiale di risulta dello scavo	317
Fig.7.30 Riferimento: parete inclinata scura e fascia vetrata continua nel New Tracuit Hütte	153	Fig.9.10 Pannelli X-lam a 3 e 5 strati	236	Fig.9.56 Esempio di giunto portapilastro a scomparsa con fresatura	279	Fig.10.11 Interfaccia grafica del software 3D-CAD/CAM, caratterizzata dalla possibilità di lavorare nello spazio tridimensionale	323
Fig.7.31 In verde la faccia con 16 moduli fotovoltaici, in rosso quella con la vetrata composta	153	Fig.9.11 Prefabbricazione del pannello X-lam in stabilimento	236	Fig.9.57 Staffa a scomparsa tipo ALUMIDI fissata con chiodi e bulloni con dado	279	Fig.10.12 Fasi 1 e 2	326
Fig.7.32 Prospetto Nord-Ovest: la parete attrezzata spicca sul profilo piatto della parete	154	Fig.9.12 Piastre angolari di presidio al sollevamento "hold-down"	236	Fig.9.58 Prima ipotesi statica senza ipotesi di vincolo	281	Fig.10.13 Fasi 3 e 4	326
Fig.7.33 Le pareti di arrampicata si distinguono per il colore grigio, il percorso di ferrata è rosso	154	Fig.9.13 Bande metalliche forate di presidio al sollevamento	237	Fig.9.59 Discretizzazione delle travi del "piano interrato" del reticolo in acciaio	282	Fig.10.14 Fasi 5 e 6	326
Fig.7.34 Blocco delle scale esterne rivestito da doghe in legno con effetto di semitrasparenza	155	Fig.9.14 Test sismico su edificio in X-lam di 7 piani realizzato a Miki (Giappone)	238	Fig.9.60 Prima ipotesi statica con ipotesi di vincolo	282	Fig.10.15 Fasi 7 e 8	327
Fig.7.35 Studio dal 3D del volume d'ingresso: forme semplici per essere facilmente visibile	155	Fig.9.15 Elemento X-lam solaio maggiormente caricato posto nell'interasse 4-5	239	Fig.9.61 Discretizzazione delle travi e dei pilastri del "piano terra" del reticolo in acciaio	282	Fig.10.16 Fasi 9 e 10	327
Fig.7.36 Riferimento: oggetto su basamento nell'Argentiere Refuge	155	Fig.9.16 Elemento X-lam solaio maggiormente caricato posto nell'interasse 5-6	239	Fig.9.62 Reticolo strutturale di partenza ottenuto dall'importazione in SAP2000 del modello 3D di autocad	285	Fig.10.17 Fasi 11 e 12	327
Fig.7.37 Riferimento: oggetto su basamento nell'Olperer Hütte	155	Fig.9.17 Elemento X-lam parete maggiormente caricato	239	Fig.9.63 Applicazione dei vincoli a terra	285	Fig.11.1 Curva ideale	338
Fig.7.38 La spirale spezzata rossa che incornicia il volume aggettante e forma la terrazza	156	Fig.9.18 Nuova soluzione nel dimensionamento del pannello X-lam di copertura	243	Fig.9.64 Applicazione dei carichi definiti in Tab.9.51	285	Fig.11.2 Curva pavimento radiante	338
Fig.7.40 La copertura fotovoltaica del volume della sala espositiva/corsi	156	Fig.9.19 Sezione verticale del pannello X-lam	244	Fig.9.65 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di prima ipotesi	287	Fig.11.3 Diagramma di resa termica per riscaldamento	341
Fig.7.39 Listelli in legno nel blocco del vano scale, vicini in copertura, distanziati in verticale	156	Fig.9.20 Sezione efficiente del pannello X-lam	245	Fig.9.66 Reticolo strutturale di seconda ipotesi	287	Fig.11.4 Diagramma di resa termica per riscaldamento con definizione del dimensionamento	341
Fig.7.41 Materiale pietra scartato per l'eccessivo peso e tempi di posa elevati	161	Fig.9.21 Sezione efficiente ridotta del pannello X-lam in caso di incendio	245	Fig.9.67 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di seconda ipotesi	287	Fig.11.5 Schema impianto piano terra	342
Fig.7.42 Scandole Ilgnee necessitano di tempi di posa molto lunghi	161	Fig.9.22 Sezione verticale del pannello X-lam	250	Fig.9.68 Diagramma assiale della struttura di prima ipotesi	288	Fig.11.6 Diagramma perdite di carico serpentine in PE-aX	343
Fig.7.43 Lastre in alluminio con fissaggio a scatto su staffe plastiche e canaline metalliche	161	Fig.9.23 Reticolo di prima ipotesi	252	Fig.9.69 Diagramma di taglio della struttura di prima ipotesi	288	Fig.11.7 Collettore tipo	346
		Fig.9.24 Reticolo di seconda ipotesi	252	Fig.9.70 Diagramma dei momenti della struttura di prima ipotesi	288	Fig.11.8 Valvola a comandata elettronicamente	346
		Fig.9.25 Reticolo di prima ipotesi	252	Fig.9.71 Diagramma assiale della struttura di seconda ipotesi	289	Fig.11.9 Diagramma perdite di carico condotti circolari	349
		Fig.9.26 Reticolo di prima ipotesi	252	Fig.9.72 Diagramma di taglio della struttura di seconda ipotesi	289	Fig.11.10 Grafico produzione solare termico	357
		Fig.9.27 Schema identificativo delle travi del telaio del portale	253	Fig.9.73 Diagramma dei momenti della struttura di seconda ipotesi	289	Fig.11.11 Impianto di cogenerazione	358
		Fig.9.28 Schema identificativo dei pilastri del telaio del portale	253	Fig.9.74 Reticolo strutturale di prima ipotesi	290	Fig.11.12 Grafico consumo cippato	358
		Fig.9.29 Carichi permanenti strutturali G_1	254	Fig.9.75 Deformata allo SLU della struttura di prima ipotesi	290	Fig.11.13 Tabella intensità di scarico	360
		Fig.9.30 Carichi permanenti non strutturali G_2	254	Fig.9.76 Verifica allo stato limite ultimo della struttura di prima ipotesi	290	Fig.11.14 Tabella portate colonne di scarico	361
		Fig.9.31 Carichi di esercizio Q_1 (neve, vento e carichi variabili)	254			Fig.11.15 Tabella portate collettori di scarico	362
		Fig.9.32 Diagrammi delle sollecitazioni della prima ipotesi statica di portale (assiale, taglio e momento)	254			Fig.11.16 Tabella portate collettori di raccordo	363
		Fig.9.33 Diagrammi delle sollecitazioni della seconda ipotesi	254			Fig.11.17 Sistema a flusso sub-orizzontale	364
						Fig.11.18 Grafico produzione energia elettrica	368
						Fig.12.1 Grafico Percentuale prevista di insoddisfatti (PPD) in funzione del voto medio previsto (PMV)	374
						Fig.12.2 Grafico dei livelli di temperature interne accettabili in edifici senza raffrescamento meccanico	375
						Fig.12.4 Modello piano Interrato	376

Fig.12.6 Modello piano terra	376
Fig.12.3 Pianta piano interrato	376
Fig.12.5 Pianta piano terra	376
Fig.12.9 Pianta piano primo	377
Fig.12.8 Modello finale comprensivo delle zone d'ombra	377
Fig.12.7 Modello piano primo	377
Fig.12.10 Grafico settimanale	378
Fig.12.11 Grafico ore di massima affluenza	378
Fig.12.13 Percentuale di soddisfatti	380
Fig.12.15 Percentuale di soddisfatti	380
Fig.12.12 Grafico secondo la norma UNI EN 7730	380
Fig.12.14 Grafico secondo la norma UNI EN 15251	380
Fig.12.17 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 16°C	382
Fig.12.19 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 16°C	382
Fig.12.16 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 riscaldamento 16°C	382
Fig.12.18 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 riscaldamento 16°C	382
Fig.12.21 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento 16°C	383
Fig.12.20 Confronti tra la simulazione senza impianto e quella con riscaldamento a 16°C	383
Fig.12.23 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 18°C	384
Fig.12.25 Percentuale di soddisfatti riscaldamento 18°C	384
Fig.12.22 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 riscaldamento 18°C	384
Fig.12.24 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 riscaldamento 18°C	384
Fig.12.27 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento 18°C	385
Fig.12.26 Confronti tra la simulazione con riscaldamento a 16°C e quella con riscaldamento a 18°C	385
Fig.12.29 Percentuale di soddisfatti ventilazione meccanica	386
Fig.12.31 Percentuale di soddisfatti ventilazione meccanica	386
Fig.12.28 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione meccanica	386
Fig.12.30 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione meccanica	386
Fig.12.33 Grafico energia utile richiesta dal riscaldamento con ventilazione meccanica	387
Fig.12.32 Confronti tra la simulazione con riscaldamento a 18°C e con la ventilazione meccanica	387
Fig.12.35 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale	388
Fig.12.37 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale	388
Fig.12.34 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale	388
Fig.12.36 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale	388
Fig.12.38 Confronti tra la simulazione con la ventilazione meccanica e la ventilazione naturale	389
Fig.12.40 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale stagioni intermedie	390
Fig.12.42 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale stagioni intermedie	390
Fig.12.39 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale stagioni intermedie	390
Fig.12.41 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale stagioni intermedie	390
Fig.12.43 Confronti tra la simulazione con ventilazione naturale e con la ventilazione naturale nelle stagioni intermedie	391
Fig.12.45 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 2 vol/h	392
Fig.12.47 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 2 vol/h	392
Fig.12.44 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale 2 vol/h	392
Fig.12.46 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale 2 vol/h	392
Fig.12.48 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale a 1 vol/h e con la ventilazione naturale a 2 vol/h	393

Fig.12.50 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 4 vol/h	394
Fig.12.52 Percentuale di soddisfatti ventilazione naturale 4 vol/h	394
Fig.12.49 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 ventilazione naturale 4 vol/h	394
Fig.12.51 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 ventilazione naturale 4 vol/h	394
Fig.12.53 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale 2 vol/h e con la ventilazione naturale 4 vol/h	395
Fig.12.55 Percentuale di soddisfatti schermature fisse	396
Fig.12.57 Percentuale di soddisfatti schermature fisse	396
Fig.12.54 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermature fisse	396
Fig.12.56 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermature fisse	396
Fig.12.58 Confronti tra la simulazione con la ventilazione naturale 4 vol/h e con le schermature fisse	397
Fig.12.60 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile	398
Fig.12.62 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile	398
Fig.12.59 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile	398
Fig.12.61 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile	398
Fig.12.63 Confronti tra la simulazione con la schermatura fissa e con la schermatura mobile	399
Fig.12.65 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 80%	400
Fig.12.67 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 80%	400
Fig.12.64 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile 80%	400
Fig.12.66 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile 80%	400
Fig.12.68 Confronti tra la simulazione con la schermatura mobile e con la schermatura mobile 80%	401
Fig.12.70 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 90%	402
Fig.12.72 Percentuale di soddisfatti schermatura mobile 90%	402
Fig.12.73 Confronti tra la simulazione con la schermatura mobile 80% e con la schermatura mobile 90%	402
Fig.12.69 Grafico secondo la norma UNI EN 7730 schermatura mobile 90%	402
Fig.12.71 Grafico secondo la norma UNI EN 15251 schermatura mobile 90%	402
Fig.13.1 Calcolo RAI	411
Fig.13.2 Fattore di luce diurna piano terra	415
Fig.13.3 Fattore di luce diurna piano primo	416
Fig.13.4 Illuminamento solstizio d'inverno 21 dicembre	416
Fig.13.5 Illuminamento solstizio d'estate 21 giugno	416
Fig.13.6 Sala invernale	417
Fig.13.8 Sala estiva	417
Fig.13.10 Camerata	417
Fig.13.7 Sala invernale	417
Fig.13.9 Sala estiva	417
Fig.13.11 Camerata	417
Fig.13.12 Grafico andamento dell'energia primaria	420

14.3 INDICE DELLE TABELLE

Tab.6.1 Tabella riassuntiva dei risultati dell'indagine sui rifugi	136
Tab.8.1 Tabella riassuntiva dei risultati delle simulazioni in regime stazionarie	193
Tab.8.2 Tabella riassuntiva delle condizioni al contorno	195
Tab.8.3 Tabella limiti quantitativi secondo la UNI EN ISO 13788	210
Tab.9.1 Coefficienti parziali per azioni ed effetto delle azioni nelle verifiche SLU	226
Tab.9.2 Valore dei coefficienti di combinazione	227
Tab.9.3 Coefficienti parziali per azioni ed effetto delle azioni nelle verifiche SLU	228
Tab.9.4 Analisi dei carichi relativa al pacchetto P.O.1	229
Tab.9.5 Analisi dei carichi relativa al pacchetto P.O.1	229
Tab.9.6 Valore dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edificio	230
Tab.9.7 Valore dei parametri $v_{b,0}$, k_a e a_0	231
Tab.9.8 Definizione delle categorie di esposizione	232
Tab.9.9 Valore dei parametri $v_{b,0}$, k_a e a_0	232
Tab.9.10 Valori di pressioni interne, esterne e totali	234
Tab.9.11 Valori di C_E per diverse classi di topografia	235
Tab.9.12 Valore del coefficiente di forma	235
Tab.9.13 Dati di progetto relativi all'elemento solaio X-lam maggiormente sollecitato	240
Tab.9.14 Tabella di predimensionamento per pannelli X-lam di copertura ad una campata	241
Tab.9.15 Tabella di predimensionamento per pannelli X-lam di copertura a due campate	242
Tab.9.16 Schema statico della trave multi appoggio	244
Tab.9.17 Caratteristiche delle singole lamelle	244
Tab.9.18 Parametri del materiale	244
Tab.9.19 Carichi agenti sul pannello X-lam	245
Tab.9.20 Risultati della verifica a flessione	245
Tab.9.21 Risultati della verifica a taglio	246
Tab.9.22 Risultati della verifica a pressione di contatto	246
Tab.9.23 Risultati della verifica a freccia	246
Tab.9.24 Risultati della verifica a flessione	247
Tab.9.25 Risultati della verifica a taglio	247
Tab.9.26 Dati di progetto relativi all'elemento parete X-lam maggiormente sollecitato	248
Tab.9.27 Tabella di predimensionamento per pareti X-lam	249
Tab.9.28 Caratteristiche delle singole lamelle	250
Tab.9.29 Risultati delle verifiche a taglio e torsione	251
Tab.9.30 Risultati delle verifiche a taglio e torsione in caso di incendio	251
Tab.9.31 Risultati delle verifiche a taglio e torsione per un pannello X-lam parete di spessore 94 mm	251
Tab.9.32 Carichi permanenti strutturali, permanenti non strutturali e di esercizio relativi agli elementi costituenti il telaio del portale	253
Tab.9.33 Classi di servizio	256
Tab.9.34 Classi di durata del carico	257
Tab.9.35 Valori del coefficiente di correzione k_{mod} in funzione del tipo di legno, della classe di servizio e della classe di durata del carico	257
Tab.9.36 Valori del coefficiente γ_M in funzione del tipo di legno	258
Tab.9.37 Limiti superiori per gli spostamenti verticali	264
Tab.9.38 Proprietà del materiale GL28h	264
Tab.9.39 Verifiche SLU e SLE delle travi	265
Tab.9.40 Verifiche SLU e SLE delle travi	266
Tab.9.41 Verifiche SLU dei pilastri	267
Tab.9.42 Verifiche SLU dei pilastri	268
Tab.9.43 Verifiche SLU dei pilastri e dei controventi	269
Tab.9.44 Determinazione di k_0 per superfici non protette con t in minuti	271
Tab.9.45 Valori del coefficiente β_n	271

Tab.9.46 Trave T_{10}	271
Tab.9.47 Trave T_9	271
Tab.9.48 Pilastro P_7	272
Tab.9.49 Controvento C_1	272
Tab.9.50 Dati di calcolo e risultati relativi alla verifica del giunto di connessione acciaio legno	278
Tab.9.51 Carichi relativi alle prime 10 travi ed ai primi 10 pilastri	283
Tab.9.52 Dimensioni delle sezioni utilizzate nelle tabelle	286
Tab.9.53 Classificazione degli elementi compressi per compressione pura	292
Tab.9.54 Classificazione degli elementi compressi per flessione pura	292
Tab.9.55 Fattori parziali di sicurezza	293
Tab.9.56 Dati relativi alle verifiche SLU dei primi 30 elementi in acciaio	296
Tab.9.57 Limiti superiori per gli spostamenti verticali	297
Tab.9.58 Dati relativi alle verifiche SLU dei primi 25 elementi in acciaio	298
Tab.9.59 Sollecitazioni relative al plinto maggiormente caricato	301
Tab.9.60 Sollecitazioni relative ai singoli ancoranti	306
Tab.9.61 Verifiche ai carichi di trazione	306
Tab.9.62 Verifiche ai carichi di taglio	306
Tab.9.63 Verifiche ai carichi di combinati di taglio e trazione	307
Tab.10.64 Incidenza percentuale della mano d'opera individuata con riferimento alle tabelle di ripartizione approvate dal Ministero dei lavori pubblici	319
Tab.10.65 Costi della lavorazione determinati in riferimento al "Capitolato speciale tipo per appalti di lavori edili" pubblicato dal Ministero competente	321
Tab.10.66 Costi calcolati in Tab.10.2 incrementati dei costi dovuti al lavoro straordinario e festivo, e dei costi di indennizzo	321
Tab.10.67 Dati di output per i pannelli X-lam	328
Tab.10.68 Dati di output per la struttura reticolare in legno lamellare	328
Tab.10.69 Riassunto dei costi relativi alle lavorazioni con determinazione dell'incidenza percentuale	332
Tab.11.70 Perdite per trasmissione dell'involucro opaco sala invernale	336
Tab.11.71 Perdite per trasmissione dell'involucro trasparente sala invernale	336
Tab.11.72 Perdite per ventilazione sala invernale	337
Tab.11.73 Perdite per infiltrazione sala invernale	337
Tab.11.74 Carico termico invernale	338
Tab.11.75 Valori di superficie e di carico termico	339
Tab.11.76 Valori di resa dell'impianto radiante per i diversi locali	340
Tab.11.77 Perdite di carico serpentine sala invernale	344
Tab.11.78 Tabella riassuntiva perdite di carico serpentine pavimento radiante	344
Tab.11.79 Tabella riassuntiva diametri delle condotte dell'impianto a pannello radiante	345
Tab.11.80 Valori pannelli infrarossi definiti da produttore	347
Tab.11.81 Tabella riassuntiva pannelli radianti a infrarossi	347
Tab.11.82 Portate d'aria primaria	348
Tab.11.83 Tabella dimensionamento bocchette di ventilazione	350
Tab.11.84 Tabella riassuntiva diametro canali di ventilazione	351
Tab.11.85 Tabella portate apparecchi installati	352
Tab.11.86 Tabella riassuntiva diametri rete acqua calda sanitaria	354
Tab.11.87 Tabella riassuntiva consumo ACS e riscaldamento	355
Tab.11.88 Metodo F-chart	356

Tab.11.89 Tabella riassuntiva portate colonne di scarico	361
Tab.11.90 Tabella riassuntiva portate collettori di scarico	362
Tab.11.91 Tabella superfici di copertura	365
Tab.11.92 Tabella consumi elettrodomestici	366
Tab.11.93 Tabella consumi impianto	366
Tab.11.94 Tabella produzione del fotovoltaico della copertura rivolta a sud-ovest	367
Tab.11.95 Tabella produzione del fotovoltaico della facciata rivolta a sud-est	367
Tab.11.96 Tabella produzione del fotovoltaico della copertura rivolta a sud-est	368
Tab.13.1 Superficie minima locali somministrazione di alimenti	411
Tab.13.2 Superficie minima locali somministrazione di alimenti	411
Tab.13.3 Verifica del rapporto areoilluminante	412
Tab.13.4 Classificazione secondo il D.M. 9/04/1994	412
Tab.13.5 Superficie minima locali somministrazione di alimenti	412
Tab.13.6 Affollamento dei piani del rifugio	413
Tab.13.7 Energia utile richiesta dai diversi servizi	418
Tab.13.8 Energia prodotta dai diversi vettori	419
Tab.13.9 Indici energetici	420

RINGRAZIAMENTI

Il percorso che abbiamo seguito per realizzare questa tesi è stato certamente lungo ed impegnativo, ma non siamo stati lasciati da soli nell'intraprenderlo. Desideriamo ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alle diverse fasi affrontate durante la progettazione, solo grazie a questi aiuti abbiamo raggiunto l'obiettivo fondamentale che ci eravamo posti dall'inizio: ottenere un risultato che ci rendesse pienamente soddisfatti del nostro lavoro.

Grazie al Professore Francesco Calveti per il supporto datoci in ambito tecnico e per i suggerimenti che solo un fruitore diretto dell'ambiente di montagna può dare.

Grazie all'Ing. Alberto Pirovano per averci trasmesso conoscenze indispensabili sui rifugi del lecchese, per le opportunità forniteci che hanno ampliato le nostre nozioni su un tema così particolare come quello delle costruzioni in quota, infine per la contagiosa passione per queste montagne.

Grazie alla ditta Mariana Franco per averci permesso di applicare al progetto gli stessi strumenti che utilizza un'azienda operante sul mercato; grazie in particolare a Sara Mariana per aver accettato con entusiasmo la nostra proposta, a Matteo Giussani e a Francesco Rapella per la pazienza nell'assisterci. Grazie all'Ing. Marta Maria Sesana e all'Ing. Francesco Pittau per averci seguito nelle fasi di studio degli aspetti tecnologici e per aver messo a nostra disposizione gli strumenti del laboratorio RE3_Lab del Politecnico di Milano.

Grazie all'Ing. Francesco Arizza e all'Ing. Simone Cappello per aver dedicato la loro profonda esperienza allo sviluppo del progetto dal punto di vista tecnico.

Grazie al nostro Relatore Professor Graziano Salvalai per averci accompagnati con costanza in questo cammino, mettendo a nostra disposizione il suo impagabile bagaglio conoscitivo e un doveroso senso critico. Grazie per la disponibilità continua che ci ha garantito e per la professionalità grazie alla quale è stato possibile perfezionare il progetto fino ad esserne pienamente soddisfatti. Grazie soprattutto per il rapporto umano consolidato nel tempo, questo ci ha permesso non solo di lavorare serenamente durante questi mesi, ma anche di crescere come persone.