

# V E L I K A

ARCHITETTURA E ISOLA CON STRUTTURE CROSS-LAM E A  
PANNELLI GRATICCIATI IN CLIMA MEDITERRANEO ISOLARE



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

Scuola di Architettura, Urbanistica e Ingegneria delle Costruzioni

Corso di Laurea in Ingegneria Edile - Architettura

Anno Accademico 2016 - 2017

# V E L I K A

ARCHITETTURA E ISOLA CON STRUTTURE CROSS-LAM E A  
PANNELLI GRATICCIATI IN CLIMA MEDITERRANEO INSULARE

Autori

Anna Casati 777099

Martina Sciegghi 779025

Anna Maria Stellini 777262

Relatore

Prof. Marco Imperadori

Correlatori

Ing. Giulio Zani

Prof. Graziano Salvalai

Ing. Giulio Franceschini

Ing. Lavinia Sartori



## SINOSSI

Il presente elaborato di tesi, sorto dalla partecipazione alla XVIII edizione del Premio Compasso Volante – Ettore Zambelli, ha come obiettivo la riqualificazione della penisola di Prilovo, un’area sita a Vis, isola Croata. Il progetto Velika intende valorizzare le peculiarità del luogo, introducendo funzioni compatibili con la cultura locale e le necessità del sito, che siano piacevolmente fruibili dagli abitanti stessi offrendo al contempo un punto di interesse turistico.

Il progetto è scaturito da un’accurata analisi del contesto che ha portato ad ideare un complesso permeabile, avvolto da una grande copertura verde sostenuta da setti pieni e a graticcio che creano un gioco chiaroscurale e coinvolgono il visitatore a scoprire l’architettura attraverso differenti percorsi. Velika rappresenta un armonioso anello di congiunzione tra interno ed esterno: i volumi si alternano in modo equilibrato con i vuoti, come percorsi e piazze, i quali assumono la medesima importanza dei pieni.

Per rafforzare l’idea progettuale è stata essenziale l’esperienza a Prilovo, a seguito della quale sono scaturite analisi e riflessioni che hanno condotto allo sviluppo del grande guscio protettivo e filtrante, inserito nel contesto mantenendo il massimo rispetto paesaggistico, enfatizzando la natura circostante e creando così un centro di incontro culturale e turistico.

La copertura, infatti, costituisce l’anima di questo grande complesso. La sua elaborazione è stata resa possibile grazie all’armonico connubio tra architettura, ingegneria e tecnologia. Il grande sistema di copertura, realizzato interamente in pannelli Cross-Lam, è stato ottimizzato, ingegnerizzato ed infine calcolato tramite un software agli elementi finiti.

Lo studio del comportamento strutturale del Cross-Lam ha influenzato il progetto fin dalle prime fasi, creando un’interazione costante tra la componente compositiva e quella costruttiva, senza limitarsi quindi alle mere proprietà meccaniche.

Sono stati approfonditi inoltre gli aspetti tecnologici e sono state rilevate le conseguenze energetiche derivabili da soluzioni alternative spiegando i criteri di ottimizzazione che hanno portato alla scelta della tecnologia maggiormente performante. Il perseguimento dell’efficienza sul piano energetico ha visto come protagonista lo studio della ventilazione naturale, mezzo indispensabile per il raggiungimento di un livello di comfort adeguato e per la riduzione dei consumi necessari al raffrescamento.

Gli studi sul calcolo strutturale hanno permesso di ottimizzare le risorse e minimizzare i costi dei materiali impiegati. Inoltre la progettazione ergotecnica del cantiere è stata orientata a garantire la fattibilità e l’esecuzione in sicurezza dei processi costruttivi.

Tutti gli approfondimenti effettuati hanno condotto a rielaborare il progetto, apportando le modifiche necessarie nel campo architettonico e impiantistico.

Ampio spazio viene infine dedicato all’analisi analitico-teorica e sperimentale: la realizzazione di un prototipo in scala di un pannello a graticcio irrigidito di sostegno della copertura ha permesso di verificare e migliorare le scelte progettuali effettuate in fase preliminare. L’attività di sperimentazione è stata resa possibile grazie alla collaborazione con l’azienda Ri-Legno S.r.l., la quale ha provveduto alla reperibilità del materiale e all’operazione di taglio mediante tecnologia CNC (Computer Numerical Control).

Si ritiene che il progetto Velika, con la sua architettura innovativa, possa costituire un importante elemento di valorizzazione e riqualificazione della piccola penisola.

## ABSTRACT

The Velika project was developed in the XVIII edition of Premio Compasso Volante - Ettore Zambelli. The project aims to renovate the Croatian peninsula of Prilovo - located in the island of Vis - by introducing compatible architectures with the local culture. The main objective of the project is to enhance the touristic and economic potential of the site, while at the same time meeting the local needs.

The design phase started from a detailed analysis of the context. A permeable complex wrapped in a large green roof was designed which, through the lights and shadows of the vertical elements, invites the visitors to discover the architecture through different paths. Empty spaces, such as paths and squares, have the same relevance of the main buildings. It results in a project with a balanced variation of volumes that creates a harmonious link between interiors and exterior spaces. The experience in Prilovo was essential to enhance the design concept and conduct a careful analysis that led to the development of a protective and porous shell, which, in harmony with the surrounding landscape, made possible the creation of a cultural and tourist meeting center.

Among the whole elements, the roof is the most important one. It represents the soul of this great complex. Its elaboration was possible due to the harmonious combination of architecture, engineering and technology. The large roof, made entirely of Cross-Lam panels (CLT), was optimized, engineered and finally calculated using finite elements model (FEM) software. The study of the CLT structural behavior influenced the project since the early stages, where structural restraints met the architecture design needs through a constant interaction..

Furthermore, technological aspects were also evaluated. The energy consequences arisen from the comparison of alternative solutions were explored in order to identify optimization criteria for selecting the most suitable construction technology. The energy efficiency was a key element which regulate the whole building design.

More specifically, the potential energy saving from natural ventilation was deeply investigated in order to minimize the use of HVAC and achieve adequate levels of comfort for the users during the warm season.

During the structural design phase, both the resources and costs for materials supply were optimized. In addition, a detailed analysis of the construction process was addressed to check the feasibility and safe execution of the on site works. All the in-depth analysis led to the re-elaboration of the project, as well as the necessary modifications of the architecture and integrated building systems design.

Last but not least, an analytical-theoretical and experimental analysis was conducted. The realization of a prototype and a rigid roof support panel allowed to verify and improve the design choices made at the preliminary stage. The experimentation was possible due to the collaboration with Ri-Legno S.r.l., a company which provided the material and executed the cutting operation by Computer Numerical Control (CNC) technology.

In conclusion, due to its innovative architecture and the strong iteration with the surrounding context, the Velika project can play a critical role in the redevelopment and improvement of the small peninsula.

# SOMMARIO

## 1 ARCHITETTURA E ISOLA

1.1 Il Fascino dell'Isola .....	19
1.1.1 Dalle Architetture Rurali ad Oggi .....	20
1.2 La Scelta del Materiale.....	24

## 2 IL CONTESTO

2.1 Inquadramento Territoriale .....	29
2.1.1 La Città di Vis.....	29
2.1.2 L'Edificato di Prilovo .....	30
2.1.3 Il Contesto di Prilovo .....	31
2.2 Analisi Storica.....	32
2.2.1 Le Origini.....	32
2.2.2 La Magna Grecia.....	32
2.2.3 Impero Romano.....	33
2.2.4 L'Alto Medioevo.....	35
2.2.5 La Serenissima.....	35
2.2.6 Potenze Europee .....	37
2.2.7 Prima metà del Novecento .....	39
2.2.8 Periodo Fascista.....	40
2.2.9 Il Dopoguerra .....	41
2.2.10 La Jugoslavia durante gli anni '90.....	41
2.3 Analisi Morfologica .....	43

2.3.1 La Città di Vis.....	44
2.3.2 La Città di Komiza.....	45
2.3.3 I Villaggi nell'isola di Vis .....	46
2.4 Flora e Fauna .....	48
2.5 Analisi Bioclimatica .....	51
2.5.1 Confronto climatico tra differenti località.....	51
2.5.2 Analisi Climatica Dell'Isola di Vis .....	52
2.6 La Demografia.....	56
2.6.1 La Popolazione Residente nell'Isola .....	56
2.6.2 I Flussi Migratori.....	56
2.7 Economia .....	58
2.7.1 L'economia Croata.....	58
2.7.2 Agricoltura: Viticoltura.....	58
2.7.3 La Pesca .....	59
2.8 Cultura e Tradizione .....	61
2.8.1 Artigianato: l'Isola della Lavanda.....	61
2.8.2 Tradizioni Culinarie .....	61
2.8.3 Religione .....	62
2.8.4 Lingua Croata .....	63
2.8.5 Musei e Monumenti .....	63
2.9 Analisi Viaria .....	68
2.9.1 Come raggiungere l'isola di Vis .....	68
2.9.2 Il Nuovo Attracco: Progetto in Corso.....	69
2.9.3 Viabilità sull'isola.....	70

## 3 IL PROGETTO ARCHITETTONICO

3.1 Il Concept.....	75
3.1.1 Vivere L'Isola.....	75

3.1.2 Dalle Suggestioni del Sito al Progetto .....	76
3.2 L'Inserimento Urbanistico .....	78
3.3 La Grande Copertura .....	82
3.3.1 Riferimenti Progettuali.....	84
3.3.1.1 Louvre di Abu Dhabi: Jean Nouvel.....	84
3.3.1.2 Metropol Parasol: Jürgen Mayer .....	85
3.4 Setti e Copertura: La Sintesi .....	86
3.5 Principi Progettuali .....	88
3.6 Il Progetto.....	90
3.6.1 Il Disegno del Masterplan.....	90
3.6.2 La Scelta Funzionale.....	92
3.6.3 Spazio Aperto come Spazio Interno.....	94
3.6.4 Una Linea che Segue la Collina .....	96
3.6.5 Percorso Sensoriale.....	98
3.6.5.1 Mutamento Naturale dei Colori .....	104
3.7 I Materiali .....	106
3.7.1 I Colori.....	108

## 4 IL LEGNO

4.1 Premessa .....	113
4.2 Proprietà Del Legno.....	114
4.2.1 Proprietà Meccaniche.....	114
4.2.2 Degrado Del Legno.....	115
4.2.2.1 Umidità e Variazioni Dimensionali.....	115
4.2.2.2 Attacco Biologico, Atmosferico e Chimico.....	116
4.2.3 Protezione Del Legno.....	117
4.2.3.1 Protezione Costruttiva.....	118
4.2.3.2 Protezione Chimica .....	118

4.2.4 Invecchiamento .....	119
4.2.5 Il Legno e Il Fuoco .....	120
4.2.5.1 Combustibilità.....	120
4.2.5.2 Resistenza al Fuoco.....	120
4.2.5.3 La Formazione Di Un Incendio.....	122
4.2.5.4 Propagazione Di Un Incendio .....	122
4.3 Cross Laminated Panels .....	124
4.3.1 Principio di Impiego .....	125
4.3.2 Impieghi Principali.....	125
4.3.3 Realizzazione Dell'Irrigidimento .....	126
4.3.4 Vantaggi Delle Costruzioni In Cross-Lam.....	127
4.4 Il Sistema a Graticcio Mengoshi.....	130
4.4.1 Atsushi Kitagawara.....	130
4.4.2 Il Concetto Costruttivo Del Mengoshi .....	131
4.4.3 Vantaggio Sismico.....	133
4.4.4 Impatto Ambientale .....	133
4.4.5 Opere Realizzate .....	134
4.4.5.1 Ki No-Kuni Information Pavilion .....	134
4.4.5.2 Gifu Academy of Forest Science and Culture .....	135
4.4.5.3 Kaisho Forest View Tube.....	135
4.5 Precauzioni Proposte .....	136

## 5 LA STRUTTURA

5.1 Premesse di Lavoro .....	141
5.1.1 Dati Fondamentali Di Progetto .....	141
5.1.1.1 Ubicazione .....	141
5.1.1.2 Descrizione Edificato .....	141
5.1.2 Normativa di Riferimento.....	141

5.2 Analisi dei carichi.....	142
5.2.1 Carichi Permanenti.....	142
5.2.2 Carichi Variabili.....	144
5.2.2.1 Individuazione del Luogo Sismico Equivalente.....	145
5.2.2.2 Azione Sismica .....	147
5.2.2.3 Azione del Vento.....	152
5.2.2.4 Valutazione della Forza Ortogonale al Piano.....	159
5.2.2.5 Azione della Neve.....	162
5.2.3 Riassunto dei Carichi .....	163
5.3 Cross-Lam: Lastra e Piastra .....	164
5.4 Analisi agli Elementi Finiti.....	165
5.5 Calcolo Mediante Abaqus CAE.....	166
5.5.1 Approccio al Programma Abaqus CAE.....	166
5.5.2 Studio delle Diverse Tipologie di Setti.....	166
5.5.3 Analisi delle Rigidezze K .....	167
5.5.4 Studio delle Tre Tipologie con Abaqus CAE .....	168
5.5.4.1 Simulazione 1: Carico Secondo L'Asse X.....	170
5.5.4.2 Il Sistema Irrigidito: Prove di Rigidezza.....	174
5.5.4.3 Simulazione 2: Carico Secondo L'Asse Y.....	176
5.6 Simulazione della Copertura.....	180
5.6.1 Il Primo Approccio: Modellazione Isotropa .....	180
5.6.2 Modellazione Ortotropa.....	186
5.6.2.1 Calcolo della Sezione.....	190
5.7 Introduzione di Setti ed Edifici.....	192
5.7.1 Verifica della Giusta Disposizione dei Setti.....	192
5.7.2 Il Primo Approccio: Modellazione Isotropa .....	194
5.7.3 Modellazione Ortotropa.....	198
5.7.3.1 Calcolo della Sezione.....	202
5.8 Analisi Sismica .....	204

5.8.1 Simulazione Dinamica dell'Azione Sismica .....	204
5.8.2 Massa Partecipante .....	207
5.8.3 Valutazione Velocità e Accelerazione .....	208
5.9 Problemi di Instabilità.....	210
5.9.1 Analisi Incastro - Estremo Libero.....	210
5.9.1.1 Setto Pieno .....	210
5.9.1.2 Setto a Graticcio .....	212
5.9.1.3 Setto a Graticcio Irrigidito .....	213
5.9.2 Analisi Incastro - Manicotto.....	214
5.9.2.1 Setto Pieno .....	214
5.9.2.2 Setto a Graticcio .....	215
5.9.2.3 Setto a Graticcio Irrigidito .....	215
5.9.3 Simulazione del Progetto Velika.....	216
5.10 Sistema di Fondazione.....	218
5.10.1 Definizione dei Plinti di Fondazione .....	218
5.10.2 Verifiche.....	219
5.10.2.1 Verifica a Scivolamento.....	220
5.10.2.2 Verifica a Ribaltamento.....	220
5.10.2.3 Verifica a Sprofondamento.....	220
5.11 Dettagli Costruttivi .....	221
5.11.1 Tipologie di Connettori.....	221
5.11.2 Tipologie di Connessione.....	221
5.11.2.1 Giunti Parete-Fondazione .....	222
5.11.2.2 Giunti Verticali Pannello-Pannello .....	222
5.11.2.3 Giunti Orizzontali Solaio-Solaio.....	223
5.11.2.4 Giunti d'angolo.....	223
5.11.2.5 Giunti Parete-Parete Incrocio.....	224
5.12 Verifica della Connessione .....	225
5.12.1 Le Resine Epossidiche .....	225

5.12.1.1 La Normativa: CNR DT 206/2007 .....	225
5.12.1.2 Maxi Adesivo Bicomponente XEPOX ® .....	226
5.12.2 Resistenza di un Elemento Ligneo al Fuoco.....	227
5.12.3 Prima Verifica Condizione Ordinaria.....	228

## 6 IL FARO PANORAMICO

6.1 Definizione della Geometria.....	233
6.1.1 L'inserimento del Faro nel Progetto.....	233
6.1.2 Dimensionamento del Sistema a Graticcio.....	235
6.1.3 Dettaglio Graticcio di Facciata.....	236
6.1.3.1 Lo Studio Dei Pattern .....	236
6.1.3.2 Disposizione Degli Irrigidimenti.....	237
6.1.4 Scelta Cromatica.....	238
6.1.5 Rivestimento Esterno .....	239
6.1.5.1 Involucro Vetrato.....	239
6.1.5.2 Sistema di Fissaggio delle Lastre Vetrate .....	240
6.2 Analisi Strutturale .....	241
6.2.1 Condizioni Al Contorno.....	241
6.2.2 Modello Senza Scala.....	242
6.2.3 Modello Con Scala.....	243
6.3 Prototipo .....	244
6.3.1 Dimensioni del Pannello .....	244
6.3.2 Costruzione del Pannello.....	247
6.3.2.1 Travetti In Legno di Larice .....	247
6.3.2.2 Irrigidimenti in OSB.....	248
6.3.3 Assemblaggio del Pannello Graticciato .....	250

## 7 STRATEGIE TECNOLOGICHE

7.1 Schematic Design .....	255
7.2 Stratigrafie.....	258
7.2.1 Parametri Analizzati .....	258
7.2.1.1 Apparato Normativo.....	258
7.2.1.2 Trasmittanza Termica.....	258
7.2.1.3 Trasmittanza Termica Periodica .....	259
7.2.1.4 Condensa Superficiale ed Interstiziale.....	260
7.2.1.5 Software Di Riferimento .....	260
7.2.2 Stratigrafie: Elementi Opachi.....	261
7.2.2.1 Pavimentazione Esterna.....	261
7.2.2.2 Chiusura Orizzontale: Solaio Controtterra.....	262
7.2.2.3 Chiusura Orizzontale C.O. 02: Copertura Verde.....	265
7.2.2.4 Chiusura Verticale C.V. 01: Parete Perimetrale.....	268
7.2.2.5 Partizione Verticale: Parete Divisoria Isolata .....	271
7.2.3 Sezione Tecnologica.....	274
7.3 Progetto Impiantistico.....	282
7.3.1 Il Fabbisogno Termico .....	282
7.3.1.1 Comportamento Invernale .....	282
7.3.1.2 Comportamento Estivo.....	284
7.3.2 La Filosofia Impiantistica.....	288
7.3.3 Impianto di Aerazione.....	289
7.3.3.1 Calcolo Portate d'Aria e Fabbisogno Residuo .....	289
7.3.3.2 Dimensionamento dell'Impianto della U.T.A. ....	290
7.3.3.3 La Scelta dei Componenti.....	296
7.3.4 Impianto di Riscaldamento e Raffreddamento .....	298
7.3.4.1 Dimensionamento Impianto.....	299
7.3.5 Impianto Fotovoltaico.....	300

7.3.6 Deflusso delle Acque Meteoriche.....	301
7.3.6.1 Dimensionamento .....	302

## 8 ILLUMINOTECNICA

8.1 Il Comfort Illuminotecnico .....	307
8.1.1 Strategie di Progettazione .....	307
8.2 Studio della Luce .....	308
8.2.1 Il Software Diva.....	308
8.2.1.1 Superficie Uniforme di Base.....	308
8.2.1.2 Introduzione della Griglia di Simulazione.....	308
8.2.1.2.1 Modello Completo.....	309
8.2.1.2.2 Assegnazione dei Materiali .....	309
8.2.2 Analisi in Fase di Progettazione .....	309
8.3 Ambienti Interni: Illuminazione.....	314
8.3.1 Influenza delle Scelte Progettuali.....	314
8.3.2 Calcolo della Luminanza .....	314
8.3.2.1 Variabile Progettuale: Il Vetro.....	315
8.3.2.2 Conclusioni.....	328
8.3.3 Calcolo del Fattore di Luce Diurna.....	329
8.3.3.1 Conclusioni.....	333

## 9 ENERGIA

9.1 Approccio al Calcolo .....	337
9.1.1 Introduzione al Software Trnsys.....	337
9.1.2 Il Contesto Climatico .....	341
9.1.2.1 Temperatura Ambientale .....	342
9.1.2.2 Umidità Relativa .....	343

9.1.2.3 Direzione ed Intensità del Vento .....	345
9.1.2.4 Radiazione Solare Diretta .....	346
9.1.3 Impostazione delle Simulazioni .....	348
9.1.3.1 TRNBuild.....	348
9.1.3.2 Simulation Studio.....	349
9.2 Elementi Opachi.....	350
9.2.1 Definizione dei Pacchetti Tecnologici.....	350
9.2.2 Parametri Termofisici delle Stratigrafie.....	354
9.2.3 Confronto Cross-Lam e CLS.....	356
9.2.3.1 Condizioni Iniziali.....	356
9.2.3.2 Umidità Relativa .....	356
9.2.3.3 Radiazione Solare Passante Attraverso i Vetri.....	357
9.2.3.4 Temperatura dell'Aria.....	358
9.2.4 Variazione dei Pacchetti Tecnologici .....	361
9.2.4.1 La Nuova Stratigrafia in Calcestruzzo .....	361
9.2.5 Simulazioni con la Nuova Stratigrafia .....	362
9.2.5.1 Umidità Relativa .....	362
9.2.5.2 Temperatura Dell'Aria .....	363
9.2.6 Conclusioni.....	363
9.3 Elementi Trasparenti.....	364
9.3.1 Definizione degli Elementi Trasparenti.....	364
9.3.2 Confronto tra Tipologie di Vetro .....	364
9.3.2.1 Condizioni Iniziali.....	364
9.3.2.2 Umidità Relativa .....	365
9.3.2.3 Radiazione Solare Passante per i Vetri.....	366
9.3.2.4 Temperatura dell'Aria.....	369
9.4 Comfort e Consumo Energetico .....	374
9.4.1 Il Concetto di Comfort .....	374
9.4.2 Il Comfort Termoigrometrico .....	374

9.4.2.1 Bilancio Energetico.....	375	9.7 Ottimizzazione 3.....	397
9.4.2.2 Variabili di Influenza del Comfort.....	375	9.7.1 Introduzione del Sistema di Schermatura.....	397
9.4.3 Apparato Normativo.....	377	9.7.1.1 Impianto di Raffrescamento e di Riscaldamento.....	398
9.4.3.1 UNI EN ISO 7730.....	377	9.7.2 Comfort.....	399
9.4.3.2 UNI EN 15251.....	379	9.7.2.1 Modelli di Comfort.....	399
9.4.4 Conclusione.....	380	9.7.2.2 Confronto tra Metodo Statico e Adattivo.....	399
9.4.5 I Consumi Energetici.....	380	9.7.3 Consumo Energetico.....	400
9.5 Ottimizzazione 1.....	382	9.7.4 Considerazioni.....	401
9.5.1 Implementazione della Ventilazione.....	382	9.8 Ottimizzazione Finale.....	402
9.5.1.1 Premessa.....	382	9.8.1 Il Modello Ottimizzato.....	402
9.5.1.2 Condizioni Iniziali.....	382	9.8.1.1 Condizioni Iniziali.....	402
9.5.1.4 Umidità Relativa.....	383	9.8.2 Comfort.....	403
9.5.1.3 Radiazione Solare Passante per i Vetri.....	383	9.8.2.1 Modelli di Comfort.....	403
9.5.1.5 Temperatura dell’Aria.....	384	9.8.2.2 Confronto tra Metodo Statico e Adattivo.....	404
9.5.1.6 Considerazioni.....	385	9.8.2.3 Restrizione Orari di Valutazione del Comfort.....	404
9.5.2 Comfort.....	385	9.8.2.4 Considerazioni.....	404
9.5.2.1 Modelli di Comfort.....	386	9.8.3 Consumo Energetico.....	405
9.5.2.2 Confronto delle Percentuali di Comfort.....	388	9.8.3.1 Calcolo del Consumo per Unità di Superficie.....	406
9.5.3 Consumo Energetico.....	389	9.9 Consumi Energetici Totali.....	407
9.5.3.1 Premesse Iniziali.....	389	9.9.1 Descrizione degli Edifici del Progetto.....	407
9.5.3.2 Fabbisogno Energetico.....	389	9.9.1.1 Caratteristiche Considerate per ogni Edificio.....	407
9.5.3.3 Indice di Energia Primaria.....	391	9.9.1.2 Gli Edifici del Progetto.....	408
9.5.4 Considerazioni.....	392	9.9.2 Consumi Energetici Totali.....	409
9.6 Ottimizzazione 2.....	393	9.9.2.1 Stima del Consumo Energetico di Tutti gli Edifici.....	409
9.6.1 Implementazione della Ventilazione.....	393	9.9.2.2 Energia Prodotta dal Sistema Fotovoltaico.....	409
9.6.2 Comfort.....	394	9.10 La Ventilazione Naturale.....	410
9.6.2.1 Modelli di Comfort.....	394	9.10.1 Ventilative Cooling Potential Tool.....	410
9.6.2.2 Confronto tra Metodo Statico e Adattivo.....	395	9.10.2 ANSYS Workbench: Fluid Flow (Fluent).....	412
9.6.3 Consumo Energetico.....	395	9.10.3 Conclusione.....	415

## 10 ERGOTECNICA

10.1 Il Calcolo Degli Sfridi.....	419
10.1.1 La Complessità della Geometria di Progetto.....	419
10.1.2 La Procedura di Calcolo.....	420
10.1.3 Il Software SIGMANEST.....	422
10.1.4 Ottimizzazione dei Triangoli di Copertura.....	424
10.1.4.1 Confronto con la Rotazione Libera.....	424
10.1.5 Ottimizzazione delle Pareti e dei Setti.....	432
10.1.6 Utilizzo Totale dei Pannelli Cross-Lam.....	437
10.2 La Disarticolazione.....	438
10.2.1 La Disarticolazione Spaziale.....	438
10.2.2 La Disarticolazione Tecnologica.....	439
10.2.3 La Disarticolazione Ergotecnica.....	440
10.3 Il Trasporto.....	441
10.3.1 Le Fasi di Trasporto.....	443
10.3.1.1 Trasporto Via Terra.....	443
10.3.1.2 Trasporto Via Mare.....	444
10.3.1.3 Trasporto Al Cantiere.....	444
10.4 Le Fasi Di Cantiere.....	445

## 11 ESPERIENZE FORMATIVE

11.1 L’Esperienza PCV.....	451
11.2 PCV XVIII Edizione.....	454
11.2.1 L’Esperienza a Vis.....	454
11.2.2 Childrens’ Theatre - Vis Pavillion.....	455
11.2.3 La Fase Primordiale Del Progetto Velika.....	456
11.3 Il Percorso Formativo.....	458

11.3.1 Favara.....	459
11.3.2 Studio Azzurro - Palazzo Reale Milano.....	462
11.3.3 Visita al Cantiere City Life.....	463
11.3.4 Vis, Croazia.....	464
11.3.5 Venezia.....	468
11.3.6 “Dalla Didattica alla Costruzione”.....	470
11.3.7 Visita al Cantiere di Villazzano.....	471
11.3.8 Revisione Critica con Cino Zucchi.....	472
11.3.9 Visita all’Azienda Riva1920.....	473
11.3.10 Il Prototipo Graticciato.....	474

Conclusioni.....	479
------------------	-----

Bibliografia e Sitografia.....	480
--------------------------------	-----

Ringraziamenti.....	495
---------------------	-----

CAPITOLO 1

ARCHITETTURA E ISOLA



1.1 Il Fascino dell'Isola .....	19
1.1.1 Dalle Architetture Rurali ad Oggi .....	20
1.2 La Scelta del Materiale .....	24

# 1.1

## IL FASCINO DELL'ISOLA

Ogni isola è un luogo singolare. In essa convivono aspetti contrastanti, che la rendono allo stesso tempo misteriosa ed affascinante. La terra e il mare sono le due realtà opposte che convivono in questo tipo di paesaggio: da un lato la terra ferma simbolo della irremovibilità, della sicurezza, dall'altro il mare, simbolo di immensità e continuo fluire delle cose.

Progettare in un luogo di questo genere impone di dover considerare sempre questa duplice natura del paesaggio stesso, motivo per cui il progetto Velika vuole da una parte diventare parte attiva dell'isola, dall'altra mimetizzarsi in essa, per armonizzarsi con la vegetazione circostante. Velika si identifica come una grande copertura in legno, che intende lasciare la sua impronta sulla penisola di Prilovo, attraverso la sua grande estensione, da qui il nome, che in lingua croata significa "grande, immenso". Essa si protende infatti lungo tutta l'area della penisola, partendo dal livello del mare, per poi approdare sulla collina retrostante. Ecco quindi che emerge l'aspetto più armonioso di essa: la copertura è ricoperta infatti da vegetazione verde, che tende ad integrarsi in modo naturale col paesaggio verdeggiante che si osserva sulla collina retrostante. Il paesaggio insulare è peculiare anche per la sua capacità di essere sia appartato, in quanto risulta essere situato in mezzo all'ambiente marino, sia una piccola parte di un sistema più complesso, che è l'arcipelago di cui è parte. Questa caratteristica intrinseca dell'isola è stata importante per lo studio delle funzioni attribuite agli edifici protetti dalla copertura, in quanto si è dovuto tener conto non solo delle esigenze dell'isola stessa ma anche di quelle comuni alle isole vicine, poiché insieme creassero un complesso funzionante.



Figura 1\_Scorcio verso il porto di Vis



### 1.1.1 DALLE ARCHITETTURE RURALI AD OGGI

L'analisi del costruito presente sul territorio è indispensabile per inquadrare l'ambito culturale in cui l'architettura stessa si esprime, così come è fondamentale sottolineare l'importanza delle molteplici chiavi di lettura alla base dello sviluppo urbanistico.

È infatti intrinseco nella cultura dell'isola associare alla vita quotidiana lo stretto e continuo contatto con il mare. L'aspetto della pesca e le attività di auto-sussistenza sono anch'esse motivazioni che hanno portato ad un determinato sviluppo architettonico sull'isola.

A partire da questo approccio, che considera l'evoluzione dell'architettura in parallelo con i cambiamenti storici, sociali e culturali che hanno caratterizzato l'isola stessa, è interessante analizzare le soluzioni tecniche presenti negli edifici proposti, mettendo in luce come spesso quello che appare come un semplice susseguirsi di eventi, si trasforma in un intreccio complesso di motivazioni che hanno generato il suolo urbanistico arrivato fino ai nostri giorni.



Figura 2\_Abitazione isolata in pietra sulle coste di Vis

L'isola di Vis è stata scenario continuo di un concatenarsi di differenti culture che hanno modificato nei secoli la conformazione dell'isola e le caratteristiche del centro urbanizzato. Ciò che appare chiaro guardando la mappa dell'isola è la netta concentrazione di abitazioni sulle rive rispetto al centro. Sicuramente questo raggruppamento delle abitazioni nella zona costiera è dovuto allo stile di vita degli abitanti dell'isola, basato sullo stretto rapporto con il mare. Poche infatti sono le dimore che si trovano lungo le strade che attraversano l'isola e altrettanto scarse quelle situate nell'entroterra, lontane rispetto ai due principali centri urbani di Vis e Komiža.

Si può tuttavia notare una linea conduttrice dello stile che caratterizza gli edifici: si tratta della matericità con la quale essi sono costruiti. Tutte le abitazioni locali esistenti tutt'oggi, sia ristrutturate che ridotte a rudere, sono costituite da pietre o da mattoni e non si riscontra la presenza di altri materiali. La pietra è stata utilizzata in primo luogo in quanto è capace sia di mantenere fresco l'ambiente interno durante la stagione calda, sia di preservare il tepore durante i mesi più freddi. Una problematica sicuramente fondamentale da affrontare è l'elevata quantità di calore che può accumularsi all'interno di una abitazione dell'isola di Vis, caratterizzata da un clima mediterraneo che nelle stagioni calde si contraddistingue per le elevate temperature. La pietra in passato era sicuramente la risposta più adeguata per la soluzione di tale problema. La facile reperibilità di questa materia prima, inoltre, ha incoraggiato ad utilizzare questo tipo di materiale: infatti, visitando l'isola si possono trovare diversi ruderi o resti di mura antichi che testimoniano l'utilizzo di pietra e mattoni anche nel passato.

La pietra è spesso lasciata a vista anche dall'esterno, donando alle abitazioni matericità e creando un legame sempre più stretto con il paesaggio costruito circostante, di cui la pietra è protagonista. Altro aspetto che fornisce importanza a questo materiale è il fatto che non solo le dimore degli abitanti, ma anche le chiese e gli edifici più importanti e rappresentativi sono costruiti con la pietra tipica del luogo, di una cromia che va dal bianco al beige. Un simbolo evidente di questo è la torre a pianta quadrangolare presente nel centro abitato di Komiža che si trova nel mezzo del paese e che svetta in altezza rispetto a tutti gli altri edifici, rendendo evidente la sua maestosità.





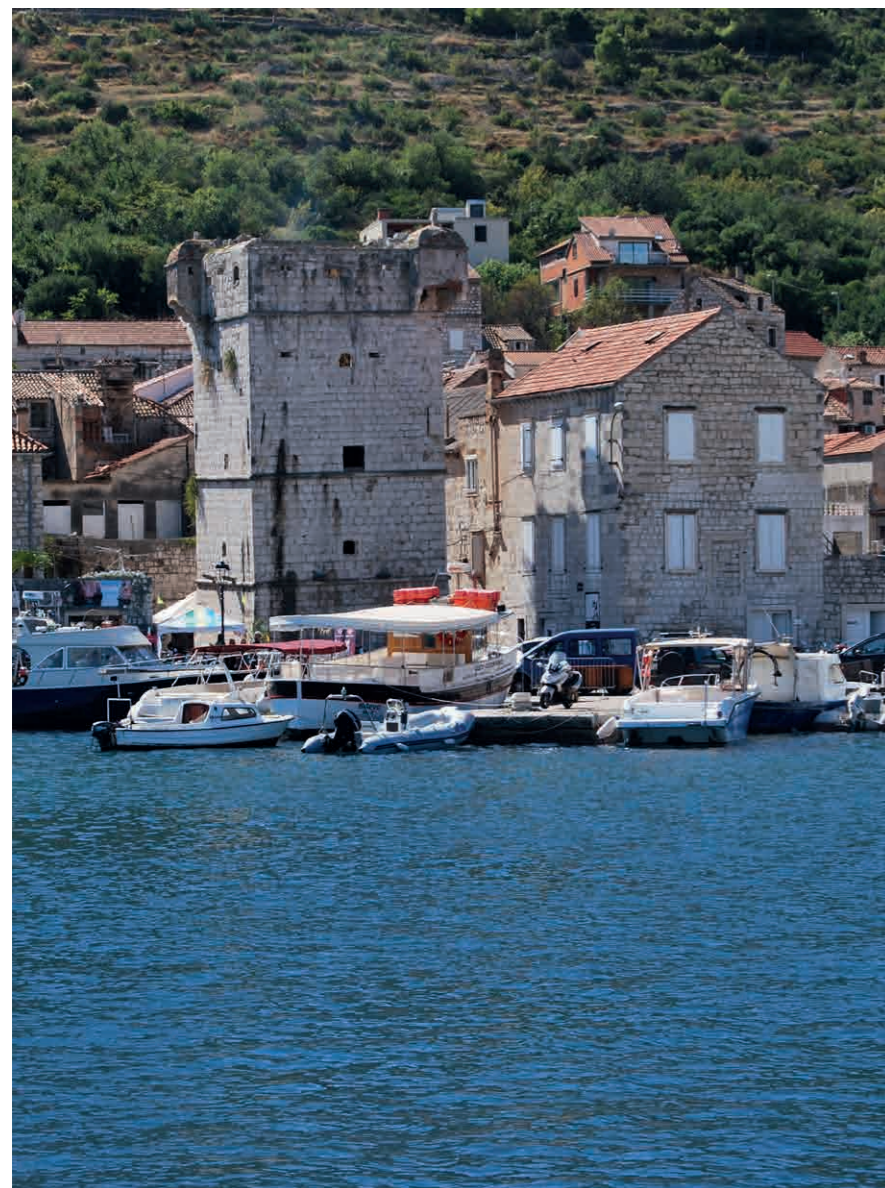


Figura 3\_Torre quadrangolare al porto di Vis

Molto evidente l'utilizzo della pietra anche nel Monastero situato adiacente all'area di progetto composto da una grande chiesa e un edificio distaccato da cui svetta un campanile anch'esso in pietra.

Per poter progettare consapevolmente nel contesto insulare si sono studiate tutte le architetture del luogo, si è cercato di capire quali fossero le ragioni che avessero spinto alla costruzione con una materia prima così importante e si sono quindi colte le necessità, soprattutto climatiche, richieste dall'isola.

Solo dopo una giusta attenzione e valutazione degli aspetti negativi e positivi degli edifici in pietra, si è potuto svolgere una scelta consapevole dei materiali, della conformità architettonica e funzionale che l'edificio di progetto dovesse avere.

Si è scelto in primo luogo di mantenere un'altezza che non superasse gli edifici esistenti, sia per non rubare loro la scena, sia per non intaccare la bellezza del paesaggio naturalistico in cui l'edificio è inserito.

Altra scelta importante è stata quella che ha definito i materiali e i colori d'impatto del progetto.



Figura 4\_Monastero prossimo all'area di progetto

Non si è voluto infatti utilizzare la pietra, ma un materiale più innovativo, ossia il legno. Esternamente però si sono utilizzati intonaci con colori che riprendessero quelli delle costruzioni circostanti e si è pensata ad una copertura verde che si mimetizzasse il più possibile con il paesaggio. Si è così creata una architettura innovativa, che però non si discostasse troppo dalle tipologie presenti nel contesto.

Importanti sono state le funzioni che sono state introdotte all'interno del progetto. Il contesto di Vis infatti ha dei ritmi molto differenti da quelli che può avere una città facilmente raggiungibile. La quantità di persone che popolano l'isola cambia molto durante l'anno. Nei periodi estivi infatti molti turisti raggiungono l'isola e quindi usufruiscono dei servizi presenti. Nei periodi invernali invece la necessità di servizi è differente sia come qualità che come quantità in quanto l'isola si spopola e gli abitanti che restano hanno abitudini differenti dai turisti che alloggiano solo per qualche settimana. Il progetto deve quindi risultare un luogo che funzioni in primo luogo nel periodo estivo e che non necessiti di grande manutenzione nel momento in cui l'utilizzo invernale potrebbe risultare limitato.



Figura 6\_Rovine di un vecchio edificio sulle rive di Komiza



Figura 5\_Architettura in pietra in una caletta di Vis



# 1.2

## LA SCELTA DEL MATERIALE

Relativamente al tipo di materiale utilizzato all'interno del progetto è interessante comprendere il rapporto con la storia del luogo. Emerge in questo caso un ulteriore duplice aspetto del progetto: da un lato vince la modernità, con la scelta di costruire con un materiale innovativo, il Cross-Lam, ma dall'altro il rapporto con la storia del luogo è fondamentale, in quanto il progetto mira a porsi in relazione con due elementi fondamentali: i resti dell'antica città greca a Nord, e il monastero francescano, situato a Sud, entrambi elementi caratterizzati dal materiale storico dell'isola, ossia la pietra.

Il legno è infatti un materiale che si trova in natura e pertanto restituisce un grande senso di matericità, naturalezza e autenticità.

A livello innovativo, il legno è il materiale strutturale da costruzione più isolante, a bassa conducibilità termica, che permette quindi di isolare dal caldo e dal freddo ottenendo delle buonissime trasmittanze dei pacchetti tecnologici.

È un materiale altamente traspirabile che si pone di continuo equilibrio con l'umidità dell'ambiente che lo circonda.

Il buon grado di isolamento e la riduzione dei ponti termici consentono l'abbattimento dei consumi energetici con un notevole risparmio economico durante la vita utile della costruzione.

La zona nella quale si insedia il progetto risulta considerevolmente sismica. Anche in questo caso il legno è un materiale adatto per risolvere tale problema. La leggerezza delle costruzioni in legno è di per sé un vantaggio per la progettazione statica.

Questo aspetto, unito al buon comportamento meccanico in del materiale, consente la realizzazione di strutture in legno in zone sismicamente attive. Le strutture in legno infatti rispondono molto bene in fase sismica consentendo una corretta dissipazione dell'energia prodotta dal terremoto.

Durante un terremoto le onde sismiche si propagano dal terreno alla struttura edilizia, e la forza è direttamente proporzionale alla massa sovrastrutturale. È fondamentale quindi costruire edifici sì robusti, ma al tempo stesso con materiali meno massivi (densità del legno strutturale di conifera  $\approx 450 \text{ kg/m}^3$ ; calcestruzzo  $\approx 2000 \text{ kg/m}^3$ ; cemento armato  $\approx 2500 \text{ kg/m}^3$ ). Il legno è di gran lunga il più leggero tra i materiali strutturali. Inoltre la sua elasticità naturale lo porta ad assorbire meglio l'energia sismica ed al tempo stesso dissipa attraverso le molteplici connessioni meccaniche. La meccanica naturale del legno ed una corretta progettazione sono garanzia di resistenza per una struttura abitativa, anche di fronte a terremoti violenti.

Altro aspetto che ha portato verso la scelta del legno è la possibilità di prefabbricare gli elementi. Prospettiva molto utile dal momento in cui l'isola di Vis non presenta industrie di edilizia specializzate sul suo territorio.

Infatti la realizzazione degli edifici in legno presenta tempi di gestione del cantiere e montaggio molto brevi, tipici delle costruzioni prefabbricate in stabilimento.

Inoltre come ogni edificio prefabbricato, è possibile attuare una fase di smontaggio in caso di necessità che risulta molto meno invasiva rispetto ad edifici tradizionali che vanno drasticamente demoliti. Questo aspetto è utile dal momento in cui l'edificio è posizionato in una zona naturale, con la vicina presenza di resti archeologici e quindi potrebbe nascere la possibilità di dover smontare il costruito.

Infine si può affermare che con una corretta progettazione della struttura in legno, con l'uso appropriato delle membrane in commercio, insieme ad una adeguata manutenzione, si garantisce la durabilità nel tempo della struttura, ovvero il mantenimento inalterato delle caratteristiche meccaniche ed estetiche, per tempi di vita utile superiori alle nostre aspettative di vita.

Testimonianza di ciò sono ad esempio innumerevoli edifici storici, le pagode, presenti in Cina e in Giappone, risalenti a periodi antecedenti l'anno Mille, tuttora in perfetto stato di conservazione.



Figura 7\_Una copertura in legno sul mare



# CAPITOLO 2

## IL CONTESTO



2.1 Inquadramento Territoriale .....	29	2.7.3 La Pesca .....	59
2.1.1 La Città di Vis .....	29	2.8 Cultura e Tradizione .....	61
2.1.2 L'Edificato di Prilovo .....	30	2.8.1 Artigianato: l'Isola della Lavanda .....	61
2.1.3 Il Contesto di Prilovo .....	31	2.8.2 Tradizioni Culinarie .....	61
2.2 Analisi Storica .....	32	2.8.3 Religione .....	62
2.2.1 Le Origini .....	32	2.8.4 Lingua Croata .....	63
2.2.2 La Magna Grecia .....	32	2.8.5 Musei e Monumenti .....	63
2.2.3 Impero Romano .....	33	2.9 Analisi Viaria .....	68
2.2.4 L'Alto Medioevo .....	35	2.9.1 Come raggiungere l'isola di Vis .....	68
2.2.5 La Serenissima .....	35	2.9.2 Il Nuovo Attracco: Progetto in Corso .....	69
2.2.6 Potenze Europee .....	37	2.9.3 Viabilità sull'isola .....	70
2.2.7 Prima metà del Novecento .....	39		
2.2.8 Periodo Fascista .....	40		
2.2.9 Il Dopoguerra .....	41		
2.2.10 La Jugoslavia durante gli anni '90 .....	41		
2.3 Analisi Morfologica .....	43		
2.3.1 La Città di Vis .....	44		
2.3.2 La Città di Komiza .....	45		
2.3.3 I Villaggi nell'isola di Vis .....	46		
2.4 Flora e Fauna .....	48		
2.5 Analisi Bioclimatica .....	51		
2.5.1 Confronto climatico tra differenti località .....	51		
2.5.2 Analisi Climatica Dell'Isola di Vis .....	52		
2.6 La Demografia .....	56		
2.6.1 La Popolazione Residente nell'Isola .....	56		
2.6.2 I Flussi Migratori .....	56		
2.7 Economia .....	58		
2.7.1 L'economia Croata .....	58		
2.7.2 Agricoltura: Viticoltura .....	58		

# 2.1

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1.1 LA CITTÀ DI VIS

Bagnata dalle acque del Mar Adriatico, l'isola di Vis è conosciuta anche come "Lissa". Il nome Lissa deriva da Issa, denominazione che diedero i Pelasgi, primi abitanti emigrati dall'isola di Lesbo in seguito al diluvio di Deucalione che la investì. La ragione del nome Issa è legata quindi all'isola di Lesbo, che al tempo dei Pelasgi era detta appunto Issa.

Vis appartiene allo stato della Croazia, ricopre una superficie pari a 90,3 km<sup>2</sup> e misura 17 km di lunghezza ed 8 km di larghezza. L'isola entra a far parte del piccolo arcipelago delle isole curzolane, situato a circa 50 km dalla costa dalmata, insieme alle limitrofe isolette di Busi, Pomo e Sant'Andrea. A Nord-Est è separata dall'isola di Lesina dal cosiddetto "Canale di Lissa". Dal punto di vista amministrativo, Vis è parte della regione spalatino-dalmata della Croazia e risulta divisa sostanzialmente in due comuni principali, quali Vis e Komiza, e in piccoli insediamenti lungo la costa e nell'entroterra. Il capoluogo Vis conta 1960 abitanti mentre Komiza ne conta 1677, per un totale di 3637 abitanti, di cui circa il 94% di nazionalità croata. La densità abitativa è di 41 ab/km<sup>2</sup>.

L'isola di Vis è conosciuta a livello internazionale per la presenza di suggestive spiagge d'acqua cristallina: la baia di Stiniva, sita a Sud dell'isola di Vis vicino al paese di Zuzec, è stata proclamata da European Best Destinations come la "Spiaggia Più Bella d'Europa 2016".

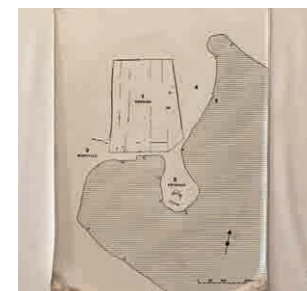
In seguito si analizzano la tipologia di edificato e il contesto della penisola di Prilovo.



Figura 8\_Scorci della città di Vis

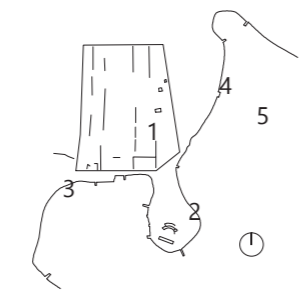


### 2.1.2 L'EDIFICATO DI PRILOVO



LA CITTÀ GRECA: ISSA

L'isola di Lissa, in greco denominata Issa, ha sempre avuto un ruolo importante dal punto di vista della sua collocazione. Essendo una posizione strategica diventò già all'inizio del sec. IV a.C. una meta della colonizzazione greca. Al di sopra della penisola di Prilovo sono visibili i resti dell'Issa greca.



DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DELLA CITTÀ

1. Gradina: antico impianto della città greca di Issa
2. Prilovo: penisola con posizione strategica
3. Martvillo: zona cimiteriale
4. Vlaske Njive: zona cimiteriale
5. Porto antico: resti dell'antica zona portuale

Figura 10\_Schema della città greca di Issa

### 2.1.3 IL CONTESTO DI PRILOVO



Figura 11\_Vigneti



Figura 12\_Campi di ulivi

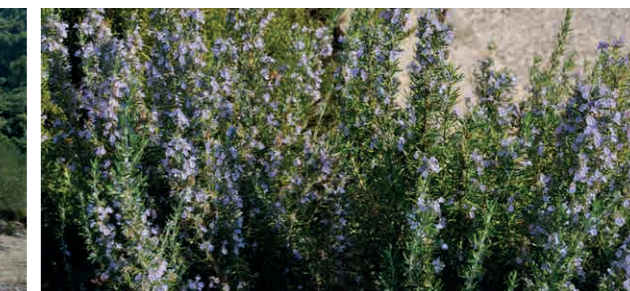


Figura 13\_Pianta di Lavanda



## 2.2 ANALISI STORICA

Analizzando in prima istanza la posizione geografica dell'isola si nota come essa, insieme alle altre isole dell'arcipelago spalato-dalmato, sia porta d'accesso tra due continenti, zona di passaggio e transito per diverse rotte marine, zona di ritrovo di popoli e culture in cui si affacciano in egual misura Europa, Asia e Medio Oriente.

### 2.2.1 LE ORIGINI

Le prime tracce di insediamenti nei Balcani ed in particolare nella Dalmazia risalgono al neolitico (circa 7.000 anni a.C.). Alcuni reperti ritrovati nelle grotte di Issa (Vis) e Lesina (Havr) hanno permesso agli storici di affermare la possibile esistenza di una popolazione preindoeuropea sulle isole. Tra il 4500 ed il 3000 a.C. gli abitanti dalla costa dalmatica trafficavano con la parte occidentale e con altre isole, come Creta e Cipro, usando l'arcipelago croato come punto d'appoggio. Nell'età del bronzo le genti illiriche iniziarono la colonizzazione della penisola italiana. A partire da questo periodo storico l'Adriatico divenne il centro delle vie di traffico che collegavano l'Europa dal Mediterraneo fino al Baltico. Testimonianza di quest'epoca sono i recenti ritrovamenti a Prilovo (sull'isola di Vis).

### 2.2.2 LA MAGNA GRECIA

Durante l'epoca della Magna Grecia, verso il 500-450 a.C. si costituì il primo stato illirico insulare con sede in Vis, governato da Re Jonio che gradualmente estese il suo dominio su tutte le isole della Dalmazia centrale. L'indipendenza dell'arcipelago dalmatico verrà meno proprio per mano di una delle polis greche: Siracusa. Il periodo di massima espansione di Siracusa corrispose alla reggenza del tiranno Dioniso il



Figura 14\_Incisione di una liburna



Figura 15\_Necropoli di Martvilo, unico cimitero ellennistico pervenuto in Croazia

Vecchio, in cui i confini dello stato si estendevano sul Tirreno e sullo Ionio. Dioniso decise quindi di attaccare gli Illiri e nel 390 a.C. conquistò l'isola di Vis, ritenuto il più importante punto strategico dell'Adriatico. Qui vi fondò Issa, lasciando d'istanza una guarnigione permanente e una flotta di triremi, creando una base navale al comando di un eparca. La città creata da Dioniso il Vecchio era protetta da mura costruite con grandi blocchi di pietra ed era localizzata nell'area delle odierne Gradina e Prilovo. Tracce di quel tempo rimangono nei muri, nelle case, nelle vie strette e nella necropoli a Martvilo. A Prilovo invece fu costruito un grandioso porto in blocchi di pietra, poiché Issa era primariamente una polis marittima che aveva il predominio sulle acque dell'Adriatico, grazie alla centralità della sua posizione.

### 2.2.3 IMPERO ROMANO

Essendo Roma in procinto di lotta contro Cartagine e dovendo contenere le rivolte degli illiri nella pianura del Po, si stabilì un'alleanza tra Roma e la polis di Issa, che prevedeva da un lato il supporto alla flotta romana contro Cartagine nella prima guerra punica, tra il 265 e il 241 a.C., da parte degli issani con una flotta di liburne comandate da Duillio, dall'altro invece i romani avrebbero difeso gli issani dagli attacchi illiri.

Terminata la prima guerra punica, iniziarono a farsi più insistenti e pericolosi gli attacchi illirici poiché Agrone, sovrano del primo regno illirico che si estendeva dal fiume Narenta fino all'Epiro, voleva espandere il suo dominio sull'Adriatico e sullo Ionio. Nel biennio 229-228 a.C. ebbe luogo la prima guerra illirica, causata dall'assedio di Issa (Vis) e Pharos (Havr) e dai numerosi attacchi di pirateria ai danni delle navi commerciali romane da parte degli Illiri, comandati dalla regina Teuta, come racconta Tito Livio (nell'ottica dei vincitori) nel suo *Ab Urbe Condita*. Alla fine della guerra gli Issani vennero premiati per la loro fedeltà con il titolo di "socius et amicus populi Romani". Il regno illirico uscì molto indebolito da queste guerre, tuttavia era ancora esistente e le sue genti non avevano perso il vizio della pirateria.

Tre anni dopo la capitale dalmatica cadde, i Dalmati si sottomisero e Roma divenne padrona di tutto l'Adriatico. Contestualmente ad Issa, essa visse da questo momento una situazione di pace che verrà interrotta solo cent'anni dopo, quando l'attenzione di Ottaviano, nominato da Cesare figlio ed erede per testamento, si spostò sull'Adriatico. A partire dal 35 a.C. egli iniziò una guerra marittima durata

quasi due anni, nella quale le navi militari romane erano comandate da Agrippa. La sua flotta annientò i covi di pirati esistenti nelle isole di Meleda e Curzola e raggiunse la regione del Quarnaro (Kvarner), dove Agrippa si impadronì di tutte le navi dei Liburni (le cosiddette liburne). La stessa flotta conquistò anche i porti di Brindisi, Ancona, Ravenna, Segna, Zara, Salona e contribuì anche alla presa di Metulo, capitale dei Giapidi.

L'anno successivo Agrippa pose un blocco navale ai rifornimenti di viveri diretti ai ribelli Dalmati, che nell'inverno del 34-33 a.C. si arresero, stremati dalle privazioni. In definitiva, con questa guerra Agrippa estese definitivamente il dominio navale romano all'intero Adriatico, potenziando la flotta con l'immissione delle liburne, navi strette, veloci, a due, tre, fino a sei ordini di remi e quindi molto manovrabili, adatte agli inseguimenti, al supporto logistico e al rapido trasporto di truppe. Alla fine della guerra gli Issani vennero premiati per la loro fedeltà con il titolo di "socius et amicus populi Romani". Il regno illirico uscì molto indebolito da queste guerre, tuttavia era ancora esistente e le sue genti non avevano perso il vizio della pirateria.

Tre anni dopo la capitale dalmatica cadde, i Dalmati si sottomisero e Roma divenne padrona di tutto l'Adriatico. Contestualmente ad Issa, essa visse da questo momento una situazione di pace che verrà interrotta solo cent'anni dopo, quando l'attenzione di Ottaviano, nominato da Cesare figlio ed erede per testamento, si spostò sull'Adriatico. A partire dal 35 a.C. egli iniziò una guerra marittima durata quasi due anni, nella quale le navi militari romane erano comandate da Agrippa. La sua flotta annientò i covi di pirati esistenti nelle isole di Meleda e Curzola e raggiunse la regione del Quarnaro (Kvarner), dove Agrippa si impadronì di tutte le navi dei Liburni (le cosiddette liburne). La stessa flotta conquistò anche i porti di Brindisi, Ancona, Ravenna, Segna, Zara, Salona e contribuì anche alla presa di Metulo, capitale dei Giapidi.

L'anno successivo Agrippa pose un blocco navale ai rifornimenti di viveri diretti ai ribelli Dalmati, che nell'inverno del 34-33 a.C. si arresero, stremati dalle privazioni. In definitiva, con questa guerra Agrippa estese definitivamente il dominio navale romano all'intero Adriatico, potenziando la flotta con l'immissione delle liburne, navi strette, veloci, a due, tre, fino a sei ordini di remi e quindi molto manovrabili, adatte agli inseguimenti, al supporto logistico e al rapido trasporto di truppe.





Figura 16\_Mappa dei possedimenti della Roma Repubblicana in Italia

### 2.2.4 L'ALTO MEDIOEVO

Dopo la caduta dell'Impero Romano d'Occidente, Issa visse un periodo storicamente buio, di cui si hanno pochissime notizie.

Dal IV al VII secolo a.C. sono da ricondurre le prime testimonianze Cristiane sull'isola. Questo può essere considerato prova di una permanenza di una comunità religiosa. Si trovano infatti la chiesa di San Giorgio a Vis e quella di San Silvestro sull'isola di Biševo. A metà del XVI secolo è stata costruita dal sacerdote Ivan Gaudijev Grlic e consegnata per l'utilizzo dai Benedettini dalle isole Tremiti. La chiesa fu rinnovata nel XVII e XX secolo.

Menzione di Issa la si ha nel X secolo. Nel suo "De administrando imperio", l'imperatore bizantino Costantino VII Porfirogenito menzionò il nome croato di Issa (Ies). Egli, nei suoi scritti, sottolinea che questa non apparteneva ai Narentani, popolo di origine slava che nel IV-V secolo si spostò nei territori della Dalmazia, occupando gran parte di esso. Queste sono le uniche notizie dell'isola pervenute dal periodo dell'Alto Medioevo.



Figura 17\_Chiesa di San Silvestro a Biševo

### 2.2.5 LA SERENISSIMA

A partire dall'IX secolo Venezia succedette a Bisanzio nel dominio delle regioni costiere adriatiche. Quando Vis venne conquistata dalla serenissima i suoi abitanti furono tratti in schiavitù e i superstiti si rifugiarono nell'entroterra. Essendo Venezia protettrice dei commerci marittimi, intraprese numerose spedizioni punitive contro i pirati croati. I veneziani, chiamati in soccorso dalle città litoranee, intervennero per sedare i disordini scoppiati in Croazia, assicurandosi il possesso di importanti postazioni costiere, compresa la strategica isola di Lissa. Nel frattempo i re d'Ungheria erano desiderosi di crearsi uno sbocco sul mare, ostacolo all'espansione veneziana. Fin dalla metà dell'XI secolo gli Ungheresi erano penetrati a più riprese nell'area croato-dalmatica, ampliando i loro possedimenti. Nel 1571 i Turchi, nuova potenza in gioco contro i Veneziani, sbarcano a Vis e saccheggiarono il capoluogo dell'isola dopo aver fatto la medesima cosa a Lesina. Nello stesso anno undici galee armate dalmate partecipano alla battaglia di Lepanto, gloriosa vittoria della lega cristiana contro gli infedeli turchi.



Figura 18\_Dominio della Serenissima





Figura 19\_Raffigurazione iconografica del combattimento navale di Lissa

## 2.2.6 POTENZE EUROPEE

La rinascita nazionale croata avvenne soprattutto per l'esigenza di difendersi dai tentativi di marginalizzazione linguistica e culturale; in particolare la breve ed effimera esperienza statale napoleonica nei Balcani nord-occidentali, portò nei croati uno spirito nazionalista con una conseguente consapevolezza anti-asburgica e anti-ungherese.

Col trattato di Campoformio del 1797, gli ex-possedimenti veneziani in Istria e Dalmazia divennero parte del regno asburgico fino al 1805, quando la Francia napoleonica, dopo la firma del trattato di Pressburg, li invase assoggettandoli al Regno d'Italia.

Nel 1809 il maresciallo napoleonico Schönbrunn riunì questi territori, comprendenti Trieste, Gorizia, Villaco, Carniola, la Slovenia e parte della Croazia, in una nuova unità politica: le Province Illiriche, con capitale a Lubiana.

Dopo un solo anno di dominio napoleonico in Dalmazia, durante la seconda guerra della coalizione contro i Francesi, una flotta Russa guidata dall'ammiraglio Senjavin, portò 6000 truppe nell'Adriatico. Egli decise di prendere alcune isole della Dalmazia. Approdati a Vis aprirono il fuoco mettendo fuori combattimento la difesa Francese. Nel 1807 la squadra russa si ritirò a seguito del trattato di Tilsit tra Russia e Francia. In quel frangente giunsero nelle acque del mar Adriatico le truppe Inglesi che sotto la guida del giovane comandante William Hoste, scelsero Vis come base delle loro operazioni. Vis in quel periodo divenne base e rifugio di tutti i corsari e contrabbandieri dell'Adriatico. Vi giunsero pure numerosi commercianti e artigiani dall'Italia, dalla Germania e dalla Dalmazia continentale, cosicché la popolazione in brevissimo tempo raggiunse le 12000 anime.

Napoleone ordinò di mandare, partendo dalla cittadina italiana Ancona, una squadra navale a Lissa al fine di porre sotto il proprio controllo il covo dei corsari, così da stroncare ogni attività di pirateria e contrabbando. Questa squadra composta, al comando dell'ammiraglio Dubourdieu, entrò minacciosa nel porto di Vis il giorno 22 ottobre 1810.

I Francesi incendiarono diverse navi e subentrò la difesa inglese che fece ritirare le truppe nemiche ad Ancona. Il 13 marzo 1811 la flotta francese si scontrò nelle

acque di Vis con una squadra inglese costituita da sole quattro fregate al comando guidate da Hoste. Benché in inferiorità numerica gli inglesi, grazie ad una migliore tattica ed al fuoco preciso dei cannoni, sconfissero la flotta napoleonica. Morirono 220 franco-veneti e 50 inglesi. Tutti questi caduti vennero sepolti sull'isola in segno di riconoscimento.

A seguito di questa battaglia gli Inglesi decisero di prendere possesso permanente di Vis. Ad opera del governatore George Duncan Robertson vennero costruite sul suo suolo numerose fortezze, fra le quali Fort George, Fort Wellington, Fort Benthinks e Fort Robertson, mentre l'isolotto davanti al porto prese il nome del giovane commodoro vittorioso Hoste.

In seguito al congresso di Vienna, l'Austria ottenne nuovamente Venezia e l'intera costa settentrionale dell'Adriatico e il 19 luglio 1815 gli inglesi consegnarono agli austriaci Vis e le altre isole in loro possesso, cosicché l'Austria estese il suo dominio sull'intero Adriatico Orientale. In mano austriaca le difese del porto di Lissa furono rafforzate con la costruzione di nuovi forti e nuove batterie di difesa poste a Komiža e Porto Manego (Rukavac).

Nel 1865 la Prussia e l'Italia firmarono un'alleanza contro l'Austria. L'Italia voleva i territori precedentemente governati dall'Austria, ma dal momento in cui non si trovò accordo, insorse la guerra. Infatti nel 1866, nell'ambito della Terza Guerra d'Indipendenza italiana, Vis fu teatro della battaglia omonima.

Nella mattina del 18 Luglio 1866 la truppa italiana raggiunse l'isola di Vis e per due giorni la bombardò al fine di ridurre al silenzio la batteria isolana, che però oppose una strenua resistenza. La mattina del 20 Luglio Persano, a capo del fronte italiano, ordinò di preparare le operazioni per lo sbarco e quando gli austriaci capirono che le intenzioni dei nemici erano serie, partì una squadra austriaca. Persano aprì il fuoco contro la flotta austriaca. Il momento decisivo fu quando le navi tedesche speronarono con tutte le loro forze la corazzata Re d'Italia (la nave ammiraglio) che affondò.

La flotta italiana si diede alla ritirata. Il bilancio fu di 643 morti tra i marinai italiani e 38 tra gli austriaci. Wilhelm Von Tegetthoff entrò vittorioso nel porto di Vis enunciando la sua famosa massima: «uomini di ferro su navi di legno batterono uomini di legno su navi di ferro».



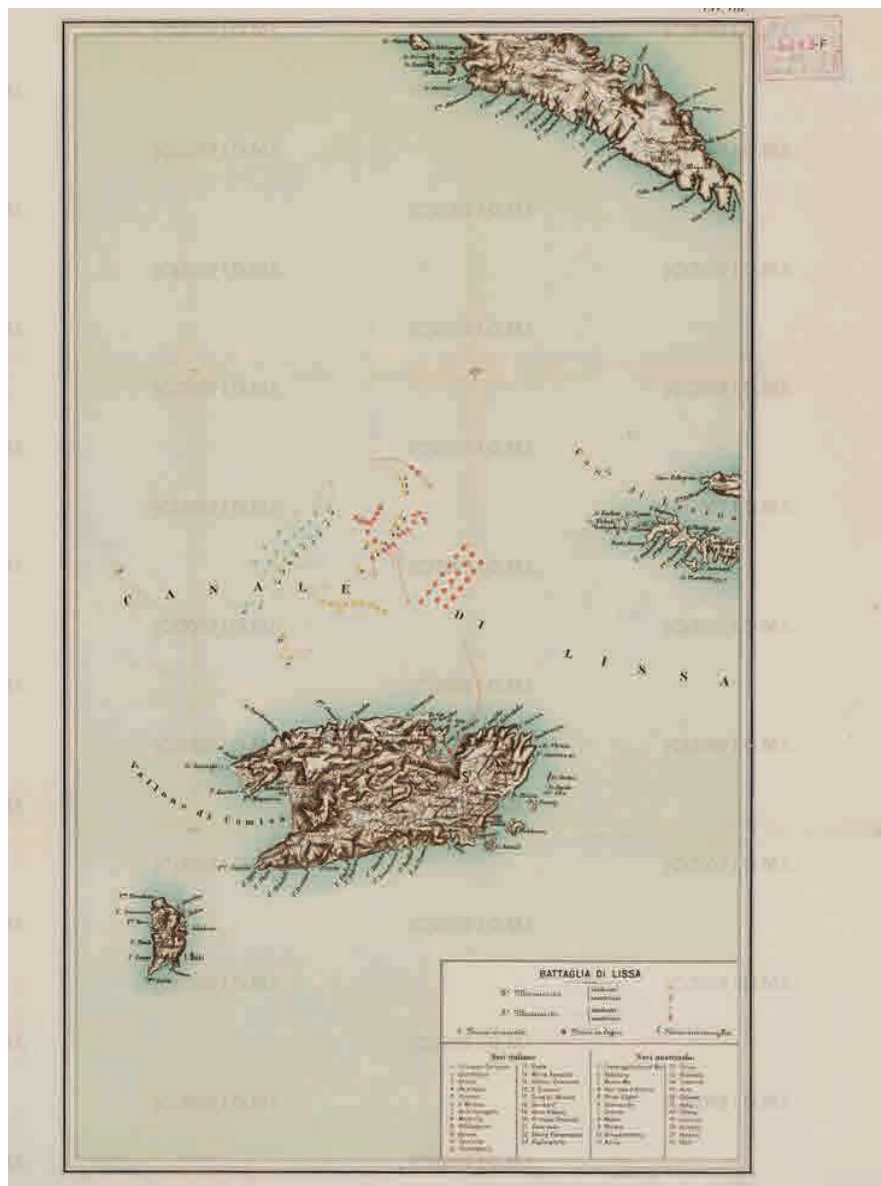


Figura 20\_Schieramento navale della battaglia di Lissa

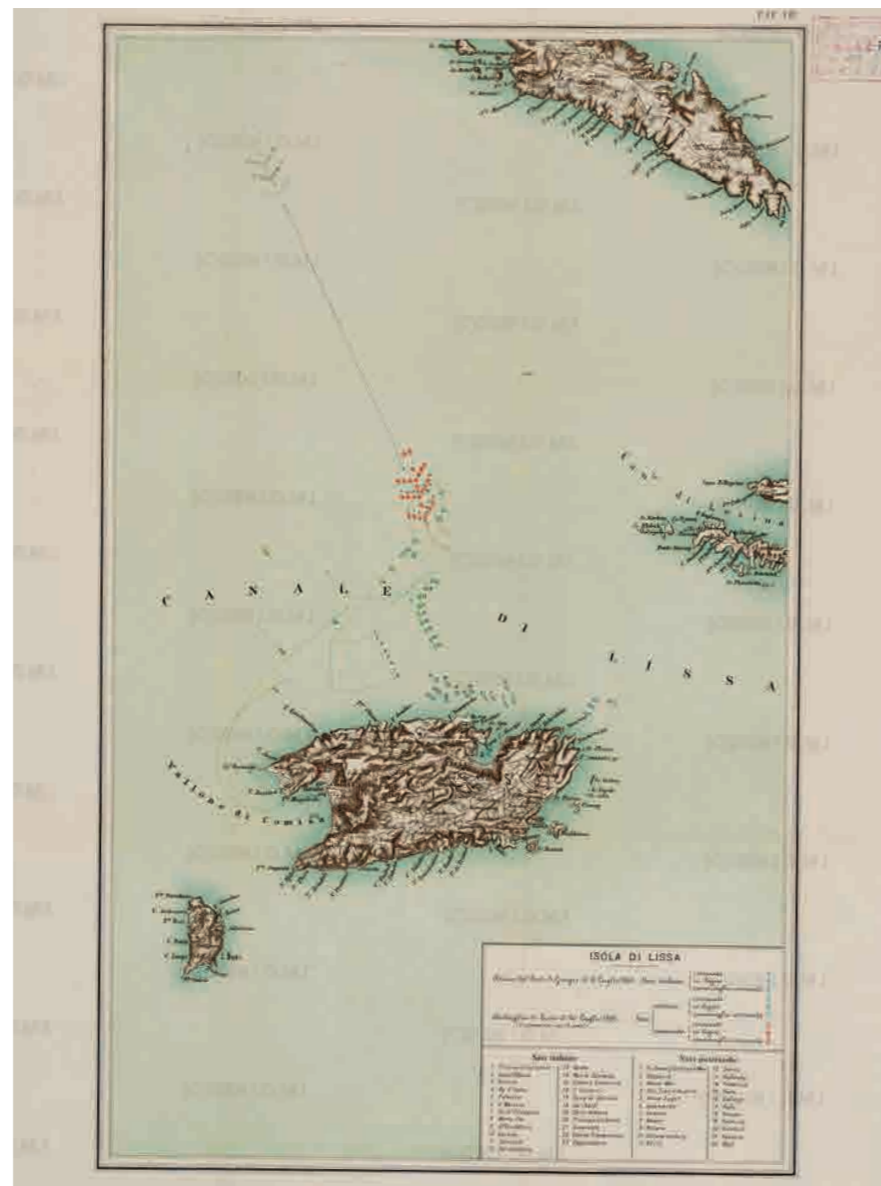


Figura 21\_Manovra navale della battaglia di Lissa

### 2.2.7 PRIMA METÀ DEL NOVECENTO

La sconfitta militare dell’Austria-Ungheria favorì il movimento secessionista generalizzato delle varie nazionalità e questo portò alla rottura con i loro secolari legami con la dinastia degli Asburgo.

Con i trattati di pace di Parigi, la suddivisione territoriale non venne però sottoposta ad una vera approvazione plebiscitaria: la difficile definizione dei confini settentrionali e nordoccidentali del regno slavo-meridionale (jugoslavo) appena creato rimasero indiscussi.

Nel Trattato di Londra del 26 aprile 1915 gli alleati avevano promesso all’Italia il Sud Tirolo, il Trentino, Gorizia, Gradisca, il territorio di Trieste, l’intera penisola istriana fino al Golfo del Quarnaro con le isole di Cherso e Lussino, le isole della Dalmazia con le città di Zara, Sebenico e Trau, la città di Valona e l’isola di Saseno, la sovranità sul Dodecanneso, il riconoscimento di zone d’influenza nell’Asia Minore e la rettifica di alcuni confini nell’Africa italiana a patto che fosse entrata in guerra al loro fianco.

La questione fu risolta solo il 27 gennaio 1924 con gli accordi di Roma, in cui vennero assegnate all’Italia Fiume, Trieste e l’Istria, mentre la Jugoslavia ottenne definitivamente la costa adriatica della Dalmazia, con eccezione delle isole di Cherso (Cres), Lussino (Lošinj), Lagosta (Lastovo) e di Zara (Zadar).

In questo caotico teatro di confini e nazioni, Vis venne occupata dalle truppe italiane, in potere del Trattato di Rapallo, per soli tre anni, dalla fine del 1918 all’aprile del 1921, quando venne ceduta alla Jugoslavia. Negli anni che seguirono, il neonato stato fu vittima di conflitti e tensioni politiche e sociali legate alle diverse fazioni politiche che erano presenti al governo del paese. Intanto in Europa si stavano imponendo le ideologie fascista e nazista e scoppiò la Seconda Guerra Mondiale. Il 6 aprile 1941 la Jugoslavia fu invasa dagli eserciti dell’Asse che in pochi giorni occuparono Zagabria e Belgrado. Solo cinque giorni dopo le truppe italiane si decisero a lasciare le posizioni difensive dell’Albania e occuparono Mostar e Dubrovnik, in Montenegro, e la Dalmazia, marciando a tappe forzate per non farsi precedere dai tedeschi.

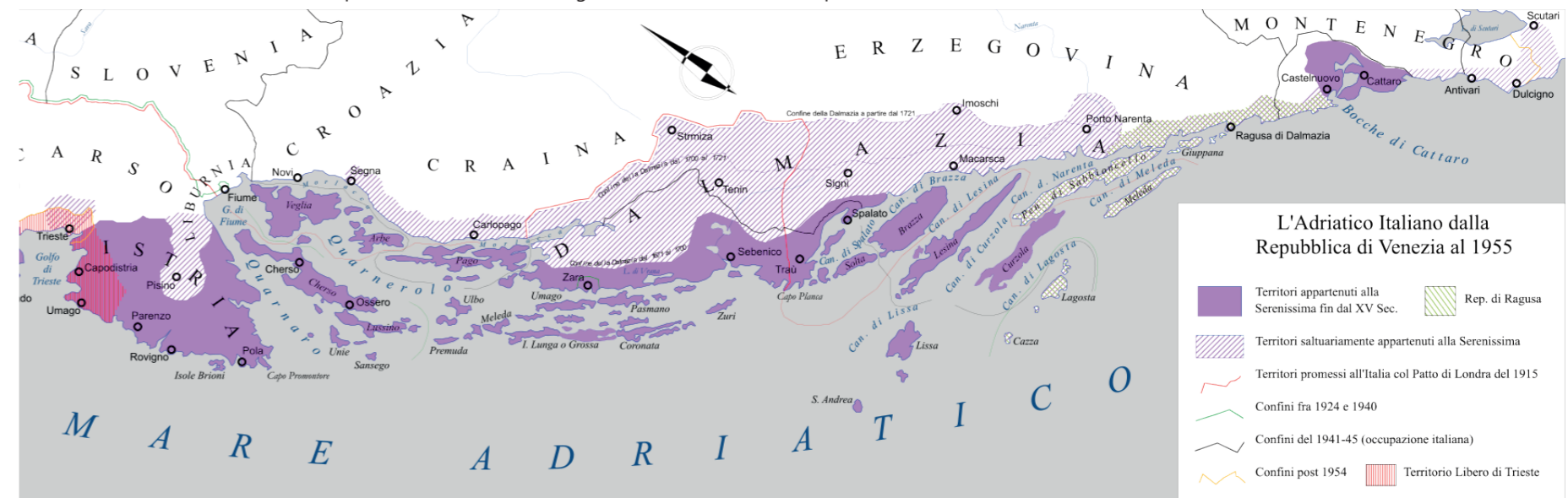


Figura 22\_Condizioni del trattato di Londra

La Jugoslavia fu smembrata: parti della Slovenia, della Dalmazia e del Montenegro passarono all'Italia; il Kosovo fu annesso all'Albania (dal 1939 unita all'Italia); la Macedonia fu attribuita alla Bulgaria; parti della Voivodina, della Barania e del Medumurje passarono all'Ungheria; la Slovenia settentrionale fu annessa dalla Germania, che acquisì anche il controllo della Serbia, occupata militarmente. Furono infine costituiti, come vassalli delle potenze dell'Asse, uno Stato montenegrino e uno stato croato indipendente, comprendente anche la Bosnia. Riguardo la Croazia, Mussolini, convinto di poterne fare uno stato-fantoccio, appoggiò l'ascesa di Pavelic e dei suoi ustascia. Nel 1941 la conquista italiana sembrava essersi conclusa: a sud una Grande Albania e a nord una Grande Croazia proteggevano la Dalmazia italiana, Vis compresa. Presto, però, questo stato mostrò l'evidente volontà di liberarsi dal controllo italiano.

### 2.2.8 PERIODO FASCISTA

Durante il regime fascista, lo sviluppo del Movimento di Liberazione Nazionale tenne un basso profilo in tutta la Dalmazia. Solo tra l'autunno del 1943 e l'Ottobre del 1944 Vis assunse una fortissima valenza politica, sociale e militare: divenne il principale faro del Movimento di Liberazione Nazionale. In questo periodo Vis non fu solo una pedina nello scacchiere del conflitto per ottenere il controllo dell'Adriatico, ma assunse un ruolo determinante per il futuro ordinamento Europeo post bellico. Quando nel 1943 i nazisti occuparono i territori abbandonati dagli italiani, Vis divenne la base fortificata dell'Esercito di Liberazione nazionale (NOV) e un'importantissima base Alleata. In particolare Komiza divenne base sia della Royal Navy d'istanza nel Mediterraneo, affidata al comandante Morgan Giles, sia delle missioni britanniche d'aiuto ai partigiani locali affidate alla leggendaria figura di Fitzroy Maclean, il fondatore della SAS. In questo periodo, nel giro di pochi mesi, vennero costruiti sull'isola nuove fortezze e bunker militari, vennero scavati tunnel, tesi cavi, vennero posti campi minati e fu costruito l'aeroporto, il quale svolgeva un ruolo cruciale per il trasporto di armamenti e soldati alleati. Riferendosi ai fatti che portarono il controllo Alleato su Vis, è doveroso rendere giustizia alla situazione dei parecchi soldati italiani che dopo l'armistizio a Cassibile dell'8 settembre 1943, vennero abbandonati a se stessi e decisero di passare nelle file della resistenza jugoslava, dell'esercito popolare di liberazione e della coalizione antifascista e antinazista. Dalla Dalmazia a Lika, dalla Solvenia alla Slavonia, fino

all'Istria, combatterono per la libertà gli italiani della brigata garibaldina, nata dai battaglioni Garibaldi costituitisi a Spalato l'11 settembre 1943 e Matteotti, creato a Livno in Bosnia. Erano carabinieri, bersaglieri, fanti, marinai, artiglieri ed avieri. Si scontrarono con le più agguerrite formazioni Ustascia, con la SS Prinz Eugen, partecipando alle battaglie per le vie di Belgrado ed alla sua liberazione.

Nel libro "Racconti Garibaldini", Jugoslavia 1943-1945 di Giacomo Scorri sono riportate numerose testimonianze sulla lotta partigiana jugoslava degli italiani.

Nel Maggio 1944 i nazisti pianificarono l'Operazione Rösselsprung, da attuare a Drvar, che consisteva nella cattura o nell'uccisione del maresciallo Tito, la figura di maggior spicco dell'Esercito di Liberazione Nazionale. L'assalto attuato il 25 maggio fallì e il maresciallo Tito insieme al comando del Movimento di Liberazione Nazionale si spostarono sull'isola di Vis protetti dalle forze Alleate.

Testimonianza di questo passaggio storico è una grotta, sotto la collina di Hum, in cui si rifugiò il maresciallo mentre organizzava le forze partigiane jugoslave per indebolire e scacciare dai Balcani il nemico tedesco.



Figura 23\_Partigiani della Brigata Garibaldi

### 2.2.9 IL DOPOGUERRA

Al termine del conflitto, conformemente alla conferenza di Yalta (4-11 febbraio 1945) ebbe inizio la creazione attraverso libere elezioni, di governi sostenuti dal volere popolare. Tuttavia in Jugoslavia e Albania venivano a mancare le premesse basilari per questo tipo di governo.

La Jugoslavia sotto la guida di Josip Broz Tito, fondatore del Partito Comunista Jugoslavo, ambiva a essere una copia fedele dell'Unione Sovietica. Ciò provocò dei forti risentimenti con le potenze europee in particolare l'unione sovietica che secondo l'ideologia di Stalin l'uso di "democrazie popolari" era la rotta giusta nel dopoguerra, a tal punto che il 28 giugno del 1948 la Jugoslavia venne esclusa dal Cominform.

In seguito alla morte di Stalin (5 marzo 1953) la via personale di Tito, cioè il modello del socialismo iugoslavo, aveva ottenuto l'approvazione solenne e gli stati balcanici a partire dagli anni '60 avrebbero dovuto fare i conti con il passato anche per quanto riguarda il loro sviluppo interno.

Dalla morte di Tito (4 maggio 1980), manca in Jugoslavia la personalità che costituiva il fattore integrante, che sapeva imporre, se necessario il classico pugno di ferro in quanto di velluto e con l'autorità del fondatore dello Stato, l'idea dell'unità nazionale al disopra della forza disgregatrice costituita dagli interessi particolari delle singole repubbliche. Con la vittoria del comunismo nel secondo dopoguerra iniziò una nuova epoca nella storia del Sud-Est europeo. Tali paesi sotto la guida comunista rimasero tra i più poveri d'Europa.

### 2.2.10 LA JUGOSLAVIA DURANTE GLI ANNI '90

Giunti agli albori degli anni 90' la Jugoslavia si è alla fine frantumata per la mancanza di intesa all'interno dei ceti dirigenti politici e a causa delle forze centrifughe che ricevevano un impulso sempre maggiore in seguito alla rapida decadenza economica del paese a causa del pesante debito pubblico, e dell'innalzamento del prezzo del petrolio.

In Croazia emerse la personalità dell'ex generale partigiano Franjo Tudjman, seguace di Tito, che si era messo alla testa del movimento unitario nazional-borghese Unione Democratica Croata (Hdz = Hrvatska demokratska zajednica).

Come dirigente nazionale riconosciuto, Tudjman ha portato i Croati sulla strada dell'indipendenza statale. Sull'isola di Vis, finita la guerra, il quartier generale della Repubblica Socialista Federale di Jugoslavia si trasferì a Belgrado e Vis, ricca delle installazioni militari lasciate dagli inglesi divenne territorio off-limits per chiunque non avesse l'autorizzazione dal governo di Belgrado.

Fu così per quarantaquattro anni, fino a che nel 1988 non ci fu la prima ribellione a questa situazione capitanata da Joško Božani, docente universitario nato a Komiza, che portò allo smantellamento dell'istituzione militare sull'isola nel 1991.

Occorre precisare che il maggior impulso della demilitarizzazione di Vis avvenne a seguito dello smantellamento politico dell'istituzione Jugoslavia a favore degli stati nazionali lo stesso anno.

I militari andandosene lasciarono il vuoto: enormi spazi abbandonati, schiere di case fantasma e pure la popolazione dell'isola drasticamente diminuita, creando un vuoto pneumatico che i più opportunisti hanno colmato con il commercio della droga.



Figura 24\_Prof. Joško Božanić



## 2.3 ANALISI MORFOLOGICA

L'isola croata di Vis è certamente nota per la grande quantità di spiagge ghiaiose che si trovano lungo tutta la sua costa.

Nella città di Vis la spiaggia più popolare è la spiaggia "Prilovo", situata su una piccola penisola nei pressi del porto cittadino. L'isola di Vis è nota inoltre per la presenza nel suo territorio di splendide baie e insenature, spesso raggiungibili solo via mare, che rimangono quindi luoghi esclusivi e non turistici.

La concentrazione della popolazione risiedente nell'isola si stabilizza sulle coste, nelle immediate vicinanze dei più grandi centri urbani, seppur di modeste dimensioni in termini di estensione ed abitanti.

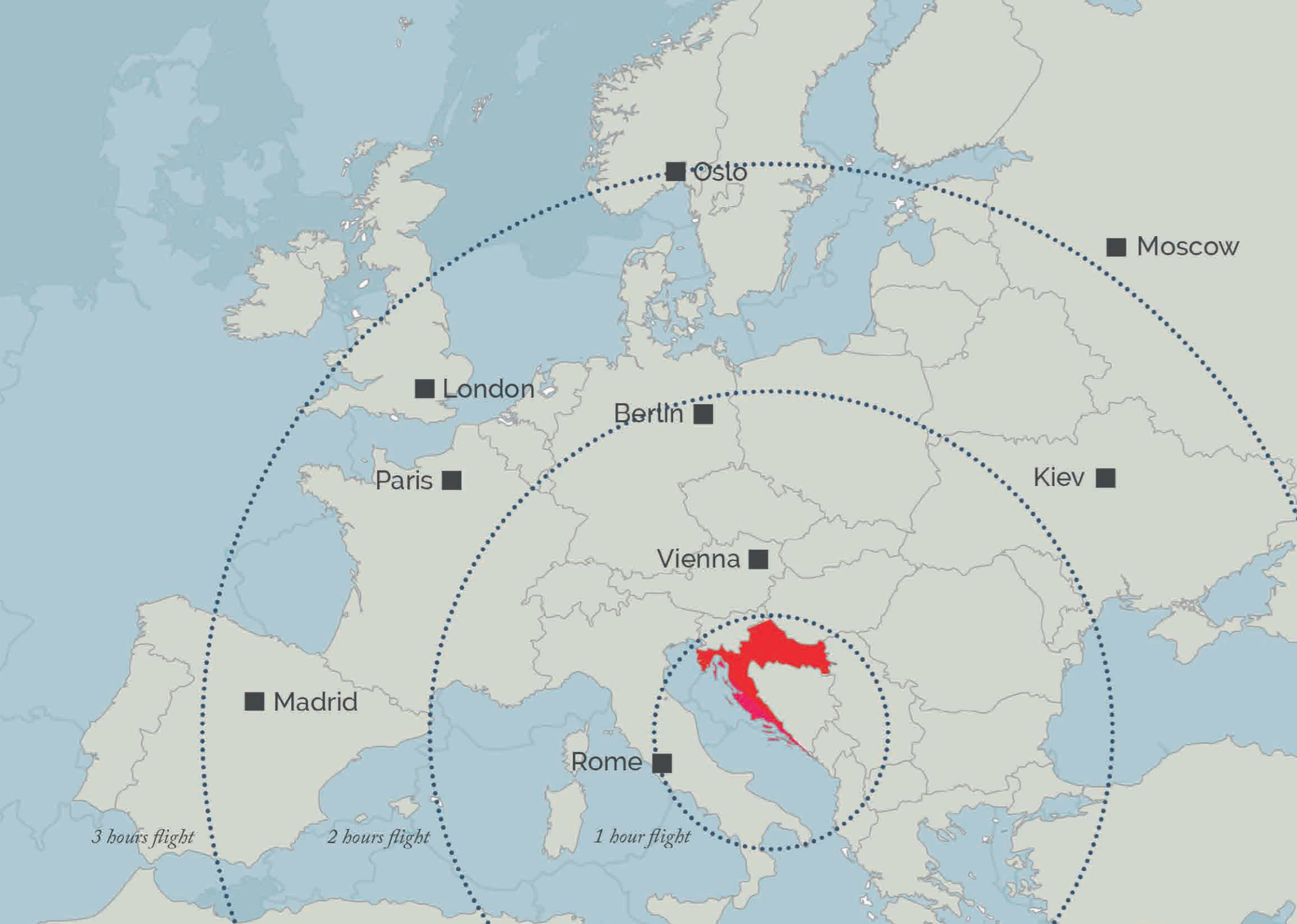
Nell'entroterra si nota la presenza di un altipiano: il Monte Hum, unica altura presente nell'isola. La sua cima misura 587 m e costituisce il punto culminante dell'isola, da cui si può godere di un panorama suggestivo.

Ai piedi di questo monte sorge la città di Komiža, antica cittadina portuaria sede dell'attività della pesca per tutta l'isola di Vis. Sulle cime del monte Hum non ci sono fisse dimore di popolazione croata, esso è prevalentemente luogo in cui domina la vegetazione e la fauna. Da questo sito si può godere di un panorama mozzafiato unico nella realtà croata. La natura vegetativa è interrotta soltanto dalla presenza di una piccola chiesa in pietra che sorge sulla cima del monte. Essa si identifica come unica testimonianza del passaggio dell'uomo in queste zone.

Pesca e turismo sono state nella storia dell'isola le principali attività di occupazione degli abitanti dell'isola, che ancora oggi si dedicano a queste mansioni.



Figura 25\_Baie dell'isola di Vis, sotto vista del Monte Hum dalla città di Komiža





### 2.3.1 LA CITTÀ DI VIS

Il capoluogo dell'isola è la città di Vis, situata nella parte Nord-Est, si affaccia sul Mar Adriatico verso la costa Croata in una baia ben protetta. Essa conta circa 2.000 abitanti ed è composta da tre quartieri: Kut, Porto e Mala Banda.

Il fulcro del paese è il porto, da cui partono numerosi navi per Spalato e per gite turistiche in barca. Nelle immediate circostanze del molo principale del porto si sviluppa l'intera attività commerciale della città, estendendosi per tutto il lungo mare fino ad arrivare a Kut.

La città di Vis è caratterizzata da piccole abitazioni in pietra bianca, di altezza non eccessiva, contano infatti al massimo due piani ciascuna. I sistemi di copertura più diffusi sono in tegole rosse.

Le strade principali non raggiungono il fulcro cittadino, che presenta strade strette e non percorribili contemporaneamente nei due sensi di marcia. Questo aspetto indica come la mobilità veicolare all'interno della città non sia sviluppata, infatti gli abitanti preferiscono spostarsi in bicicletta oppure a piedi.

Diverso discorso bisogna fare per gli spostamenti tra le diverse città dell'isola, che avvengono principalmente con i mezzi propri, in quanto le strade non sono sufficientemente spaziose e per la maggior parte del percorso non pianeggianti e i pullman pubblici trovano non poche difficoltà negli spostamenti.

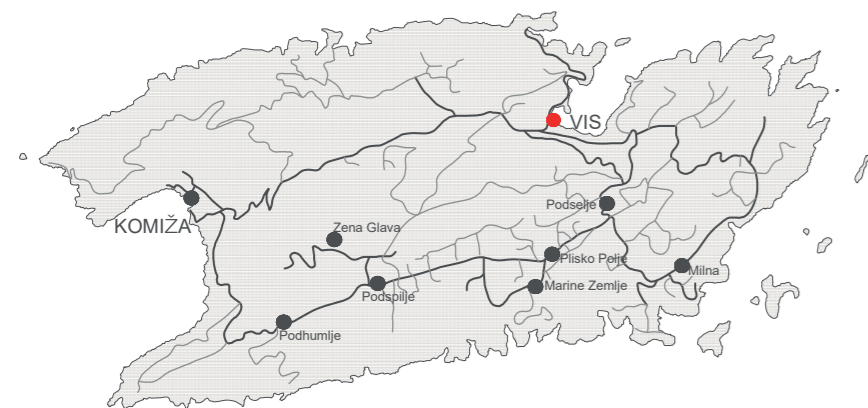


Figura 26\_Collocazione della città di Vis



Figura 27\_Elementi tipici della città di Vis

### 2.3.2 LA CITTÀ DI KOMIŽA

La città di Komiža è, insieme al capoluogo Vis, il nucleo più importante dell'isola, conta infatti circa 1.800 abitanti. Si trova in una baia profonda situata sulla riva occidentale dell'isola stessa, a 18 km dal capoluogo, ai piedi del monte Hum.

Diversamente da Vis, Komiža non è caratterizzata dalla presenza di un porto di interscambio con le isole limitrofe, ma soltanto da un piccolo porticciolo turistico, sito nel centro della città. Da qui prendono piede tutte le principali attività commerciali e di ristorazione.

Questa cittadina è caratterizzata da un tessuto urbano che presenta vie molto strette ed è una delle mete preferite dai turisti. Komiža è anche il fulcro dell'attività della pesca, significativa per tutto l'arcipelago delle isole curzolane. Sulla costa della baia si susseguono diverse spiagge arenose o coperte di ghiaia. Sulle alture scoscese retrostanti si ergono le rovine di alcuni forti austriaci. Le prime tracce di insediamento risalgono ad un villaggio di pescatori del XV-XVI secolo e successivamente ad un'abbazia di monaci benedettini. Esso si trova in una posizione privilegiata dalla quale si ha la visuale su tutta la baia sottostante. Questa scelta probabilmente è avvenuta per scopi strategici con fine il controllo del territorio.

Come nella città precedentemente analizzata, anche Komiža presenta molte rovine abbandonate e degradate, spesso a picco sul mare in posizioni invidiabili.

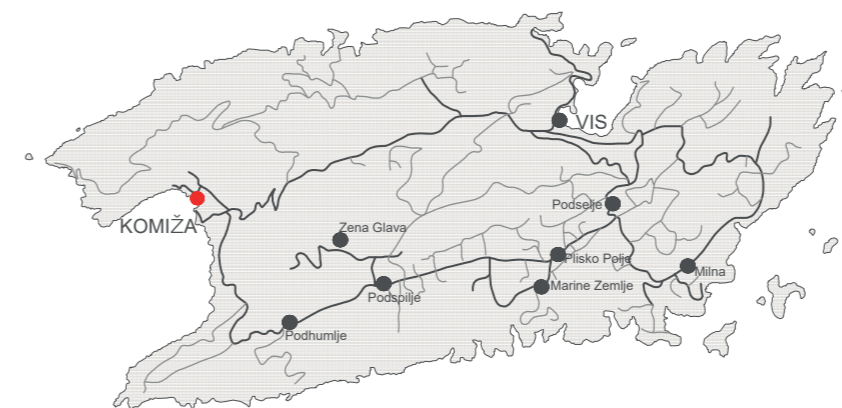


Figura 28\_Collocazione della città di Komiža

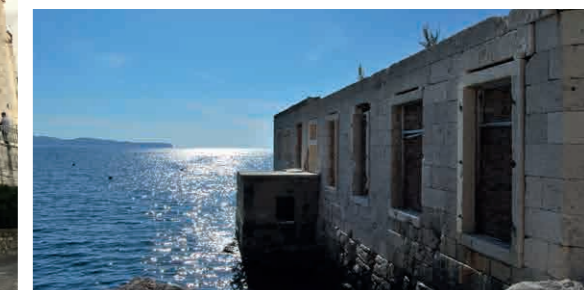


Figura 29\_Elementi tipici della città di Komiža



### 2.3.3 I VILLAGGI NELL'ISOLA DI VIS

Oltre ai due nuclei urbani principali precedentemente descritti, Vis è caratterizzata dalla presenza di numerosi insediamenti di dimensioni ridotte. Questi si sviluppano prevalentemente lungo la parte meridionale dell'isola, in parte nell'entro terra e in parte lungo la costa.

I villaggi più conosciuti sono Podhumlje, Podspilje, Marinje Zemlje, Plisko Polje, Milna. Questi risultano essere connessi tra loro mediante piccole stradine che si diramano dalla principale che collega la città di Vis con quella di Komiza. A causa probabilmente della presenza di pochissimi abitanti e della scarsa vocazione turistica del luogo, non è presente un sistema di viabilità efficiente.

A causa del carente collegamento di questi piccoli nuclei con le città principali dell'isola, i villaggi risultano spesso deserti e isolati. Tuttavia in concomitanza con le ricorrenze di paese essi si rianimano, organizzando feste e balli tradizionali che nella maggior parte dei casi hanno luogo tra i cortili di vecchie dimore, rievocando la propria storia e tradizione artistico-culturale.

L'entroterra nel quale si collocano i villaggi risulta caratterizzato da una lussureggiante vegetazione mediterranea. In particolare nella zona centrale dell'isola si svolgono prevalentemente le numerose coltivazioni tipiche di Vis. Gli abitanti di questi nuclei dunque sono fondamentali per lo sviluppo di queste attività agricole.

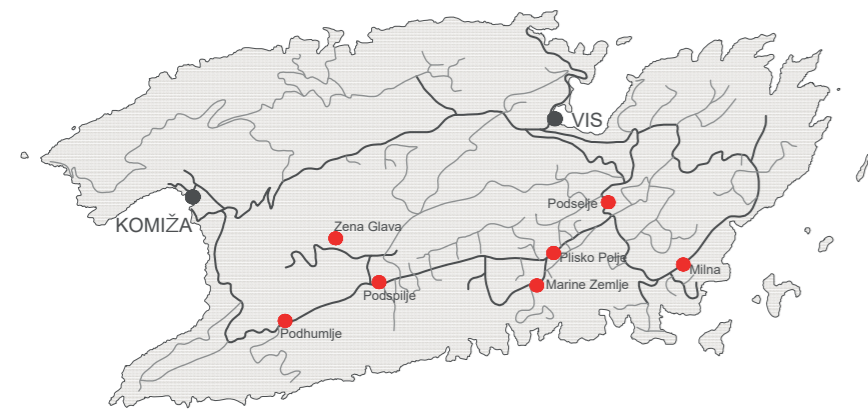


Figura 30\_Collocazione dei villaggi



Figura 31\_Elementi tipici dei villaggi presenti nell'isola di Vis





## 2.4 FLORA E FAUNA

L'isola in esame è caratterizzata da una flora lussureggiante e da una fauna varia e ricca. La mutazione a seconda delle diverse stagioni del paesaggio verdeggianti si osserva soprattutto per quanto riguarda le specie fiorite, che mostrano diverse cromie in funzione del periodo dell'anno.

Su Vis e sugli isolotti circostanti si trovano dodici specie di piante insulari specifiche, oltre ad una serie di lucertole endemiche, insetti ed alghe che non si trovano in nessun altro posto sulla terraferma. I profumi insulari sono simili a quelli delle isole italiane: aromi di erbe selvatiche, di rosmarino, capperi, mirto, lavanda, lentisco e di altre duecento specie. Le piante sono quelle della macchia mediterranea mischiata alle sfumature di verde di ulivi, limoni, fichi e vigne nane.

Il territorio acquatico di Komiza è un'area ricca di pesce azzurro, l'isolotto di Jabuka è conosciuto come il posto più ricco per la pesca al tonno mentre tutte le isole dell'arcipelago di Vis sono famose per la pesca di grandi crostacei (aragoste, astici) e per il pesce bianco d'alta qualità.

Le isole dell'arcipelago più lontane: Brusnik e Jabuka (denominata anche isola del Pomo) offrono condizioni di vita molto rigide, quindi, lì, oltre alla pianta endemica chiamata *Centaurea ragusina*, alla *Centaurea jabukensis*, alla *Centaurea crithmifolia* e alla lucertola nera non vive quasi nessun'altra specie. Ad entrambi gli scogli è legato inoltre uno strano fenomeno: nei pressi delle coste le bussole delle navi smettono di funzionare e questo è facilmente spiegabile tenendo presente la grande quantità di magnetite presente nelle rocce nere vulcaniche di cui sono formate.



Figura 32\_Pianta di ulivo

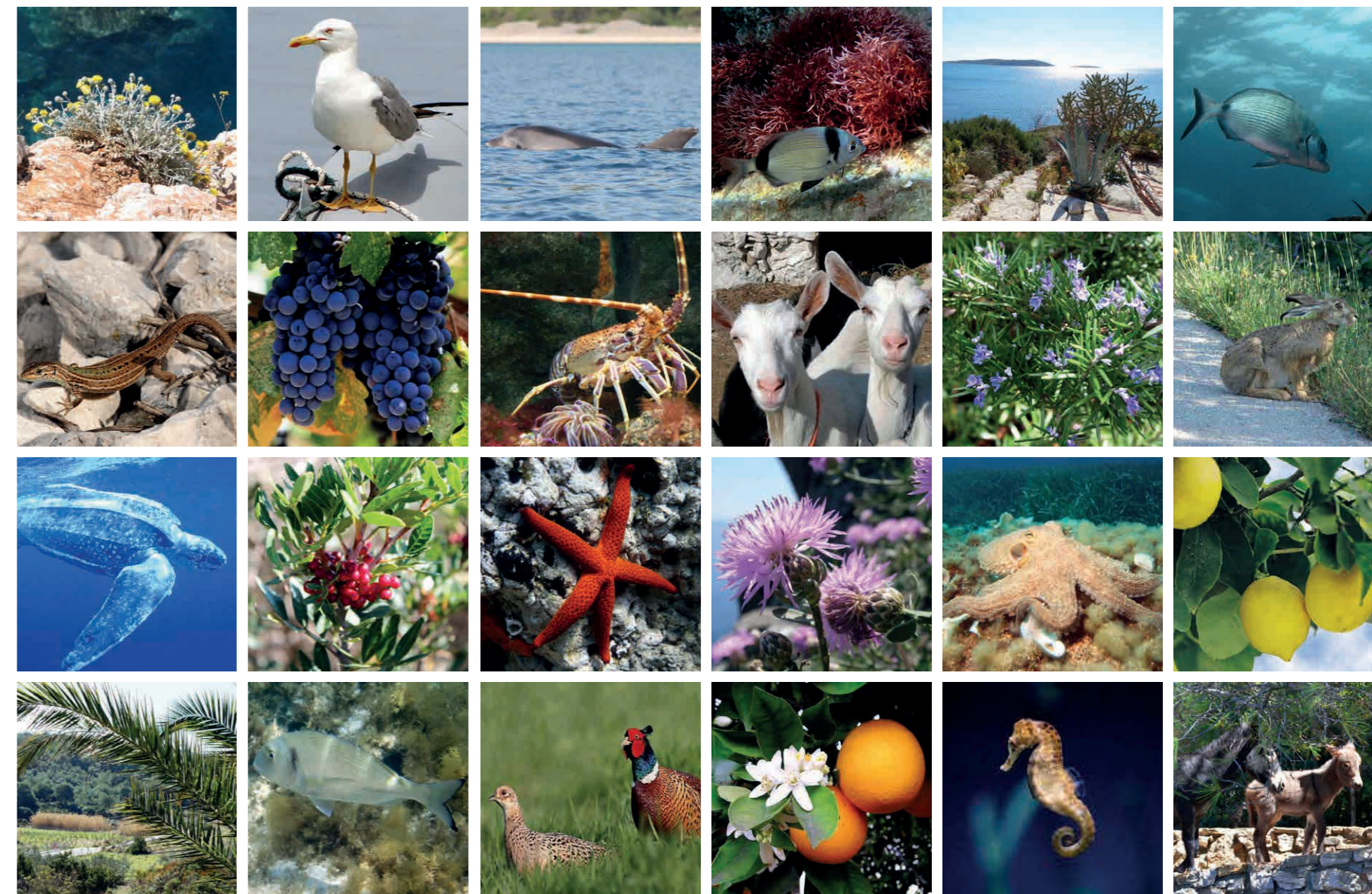


Figura 33\_Flora e fauna tipica dell'isola di Vis





# 2.5 ANALISI BIOCLIMATICA

## 2.5.1 CONFRONTO CLIMATICO TRA DIFFERENTI LOCALITÀ

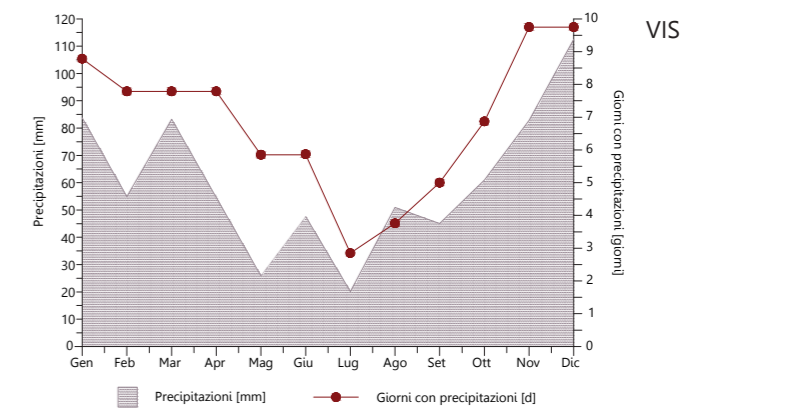
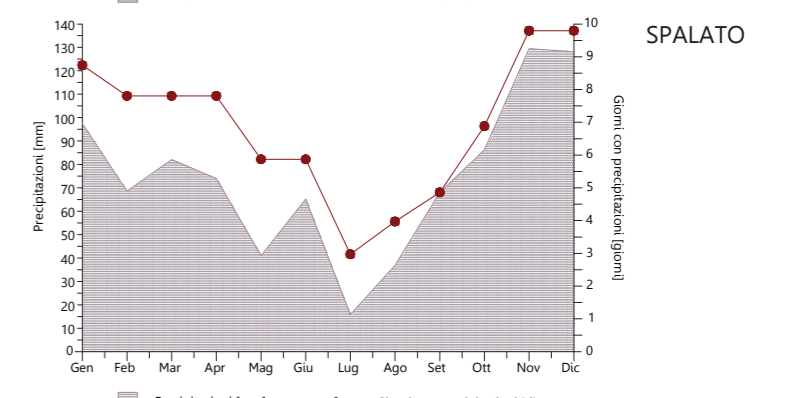
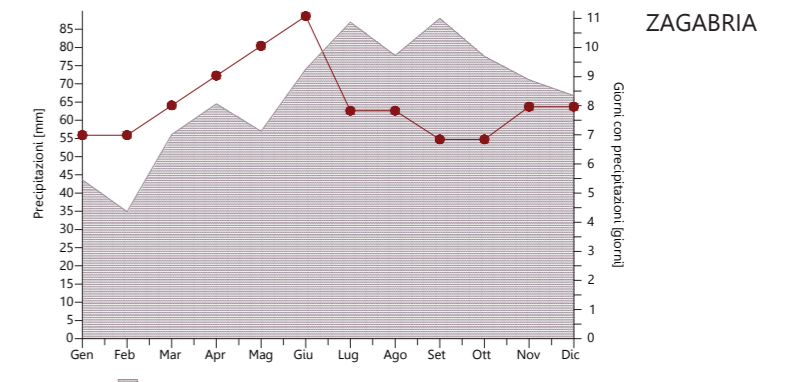
Nella fascia adriatica il clima è di tipo mediterraneo: inverni abbastanza miti, caratterizzati da repentini abbassamenti di temperatura quando soffia la bora (vento proveniente dalle pianure russe), con nevicate rare ma non abbondanti ed estati calde e soleggiate, con la brezza che tempera l'afa.

Analizziamo di seguito i dati relativi al registro delle precipitazioni in varie località della Croazia caratterizzate da una diversa morfologia:

- ZAGABRIA: luogo dell'entroterra croato;
- SPALATO: affacciata direttamente sul Mar Adriatico;
- VIS: isola del Mar Adriatico.

La prima città analizzata a lato è Zagabria: si nota come la quantità di precipitazioni sia consistente ed in particolare i giorni uggiosi registrano un incremento durante il mese di giugno e quello di settembre mentre diminuiscono drasticamente durante il mese di febbraio.

Nelle zone bagnate dalle acque dell'Adriatico invece, come Spalato e Vis, le precipitazioni sono molto più contenute, soprattutto nei mesi estivi. Le due località presentano grafici simili, registrando le massime giornate di pioggia durante dicembre. Nelle stagioni più calde invece e in particolar modo nel mese di luglio si registra in entrambi i casi una diminuzione delle precipitazioni, poiché le temperature risultano essere più elevate e l'aria più secca.



## 2.5.2 ANALISI CLIMATICA DELL'ISOLA DI VIS

Tramite il software Meteonorm è stata eseguita un'analisi climatica riguardante l'isola di Vis e in particolare per il capoluogo. Tuttavia, essendo l'isola di dimensioni relativamente piccole, il comportamento climatico risulta essere omogeneo ed estendibile all'isola nel suo complesso. L'isola è caratterizzata dalle seguenti coordinate: Latitudine 43° 3' 34" N; Longitudine 16° 11' 10" E; Altitudine di 1,26 m s.m.l. Inserendo le coordinate geografiche all'interno del software è stato possibile estrarre i dati di temperatura, umidità relativa e velocità del vento relativi all'isola.

Il clima di Vis è di tipo mediterraneo e trovandosi in mare aperto, la temperatura minima sull'isola risulta essere sempre di qualche grado superiore rispetto a quella della terra ferma. Questo tipo di clima fa sì che l'isola sia uno dei luoghi più adatti in Croazia per la coltivazione dei limoni e di altri agrumi. L'isola è inoltre investita da alcuni dei più forti venti che soffiano in Croazia. In particolare tra i più soventi si hanno la bora e lo scirocco: questi soffiano generalmente al di fuori della stagione estiva e non costituiscono un problema per quanto riguarda il settore del turismo. Nel periodo estivo dell'anno invece, sull'isola soffia il maestrale. Per quanto riguarda il grafico relativo all'analisi annuale delle temperature si nota un sensibile innalzamento delle temperature durante le stagioni primaverili ed estive che raggiungono i massimi valori nei mesi di luglio e agosto. Nelle stagioni invernali, le temperature si abbassano senza raggiungere tuttavia temperature negative. Per quanto riguarda il grafico relativo all'analisi giornaliera delle temperature è possibile notare come l'escursione termica tra giorno e notte non sia significativa: le temperature si abbassano ma senza presentare improvvisi picchi.

MESE	TEMPERATURA DELL'ARIA [°C]	UMIDITA' RELATIVA [%]	VELOCITA' DEL VENTO [m/s]
Gennaio	9.7	66	3.1
Febbraio	9.7	63	3.2
Marzo	12.3	63	3.6
Aprile	15.4	64	3.4
Maggio	20.4	60	3.2
Giugno	24.0	59	2.7
Luglio	26.7	53	2.7
Agosto	26.3	56	2.7
Settembre	22.0	60	3.1
Ottobre	18.7	66	3.2
Novembre	14.5	67	3.6
Dicembre	11.1	67	3.5

Figura 34\_Dati medi mensili di temperatura dell'aria, umidità relativa e velocità del vento

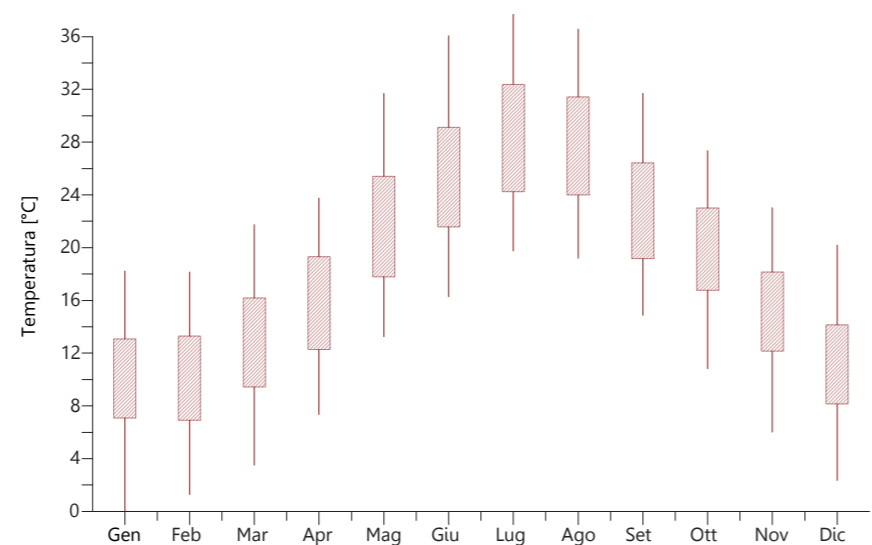


Figura 35\_Analisi annuale delle temperature dell'isola di Vis

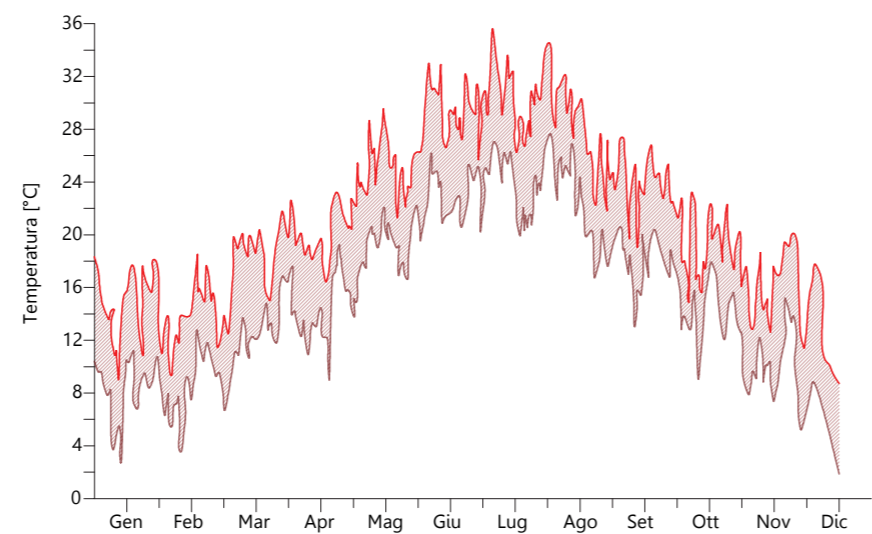


Figura 36\_Analisi giornaliera delle temperature dell'isola di Vis



Figura 37\_Giornata estiva a Cut, quartiere della città di Vis

Per quanto riguarda l'analisi dell'irraggiamento di Vis, esaminando il grafico risulta che da ottobre a febbraio l'irraggiamento globale varia da 50 kWh/m<sup>2</sup> (da dicembre a gennaio) a 90 kWh/m<sup>2</sup> (ad ottobre), mentre si innalza sensibilmente nelle stagioni intermedie. Nei mesi più caldi (da maggio ad agosto) si arriva ad avere un irraggiamento globale non inferiore a 180 kWh/m<sup>2</sup> fino a un massimo valore di 220 kWh/m<sup>2</sup>. L'istogramma relativo all'irraggiamento diffuso mostra come la variazione sia più omogenea e si raggiungono valori che minori di 80 kWh/m<sup>2</sup>.

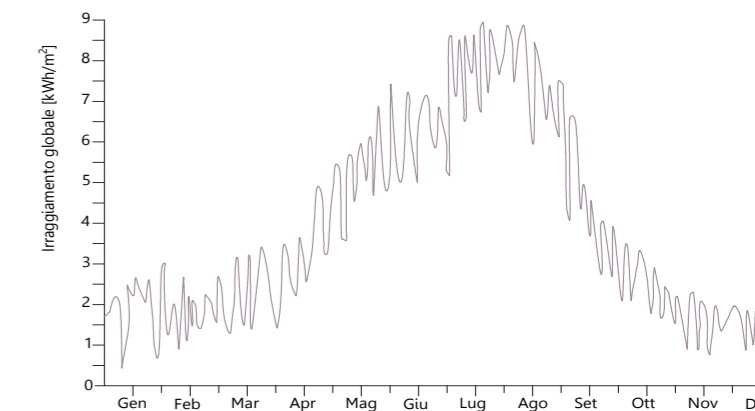
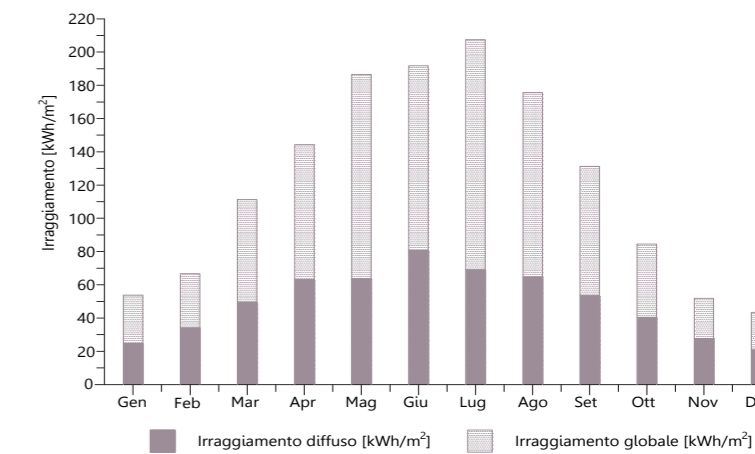
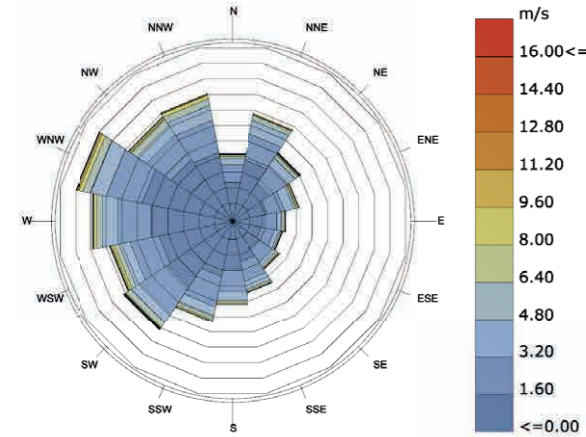


Figura 38\_Studio dell'irraggiamento diffuso e globale





Wind-Rose  
VIS  
1 JAN 1:00 - 31 DEC 24:00  
Hourly Data: Wind Speed (m/s)  
Calm for 2.55% of the time = 223 hours.  
Each closed polyline shows frequency of 1.0% = 84 hours.

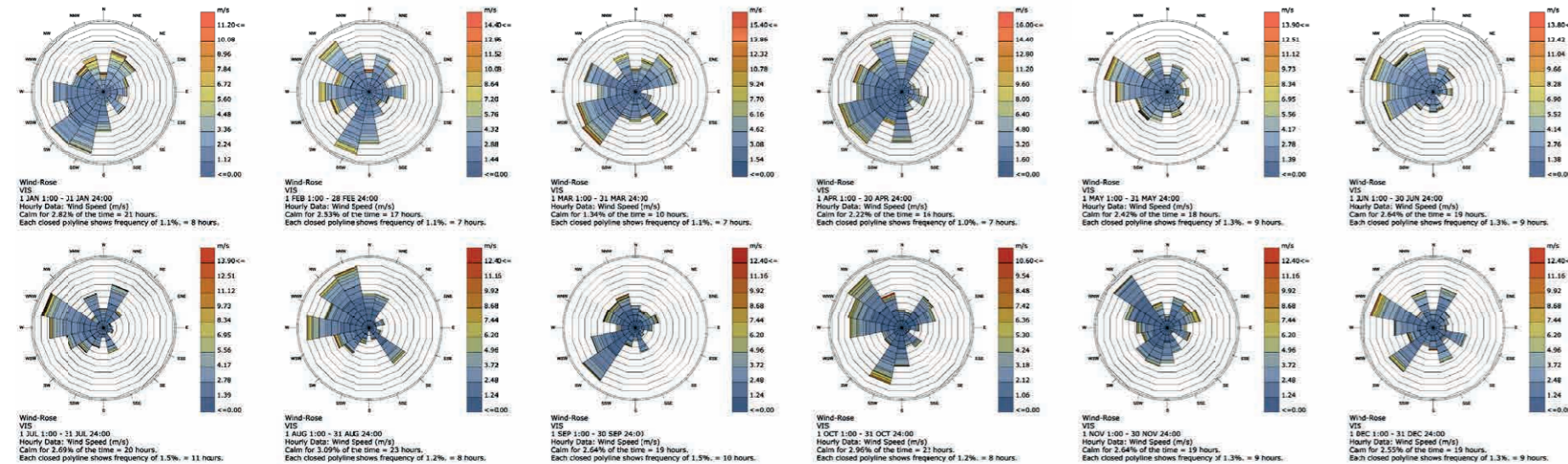


Figura 39\_Analisi annuale e mensile della velocità e direzione del vento

Per lo studio del vento presente sull'isola di Vis, località di progetto, è stato utilizzato il software Grasshopper, in particolare il plug-in Ladybug. Esso permette di importare i file climatici ricavati da EnergyPlus (.EPW) in Grasshopper e fornisce una varietà di grafica 3D interattiva per supportare il processo decisionale durante le fasi iniziali della progettazione.

Di seguito vediamo la simulazione della velocità e direzione del vento, prima a livello annuale, in alto a sinistra, poi nello specifico per ogni mese dell'anno. La direzione è espressa in riferimento ai punti cardinali riportati alle estremità del grafico, mentre l'intensità, espressa in m/s è rappresentata dalle parti colorate che si possono visualizzare chiaramente nei grafici.

Generalmente, nella simulazione annua, si osserva che il vento soffia prevalentemente in direzione Nord-Ovest con una velocità massima di 8 m/s. Tuttavia i valori medi annuali di velocità risultano essere inferiori in quanto variano in un range compreso tra 0 e 3,20 m/s.

Questo aspetto deve essere tenuto in considerazione in fase di progettazione al fine di non esporre elementi deboli della struttura nella direzione del vento.

Al fine di ottenere i grafici riportati nella pagina precedente, si è partiti mediante la sincronizzazione di un file climatico (.epw) ricavato dal programma Meteororm, che fornisce una descrizione precisa del luogo analizzato in quanto lavora mediante coordinate geografiche.

Si è collegata la cella "Open weather file" con "Import EPW", che permette di governare i diversi output del file climatico caricato. Si sceglie quindi "windSpeed" e "windDirection", che diventeranno input della cella "windRose". Ad essa si devono

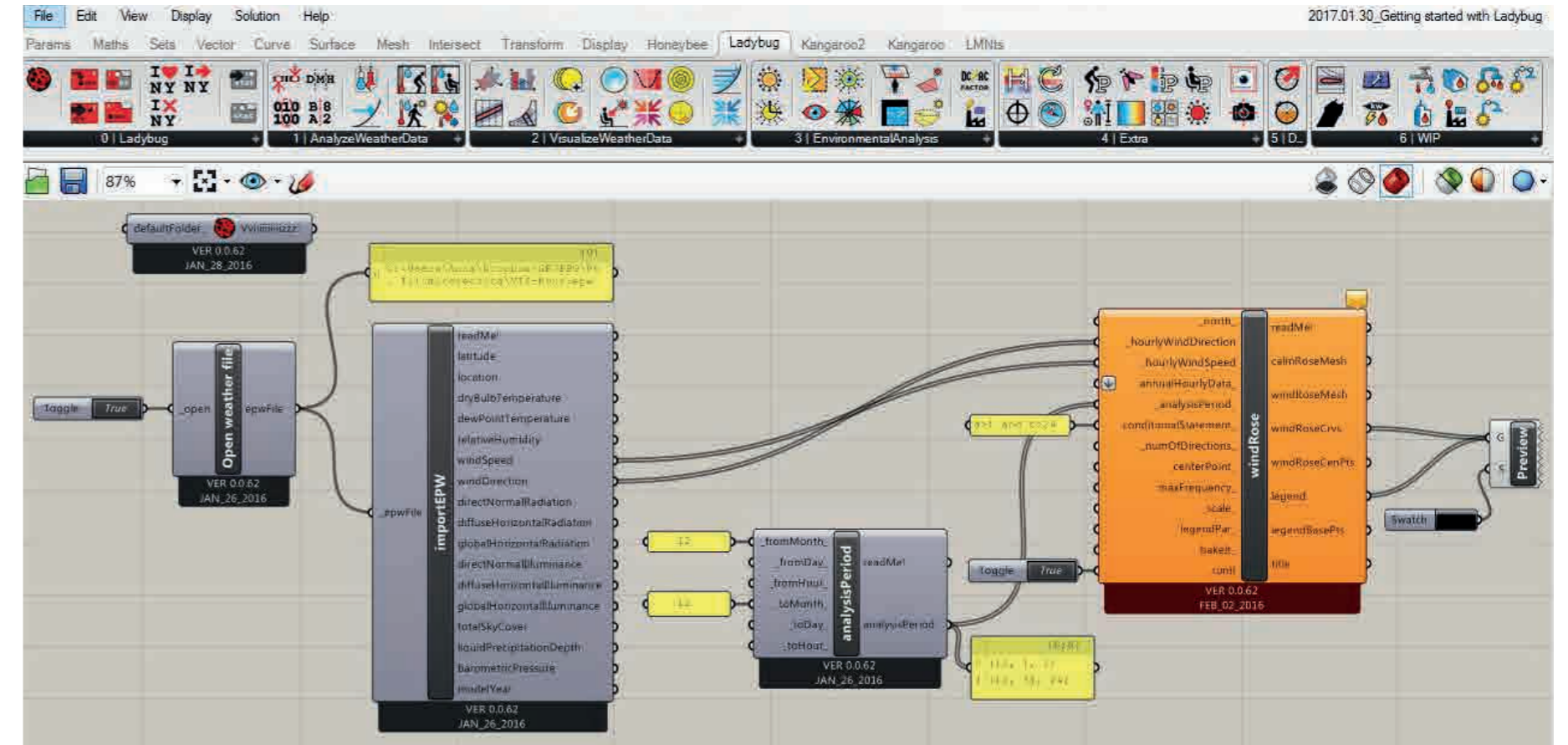


Figura 40\_Foglio di lavoro in Ladybug (Grasshopper)

associare diversi parametri, sempre come input, in modo tale che essi possano governare il periodo analizzato. Nel caso in esame si è scelta una simulazione annuale completa e successivamente l'analisi dei dati è stata effettuata mese per mese. In fase finale, per ottenere i grafici di output si sceglie il comando "windRoseCrvs" e "legend".

In seguito è riportata la schermata di interfaccia del programma da cui è stato possibile estrapolare tutti i dati.



## 2.6 LA DEMOGRAFIA

### 2.6.1 LA POPOLAZIONE RESIDENTE NELL'ISOLA

La popolazione è in continuo cambiamento e le migrazioni sono alla base della mutazione della demografia di Vis. Inoltre è doveroso citare alcuni avvenimenti importanti che hanno caratterizzato la storia della Croazia, quali le guerre, disastri naturali, epidemie e malattie diffuse. I dati censuari fanno osservare come Vis, nel corso del XX secolo, sia stata affetta da un forte spopolamento: si è raggiunto il picco massimo di abitanti dell'isola nel 1910 con un massimo di 9810 persone, che rendevano il territorio come uno dei più popolati della Croazia, con una densità pari a 108 abitanti per km<sup>2</sup>. Ad oggi questo valore ha subito un notevole calo e si attesta a circa 40 abitanti per km<sup>2</sup>.

Nel corso di un secolo il numero di abitanti è quindi diminuito del 63,2%, dato preoccupante se si considera che la media croata di spopolamento delle isole si ferma, attorno al 30% e se si puntualizza che la popolazione croata in generale è aumentata. Crescendo con il grado di dettaglio si possono notare come gli insediamenti dell'entroterra abbiano subito un totale spopolamento, in linea con l'andamento nazionale di spopolamento delle zone rurali e di urbanizzazione delle zone già abitate. Riguardo a Vis si parla del 98% in meno della popolazione stabilizzata nell'entroterra e soprattutto la mancanza di persone e risorse per poter portare avanti una comunità e dare una degna qualità della vita sociale.

Interessante analizzare come siano presenti due periodi in cui la popolazione sia tornata a crescere, denominati "baby boom": il primo risale agli inizi del Novecento,

il secondo nel dopo guerra attorno agli anni '50. Oltre a questo, motivi di aumento della popolazione sono anche il blocco nazionale delle emigrazioni e il fatto che la deruralizzazione fosse all'inizio del suo processo e non avesse ancora iniziato a produrre migrazioni interne. Il periodo di maggiore contrazione della popolazione risale al decennio 1961-1971 che ha visto un decremento della popolazione con un tasso pari al 3,16% annuo, probabilmente causato dal passaggio da un'economia di tipo sociale a una di tipo industriale e urbano-centrico. Il rapporto tra uomini e donne presenti sull'isola vede una leggera presenza di femmine in più rispetto al sesso maschile 108,6-100 (in linea con i dati croati che contano 111,4-100). Si segnala il grande divario in età matrimoniale che vede, sull'isola di Vis, la presenza di 84,3 uomini ogni 100 donne. Tutto questo si può giustificare con il fatto che mediamente è più forte l'emigrazione maschile di quella femminile. L'importanza della composizione dell'età di una popolazione risulta di notevole valore per capire la sua potenziale vitalità e le sue successive implicazioni sociali.

### 2.6.2 I FLUSSI MIGRATORI

Non avendo precisi dati circa le migrazioni che hanno interessato l'isola di Vis, si sono fatti dei calcoli confrontando la differente popolazione tra due differenti dati censuari e quella attuale, riferita ai residenti sull'isola. Si è visto come la media di migranti per anno è di circa 135 persone e ciò causa la perdita della crescita naturale in relazione alle nascite. Si parla di un flusso migratorio dell'ordine di circa 5000 persone nella prima metà del Novecento, con picchi tra il 1921-31 di 2000 con una media di 300 persone l'anno. Le mete scelte dai migranti dell'isola di Vis sono gli USA, il Sud America, l'Australia e la Nuova Zelanda.

Nel periodo 1948-1961 il totale degli emigrati ammontava a circa 1500 persone ma il forte flusso che accompagnò il ventennio successivo vide il movimento di 2275 abitanti pari al 33% della popolazione presente sull'isola in quegli anni. Importante confrontare il dato degli emigrati con quello dei decessi: i primi risultano responsabili dell'83% del decremento delle persone sull'isola. Nel ventennio che ci porta nel nuovo millennio il calo della popolazione è dovuto a fattori naturali ma risulta difficile dare un numero esatto di persone poiché i dati censuari non sono precisi, in quanto comprendono negli emigrati anche le persone che si spostano tra le due città principali dell'isola, da Komiža a Vis e viceversa.



Figura 41\_Anziani autoctoni dell'isola di Vis



## 2.7 ECONOMIA

### 2.7.1 L'ECONOMIA CROATA

L'economia croata si basa prevalentemente sul settore terziario e sull'industria leggera.

Il turismo riveste un'importanza crescente negli anni: esso ha registrato il record di visite per la nazione nel 2014, con 11,8 milioni di visitatori, il 5% in più rispetto all'anno precedente, dei quali più di 10 milioni stranieri.

### 2.7.2 AGRICOLTURA: VITICOLTURA

Le condizioni naturali e morfologiche del luogo, unite alla tradizione, hanno fortemente influenzato lo sviluppo dei settori d'economia degli abitanti di Vis.

A causa delle vaste superfici del terreno fertile e coltivabile, particolarmente nei campi intorno alla città di Vis, l'agricoltura è stata da sempre il settore più importante dell'economia. In particolar modo ci si riferisce alla viticoltura e alla produzione di vini, base dell'economia attuale e buona prospettiva per il futuro.

Il vino assieme a specialità di cucina locali portano avanti lo sviluppo del turismo agricolo, in crescita negli ultimi anni. È davvero raro trovare in uno spazio così ristretto come il territorio croato, una tale diversità di vitigni e vini: per questo motivo la Croazia si colloca tra le più interessanti zone vitivinicole del mondo.

La regione della Dalmazia centrale e meridionale contiene la maggior parte di tutte le zone vinicole della Dalmazia stessa: sette di queste si trovano sulle isole di Mljet, Korcula, Lastovo, Vis, Hvar, Brac e Šolta.

La costa e le isole producono vini di altissima qualità. Spiccano il bianco Vugava, profumato e caratterizzato da un intenso colore paglierino, il rosso Plavac Mali nell'isola di Vis, il Gkr a Korcula e l'eccezionale Malvasia di Dubrovnik.

La tradizione vinicola è ormai mestiere antico: infatti in questi territori troviamo numerose testimonianze di un ricco passato vitivinicolo come resti di contenitori per il vino, anfore, bicchieri e altri oggetti del genere appartenenti alla cultura materiale.

Tornando all'isola di Vis e girando per le strade dell'isola si vedono moltissimi appezzamenti con vigne (i vigneti rappresentano circa il 40% del terreno agricolo dell'isola).

La maggior parte degli impianti sono ad alberello, filare e alberello su filare. Il problema sanitario della vite è l'oidio, sensibilmente più pericoloso della peronospora, considerata la ventosità dell'isola.

La struttura geologica superficiale di Vis è perfettamente divisa in due: una metà a terra rossa e l'altra sabbia. Sulla seconda si trovano ancora piante molto antiche con piede franco.



Figura 42\_Processo di distillazione dell'acquavite, tipica bevanda croata



Alberello



Archetto



Sylvoz



Pergola



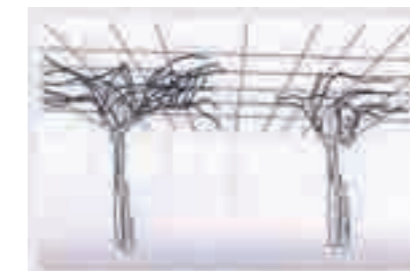
Guyot



Cordone speronato



Casarsa



Tendone

### 2.7.3 LA PESCA

Per quanto riguarda la città di Komiža nell'isola di Vis, l'economia locale ruota essenzialmente attorno all'attività del piccolo porto. Questa cittadina è considerata il luogo in cui è nata l'attività della pesca nell'Adriatico: nei secoli passati, i pescatori del luogo governavano sull'Adriatico e facevano commercio di pesce con la costa vicina. Gli abitanti sono fieri del loro passato da pescatori e per questo motivo è stato allestito il Museo della Pesca. Unico di questo genere in Croazia è situato nella vecchia fortezza veneziana del XVI secolo in stile rinascimentale, sulla riva del mare ed espone gli attrezzi tradizionali da pesca. All'interno del museo oltre ad una collezione di reti e nodi troviamo un modello di "Falkuša", un'imbarcazione tradizionale da pesca. La Gaeta Falcata (Gajeta falkuša) è stata costruita a Komiža come variante della Gajeta, imbarcazione del mare Adriatico il cui uso principale della era legato alla pesca. Ogni anno il 6 dicembre, il giorno della città di Komiža durante la celebrazione di San Nicola, un modello della barca viene bruciato di fronte alla Chiesa del Santo, patrono dei viaggiatori, uomini di mare e pescatori.



Figura 43\_Gajeta Falkusa



## 2.8 CULTURA E TRADIZIONE

### 2.8.1 ARTIGIANATO: L'ISOLA DELLA LAVANDA

Passeggiando per le vie di Vis ci si imbatte in numerose botteghe che propongono ai turisti, oltre che vini tipici e liquori, numerosi prodotti a base di lavanda. Questa specie viene coltivata nell'isola ed è diventata simbolo per tutti gli abitanti. Vengono creati molti accessori come profumi per armadi, cestini decorativi e soprammobili.



Figura 44\_Prodotti tipici dell'isola di Vis a base di lavanda

### 2.8.2 TRADIZIONI CULINARIE

La Dalmazia è un autentico ambiente vitale e gastronomico, che ha preso ispirazione da città come Venezia, sapendo arricchire le cucine altrui con la forza della propria maestria ed esperienza culinaria. I cibi Croati della Dalmazia sono infatti speciali per la maniera in cui sono preparati.

Tra i cibi più comuni della Dalmazia troviamo i frutti di mare. Pesce, molluschi e crostacei sono serviti in svariate maniere: arrostiti, marinati nelle busare, tutte originarie della Dalmazia, oppure nei famosi brodetti dalmati, solo a prima vista simili ai brodi veneti.

#### POGACA

E' considerata la vera specialità dell'isola di Vis.

Si può descrivere come una focaccia ripiena di pesce; la ricetta originale prevede sarde, cipolle e pomodori. Tuttavia è presente in numerose varianti.



#### BUREK

Involtni di pasta sfoglia farciti con carne macinata, spinaci o altre verdure e formaggio tipico della zona.

Dopo essere spennellati d'uovo, vengono cotti al forno.



#### BRUDET

Zuppa di pesce servita con polenta. Per preparare un brodetto serve un pesce fresco dell'Adriatico, altri tipi diversi di pesce e molluschi, come scampi e granchi. Il sapore del pesce è accompagnato dal pomodoro.







Figura 46\_Monaco del monastero di Prilovo

### 2.8.3 RELIGIONE

La religione predominante è la cristiano-cattolica (87,8%). Il sentimento religioso è stato da sempre uno dei collanti dell'identità croata durante tutta la travagliata storia che ha caratterizzato il paese. Il ritorno alla democrazia ha ridato infatti vigore alla religiosità, che era stata relegata a un molo secondario durante il periodo comunista.

A seguito della caduta del regime comunista la religione ha ripreso un importante posto sia nella vita privata sia in quella pubblica, dando alla popolazione un senso di appartenenza al luogo e comunità.

Nella città di Vis sono presenti due chiese e un monastero (limitrofo all'area di progetto nella penisola di Prilovo). Queste realtà sono ad oggi molto attive e frequentate dagli abitanti dell'isola. Rigorosa è la partecipazione da parte dei cittadini di Vis alla messa della domenica ed inoltre entrambe le chiese sono aperte tutto il giorno. Esse sono inoltre molto curate e ben conservate in quanto sono oggetto di visita da parte dei turisti.



Figura 45\_Monastero di Prilovo

### 2.8.4 LINGUA CROATA

La lingua croata è parlata da circa 5,5 milioni di persone, di cui quasi 4 milioni residenti in Croazia.

La lingua è attestata anche negli stati confinanti Bosnia ed Erzegovina, Slovenia e Serbia. Bisogna inoltre specificare che esistono diversi dialetti ancora parlati oggi in tutta la Croazia. I dialetti croati sono suddivisi in tre grandi gruppi: Ciacavo, Caicavo, Stocavo.

Tutta la zona della costa e tutte le isole parlano lo stesso dialetto.

Lo stocavo viene parlato anche dai Bosniaci e Montenegrini e dalla maggioranza dei Serbi (settentrionali e occidentali). Inoltre pone le basi della lingua scritta croata, bosniaca, serba e montenegrina.

A Vis ancora oggi viene parlato il dialetto della costa, chiamato Chakavian. La lingua in questo caso indica, oltre che l'appartenenza al luogo, anche la cultura, il lavoro e le usanze che caratterizzano le abitudini di vita degli abitanti.



Figura 48\_I tre dialetti croati

### 2.8.5 MUSEI E MONUMENTI

#### NECROPOLI GRECA MARTVILO

Nonostante ricopra un solo pendio invaso da erbe selvagge vicino alla città di Vis, questa necropoli colpisce per le commoventi stele intatte, sobrie porte verso l'aldilà risalenti al III e II secolo avanti Cristo.

La località archeologica Martvilo rappresenta l'unico cimitero ellenistico presente in Croazia infatti presenta numerosi resti derivanti dall'antica Grecia.

Durante il trascorrere degli anni fu distrutto parecchie volte. Ad oggi rimane per questo motivo conservato solo un quinto di ciò che era il complesso totale, parte che non riesce a far percepire la totalità della struttura originaria.

La necropoli, cioè il cimitero dell'Issa antica, si trova al di fuori della mura occidentali della città. Questo territorio molto tempo fa era luogo in cui sorgevano diversi cimiteri, per questo il sito prende il nome slavo "Martvilo", che si deriva da "martav" tradotto in lingua italiana come "morto".



Figura 47\_Necropoli di Martvilo nell'isola di Vis



## TERME ANTICHE

Dell'architettura presente un tempo riguardo al dominio romano che ha caratterizzato i territori croati, sono rimasti preservati i resti dei bagni termali costruiti dai romani, siti vicino alla penisola di Prilovo.

Gli scavi archeologici del 1963 avevano rilevato influenze orientali di grande importanza e le conseguenti relazioni dell'isola con l'oriente.

Sulle vasche laterali collocate a Nord sono state trovate delle particolari pavimentazioni, alcune che testimoniano la presenza di ambienti destinati a spogliatoi. Queste pavimentazioni sono caratterizzate dalla tecnica del mosaico e, come si può notare dalla foto riportata in basso sono pervenute in buone condizioni.

Dagli spogliatoi sopra citati si accede ad una grande sala i cui i confini non sono però delineati; tuttavia sono interessanti i motivi geometrici del mosaico che caratterizzano la pavimentazione. A cavallo tra la parte Nord-orientale e la grande sala si possono ammirare nell'opera artistica dei disegni che rappresentano quattro delfini blu su sfondo bianco.



Figura 49\_Terme Romane nella città di Vis

## CHIESA DI SAN GERONIMO E MONASTERO FRANCESCANO

All'inizio del XVI secolo i Francescani conventuali hanno costruito questa chiesa nella parte più bella della baia di Lissa, assieme al convento, parte del complesso dedicato al protettore Dalmato San Geronimo.

Nella chiesa si osservano molti elementi rinascimentali, ma analizzando la tradizione locale dell'isola di Vis, si possono trovare componenti appartenenti a periodi precedenti.

L'edificio religioso si trova nella parte Est della città, nel punto terminale della penisola di Prilovo, distaccato dal convento la cui base della costruzione appartiene ai resti di un teatro romano. Questi resti sono visibili nel piano sotterraneo del convento e sulle mura esterne dell'ex auditorium: per questo motivo il complesso si presenta con una forma semicircolare.

Il campanile, risalente al XVIII secolo e costruito in epoca barocca, non è inglobato nella chiesa, ma trova sede presso il convento. Esso ripete varie forme tipiche del medioevo, ma con qualche influenza romanica, stile ricorrente sull'isola.



Figura 50\_Vista aerea del monastero francescano della penisola di Prilovo

## FARO HOST

Costruito nel 1873, consiste in una piccola torre ottagonale. All'interno del faro sono presenti un molo e un magazzino. L'elettricità è ottenuta in questa struttura grazie ai pannelli fotovoltaici posti in sommità della copertura. Il faro presenta un sistema di raccolta dell'acqua piovana attraverso una cisterna. Il faro è completamente automatizzato ed incluso nel sistema di controllo remoto, ad oggi risulta essere funzionante.

## FARO STONCICA

Il faro di Stoncica venne costruito nel 1865 sulla punta Nord orientale dell'isola di Vis. Molto simile al precedente descritto, consiste anch'esso in una torre a base ottagonale di pietra, affiancata da un edificio al piano terreno. All'interno del faro è presente anche un magazzino, una sala macchine e un molo. Anche questo faro è completamente automatizzato ed ha un sistema di controllo remoto che ad oggi risulta essere funzionante.



Figura 51\_Faro di Host a sinistra, Faro di Stoncica a destra

## MUSEO ARCHEOLOGICO

La fortezza austriaca "Gospina Batarija" situata nel comune di Vis custodisce il museo archeologico con la ricca collezione degli oggetti ritrovati tra le rovine dell'Issa antica. Tra questi si trovano anfore, vasi, pezzi di mosaico ed ornamenti femminili.

Accanto ad un gran numero di reperti archeologici, questo museo presenta un'interessante collezione etnografica che fornisce informazioni su come si svolgevano le attività che prendevano piede sull'isola. Si trovano descritte le diverse le modalità di pesca, i principi della viticoltura, i passaggi per la costruzione di navi e la storia recente dell'isola.

Al secondo piano del museo è esposta la più grande collezione di manufatti ellenistici dell'intera Croazia, con terrecotte, gioielli e sculture greche. Tra i vari resti antichi è da segnalare una bellissima testa in bronzo risalente al IV secolo, raffigurante una divinità greca che potrebbe essere Afrodite o Artemide. Questo aspetto inserisce l'isola di Vis in una posizione rilevante per quanto riguarda il patrimonio archeologico offerto.



Figura 52\_Patrimonio custodito all'interno del museo archeologico



## MUSEO DELLA PESCA

Per esaltare le origini e la storia del popolo autoctono dell'isola e per far conoscere ai posteri le tradizioni delle attività svolte dai predecessori si è voluto istituire un luogo di rimembranza dell'attività della pesca, nota come elemento primario di sostentamento.

Grazie agli sforzi dei cittadini di Komiza, gli abitanti riuscirono a produrre un campionario per il museo della pesca dell'isola di Vis. Proprio da essi infatti nasce questa volontà di reverenza e rispetto verso le origini.

Nel castello comisano (komuna) che fu costruito alla fine del XVI secolo ha sede il suddetto museo: al piano terreno e al piano primo si trova una sistemazione degli strumenti dei pescatori di maggiore valore.

Tra gli attrezzi di maggior rilevanza è presente la vecchia Gaeta Falkusa, replicata per rappresentare il patrimonio marittimo croato sulla mostra mondiale EXPO nell'anno 1998 tenutasi a Lisbona, in Portogallo.

Parte della collezione sono attrezzi della tradizione peschereccia, tra cui una specie di pertica con cui i pescatori battono la superficie dell'acqua per fare entrare nella rete i pesci e anche altri equipaggiamenti di pescatori che hanno grande importanza poiché sono testimonianza della lungimirante storia di pesca degli abitanti della città.

All'interno dell'edificio si racconta la storia del museo stesso, dall'inizio della pesca fino ad oggi. La collezione esistente mostra come l'attività della pesca abbia lasciato le sue tracce nella vita degli abitanti stessi.

Il Museo della pesca viene visitato da 3000 turisti ogni anno. Per una piccola città come Komiza, questo numero è veramente impressionante. Il Museo di Komiza è fonte d'ispirazione per numerosi artisti ed allo stesso tempo rappresenta una storia educativa della vita su quel territorio pelagico.

Grande parte dell'equipaggiamento dell'attività della pesca non è più in uso per lo sviluppo di essa ma rappresenta un'eredità dal valore inestimabile. Proprio per questo, il campionario di pesca è sistemato in una fortificazione che fu costruita dal reddito dei pescatori di Komiza nel tempo della dominazione veneta (risalente all'anno 1585).



Figura 53\_Sede del museo della pesca nella torre di Komiza



Figura 54\_La natura della penisola di Prilovo



## 2.9 ANALISI VIARIA

### 2.9.1 COME RAGGIUNGERE L'ISOLA DI VIS

L'isola di Vis si trova nell'arcipelago croato, circa all'altezza della città italiana di Ancona. Per raggiungere l'isola di Vis l'unica via è il mare, attraverso traghetti e catamarani delle compagnie "Jadrolinija" o "Kriljet": nel territorio insulare infatti non è presente alcun aeroporto.

Le partenze sono dalla città di Spalato oppure, meno frequenti, anche dall'Italia, da Ancona e Pescara. In genere da queste due città i traghetti notturni partono alla sera ed arrivano al mattino seguente nel porto di Vis.

Per quanto riguarda la Croazia, i traghetti partono da Spalato due volte al giorno e la durata del viaggio è di circa due ore e venti minuti. Dal ponte dell'imbarcazione, si possono ammirare le isole che si incontrano lungo il tragitto, come ad esempio le isole di Ciovo, Brac, Hvar e Solta, caratterizzate dalle loro calette nascoste e i magnifici fari illuminati. Il catamarano invece impiega un'ora circa ed è in genere utilizzato dai pendolari e da turisti che raggiungono l'isola a piedi.

Quando ci si avvicina all'isola con il traghetto della sera, la vista è meravigliosa: il faro di Host da il benvenuto ai visitatori e il monastero nella penisola di Prilovo si svela solo quando ormai il traghetto è entrato nella baia della cittadina, mostrando il suo caratteristico campanile e dando un senso di tranquillità e armonia a tutta la penisola. L'attracco è posto nel fulcro commerciale della città di Vis dove prendono spazio diverse attività di noleggio auto e imbarcazioni, attrazioni che presentano un notevole successo nell'isola.



Figura 56\_Il traghetto Jadrolinija

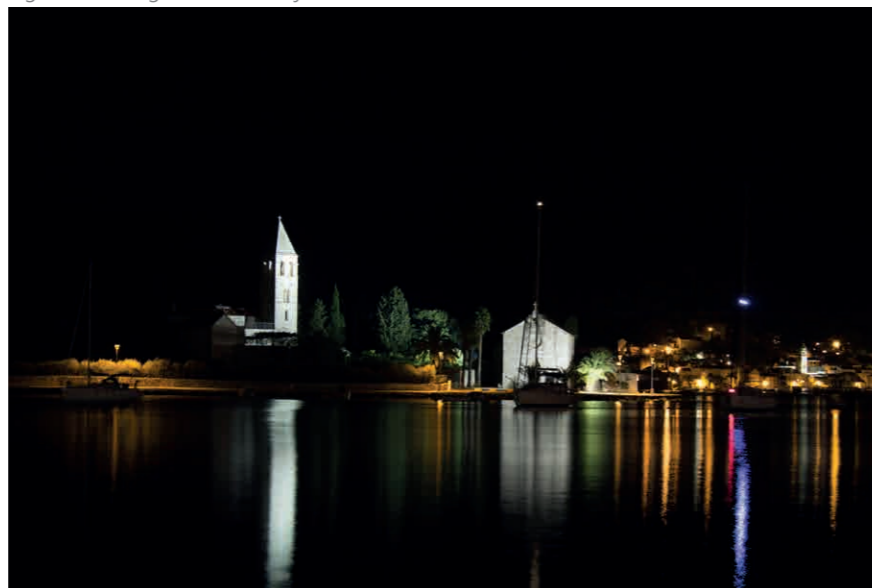


Figura 55\_La penisola di Prilovo al momento dell'arrivo del traghetto nell'isola di Vis

### 2.9.2 IL NUOVO ATTRACCO: PROGETTO IN CORSO

La città di Vis, data la conformazione riparata e nascosta all'interno della baia, fin dall'antichità accoglieva le navi che arrivavano all'isola: infatti la sua posizione strategica è stata sfruttata ampiamente anche per scopi militari. I traghetti ad oggi continuano ad attraccare nella città di Vis e la posizione del molo, centrale rispetto alle attività commerciali, non è ritenuta ideale sia per quanto riguarda la gestione del traffico sul lungo mare durante gli arrivi, sia per la sosta delle altre imbarcazioni, costrette a trovare posto altrove. Inoltre essendo il traghetto di dimensioni importanti, la sua permanenza nel porto durante la sera e notte, toglie la vista d'insieme della baia che arriva fino alla penisola di Prilovo con il suo magnifico monastero illuminato. Di conseguenza il paesaggio armonioso e naturale caratterizzante la penisola risulta essere macchiato dalla presenza di queste grandi imbarcazioni che tolgono a Vis una parte del suo fascino.

Per dare soluzione a questi inconvenienti una recente proposta dell'amministrazione comunale è quella di trasferire, almeno nel periodo estivo, l'attracco del traghetto e del catamarano nella piccola baia al di sotto della zona militare. Questa baia è situata a Nord rispetto alla penisola di Prilovo e risulta essere dislocata rispetto al fulcro della cittadina principale di Vis.

Con questo espediente il traffico e le manovre dei traghetti rimarrebbero esterne alla baia di Vis, non intaccandone la bellezza complessiva del lungo mare. In questo modo la penisola di Prilovo darebbe il benvenuto ai visitatori per poi dar spazio alla bellissima cortina di case tipiche che si affacciano lungo la costa, incorniciate da decine e decine di barche ancorate alla banchina. Durante l'inverno però l'attracco tornerebbe quello attuale, nei pressi del lungomare commerciale dell'isola, per favorire la vicinanza con il paese per i cittadini pendolari che si recano a Spalato quotidianamente per lavoro. La scelta di spostare l'attracco solo stagionalmente è dovuta al fatto che durante il periodo invernale l'isola risulta essere praticamente deserta, in quanto non c'è affluenza di turisti e Vis risulta essere popolata solo dagli abitanti del luogo.

L'idea di spostare l'attracco avrebbe una conseguenza altrettanto importante per l'isola: il fulcro cittadino insieme alle attività turistiche si svilupperebbero anche nella parte settentrionale della baia, attorno alla penisola di Prilovo.



Figura 57\_Rappresentazione grafica dello spostamento del porto di attracco per i traghetti



### 2.9.3 VIABILITÀ SULL'ISOLA

L'isola di Vis è principalmente montuosa e le città di Vis e Komiza, si sviluppano partendo dalla costa dove si trovano suggestive abitazioni a picco sul mare, per poi articolarsi nelle vie retrostanti che ripidamente raggiungono la sommità della collina.

Il mezzo più comodo e veloce per raggiungere i paesi è l'autobus. Tuttavia le strade sono ripide e strette quindi talvolta il percorso non è agevole. Per visitare appieno l'isola è quindi conveniente noleggiare bici o motorini.

I percorsi in bicicletta sono piuttosto faticosi in quanto non vi sono zone pianeggianti, ma le stradine tra i campi e il verde portano sempre a calette o angoli meravigliosi raggiungibili solo a piedi o, appunto, con la bicicletta. L'isola è molto secca in estate ma i campi coltivati di ulivi, agrumi e soprattutto vigneti non mancano mai e ricoprono l'isola tutto l'anno.

Agricoltori, contadini e pescatori sono sempre al lavoro e per strada si possono incontrare trattori, pastori con il proprio gregge oppure macchine che trainano carretti pieni d'uva durante il periodo della vendemmia nel mese di ottobre.

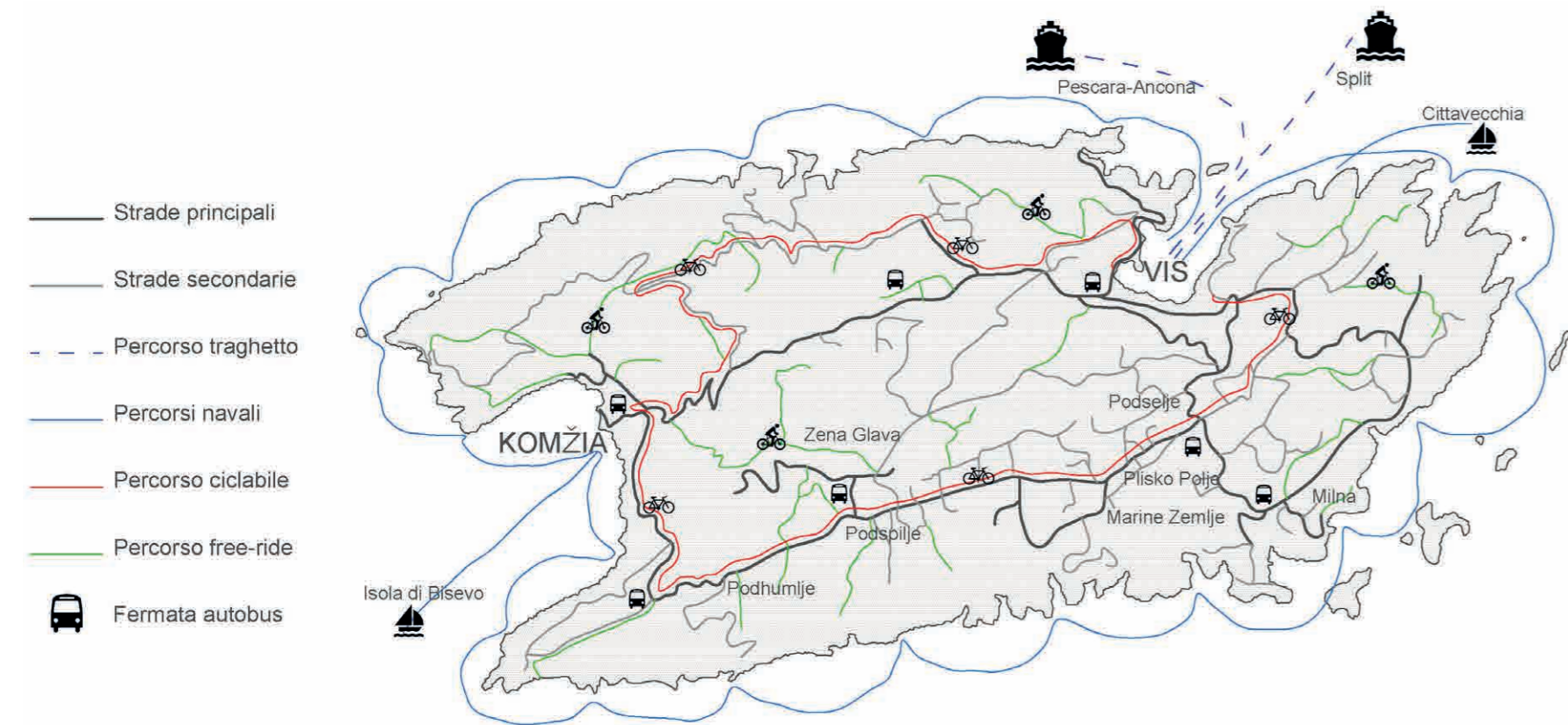


Figura 58\_Viabilità sull'isola: i principali percorsi









# CAPITOLO 3

## IL PROGETTO ARCHITETTONICO



3.1 Il Concept.....	75
3.1.1 Vivere L'Isola.....	75
3.1.2 Dalle Suggestioni del Sito al Progetto.....	76
3.2 L'Inserimento Urbanistico.....	78
3.3 La Grande Copertura.....	82
3.3.1 Riferimenti Progettuali.....	84
3.3.1.1 Louvre di Abu Dabhi: Jean Nouvel.....	84
3.3.1.2 Metropol Parasol: Jürgen Mayer.....	85
3.4 Setti e Copertura: La Sintesi.....	86
3.5 Principi Progettuali.....	88
3.6 Il Progetto.....	90
3.6.1 Il Disegno del Masterplan.....	90
3.6.2 La Scelta Funzionale.....	92
3.6.3 Spazio Aperto come Spazio Interno.....	94
3.6.4 Una Linea che Segue la Collina.....	96
3.6.5 Percorso Sensoriale.....	98
3.6.5.1 Mutamento Naturale dei Colori.....	104
3.7 I Materiali.....	106
3.7.1 I Colori.....	108

# 3.1

## IL CONCEPT

### 3.1.1 VIVERE L'ISOLA

Il viaggio educativo in Croazia ed in particolare la lunga permanenza a Vis, sono stati utili in quanto hanno permesso di entrare in stretto contatto con il luogo di progetto, conoscere la cultura locale e capirne le necessità. I dieci giorni trascorsi sull'isola si sono rivelati fondamentali per superare le impressioni che si hanno guardando video, foto e leggendo libri o articoli su internet e raggiungere la conoscenza adatta per una adeguata progettazione. Anche le dimensioni dell'area di progetto e di come essa si relaziona con il contesto sono state chiarite solo nel momento in cui si è visitata l'isola per la prima volta.

Seppure la Croazia sia molto vicino all'Italia, si è riscontrato un pensiero e un modus vivendi differente dal nostro, questo forse dettato più dal luogo che dal paese stesso. Vivere un'isola così piccola e non raggiungibile dalla terra ferma in tempi brevi, porta a respirare la natura del luogo e di conseguenza a cercare di conservarla nella sua purezza e naturalezza. Per questo motivo seppure, a causa della storia, le architetture e le consuetudini locali sono un intreccio di culture che si sono susseguite nel corso dei secoli, l'equilibrio raggiunto dagli abitanti di Vis con la stessa isola sembra un perfetto ecosistema, tanto che ogni modifica risulta difficile da immaginare.

L'identità del luogo ha quindi fortemente influenzato il processo di genesi del progetto, a partire dalle idee cardine del disegno in generale, fino alla definizione dei dettagli architettonici e tecnologici.



Figura 59\_Natura incontaminata rappresentativa di Vis



### 3.1.2 DALLE SUGGERZIONI DEL SITO AL PROGETTO

Durante i mesi precedenti al viaggio, si è svolto un attento studio di preparazione al luogo, cosicché una volta in loco, si potessero più prontamente cogliere i dettagli e i dati non comprensibili tramite i mezzi multimediali. Molte sono state le informazioni risultate più chiare dopo il primo sopralluogo all'area di interesse e molte le necessità progettuali colte vivendo sull'isola.

Le impressioni scaturite durante il soggiorno a Vis hanno quindi permesso di ridimensionare e apportare modifiche al disegno proposto nelle tavole di concorso per il Premio Compasso Volante.

In particolare sono due le suggestioni che hanno guidato e che sono diventate idee cardine del progetto. La prima riguarda la localizzazione del sito in una piccola penisola, un fazzoletto di terreno bagnato dal mare su due fronti e confinante con un'architettura storica culturale, ossia il monastero simbolo di Vis. Il luogo ha una forte identità propria, che nel complesso risulta già ben risolta e dove l'inserimento di un ulteriore corpo rischia di rompere l'equilibrio stabilitosi. L'altro spunto importante è giunto da un sasso facilmente reperibile sulla spiaggia adiacente al sito di progetto stesso. Questa pietra è caratterizzata da una molteplicità di fori che la rendono porosa, eterea e leggera. Proprio da questa vaporosità nasce l'idea di creare un disegno che risulti il più possibile permeabile sia per non intaccare il sito di progetto con una eccessiva massività, sia per permettere di intravedere oltre all'edificio, creando scorci suggestivi e non coprendo la bellezza della natura che caratterizza il luogo.

Si tratta infatti di una località estremamente evocativa, che lascia immaginare un passato importante ricco di storia e cultura e dove il principale fascino rimane il contesto paesaggistico in cui l'area è immersa.

Viene così elaborato il concept dal quale si è sviluppato l'intero progetto Velika, parola in lingua croata la cui traduzione in italiano significa "grande, immenso". Questo aggettivo vuole evidenziare sia l'importante presenza della natura della quale si colgono immediatamente l'immensità e la forza, ma al contempo tende a richiamare l'imponente copertura verde che sormonta tutto l'edificato e che diventa così simbolo del progetto stesso.

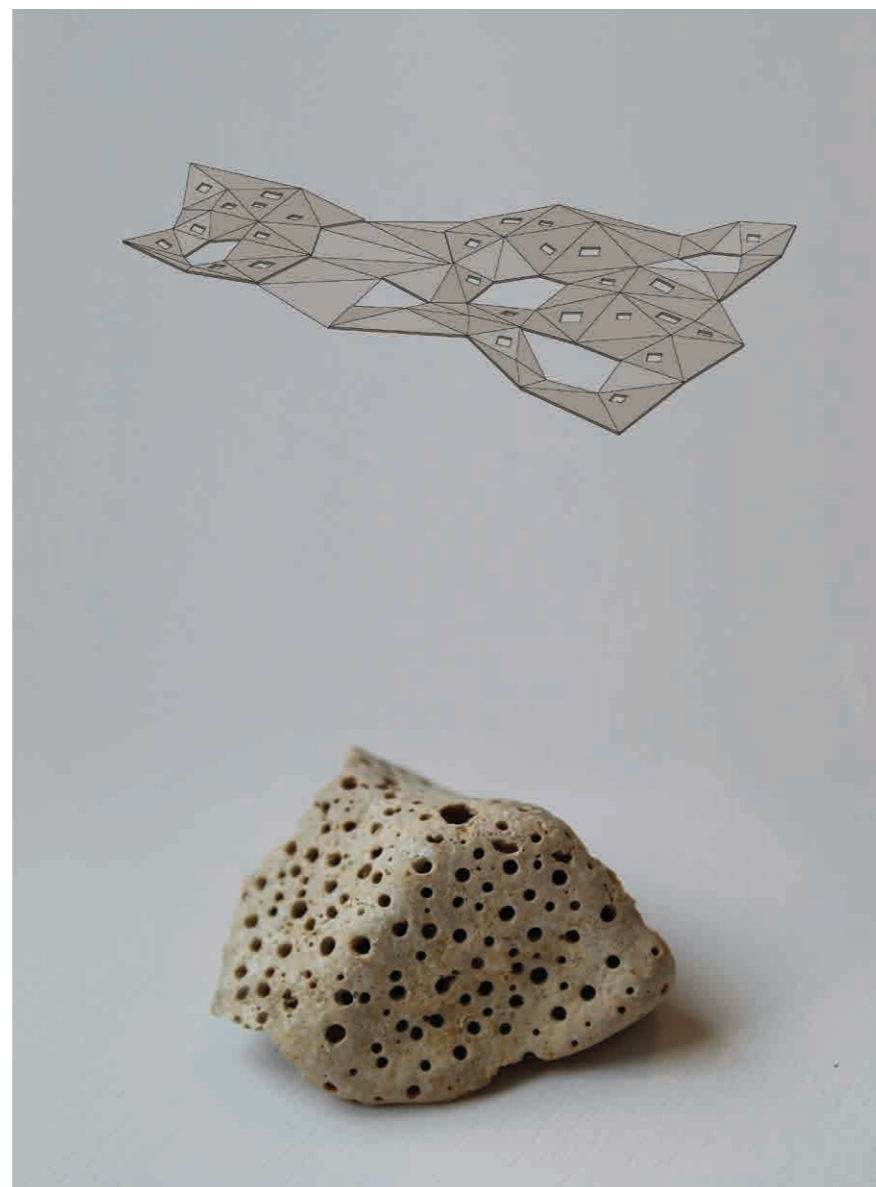


Figura 60\_Pietra porosa trovata sulla spiaggia a Prilovo in rapporto con la copertura





# 3.2

## L'INSERIMENTO URBANISTICO

Nel processo preliminare di progetto si è posta l'attenzione principalmente sulla volontà di preservare l'anima incontaminata e a misura d'uomo dell'area di progetto.

Un primo accorgimento è stato quello di rendere la strada che percorre l'intera penisola di Prilovo pedonale, lasciando l'unico accesso carrabile a Nord, includendo la strada nel progetto porgendo attenzione a pensare ad un disegno di traffic calming per rendere il passaggio ben inserito in esso.

Ulteriore attenzione si è posta per rendere il progetto il meno invasivo possibile a livello paesaggistico: si è dunque spostata parte dell'edificato nella parte Nord dell'area, cercando di lasciare il campo preesistente non costruito, ricreando un'area naturale con un campo di lavanda. Questo permette di poter trapiantare ancora da una sponda all'altra della penisola, lasciando quella sensazione di inserimento nella natura e contatto con il mare a 360°.

Il centro si configurerà come una grande area "open air" coperta, in continuo dialogo con la natura circostante, così gli abitanti locali e i turisti potranno fruire dello spazio con la stessa libertà attuale grazie alla forte permeabilità che è stata mantenuta. La volontà di non creare dei volumi completamente chiusi, massivi e introspettivi, ma un grande spazio aperto e continuo è un messaggio al visitatore che lo induce a mantenere il più possibile il contatto con la natura, vero punto di forza del luogo.

Da questi concetti, nasce l'inserimento urbanistico del progetto.

Come possiamo notare nel planivolumetrico, mostrato nella figura nella pagina accanto, Velika si inserisce sulla punta della penisola di Prilovo, lasciando libero più di metà del prato preesistente e si pone a cavallo della strada che parte dalla città di Vis e prosegue verso Est.

Si nota anche come il centro dove è situato il porto di Vis e il conglomerato di abitazioni sia concentrato a qualche chilometro di distanza dalla penisola.

Questo fa sì che il progetto debba certamente diventare un polo attrattivo, dando motivazione al visitatore di spingersi fino a raggiungere il sito, ma sempre mantenendo una linea rispettosa nei confronti della natura che la circonda che rimane appunto lontana dal costruito vero e proprio.

Di seguito si riportano sia il planivolumetrico dove si identifica l'inserimento di Velika nel contesto, sia delle linee guida nate dai vincoli imposti preliminarmente dalle indagini urbanistiche, servite come punti principali da rispettare in ogni scelta del processo architettonico.



Figura 61\_Vista del mare aperto dalla spiaggia di Vis



Figura 62\_Planivolumetrico rappresentativo L'inserimento urbanistico



### RELAZIONE CON IL MONASTERO E LA CITTÀ GRECA

Il progetto instaura una stretta relazione con i due luoghi di rilevante interesse culturale già presenti nella zona: il monastero che svetta con il suo campanile sulla punta della penisola di Prilovo e la città greca che domina dall'alto della collina soprastante.

Il monastero è un edificio molto rappresentativo e di una indiscutibile bellezza, per questo viene inquadrato in diverse viste dal progetto e viene lasciato isolato per non intaccare la sua unicità con il nuovo edificato.

Per quanto riguarda la città greca, essa non è molto valorizzata attualmente: non è segnalata e non è facilmente raggiungibile. Si è dunque disegnato un percorso che la colleghi direttamente con il progetto e la renda più accessibile.

L'interazione tra esistente e costruito crea un filo conduttore tra i diversi periodi storici e aiuta a sottolineare la presenza di edifici e monumenti rilevanti dal punto di vista culturale, che ora non sono segnalati a dovere.

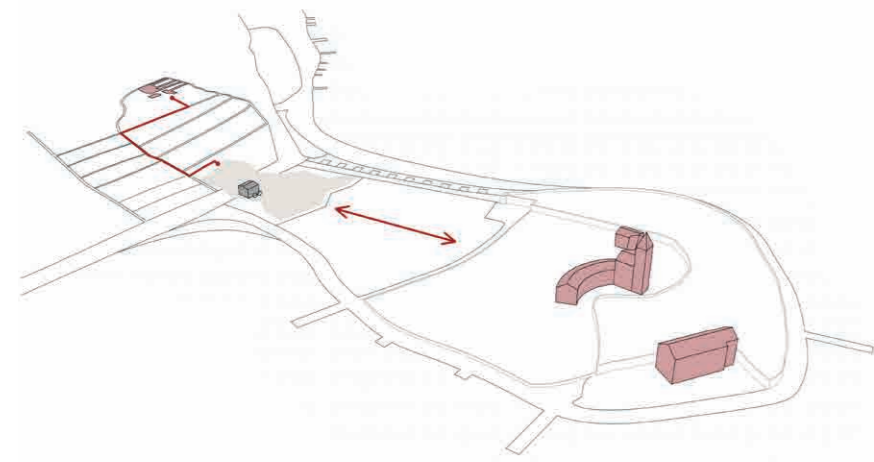


Figura 63\_Relazione con il monastero e la città greca

### VINCOLI PER L'EDIFICATO

La stretta vicinanza al mare vincola molto il progetto soprattutto per l'impossibilità di porre fondazioni profonde. Per questo motivo il progetto si svilupperà su un unico piano, rimanendo il più leggero possibile, senza scavare in profondità per le fondazioni o per gli impianti.

Inoltre la volontà di intaccare il meno possibile la naturalezza e la bellezza del luogo, lasciando il monastero in rilievo, ha portato ad edificare nella zona più a Nord dell'area, ricreando un grande campo verde tra il monastero e l'edificato, permettendo così la vista del mare aperto e della baia interna di Vis da costa a costa della penisola di Prilovo.

Il progetto infine si trova a cavallo della strada carrabile che ha creato un ulteriore vincolo per la progettazione, dal momento in cui si è dovuto lasciare attivo il passaggio di auto e camion per non bloccare la circolazione dell'isola. Il progetto in corrispondenza della strada deve mantenere una determinata altezza e non può avere pilastri di sostegno per la copertura che intralcerrebbero la circolazione.

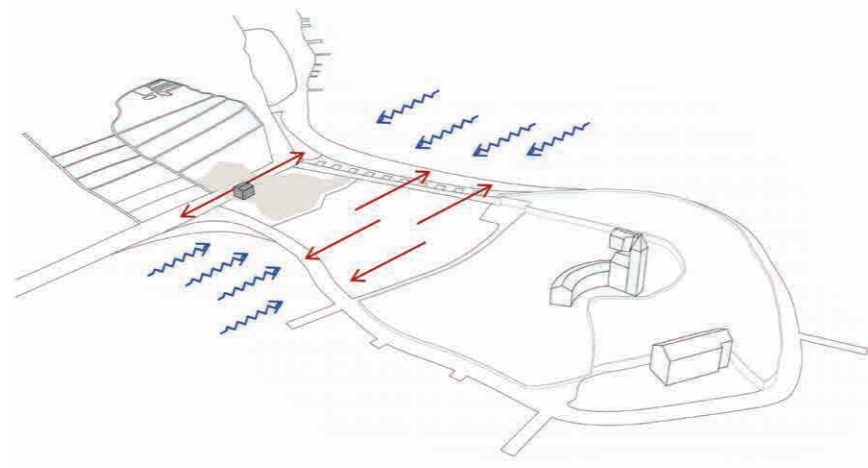


Figura 64\_Vincoli per l'edificato

### DEMOLIZIONE E RIQUALIFICAZIONE DI EDIFICI ESISTENTI

Nell'area di progetto sono presenti degli edificati fatiscenti o non utilizzati: una discoteca, un edificio con funzione di bar e un piccolo edificio in muratura.

Per questo motivo si è deciso di demolire sia la discoteca chiusa ormai da molto tempo posta nella zona Nord, sia il bar con annessi degli spogliatoi posti su tutta la costa, attualmente in uso, ma in stato di degrado.

La funzione di bar e spogliatoi verrà reintegrata nel nuovo edificato dato che la spiaggia è utilizzata da turisti e abitanti del luogo e risulta l'unica area sabbiosa utilizzata ora nella città di Vis.

Infine, si è deciso di mantenere e riqualificare, dato il buono stato di conservazione e la tipica conformità materica dell'edificio in pietra, il piccolo edificio presente ora utilizzato come deposito posto direttamente sulla strada.

Proprio questo edificio diverrà caso studio per un approfondimento, analizzato più avanti, per una scocca interna in legno antisismica.

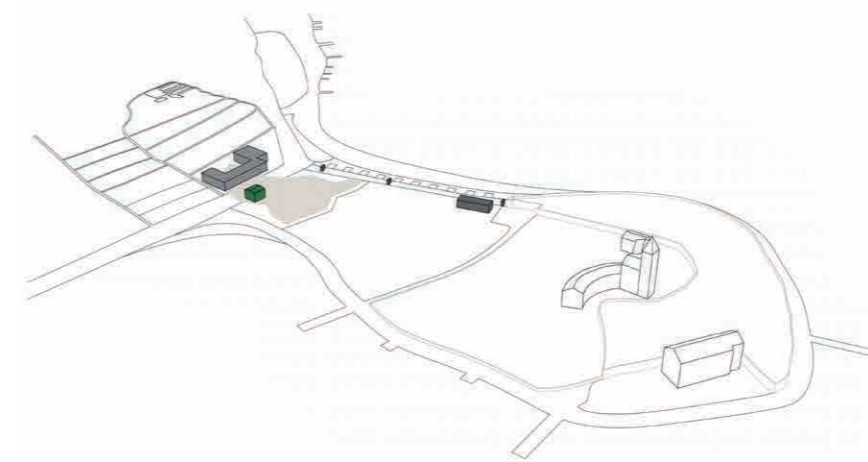


Figura 65\_Demolizione e riqualificazione di edifici esistenti

### IMPIANTO DELL'EDIFICATO

Per posizionare l'edificio e tracciare il perimetro degli edifici e della copertura, si è seguita una griglia data da due direttrici principali: la prima scorre longitudinalmente all'area e collega la città greca a Nord con il monastero a Sud, mentre la seconda si inserisce in modo perpendicolare, mantenendo l'assetto della strada e seguendo quindi anche l'edificio esistente in pietra e riqualificato.

Questo impianto ha permesso di lavorare con degli assi di simmetria e di creare sia dei moduli sia una griglia in modo tale da rendere il costruito il più possibile armonico.

Si è però prestata attenzione a non rendere il progetto troppo schematico e scontato, creando così delle inclinate che permettessero scorci e permeabilità al progetto. Tale permeabilità è stata resa possibile anche grazie al sistema costruttivo scelto: una copertura sostenuta da setti anche permeabili, che non creano un muro, ma un insieme di percorsi non impostati, ma lasciati aperti, che possono essere scoperti dal visitatore.

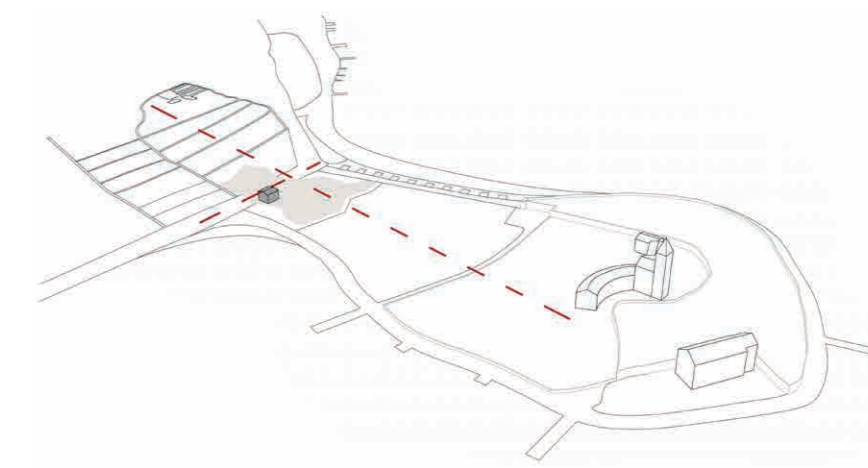


Figura 66\_Impianto dell'edificato



## 3.3 LA GRANDE COPERTURA

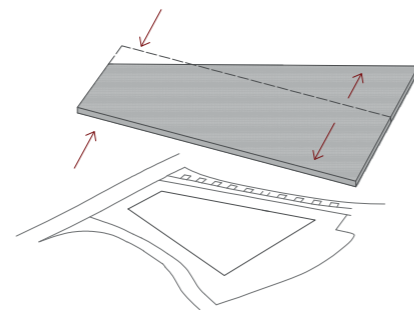
Il concepimento della grande copertura, incipit del nostro progetto, nasce dalle immediate suggestioni scaturite dalla visita del sito Prilovo e dalle considerazioni di natura climatica relative al territorio considerato, ossia l'isola di Vis appartenente ad un clima marittimo mediterraneo.

In climi caldi e marini è bene considerare l'importanza dell'ombreggiamento degli spazi aperti, che rendono sicuramente più piacevole la fruizione degli ambienti "outdoor" per lo meno nelle ore più soleggiate.

Oltre al miglioramento delle condizioni di comfort esterno, la creazione di questo guscio filtrante, caratterizzato da un sistema di forature distribuite nell'estensione della copertura e sostenuto da setti diffusi sporadicamente, permette un gioco sapiente di luci ed ombre che vuole conservare l'effetto chiaroscurale e creare finestre che inquadrano il paesaggio circostante.

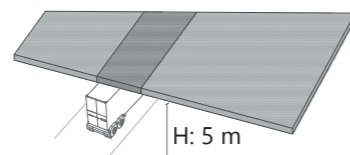
Il processo evolutivo che ha portato a stabilire la forma finale della copertura parte da considerazioni sia fisiche che climatiche. Si è data grande importanza all'illuminotecnica, allo studio della migliore esposizione solare, così da generare zone ombreggiate e luminose dove necessario.

Di seguito si riportano le diverse fasi dove vengono esplicitate le motivazioni o i vincoli per le quali la copertura è stata modificata fino al raggiungimento della forma attuale. Si può notare come si sia pensato, oltre che ad una forma piacevole dal punto di vista puramente architettonico, ad una morfologia che risultasse la più consona per rispettare le necessità progettuali.



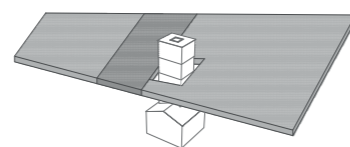
### DEFINIZIONE DELLA PRIMA FORMA

La forma trapezoidale deriva prettamente dalla forma dell'area in cui è inserito il progetto. Il sito è infatti delimitato da due strade lateralmente, inclinate rispetto alla strada principale, che conferiscono una forma ristretta superiormente e più allargata inferiormente.



### VINCOLO DI ALTEZZA STRADALE

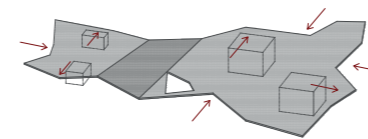
L'edificio si trova a cavallo di una strada carrabile aperta al traffico. La copertura deve quindi coprire la larghezza della carreggiata, avendo come vincolo sia l'altezza minima di 5 metri, sia l'impossibilità di avere pilastri di sostegno che intralcino il passaggio.



### INSERIMENTO DEL FARO

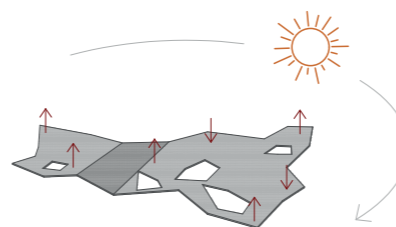
Riqualficando un edificio già esistente nell'area, si inserisce all'interno del progetto un faro panoramico che si innalza sulla copertura. Per poter svettare sul circondario, l'edificio deve alzarsi oltre essa. Questo prevede l'inserimento di un primo foro.

Figura 67\_Vincoli per la definizione della forma della copertura



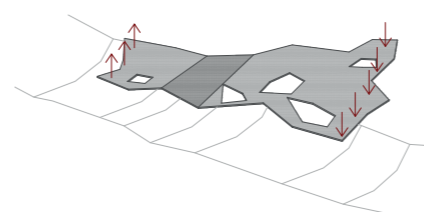
### PRIME RIENTRANZE PERIMETRALI

Si inseriscono gli edifici all'interno dell'area progettuale e si stabilisce dove sarà necessario stringersi o espandersi sul perimetro della copertura: dove è presente un edificio, la copertura si amplierà maggiormente rispetto a dove è presente un ingresso all'area.



### VARIAZIONI IN FUNZIONE DEL SOLE

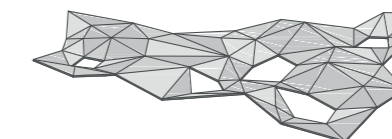
Una volta posizionati gli edifici e stabilito il perimetro esterno, si alzano alcuni punti della copertura e se ne abbassano degli altri a seconda della necessità di schermare la luce o garantire apporti solari. Inoltre vengono inseriti dei patii nelle zone buie per far filtrare la luce naturale.



### MORFOLOGIA DEL TERRENO

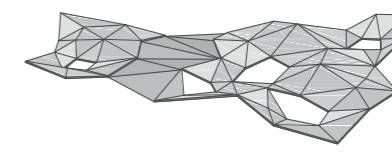
La copertura viene abbassata verso Sud e alzata verso Nord per seguire la morfologia naturale del terreno su cui poggia l'edificio e mimetizzarsi il più possibile con esso. Questa inclinazione risulta appropriata a livello energetico in quanto permette più luce a Nord e meno a Sud.

Figura 68\_Prime fasi di definizione della copertura



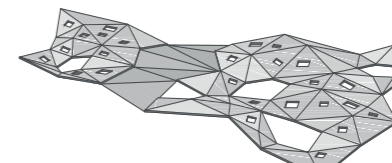
### FORMAZIONE DEI TRIANGOLI

I vincoli descritti e la necessità di avere punti ad altezze differenti, porta ad utilizzare una forma geometrica che lasci la possibilità di modellare una copertura sfaccettata, mantenendo le superfici piane: il triangolo. Questo permette anche di utilizzare il materiale Cross-Lam.



### INTRODUZIONE DEL FILTRANTE

Come detto precedentemente, la copertura copre anche una strada carrabile. Nasce la necessità di utilizzare un materiale leggero che permetta il passaggio della luce senza abbagliare: si introduce così un materiale tessile dalla maglia piuttosto larga.



### INSERIMENTO DEI LUCERNARI

Per ultimare la copertura si studia l'illuminamento con dei software appropriati. Si inseriscono così dei fori nei punti adeguati per sfruttare la luce naturale zenitale. Essi verranno chiusi in corrispondenza degli edifici con dei cupolini tipo Velux e lasciati aperti nelle zone outdoor.

Figura 69\_Raggiungimento della forma finale della copertura



### 3.3.1 RIFERIMENTI PROGETTUALI

Per poter concepire al meglio il concetto di una grande copertura come elemento distintivo e costitutivo del progetto si è fatto riferimento ad una libreria di prototipi dal quale poter prendere spunto durante l'ideazione del progetto.

Si sono riscontrate diverse architetture che potevano essere paragonate al concetto di copertura come architettura. Di seguito riportiamo i due esempi che più hanno ispirato durante il concepimento.

#### 3.3.1.1 LOUVRE DI ABU DABHI: JEAN NOUVEL

Il progetto è concepito come il distacco del museo parigino per il Louvre di Abu Dhabi dal celebre Jean Nouvel. L'obiettivo ultimo prefissato dall'archistar francese è quello di permettere al visitatore la scoperta autonoma di come l'arte si sia sviluppata in diverse culture e civiltà del mondo superando la rigida disposizione "per stanze" dei musei tradizionali.

Per raggiungere lo scopo viene dunque ideata un'ampia ma bassa cupola di 180m di diametro che funge da copertura all'intero complesso, riportando in una nuova costruzione la calotta sferica che risulta uno dei maggiori simboli dell'architettura araba.

Si tratta di una copertura traslucida perforata, che consente la penetrazione di una magica luce diffusa grazie alle molteplici piccole aperture che concedono il passaggio della luce naturale, riuscendo al tempo stesso a conservare un clima fresco all'interno.

Il museo diverrà così la destinazione finale di una "promenade" urbana, un giardino sulla costa e un fresco rifugio dal sole.

La texture geometrica della cupola è ispirata all'intreccio delle foglie di palma, tradizionalmente usate come materiale della costruzione dei tetti, che danno l'effetto di una suggestiva pioggia di luce; il complesso pattern della copertura è il risultato dello stesso disegno geometrico ripetuto a diverse scale ed angolazioni in dieci differenti strati, cinque esterni e cinque interni. Il rivestimento esterno della cupola è composto da cinque strati di acciaio inossidabile e alluminio forato da aperture di diverse forme e dimensioni.

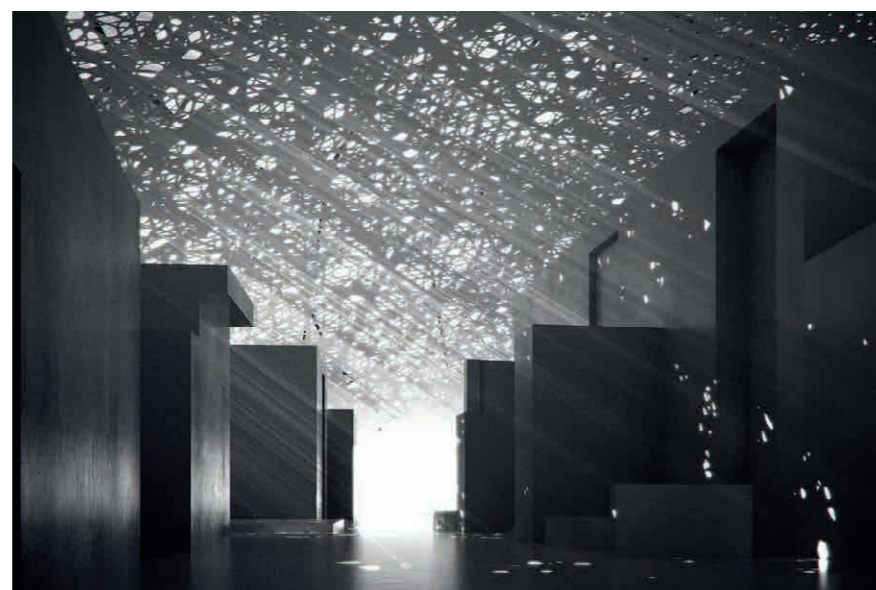
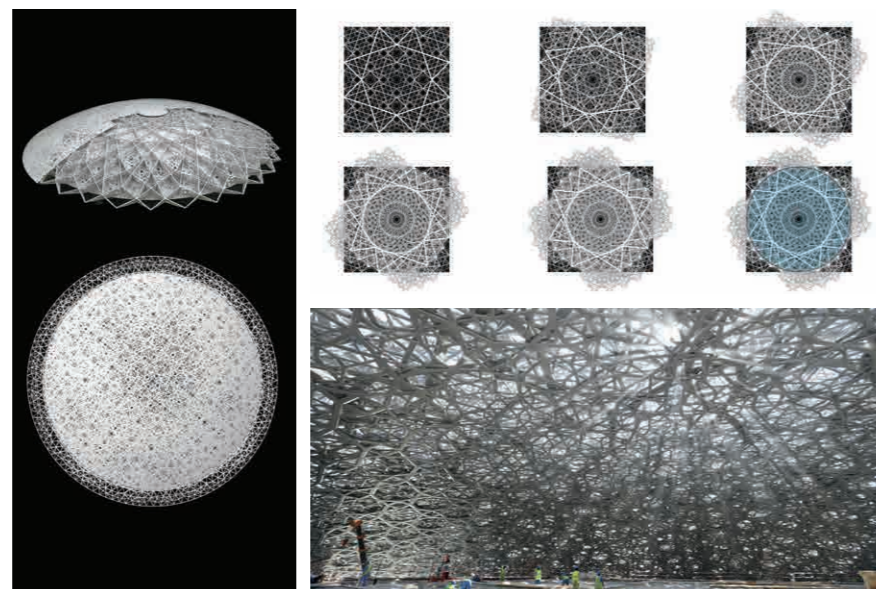


Figura 70\_Giochi di luce e genesi del pattern della cupola del Louvre di Abu Dhabi

### 3.3.1.2 METROPOL PARASOL: JÜRGEN MAYER

Alcuni la conoscono come la maggiore struttura di legno incollato al mondo, altri la ricordano come una delle attrazioni turistiche del loro viaggio in Andalusia, nel sud della Spagna.

Il Metropol Parasol di Siviglia è l'avveniristica passerella panoramica, che permette di osservare dall'alto il centro città. Nasce da un concorso internazionale vinto dal tedesco J. Mayer H., lanciato per ospitare alcuni resti archeologici ritrovati nel luogo. Si sviluppa su Plaza de la Encarnacion, uno spazio straordinario circondato da un denso tessuto urbano medioevale, destinato a diventare il nuovo, effervescente e sfavillante fulcro urbano della città.

"Da un punto di vista funzionale, la nostra priorità è stata quella di realizzare un riparo che schermasse dal sole dei mesi estivi e consentisse quindi ai cittadini di vivere la piazza. Sono sempre stato affascinato dalla scultura e dalla possibilità di sperimentarla a scale diverse, fino a quella urbana. Per me, il concetto ed il significato di scala è molto importante e spesso all'interno dello stesso intervento lavoriamo a scale diverse. A Siviglia abbiamo esplorato il contesto e trovato vari elementi di ispirazione nella storia della città. Il progetto diviene quindi una lente attraverso cui, con spirito nuovo, abbiamo riletto il contesto. La progettazione ha poi proseguito in modo creativo ed intuitivo; non esiste una vera e propria strategia". Come si intuisce facilmente dalle parole dall'architetto, l'idea è quella di realizzare un elemento di arredo urbano multifunzionale in grado di offrire un ampio spettro di attrazioni ai residenti originando un vortice prima all'interno dell'area metropolitana e in seguito, da suscitare interesse nei turisti provenienti da tutta Europa, diventando un progetto iconico a conferma del ruolo della città di Siviglia quale uno dei più importanti centri culturali della Spagna.

Questo progetto è servito come fonte d'ispirazione oltre che per l'idea di una grande copertura che copre uno spazio pubblico, anche per concepire il legno come un materiale duttile capace di prendere svariate forme e creare architetture dinamiche e sorprendenti. La scelta del materiale legno a primo impatto, infatti, è risultata molto vincolante a livello architettonico, ma grazie allo studio di progetti come la Metropol Parasol si è potuto prendere coscienza della materia prima e delle sue capacità di adattarsi, trasformando il vincolo materico in potenzialità.



Figura 71\_Progetto architettonico Metropol Parasol a Siviglia



# 3.4

## SETTI E COPERTURA: LA SINTESI

Osservando la costruzione nella sua interezza, una volta arrivati al compimento dell'iter progettuale, si è notato come sia immediato cogliere l'essenza costruttiva dell'intero creato. Sintetizzando il progetto si possono infatti individuare due elementi, le due linee guida che sono state seguite dal principio delle fasi di disegno, ossia setti e copertura.

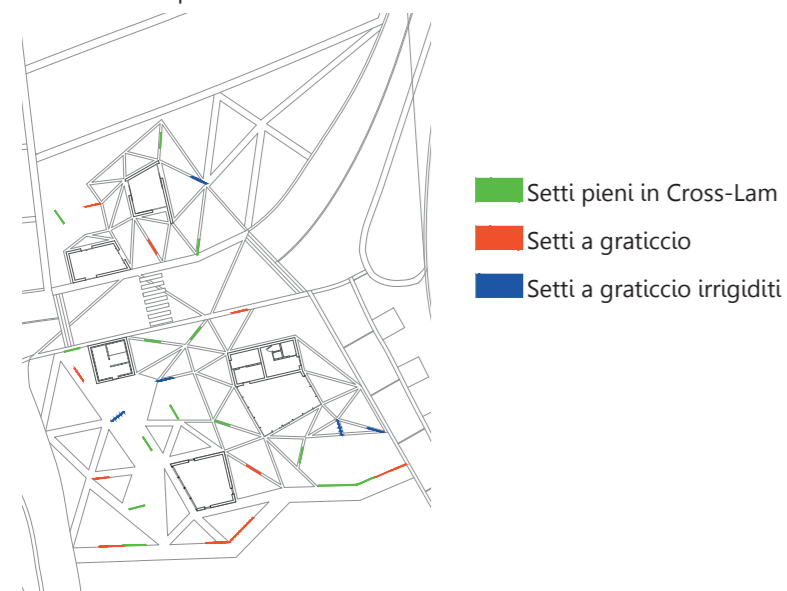


Figura 72\_Sezione orizzontale che mostra la disposizione dei setti

Bisogna sottolineare inoltre che i setti inseriti nel progetto sono sostanzialmente di due tipologie: setti pieni in Cross-Lam, setti costituiti da una maglia a graticcio in legno massiccio, simili al concetto del "Mengoshi". Questi ultimi tuttavia si presentano in due differenti modi: alcuni infatti presentano degli irrigidimenti, utili per motivi strutturali.

Anche la disposizione dei setti proviene da un lungo studio strutturale oltre che architettonico: sono infatti posizioni in modo sporadico, ma non casuale. Si è posta attenzione prima di tutto a rispettare la perpendicolarità tra di essi, ponendoli il meno possibile paralleli, per aiutare la stabilità sismica. Inoltre sono stati collocati il più possibile in corrispondenza degli incroci delle falde della copertura per garantire la prestazione strutturale maggiore.

Altro punto importante riguarda l'alternanza tra setti pieni e setti a graticcio che permettono una maggiore permeabilità visiva all'interno del progetto; questa disposizione è dettata da una scelta sia architettonica che strutturale, dal momento in cui i setti a graticcio hanno una rigidità strutturale inferiore rispetto ai setti pieni e quindi devono essere posizioni in zone non critiche per il sostegno della copertura come sbalzi o all'incastro tra falde molto grandi e pesanti.

Ultimo vincolo, ma non meno importante, per la disposizione dei setti di sostegno, è stata la giustapposizione dal punto di vista architettonico. Nonostante la volontà fosse quella di creare degli scorci visivi e non delle visuali a campo aperto, i setti dovevano garantire il passaggio pedonale in tutta l'area sottostante alla copertura senza lasciare piccoli spazi tra edifici che potessero risultare come angoli non risolti. Tuttavia alcune inquadrature sia interne al progetto che esterne sul paesaggio, dovevano essere mantenute e per cui anche in questo caso si sono creati ulteriori vincoli progettuali per la distribuzione dei setti. Si ricorda inoltre che come parti portanti per la copertura, si sono utilizzate anche le pareti in Cross-Lam degli edifici che sostenendo grandi aree della copertura, sostituiscono il ruolo dei setti.

Le immagini che seguono possono mostrare come i setti rivestano il ruolo fondamentale per il sostegno della grande copertura sfaccettata in Cross-Lam, diventando così le parti strutturali che in questo progetto vanno a sostituire i due elementi compositivi fondamentali di pilastro e trave, diventando segno distintivo dell'edificio.

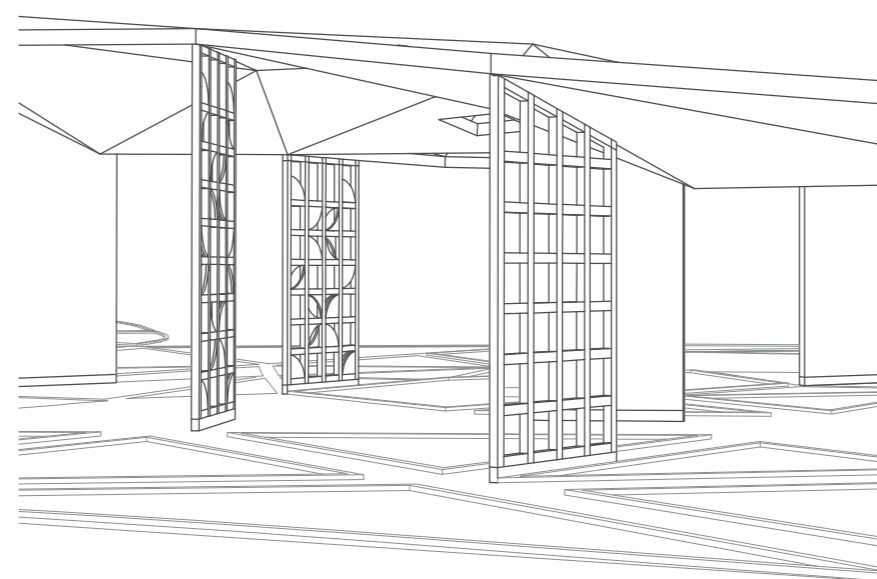
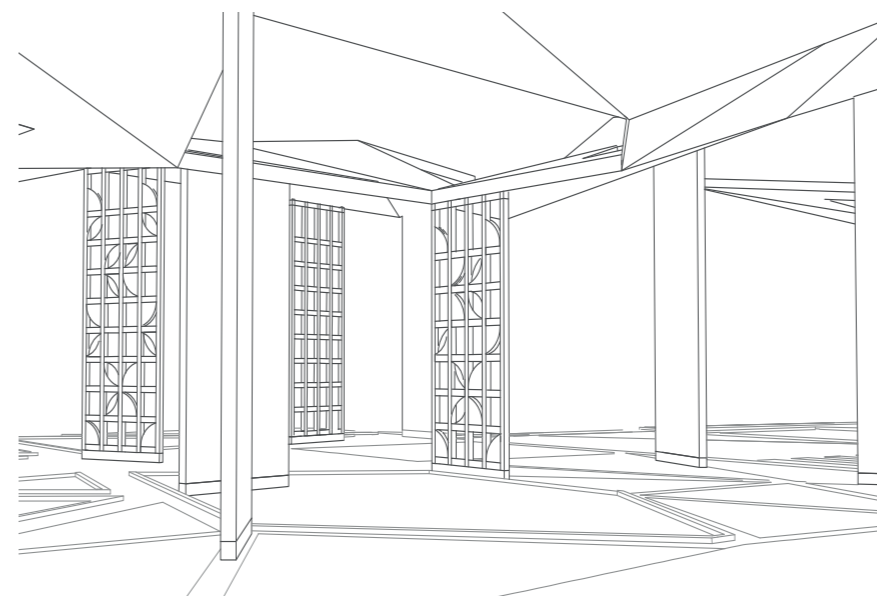


Figura 73\_Schema strutturale degli elementi di setti e copertura

Come detto in precedenza anche il raggiungimento della forma ottimale della copertura è stato un processo dettato dai diversi vincoli progettuali incontrati. Passiamo ora a identificare le diverse parti del guscio filtrante che la caratterizzano.

Bisogna sottolineare che oltre all'introduzione di patii, fori e cupolini zenitali, è stato inserito un ulteriore materiale rispetto al Cross-Lam di cui è costituita la copertura. Infatti si è presentata la necessità di includere una strada carrabile all'interno del progetto. La distanza da coprire senza poter posizionare alcun setto è dunque aumentata. Questo problema ha portato all'introduzione di un nuovo materiale più leggero, ossia un tessuto filtrante, da posizionare al di sopra della strada carrabile. L'elemento tessile microforato permette il passaggio della luce, dell'acqua e soprattutto, data la poca massività, consente di non avere appoggi per tutta la luce al di sopra della strada.

Di seguito sottolineeremo la quantità di superficie forata complessivamente, suddividendo tra superficie di forature vuote, forature coperte dai cupolini, superfici in Cross-Lam e superfici in filtrante tessile.

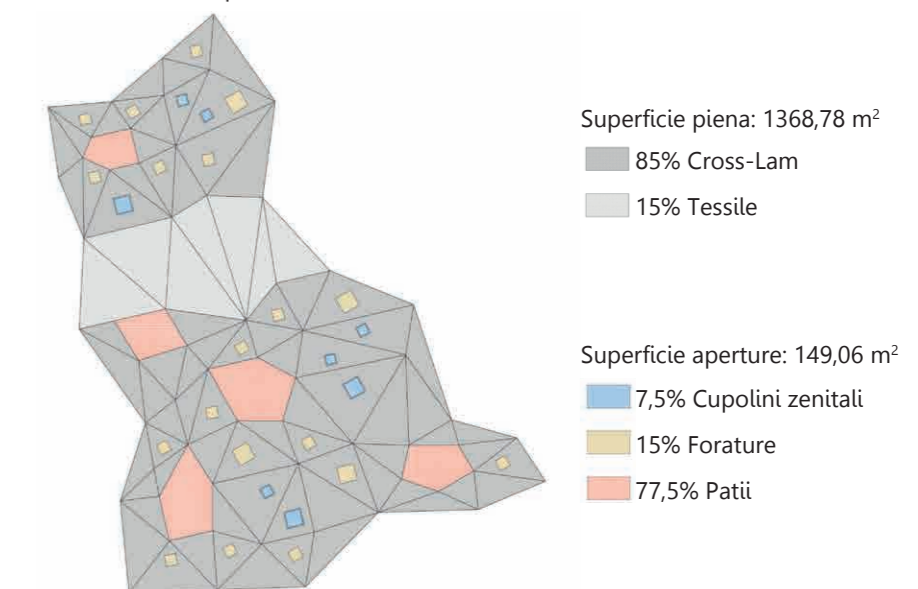


Figura 74\_Schema esplicativo delle parti rappresentative della copertura



# 3.5

## PRINCIPI PROGETTUALI

I primi schizzi e le prime idee nate dalle analisi preliminari all'area sono state mantenute come linee guida durante tutta la fase di progettazione architettonica.

L'idea di una grande copertura che si estendesse a sormontare tutto il progetto, creando un susseguirsi di spazi esterni ed interni è stata seguita fin dalle fasi di avviamento, mentre i principi principali che non sono stati abbandonati lungo il processo ideativo sono diventati chiari subito dopo il primo sopralluogo.

Concretamente è stato il luogo stesso a suggerire quale fosse il progetto adatto per Prilovo. L'ispirazione bucolica che rilascia l'isola è servita a ideare mantenendo sempre una linea rispettosa nei confronti della natura, cercando di valorizzarla.

Così piuttosto che imporsi con un edificio che faccia parlare solo di sé, senza lasciare spazio alla bellezza che lo circonda, si è scelto di inserirsi con un progetto permeabile alla vista, leggero e che si adattasse alla conformità della collina sulla quale si adagia.

Di seguito si riportano degli schemi che spiegano come il progetto cerchi di sfruttare al meglio le potenzialità del luogo: il sole è stato studiato e calibrato per filtrare nel progetto laddove ce ne fosse il bisogno, creando giochi di luci ed ombre che modellano il disegno architettonico; l'attenzione a reinserire prati e vasche di erbe aromatiche all'interno della piazza al di sotto della copertura e il verde inserito sulla copertura stessa; per ultimo la grande attenzione al mare, vero protagonista della penisola di Prilovo, elemento che deve rimanere punto di forza e bellezza.

### PERCORSO SOLARE DELL'AREA DI PROGETTO

Durante la fase di progettazione è stato preso in considerazione il percorso solare al fine di organizzare gli spazi interni ed esterni, le aperture vetrate ed i percorsi in funzione della luce e creare così un comfort interno ed esterno con il minor ausilio possibile di impianti aggiuntivi.

Analogamente la sfaccettatura del tetto e l'inserimento delle aperture zenitali sono state studiate per non creare aree aventi un carico eccessivo di illuminazione e surriscaldamento, ma poter aiutare a permettere il passaggio della luce naturale laddove necessario e schermare al bisogno senza aggiunta di ulteriori frangisole che avrebbero cambiato notevolmente il volto architettonico del progetto.

Nei grandi patii, creati per evitare il formarsi di zone molto cupe, in cui al calore è permesso di filtrare, sono state inserite schermature naturali mediante vegetazione alta a foglia grande e caduca. Questa tipologia di schermatura è molto utile soprattutto per la stagionalità degli alberi, che permettono ombra d'estate e passaggio di luce nelle stagioni invernali.

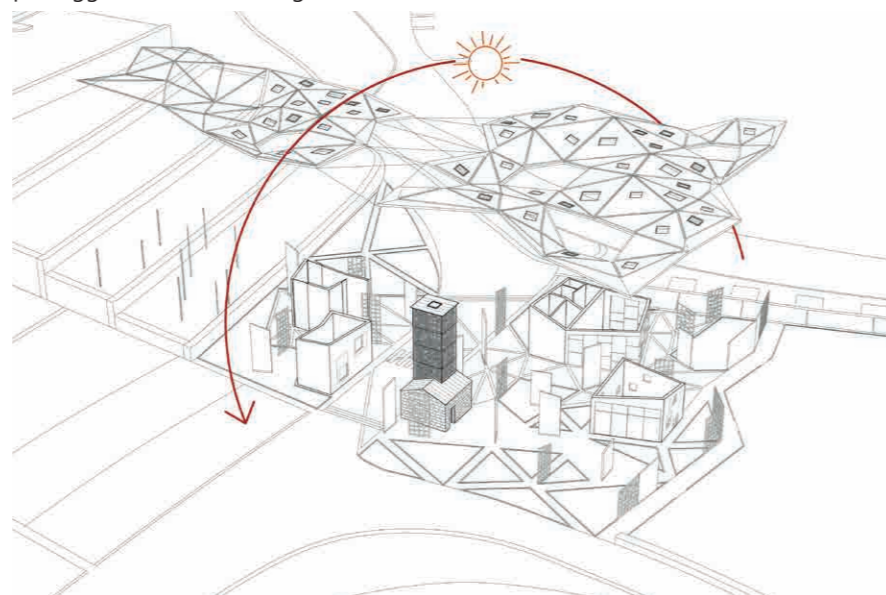


Figura 75\_Schema del percorso solare

### AREE VERDI MANTENUTE ALL'INTERNO DEL PROGETTO

Andando ad intervenire in una zona così delicata dal punto di vista paesaggistico, è stato ritenuto doveroso restituire alcuni spazi verdi sottratti alle preesistenze all'interno del costruito e creare una grande campo di lavanda tra il monastero posto a Sud e l'edificio, che diventasse simbolo rappresentativo del luogo e del progetto stesso.

Per questo motivo l'intervento associa alla presenza di prati al di sotto della copertura anche un percorso sensoriale. Il percorso è pensato a partire dal campo di lavanda che si può percorrere attraverso passaggi in ciottolato, non invasivi a livello architettonico, fino ad arrivare ad un intreccio di percorsi tra vasche triangolari, leggermente rialzate rispetto al suolo, contenenti essenze tipiche dell'isola di Vis: rosmarino, arbusti di cisto, lantana camara, piante di limoni, bouganville, lavanda e capperi.

Questa idea nasce dalla voglia di conferire al progetto un carattere naturalistico, che induca il visitatore ad inserirsi nel contesto.

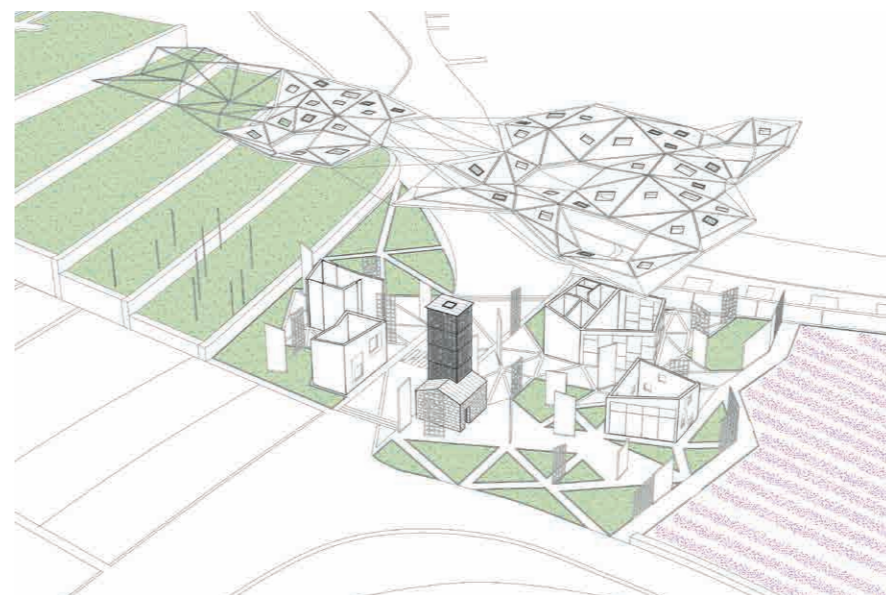


Figura 76\_Schema delle aree verdi mantenute nel progetto

### PERMEABILITÀ RAPPRESENTATIVA DEL PROGETTO

Elemento importante ed imprescindibile da tenere in considerazione nella realizzazione di questo progetto è il mare, vero protagonista del contesto. Esso avvolge la penisola di Prilovo, creando un'atmosfera unica che si è voluta mantenere intatta fin dai primi schizzi ideativi di Velika.

L'obiettivo principale è stato creare uno spazio permeabile alla vista, attraverso una serie di percorsi e spazi in cui il panorama da una costa all'altra sia sempre visibile totalmente o parzialmente.

Questo è stato permesso grazie alla creazione di scorci tra la vastità dei setti e all'introduzione di setti filtranti composti da un sistema a graticcio, che lasciano intravedere oltre.

Grazie a queste strategie progettuali, dall'interno del lotto è possibile trapiantare da una parte all'altra della penisola godendo della visione della città di Vis da un lato e dell'apertura della baia verso il mare aperto dall'altro.

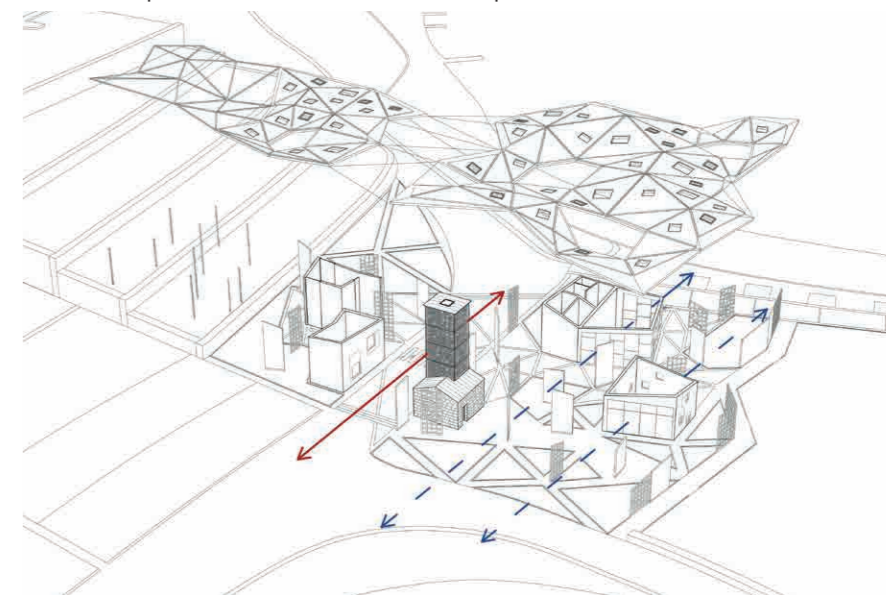


Figura 77\_Schema illustrativo della permeabilità del progetto



# 3.6

## IL PROGETTO

### 3.6.1 IL DISEGNO DEL MASTERPLAN

Parte fondamentale del progetto è il disegno dello spazio aperto, sia per i requisiti funzionali demandati all'area, sia per la grande rilevanza che questo detiene all'interno della cultura della popolazione che vive un'isola come Vis.

Per tale motivo è stato dedicato ampio spazio alla progettazione del paesaggio destinato alla coltivazione di un campo di lavanda e all'inserimento di vasche con erbe aromatiche, dove il tratto architettonico si intreccia alle necessità operative-funzionali.

Parallelamente, come descritto in precedenza, lo studio dei flussi e delle visuali di connessione tra nuovo ed esistente, hanno permesso di delineare le regole compositive dei nuovi volumi costruiti.

Come si può notare dal masterplan l'area dedicata al campo di lavanda occupa uno spazio ampio, pari all'estensione in lunghezza della copertura del progetto, questo per sottolineare quanto si sia voluto dare importanza al costruito tanto quanto all'inserimento di zone naturali.

La copertura verde, unico segno architettonico realmente visibile dall'alto, oltre a diventare simbolo progettuale, ricorda la volontà di ricostruire la naturalezza del luogo anche all'interno del progetto.

L'impressione che si vuole demandare al visitatore quando osserva il progetto è quindi di una grande copertura che si adagia sul contesto, estendendosi verso Nord seguendo la linea della collina sulla quale è situata.

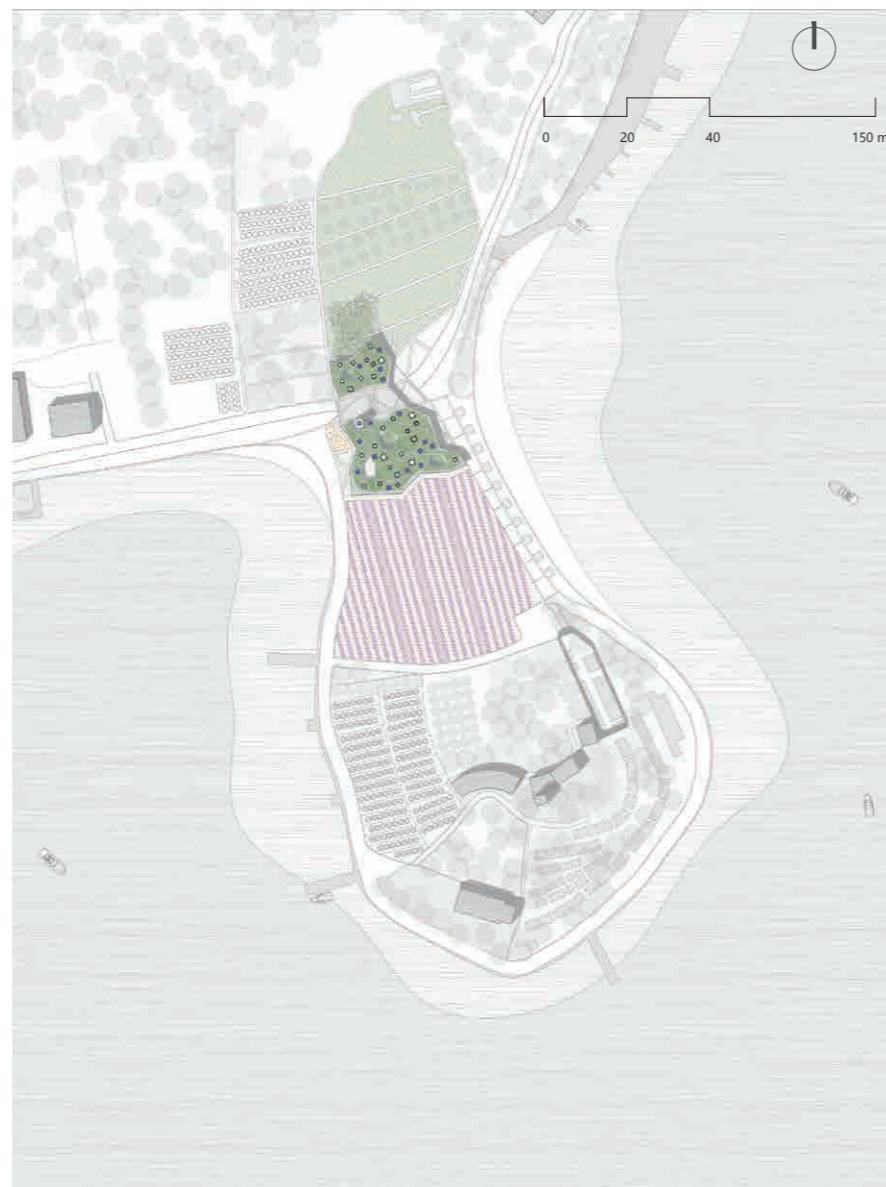


Figura 78\_Masterplan del progetto inserito nella penisola di Prilovo



Figura 79\_Il progetto mimetico



### 3.6.2 LA SCELTA FUNZIONALE

Le funzioni che si sono inserite nel progetto sono state modificate quasi completamente dopo aver passato dieci giorni sull'isola.

Infatti vivendo a Vis, è emerso quanto mancasse un centro di aggregazione per la città, sia per gli abitanti locali sia per i turisti che raggiungono l'isola durante le vacanze estive.

Si è pensato di inserire delle funzioni che potessero dunque soddisfare le esigenze di entrambe le utenze. Bisogna tenere presente che la maggior parte della popolazione presente sull'isola d'inverno ha una età compresa tra gli 0 e i 13 anni oppure tra i 50 e i 90 anni. Mancando dunque la popolazione della fascia d'età intermedia, si sono escluse tutte le funzioni che sono adatte ad un pubblico solo giovane o che può sfruttare il complesso solo d'estate.

Si è notato inoltre che anche il turismo che d'estate raggiunge Vis, è principalmente composto da famiglie con bambini, coppie di anziani o coppie giovani. Altro turismo importante è quello che raggiunge l'isola in barca, fermandosi solo per una notte al porto.

Si è dunque confermata la necessità di creare un polo attrattivo che non fosse incentrato esclusivamente su un pubblico di giovani.

- Sala esposizioni
- Infopoint
- Faro panoramico
- Bar e spogliatoi
- Palestra di Yoga

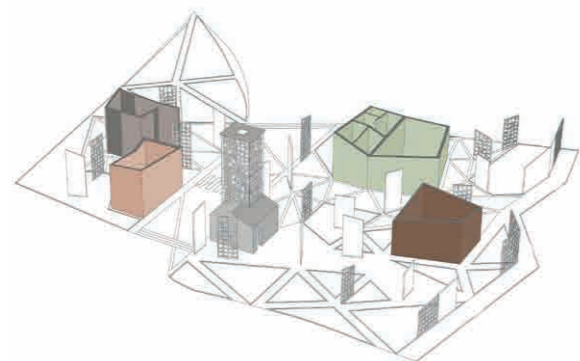


Figura 80\_Schema funzionale

#### SALA ESPOSIZIONI

La sala esposizioni è stata pensata come uno spazio dedicato alla cultura. Nelle zone limitrofe all'area di progetto sono presenti degli scavi archeologici e i resti di una città greca. Per questo motivo è sembrato opportuno creare uno spazio interno ed esterno, di superficie pari a 19,20 m<sup>2</sup>, dove si possano conservare e mettere in mostra i ritrovamenti archeologici.

#### INFOPOINT

Dato che il centro deve avere come una delle funzioni principali quella di polo attrattivo per il turismo, si è inserito un luogo adibito a fornire informazioni turistiche riguardanti l'isola. Data la modesta dimensione di Vis, si è pensato che uno spazio di 20,50 m<sup>2</sup> potesse essere sufficiente per ospitare un piccolo ufficio informativo.

#### FARO PANORAMICO

Forse lo spazio più interessante di tutto il progetto è proprio l'edificio in muratura che già è presente nell'area. La riqualificazione di questo edificio di 20,80 m<sup>2</sup>, prevede l'inserimento di una torre panoramica che permetta la vista su tutto l'intorno. Per la costruzione di questo faro si utilizzerà il sistema a graticcio, creando una scocca interna antisismica a protezione e rinforzo della parete esistente in muratura.

#### BAR E SPOGLIATOI

Nell'area è già presente un bar utilizzato principalmente dalle persone che utilizzano la spiaggia adiacente al progetto. Ciò nonostante il bar attuale non è in ottime condizioni, per questo si reinserisce la funzione in uno degli edifici. Tale spazio è di 91,10 m<sup>2</sup>, di cui la maggior parte è dedicato ad area ristorazione vetrata con vista sia sulla spiaggia sia sulla piazza interna. Annesso al bar troviamo la cucina con un deposito. Inoltre attualmente sono presenti dei paraventi con teli pubblicitari sparsi lungo la spiaggia, che fungono da spogliatoio che rovinano il paesaggio. Per questo una funzione inserita all'interno di questo edificio, sono gli spogliatoi che servono i bagnanti.

#### PALESTRA DI YOGA

L'ultimo edificio di 24,40 m<sup>2</sup> è dedicato ad uno spazio per all'allenamento fisico. Una palestra pensata per essere utilizzata sia dagli abitanti del luogo in inverno, sia dai turisti d'estate. L'edificio presenta una grande vetrata verso il porto di Vis e altre finestre che inquadrano il paesaggio intorno a 360°.

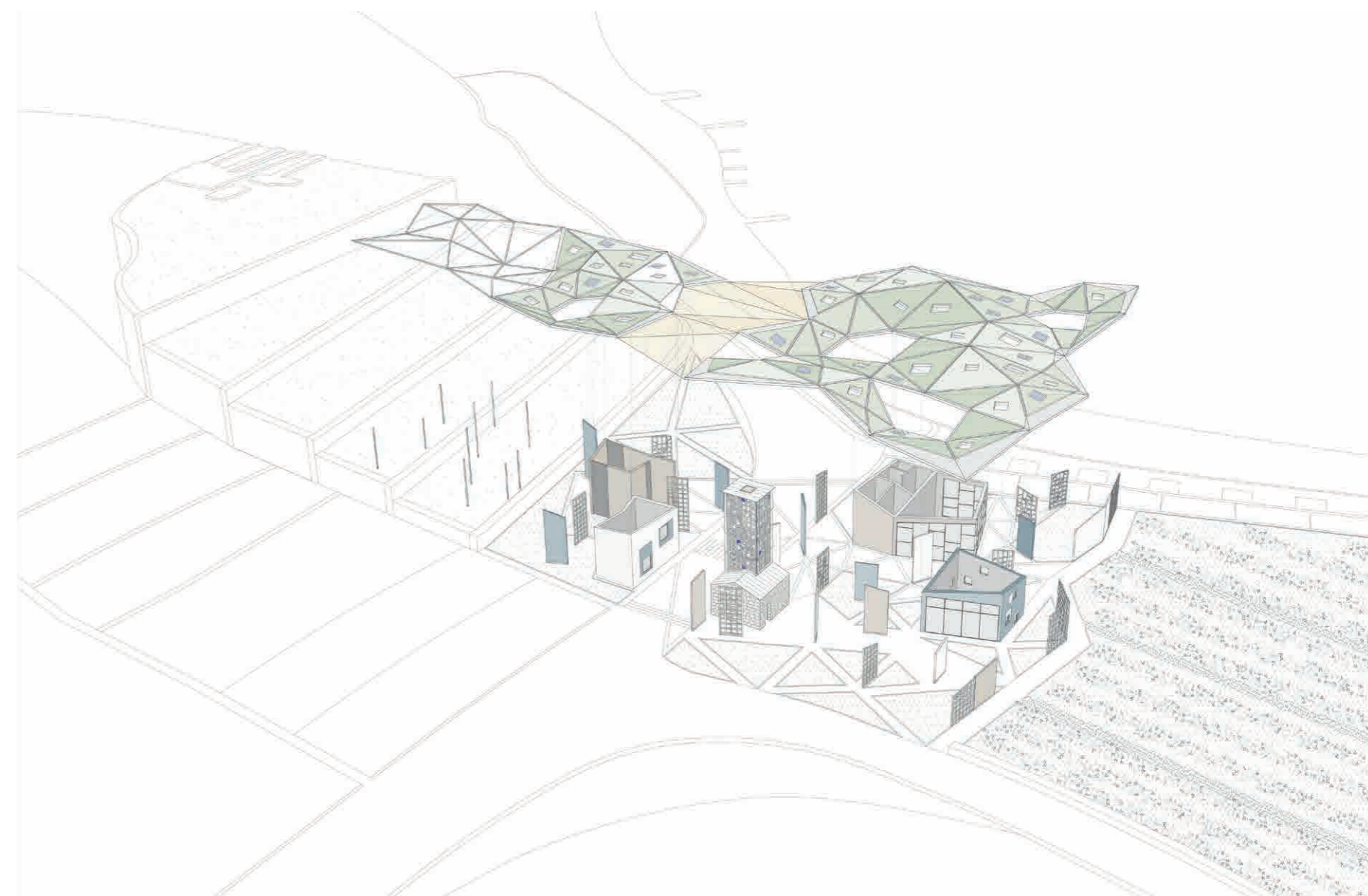


Figura 81\_Esploso



### 3.6.3 SPAZIO APERTO COME SPAZIO INTERNO

Il progetto è stato pensato come un susseguirsi di spazi interni ed esterni, dando allo spazio aperto la stessa importanza di quello interno agli edifici.

Questa è stata una scelta dettata soprattutto dal luogo in cui è situato il progetto e dalle necessità che esso deve soddisfare.

Come si può notare dalla sezione ambientale, il progetto è stato pensato per inserirsi nel contesto, seguendo il declivio naturale della collina e concludendo l'isolato di Prilovo nel modo più naturale possibile.

L'architettura vuole porsi a conclusione di un percorso circolare attorno alla penisola, reso accessibile solo per via pedonale. Per questo motivo lo spazio esterno è contraddistinto da una moltitudine di percorsi che si intrecciano l'uno con l'altro, andando a creare un'unica piazza d'incontro.

Il disegno della pavimentazione è creato da direttrici che congiungono i diversi edifici, proiettando a terra più o meno fedelmente la copertura e realizzando così un gioco di triangoli.

Lo spazio esterno è realizzato in listelli di Deck bicolore, mantenendo un'unica quota per tutta la sua estensione. Le sole parti a non essere a livello del terreno, sono le vasche triangolari di erbe aromatiche disposte davanti alla palestra di yoga.

Un grande aiuto all'articolazione e distribuzione dello spazio esterno è data dai setti, in Cross-Lam o con sistema a graticcio, che sostengono la copertura. Essi sono distribuiti in modo irregolare per tutta la planimetria: non sono disposti in modo sempre parallelo o perpendicolare tra loro, ma seguono le direttrici della copertura, che sono pressoché le medesime riportate nella pavimentazione dell'attacco a terra.

Questa distribuzione sporadica aiuta a non creare un muro visivo e fisico, ma crea delle direttrici inconscie al visitatore che è libero vivere lo spazio esterno e raggiungere gli edifici scoprendo differenti e molteplici percorsi.

Per quanto riguarda la distribuzione planimetrica degli edifici, si può notare come siano state mantenute delle direttrici comuni a tutte le strutture, che hanno aiutato a disporre il costruito in modo ordinato.

Tali direttrici sono state stabilite dall'isolato stesso: il primo asse che è stato riportato parallelo è quello stabilito dalla strada che attraversa il complesso, ed è lo stesso che stabilisce la disposizione del piccolo edificio in muratura presente nell'area e riqualificato a faro panoramico.

Alla perpendicolarità di queste due direttrici, si oppone diagonalmente l'asse della costa Est, dove si trova la spiaggia, che stabilisce anche la forma a cono dell'isolato. Questa linea e la sua perpendicolare sono state inserite nel progetto per formare una doppia griglia su cui tracciare il perimetro degli edifici.

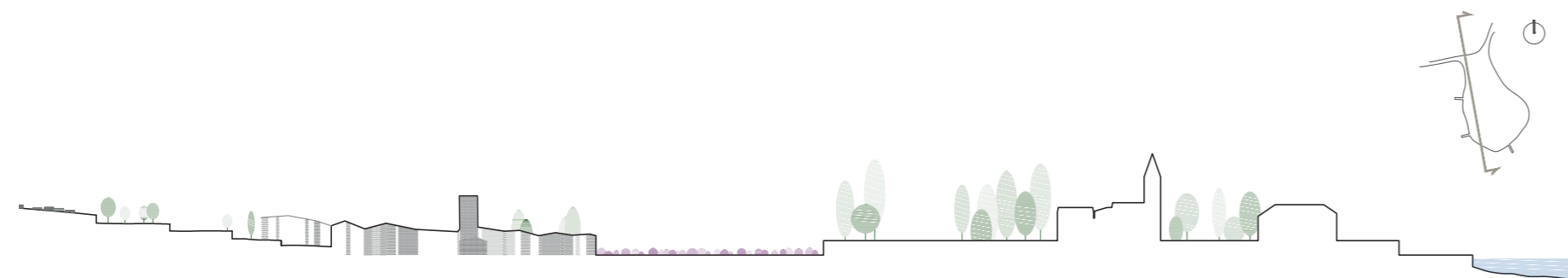


Figura 82\_Sezione ambientale



Figura 83\_Attacco a terra



### 3.6.4 UNA LINEA CHE SEGUE LA COLLINA

La sezione prospettica ci mostra chiaramente l'accrescersi della copertura da Sud a Nord, partendo da una quota di tre metri fino ad arrivare ad una altezza di otto metri dal piano di terra.

La scelta di seguire il declivio naturale della collina sulla quale la copertura si adagia, deriva dalla voglia di inserire il progetto nel contesto cercando di non modificare l'impatto paesaggistico già completo nel suo essere.

La collina presenta delle gradonate che conducono verso la città greca. Si è dunque pensato di sfruttare questi dislivelli per appoggiarsi con un pergolato d'uva che definisce la fine della copertura in modo meno materico.

La copertura in Cross-Lam che copre gli edifici e lo spazio esterno del progetto parte da una altezza di 3 m ed arriva fino ai 7 m. L'ultimo metro di dislivello è dettato dal pergolato che però si appoggia ai terrazzamenti abbassando l'altezza vivibile al di sotto della copertura.

Sulla strada che attraversa il progetto si è dovuto mantenere un'altezza di un minimo di 5m per permettere il passaggio di autocarri, per questo si è deciso di lasciare la superficie piuttosto lineare, con una variazione tra i 5 e i 6 m.

Per quanto riguarda la planimetria, dall'alto si può notare come il pergolato risulti la prosecuzione dei triangoli della copertura, ma in un modo più leggero, come per creare un completamento che vada ad incontrarsi con la collina senza stabilire una linea di demarcazione netta.

L'unico elemento che svetta in quota rispetto al resto dell'edificato è la torre panoramica posta al centro. Questa scelta è dettata sia per la funzione che il faro deve svolgere, ossia permettere di osservare tutto l'intorno, sia per diversificare e sottolineare che questo elemento debba essere un simbolo riconoscibile anche da lontano, non nascosto dalla copertura come gli altri edifici.

L'estensione totale del progetto è di 70,50 m di lunghezza da Sud a Nord, per una larghezza di 42,60 m da Est ad Ovest. Della lunghezza totale i primi 17m a partire da Nord sono occupati dall'intreccio di triangoli che formano il pergolato.

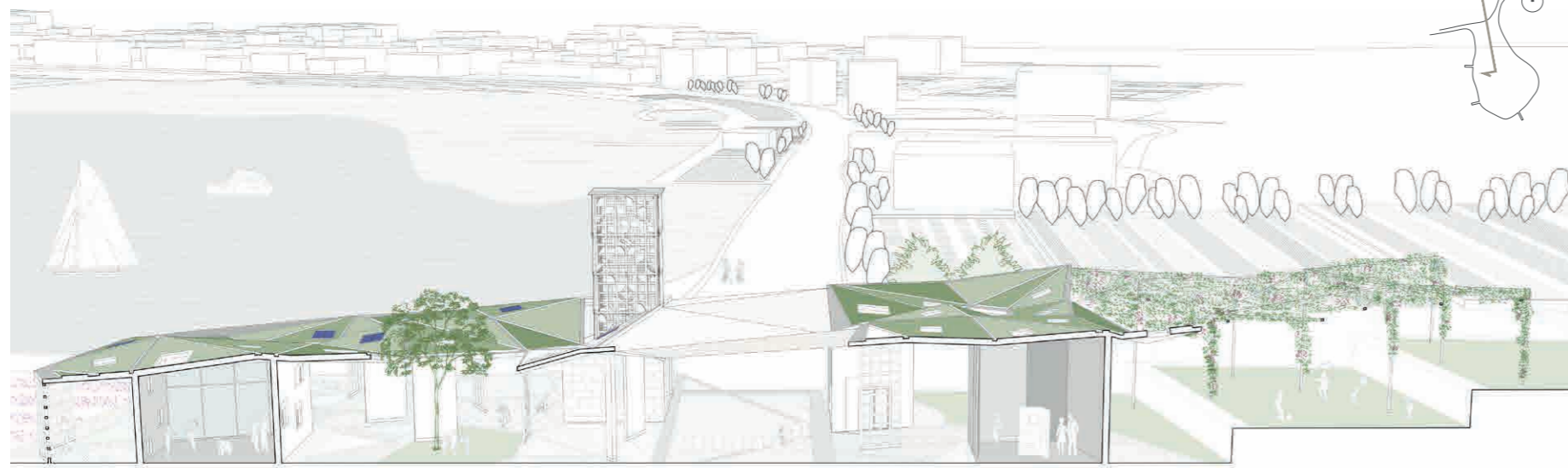


Figura 84\_Sezione prospettica

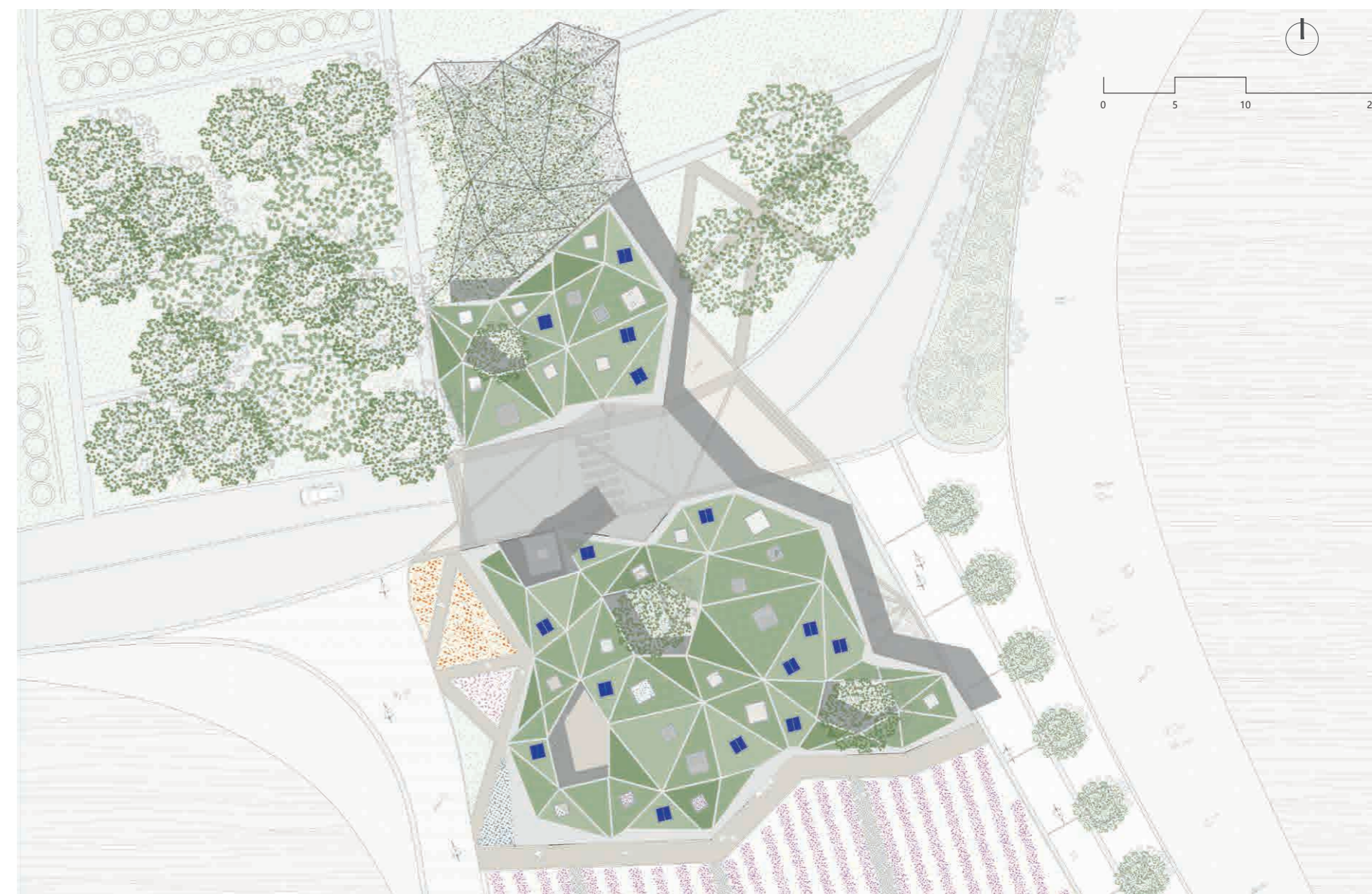


Figura 85\_Planimetria della copertura



### 3.6.5 PERCORSO SENSORIALE

Il progetto è stato pensato per portare il visitatore a contatto con la natura. A questo scopo si è disegnato un percorso sensoriale che avvolga con profumi e sensazioni, conducendo fino alla città greca posta in cima alla collina sulla quale si adagia l'edificio.

Si inizia attraversando il campo di lavanda, per poi entrare in un intreccio di percorsi tra le vasche triangolari contenenti erbe aromatiche che conducono al faro panoramico. Successivamente si comincia la salita sulla collina, passando dapprima per il pergolato d'uva e poi per i terrazzamenti colmi di alberi d'ulivo, per concludere arrivando alla città greca.

Tutte le erbe aromatiche e le piante inserite, sono state scelte dopo uno studio e una catalogazione dei generi vegetali che si sono trovati sull'isola.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali delle specie scelte ed inserite nel progetto.

#### CALENDULA

La calendula è una pianta erbacea annuale con proprietà curative, da tempo conosciuta con il nome "fiorrancio". I suoi steli possono raggiungere l'altezza di circa 70 cm e presentano diverse ramificazioni, al cui termine si sviluppano fiori di colore giallo-arancio raccolti in capolini.

#### SALVIA

La salvia è una pianta officinale molto conosciuta e apprezzata per le sue proprietà curative. Tipica dell'area mediterranea può raggiungere un'altezza da terra di circa 70-80 cm. Ha fiori di colorito blaugastro tendente al viola e il suo ciclo vitale dura circa 5 anni.

#### BOUGANVILLE

La bouganville è una pianta rampicante che produce meravigliosi fiori colorati per 11 mesi l'anno, se viene piantata in un clima mite. Ha l'aspetto di un arbusto simile al vitigno, si arrampica su muri e tralici e rifiorisce ogni anno se non è esposta a temperature troppo rigide.

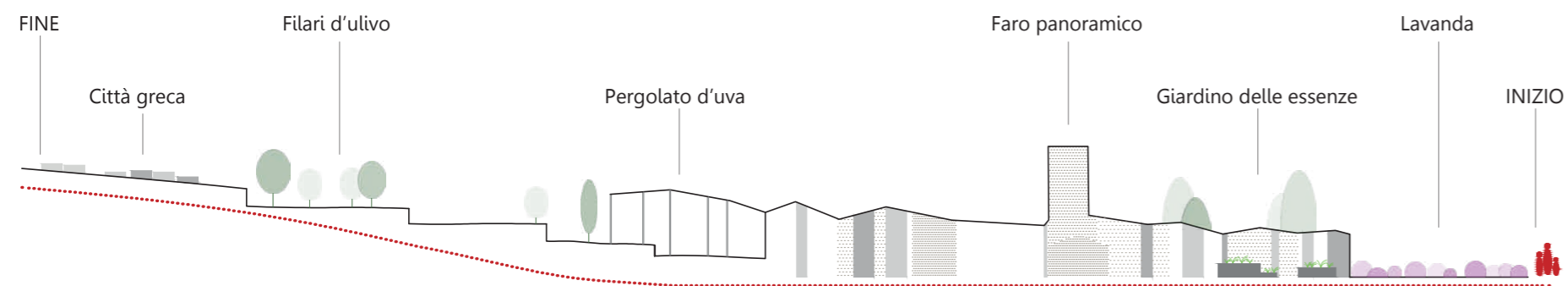


Figura 86\_Tappe del percorso sensitivo

#### LANTANA CAMARA

La lantana camara appartiene alla famiglia delle Verbenacee e nel linguaggio delle piante e dei fiori simboleggia la sorpresa. La coltivazione della lantana camara è quanto mai facile e prevede soltanto il ricovero invernale nelle regioni del Nord.

#### TIMO

Il timo è un arbusto di dimensioni ridotte e dalle foglie di colore verde-grigio piuttosto piccole, dal profumo intenso ed immediatamente avvertibile, in particolar modo sfregandole tra le dita. La fioritura del timo avviene tra la primavera e l'estate, con la comparsa di fiori di colore rosato. L'impiego del timo è particolarmente indicato per il trattamento delle affezioni che interessano le vie respiratorie.

#### CAPPERI

Il cappero è un piccolo arbusto tipico della flora mediterranea ed ha un'altezza che varia dai 30 ai 50cm. Le foglie sono di colore verde scuro, carnose e di forma ovale, con fiori molto appariscenti di colore bianco e rosa con delicati riflessi violacei. Della pianta si consumano i boccioli, detti capperi.

#### LIMONI

La pianta di limoni non si sviluppa molto in altezza e può essere prodotta anche in vaso. Il clima dell'isola è ottimo per la produzione di questi agrumi.

#### ULIVO

L'ulivo è una pianta ultra-secolare che presenta foglie persistenti a forma di lancia allungata, di colore verde nella parte superiore ed argentea in quella inferiore. Le radici dell'ulivo si sviluppano in modo molto superficiale e particolarmente in larghezza.

#### FICO

Il fico è una pianta che si sviluppa sia in altezza che in larghezza. Le sue foglie sono molto larghe e creano così una grande ombra al di sotto di esse.

#### ROSMARINO

La pianta del rosmarino è a carattere cespuglioso, è molto ramificata ed ha numerosissime foglie sempreverdi piccole e strette. Può raggiungere il metro e mezzo di altezza. I suoi fiori, che possiamo trovare per tutto l'anno, hanno un bel colore azzurro sfumato violetto.



Figura 87\_Piante ed essenze aromatiche presenti nel percorso sensoriale



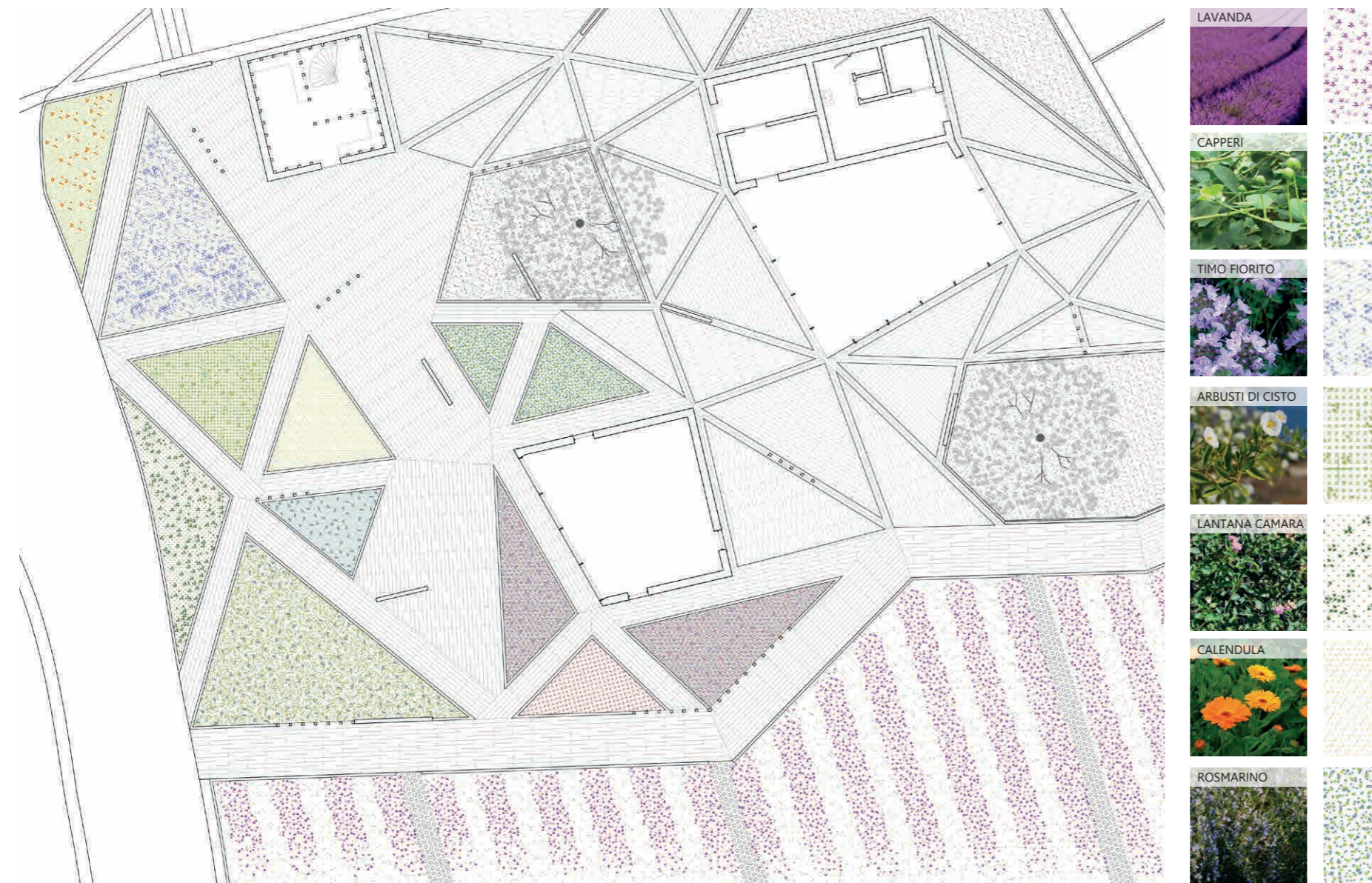


Figura 88\_Planimetria del percorso sensoriale attraverso diversi tipi di vegetazione



Figura 89\_Meditazione nel giardino delle essenze



## VITE

La vite è la pianta dal cui frutto (uva) si trae il vino.

Essa è coltivata in campi molto estesi sull'isola di Vis e viene sfruttata sia per la produzione di uva da frutto, sia per uva da vino.

Sull'isola infatti sono presenti grandi campi di vigneti, questo anche perché il clima è molto favorevole per lo sviluppo di queste piante. Le temperature devono essere fredde in inverno e calde in primavera ed estate, con piogge non frequenti in modo che la vite sia presto asciutta dalle rugiade. Inoltre ci deve essere una buona escursione termica in settembre tra giorno e notte.

Uno dei rigogliosi vigneti è posto proprio adiacente all'area di progetto, in un campo che cresce sulla collina e si estende costeggiando la strada principale che attraversa anche Velika.

Per questo motivo si è deciso di inserire un pergolato d'uva in una parte estesa del progetto, a conclusione del tetto che si adagia sulla collina.



Figura 90\_Vigneto adiacente all'area di progetto

## LAVANDA

La lavanda è una pianta molto rustica, che ben si adatta alle diverse situazioni climatiche, cresce anche spontaneamente e la ritroviamo nei terreni aridi e sassosi a formare dei bellissimi cespugli.

Sono piante perenni, sempreverdi di piccole dimensioni raggiungono infatti al massimo un'altezza di un metro. Le foglie sono lineari, lanceolate, strette, di un caratteristico colore verde-grigio.

Le infiorescenze, portate da lunghi steli, sono delle spighe. Ciascuna spiga contiene un numero variabile di fiori molto profumati e con aroma differente a seconda della specie.

Il frutto della lavanda è un achenio che contiene al suo interno un solo seme.

La lavanda è sicuramente una grande protagonista in Velika sia come impatto visivo, sia a livello funzionale. Infatti è stato inserito un grande campo che separa il progetto dal monastero di Prilovo e rappresenta la l'inizio del percorso sensoriale.



Figura 91\_Il profumo di lavanda





Figura 92\_Vigneto dell'isola di Vis fotografato a fine settembre

### 3.6.5.1 MUTAMENTO NATURALE DEI COLORI

Data la forte presenza di elementi naturali, protagonisti dello spazio aperto di Velika, il masterplan del progetto è sicuramente rappresentato da immagini di un paesaggio in continua mutazione. Con il passare delle stagioni, i diversi cicli di coltivazione e crescita delle erbe aromatiche e delle piante inserite nel percorso sensoriale, cambiano colori e consistenza allo spazio aperto.

L'impressione ottica e sensoriale che il visitatore ottiene quando si inoltra nel percorso sensoriale è differente a seconda delle stagioni. Per evitare di dover rinunciare a buona parte del significato del progetto Velika durante le stagioni invernali, le erbe aromatiche e la vegetazione inserita è stata studiata in tutte le sue variazioni annuali.

Gran parte del colore proviene dal campo di ingresso al progetto. Si è dunque posta particolare attenzione alla scelta della corretta essenza in questa grande area. Dopo diverse proposte, si è inserita la lavanda che, oltre ad essere molto coltivata in Croazia e a Vis, è una pianta sempreverde. Il colore delle sue foglie varia dal verde all'argentato a seconda della stagione, per poi essere coperto del tipico colore violaceo che regala variazioni dal lilla all'indaco durante la fioritura. Le immagini che i filari scaturiscono nel visitatore sono mutevoli e suggestive in ogni stagione.

Le erbe aromatiche inserite nelle vasche triangolari sono anch'esse sempreverdi e utilizzabili per le loro funzioni curative durante tutto l'anno.

Le piante utilizzate nei patii per ombreggiare, sono invece pensate a foglia caduca, per motivi di funzionalità energetica ed illuminotecnica. La rigogliosità di esse in estate serve per schermare dalla eccessiva luce e creare una piacevole ombra al di sotto di esse, mentre d'inverno, quando servono più apporti solari e una maggiore illuminazione, le foglie cadono e lasciano oltrepassare i raggi del sole.

Lo stesso ragionamento è applicabile al vigneto posto nella parte finale della copertura. Arbusti e vite creano anch'essi differenti giochi di colore dal verde al giallo, cambiando così il volto del progetto e le sensazioni del visitatore.

In questo modo il paesaggio progettato è reso vivo non solo dall'alternanza di elementi naturali e artificiali differenti, ma anche dall'intreccio temporale dei ritmi della natura, che lo colora e ne definisce la funzionalità nell'arco delle stagioni.



Figura 93\_Campo di lavanda in piena fioritura

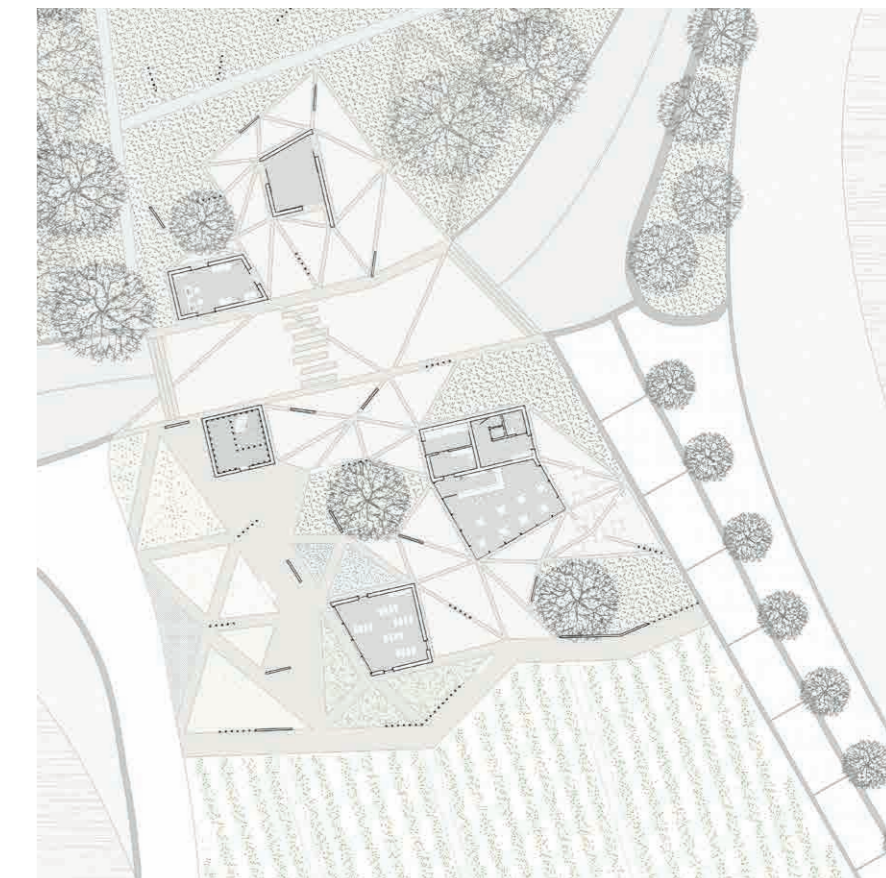


Figura 94\_Distesa di lavanda non fiorita



# 3.7

## I MATERIALI

A seguito del disegno del masterplan e delle funzioni definite sono stati scelti i materiali che meglio rispecchiano la vocazione e le necessità del progetto.

Grande importanza è stata data al legno, materiale scelto per la struttura, utilizzato sia sotto forma di Cross-Lam sia in legno massiccio per la costruzione del sistema a graticcio. Data la grande importanza che questo materiale svolge nel progetto, al legno viene dedicato un capitolo più approfondito nel quale si sottolineano le caratteristiche formali e strutturali.

Di seguito riportiamo invece tutti gli altri materiali utilizzati per rivestimenti della copertura, delle pareti o per la pavimentazione.

### LISTELLI IN LEGNO COMPOSITO

Il sistema di rivestimento in Deck è il materiale che è stato scelto per tutta la pavimentazione che caratterizza lo spazio outdoor del progetto.

Questo sistema di pavimentazione è costituito da un modulo completo di tavole di legno composito dal design raffinato, tenute insieme da accessori con alta valenza qualitativa funzionale ed estetica.

La scelta di questo materiale è dovuta in primo luogo alla sua facile removibilità una volta posato. Inoltre la modalità di installazione e fissaggio risulta essere molto semplice: si posiziona grazie ad un sistema di clips in acciaio invisibili.

Aggiungendo alla miscela una matrice di colore, si possono ottenere materiali con le stesse proprietà con differenti colorazioni. All'interno del progetto sono state utilizzate le sfumature tra il sabbia e il tortora.

### TESSUTO FILTRANTE

Per coprire la strada che attraversa il progetto a Nord, si è utilizzato un tessile filtrante. Questa scelta è motivata sia da necessità strutturali, dato che per tutta la larghezza della strada non è possibile avere appoggi e quindi il materiale deve essere il più leggero possibile, sia per creare una illuminazione uniforme, evitando fenomeni di abbagliamento pericolosi per gli automobilisti. Inoltre i microfori del tessuto permettono anche il passaggio parziale dell'acqua piovana che in questo modo non si accumula in copertura. In architettura tessile, vengono impiegati tessuti microforati, reti, tessuti pieni altamente traslucidi compresi quelli per retroproiezione, con la possibilità di stampa digitale in quadricromia, nonché tessuti con caratteristiche fonoassorbenti, soprattutto per interni e da ultimo tessuti fotovoltaici. Dal punto di vista tecnico principalmente vengono utilizzati sia tessuti con supporto in poliestere ad alta resistenza sia quelli in fibra di vetro. Nel progetto è stato utilizzato un tessuto microforato di colore bianco sporco, disposto senza interruzioni per tutta la lunghezza.



CROSS-LAM



TAVOLE IN DECK



TESSUTO FILTRANTE



ZINTEK



SEDUM



INTONACO

Figura 95\_Principali materiali utilizzati all'interno del progetto



Figura 96\_Vista assonometrica



### ZINTEK

Un altro materiale molto importante utilizzato per la copertura è lo Zintek. Esso è stato posto come involucro di protezione del Cross-Lam, parte strutturale del tetto.

Lo Zintek è una lega di alto pregio qualitativo commercializzata da Zintek Srl di Porto Marghera, che può essere impiegata per coperture, rivestimenti di facciata e lattenerie. Lo Zintek è una lega di zinco-rame-titanio di alto pregio qualitativo rispondente alla normativa europea EN 988 "Zinco e leghe di Zinco- Prescrizioni per prodotti laminati piani e per l'edilizia".

La lega deve essere prodotta a partire da zinco con aggiunta di elementi in lega. I componenti in lega migliorano le caratteristiche del laminato di zinco: il titanio aumenta la resistenza alla deformazione permanente nel tempo e il rame aumenta la resistenza a trazione del materiale. La combinazione di entrambi riduce il coefficiente di dilatazione della lega.

### SEDUM

Disteso su gran parte della copertura troviamo anche uno strato di verde, precisamente di sedum. La scelta del verde perviene principalmente da una necessità architettonica dettata dal desiderio di creare una copertura che si mimetizzasse con il contesto paesaggistico, cambiando il meno possibile la morfologia esistente.

Il sedum, se confrontato con un tradizionale tetto verde, risulta maggiormente indicato per le condizioni climatiche di Vis. Infatti le piante del genere sedum sono piante grasse, o meglio, piante succulente, ovvero dotate di piccoli tessuti "succulenti" che possono immagazzinare un grande quantitativo d'acqua. All'aperto queste piante assorbono l'acqua durante i periodi di pioggia e la utilizzano quando serve in tempo di siccità. Sono delle piante rustiche e di poche pretese, che vengono coltivate con la necessità di un piccolo strato di terreno. Questa caratteristica è utile anche dal punto di vista strutturale, dato che la massa di terreno da sostenere si riduce notevolmente. Sopravvivono sia al caldo e agli ambienti aridi che al freddo. Tutte le piante di sedum sono perenni. Inoltre sono collocate in una giusta posizione, dal momento in cui queste piante richiedono molta luce, ancora meglio se si tratta del sole diretto, in tutte le stagioni dell'anno.

L'utilizzo del sedum all'interno del progetto serve poi per mitigare gli apporti di calore durante le stagioni più calde.

### INTONACO

L'intonaco è stato utilizzato come rivestimento delle facciate degli edifici e dei setti in Cross-Lam che sostengono la copertura.

La scelta è ricaduta su un materiale che restituisse la matericità tipica delle costruzioni di tutta l'isola, che si potesse accostare sia al legno, che alla pietra del piccolo edificio presente nell'area, recuperato nel progetto.

Inoltre una caratteristica importante, è la possibilità di poter scegliere la gradazione di colore che più si adegua al progetto.

### 3.7.1 I COLORI

Un'importante scelta all'interno del progetto è stata quella cromatica. Per ricreare un ambiente il più contestualizzato possibile, in linea con l'ideologia progettuale, si sono cercati dei riferimenti nel paesaggio e nelle costruzioni adiacenti a Prilovo caratterizzanti tutta l'isola di Vis.

**BIANCO:** il colore bianco è stato scelto in riferimento alle abitazioni dell'isola di Vis, che per la gran parte, sono dipinte con questa cromia. Il bianco inoltre aiuta a conferire luce al di sotto della copertura che spesso risulta essere in ombra.

**AZZURRO:** per ottenere una connessione con il cielo e il mare, vero protagonista del luogo, si è scelto di introdurre questa tonalità.

**TORTORA:** il color tortora è stato utilizzato in riferimento al colore della pietra dell'abbazia e del campanile di Prilovo. Inoltre anche moltissime case dell'isola, sono costruite con la medesima pietra che viene lasciata viva, non intonacata.

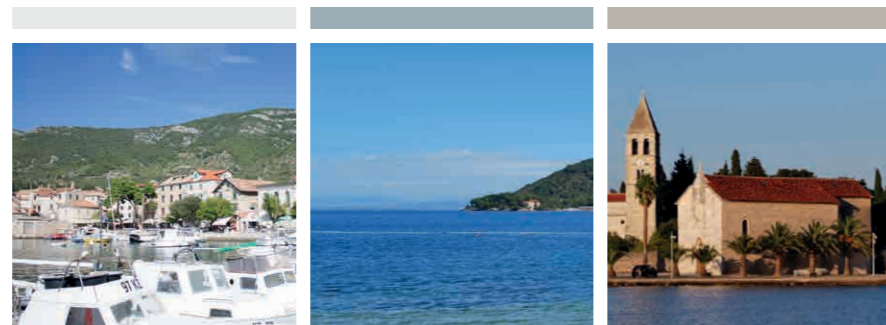


Figura 97\_Riferimenti cromatici del contesto



Figura 98\_Lo sguardo verso il porto







# CAPITOLO 4

## IL LEGNO



4.1 Premessa.....	113	4.5 Precauzioni Proposte.....	136
4.2 Proprietà Del Legno.....	114		
4.2.1 Proprietà Meccaniche.....	114		
4.2.2 Degrado Del Legno.....	115		
4.2.2.1 Umidità e Variazioni Dimensionali.....	115		
4.2.2.2 Attacco Biologico, Atmosferico e Chimico.....	116		
4.2.3 Protezione Del Legno.....	117		
4.2.3.1 Protezione Costruttiva.....	118		
4.2.3.2 Protezione Chimica.....	118		
4.2.4 Invecchiamento.....	119		
4.2.5 Il Legno e Il Fuoco.....	120		
4.2.5.1 Combustibilità.....	120		
4.2.5.2 Resistenza al Fuoco.....	120		
4.2.5.3 La Formazione Di Un Incendio.....	122		
4.2.5.4 Propagazione Di Un Incendio.....	122		
4.3 Cross Laminated Panels.....	124		
4.3.1 Principio di Impiego.....	125		
4.3.2 Impieghi Principali.....	125		
4.3.3 Realizzazione Dell'Irrigidimento.....	126		
4.3.4 Vantaggi Delle Costruzioni In Cross-Lam.....	127		
4.4 Il Sistema a Graticcio Mengoshi.....	130		
4.4.1 Atsushi Kitagawara.....	130		
4.4.2 Il Concetto Costruttivo Del Mengoshi.....	131		
4.4.3 Vantaggio Sismico.....	133		
4.4.4 Impatto Ambientale.....	133		
4.4.5 Opere Realizzate.....	134		
4.4.5.1 Ki No-Kuni Information Pavilion.....	134		
4.4.5.3 Gifu Academy of Forest Science and Culture.....	135		
4.4.5.2 Kaisho Forest View Tube.....	135		

# 4.1

## PREMESSA

Nel nostro paese l'edilizia del legno ha un valore storico poiché con questo straordinario materiale rinnovabile furono costruiti diversi edifici tipici del paesaggio italiano. Basti pensare alle coperture, ai solai a travi o a cassettoni, agli imponenti campanili delle chiese italiane e ad alcuni ponti ancora ben conservati.

Il legno è un materiale naturale ricavato dagli alberi, ma anche dagli arbusti. Gli alberi sono caratterizzati dall'avere fusto e rami che crescono concentricamente verso l'esterno di anno in anno e dall'avere i tessuti composti essenzialmente da cellulosa, emicellulosa, lignina e sostanze estraibili. Considerando la sezione di un tronco di albero dall'esterno all'interno si possono evidenziare parti con funzioni differenti:

- **CORTECCIA:** serve come protezione e consente gli scambi necessari alle funzioni vitali della pianta.
- **LIBRO:** contiene i vasi che conducono il nutrimento.
- **ALBURNO:** formato da cellule vive che costituiscono l'apparato circolatorio.
- **DURAME:** formata da cellule morte è la parte più pregiata è quella più stabile e meno soggetta agli attacchi dei parassiti.
- **MIDOLLO:** parte centrale del tronco.

Negli ultimi anni l'edilizia in legno si è riaffermata nella nostra società, lasciando dietro di sé il preconcetto che associava la costruzione in legno alla baracca provvisoria e raggiungendo un livello tecnico che non teme paragoni.

L'impiego del legno strutturale si basa ormai su sistemi studiati e perfezionati. Le costruzioni con questo materiale oggi non hanno nulla da invidiare a quelle fatte con materiali edili minerali come il cemento e i laterizi.

Questo concetto però non è chiaro a molti, infatti comunemente si crede che il legno sia più debole dell'acciaio e del cemento, ma se si pongono a confronto la resistenza, il peso e il volume del cedro bianco, che è considerato una essenza debole, questo ha una resistenza alla trazione circa quattro volte più grande di quella dell'acciaio e la sua resistenza a compressione è circa sei volte più grande di quella del calcestruzzo. Per questo gli esperti le considerano tecniche edilizie equivalenti.

Inoltre il movimento ecologico degli anni Ottanta del secolo scorso ha contribuito sensibilmente a riesaminare il rapporto con la natura e l'ambiente. In ragione di questa consapevolezza, appare logico realizzare le abitazioni private con l'impiego di materiali naturali e rinnovabili.

La problematica ambientale in tutta la sua portata ci induce oggi a fare delle riflessioni globali in ogni ambito esistenziale: sia l'albero che il legno tagliato e lavorato possono assorbire CO<sub>2</sub>.

È dimostrato che è preferibile impiegare il legno come materiale da costruzione o combustibile opportunamente preparato piuttosto che lasciar marcire i tronchi nel bosco. L'odierno sviluppo della tecnica ci permette di impiegare il durame e l'alburno come pregiati materiali da costruzione e di utilizzare le cortecce e i rami come combustibili.

Costruire con il legno quindi significa fornire un contributo al rispetto dell'ambiente.

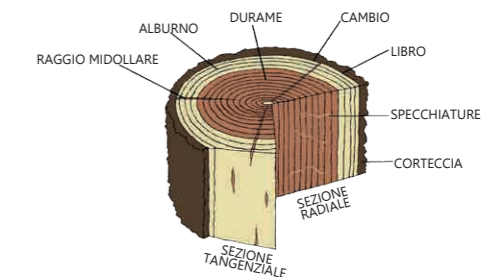


Figura 99\_Strati del legno



# 4.2

## PROPRIETÀ DEL LEGNO

### 4.2.1 PROPRIETÀ MECCANICHE

Il legno è un materiale che si trova in natura e non viene prodotto in fabbrica secondo le proprie necessità strutturali, esso viene quindi utilizzato nella sua forma e deve essere sfruttato al meglio per le sue caratteristiche intrinseche.

Bisogna prima di tutto sottolineare che si tratta di un materiale fortemente anisotropo nei confronti di tutte le proprietà meccaniche. Il legno infatti presenta una struttura disomogenea composta da fibre longitudinali disposte in anelli concentrici lungo l'asse del tronco. Questi diversi anelli sono attraversati da raggi midollari, mentre le fibre si alternano a vasi linfatici o canali della resina.

Questa struttura conferisce al legno una tipica porosità diffusa in modo disomogeneo; infatti alle parti più compatte fanno riscontro altre particolarmente dure (nodi) o discontinuità (fenditure). Le prestazioni meccaniche sono infatti spesso inficiate dal fatto che materiali naturali come il legno hanno difetti imprevisibili. Esistono inoltre differenti essenze di legno che presentano strutture molte diverse che ne condizionano le proprietà e li rendono adatti a svariati impieghi.

Il legno a livello meccanico, pur con differenze discrete tra i diversi tipi, presenta proprietà in funzione dell'orientazione delle fibre. In genere il legno essendo costituito da lunghe fibre, strettamente connesse e compenstrate le une con le altre, è particolarmente adatto a resistere a trazione, con resistenze due o tre volte superiori rispetto a quelle di compressione (con sforzo applicato in direzione assiale).

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche con la relativa simbologia:

- RESISTENZA A TRAZIONE: maggiore longitudinalmente  $f_{t0}$  e minore trasversalmente alle fibre  $f_{t90}$ ;
- RESISTENZA A COMPRESIONE: anche in questo caso superiore lungo le fibre  $f_{c0}$  e minore trasversalmente  $f_{c90}$ ;
- RESISTENZA A TAGLIO: considerata lungo le fibre  $f_{vk}$ ;
- RESISTENZA A FLESSIONE: presa trasversalmente alle fibre  $f_{mk}$ ;
- DUREZZA: molto variabile tra i diversi tipi (dalla balsa scalfibile con un'unghia, ai duri bosso e noce).

In genere il legno ha una buona elasticità, cioè torna alla forma iniziale al cessare dell'imposizione del carico, soprattutto se sollecitato a flessione.

Le prove di resistenza vengono eseguite con procedimenti analoghi a quelle per i materiali metallici, ma con provette di forma diversa e con chiara distinzione della direzione delle sollecitazioni rispetto alle fibre.

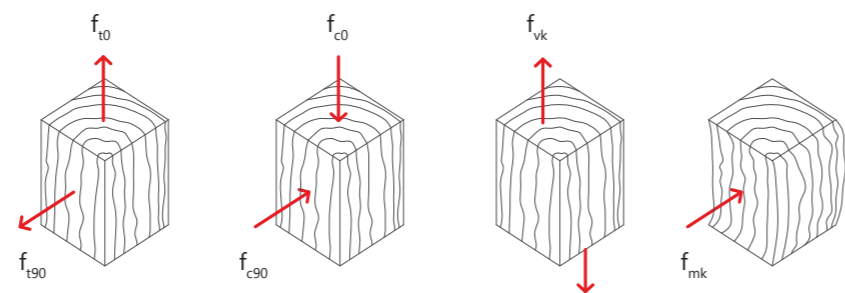


Figura 100\_Proprietà meccaniche

### 4.2.2 DEGRADO DEL LEGNO

Come detto il legno è un materiale che si trova in natura e non può dunque essere fabbricato secondo personali esigenze, ma deve essere accettato così com'è con i suoi pregi e i suoi difetti. Uno dei principali svantaggi caratterizzanti il legno è l'aspetto della sua durabilità.

Molteplici sono le cause che provocano il degrado materico del legno che si analizzeranno ora da un punto di vista strettamente scientifico. In particolare il degrado delle opere in legno avviene in condizioni aerobiche a causa di fattori climatici e soprattutto di organismi animali o vegetali (insetti, funghi, batteri). In condizioni anaerobiche, che si manifestano quando il legno è interrato o immerso nell'acqua, avviene solo una lenta decomposizione dello strato superficiale.

#### 4.2.2.1 UMITÀ E VARIAZIONI DIMENSIONALI

Il legno è un materiale igroscopico e può assorbire umidità sia dall'atmosfera che dall'acqua. Se l'acqua viene assorbita dalle cellule del legno, esso ne risente sia a livello meccanico e fisico, quindi per il suo comportamento in esercizio, sia per variazioni dimensionali ed è determinante per l'attacco biologico.

L'umidità del legno ne influenza tutte le caratteristiche fisiche, meccaniche e tecnologiche. La stabilità dimensionale assume un ruolo rilevante e può essere garantita se, in fase di lavorazione, il legno possiede un'umidità che manterrà anche nel successivo impiego. I parassitari del legno, animali e vegetali, necessitano, per la sopravvivenza, di un determinato contenuto minimo di umidità; è quindi possibile ottenere una buona protezione semplicemente mantenendo sufficientemente bassa la sua umidità. Il contenuto in acqua percentuale del legno  $U_m$  è il rapporto tra la massa dell'acqua contenuta nel campione di legno di cui si vuole determinare l'umidità  $m_u$  e quella dello stesso campione allo stato anidro  $m_0$ , ed è quindi data da  $(m_u - m_0)$ .

L'umidità, anche dopo la stagionatura, non è costante ma può variare in funzione delle condizioni ambientali: infatti in esercizio gli elementi possono subire variazioni periodiche di umidità e quindi possono cambiare le loro dimensioni.

Per opere riparate dalla pioggia, le variazioni stagionali di umidità dipendono essenzialmente dalle variazioni di umidità e di temperatura dell'atmosfera.

Lo strato di molecole d'acqua che si frappone alle macromolecole di cellulosa determina l'espansione del legno.

Infatti l'assorbimento o il desorbimento dell'acqua nelle pareti delle cellule del legno sono accompagnati da variazioni dimensionali, rispettivamente di ritiro e rigonfiamento. Il legno ha un comportamento anisotropo nei confronti di queste variazioni dimensionali. Per tenerle sotto controllo bisogna dunque contenere le variazioni di umidità e temperatura a cui il legno è sottoposto durante la sua vita utile.

L'utilizzo di sostanze idrorepellenti o il contrasto delle variazioni dimensionali direttamente mantenendo il legno in condizioni di elevata umidità, possono essere alternative all'utilizzo di soluzioni a base di sali di cloruri, di resine polimeriche come le glicole di polietilene o le resine fenol-formaldeide e i monomeri metacrilati. Il metodo più efficace per contrastare le variazioni dimensionali è quello di stagionare il legno accuratamente fino a raggiungere il valore di umidità atteso nell'ambiente di esposizione e di evitare cicli di asciutto bagnato.



Figura 101\_Variazioni dimensionali del legno dovute all'umidità



#### 4.2.2.2 ATTACCO BIOLOGICO, ATMOSFERICO E CHIMICO

Oltre alle infiltrazioni d'acqua, tra i più importanti agenti aggressivi per il legno si individuano gli organismi viventi, il cui attacco è detto biologico. Insetti, funghi e batteri agiscono alla presenza di umidità. Gli insetti xilofagi rappresentano gli infestanti più dannosi poiché si nutrono prevalentemente di cellulosa e lignina. Gli xilofagi che causano i danni più consistenti sono i Coleotteri, insetti che volano e depongono le uova nei pori e nelle fenditure del legno. I problemi maggiori sono provocati dalle larve che scavano delle gallerie all'interno del materiale in opera. Tra i Coleotteri spiccano le famiglie degli Anobidi, Cerambicidi e Lictidi. Tra gli Anobidi, comunemente detti "tarli", la maggior parte dei danni è procurata dal *Anobium punctatum* "tarlo dei mobili". All'interno della famiglia dei Cerambicidi merita una citazione particolare il *Hylotrupes bajulus*, conosciuto anche come "capricorno delle case", un coleottero cosmopolita lungo fino a 20mm che attacca legname in opera. Tra i Lictidi spicca invece il *Lyctus brunneus*, una specie di piccole dimensioni, presente nei legnami tropicali soprattutto africani come Limba, Obeche e Okumè.



Figura 102\_Attacco del legno da parte degli insetti

Più noti con il termine di "termiti", sono gli Isotteri, tipici abitatori delle regioni tropicali, dove contano numerose specie. Gli Isotteri sono insetti assai primitivi, vivono in società ad altissimo grado di evoluzione e sono caratterizzati da uno spiccato polimorfismo. I nidi sono scavati nel legno o sono edificati cementando detriti di vario genere con la saliva.

Molti tipi di funghi si procurano nutrimento degradando il legno e portandolo alla decomposizione. Esistono due tipologie di funghi: quelli a macchia, che provocano cambiamenti di colore, solitamente in specie di legno tenero, e quelli da decadimento che costituiscono i maggiori antagonisti alla durabilità del materiale. Il loro attacco prevede una fase vegetativa che come nel caso della carie da legno causa la graduale e progressiva degradazione dei tessuti legnosi del legname in conservazione e in opera. La carie una volta insidiata nel materiale può comprometterne le caratteristiche morfologiche, fisiche e meccaniche. Tali funghi vengono chiamati lignivori o xilovori poiché attaccano prevalentemente cellulosa e lignina. L'azione della carie dipende dall'agente eziologico, dalle caratteristiche proprie del fungo quali la specificità con l'ospite, il corredo enzimatico, la capacità di sopravvivenza in condizioni sfavorevoli e la tolleranza ai meccanismi di difesa della pianta viva. Inoltre, lo sviluppo della carie dipende anche dalle caratteristiche del legno e dalle condizioni ambientali. Il processo infettivo di essa si sviluppa in corrispondenza di una lesione di origine parassitaria o di una ferita dovuta al taglio a livello dell'apparato aereo o dell'apparato radicale. La sopravvivenza del fungo avviene grazie alla capacità di diffusione dello stesso per via gamica. Molti funghi agenti di carie sono parassiti secondari, agiscono quando la pianta si trova in condizioni di sofferenza e indebolimento, tuttavia generalmente non provocano danni su piante sane.

Riassumendo, i principali fattori ambientali per il degrado del legno sono:

- Presenza di organismi che possono degradare il legno;
- Età della struttura;
- Temperatura;
- Presenza di ossigeno;
- Umidità del legno.

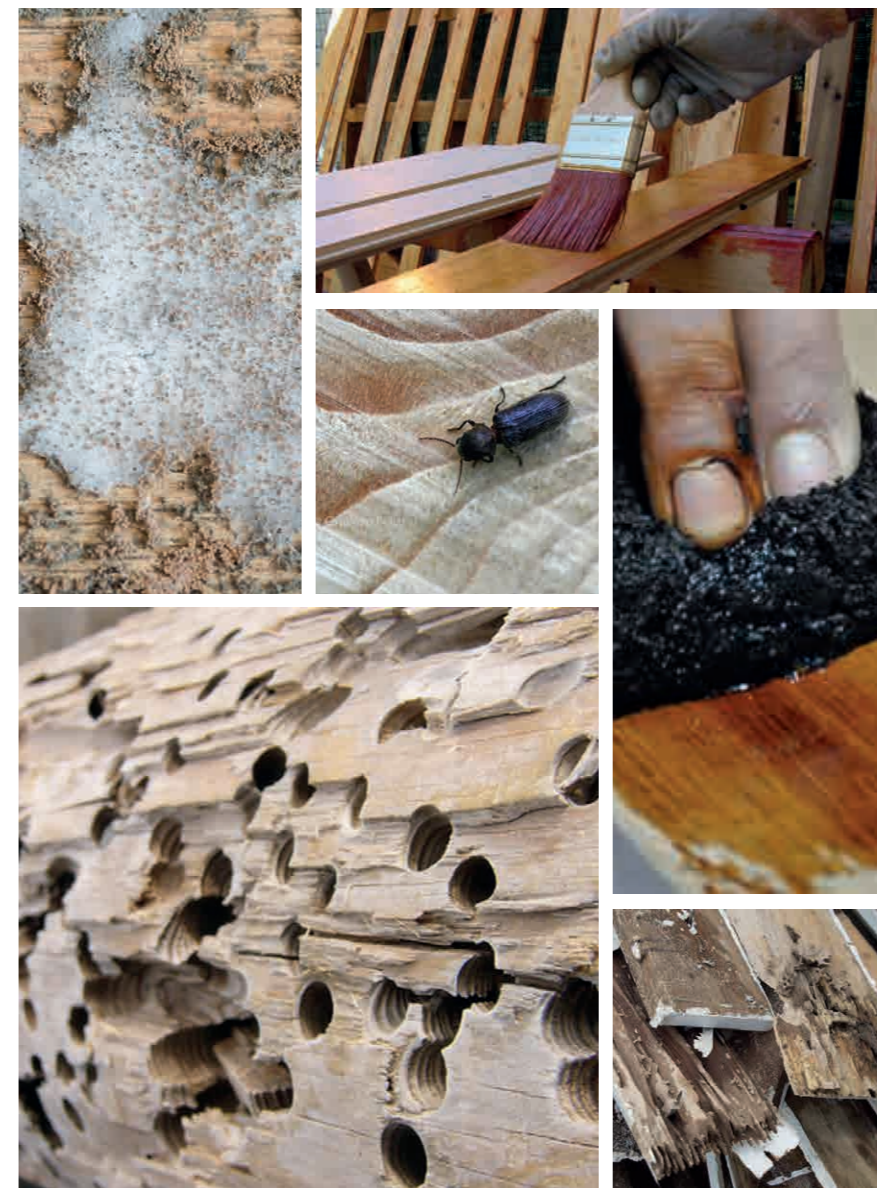


Figura 103\_Degradi del legno ed eventuali protezioni

#### 4.2.3 PROTEZIONE DEL LEGNO

È impossibile prevedere la durabilità naturale del legno, come del resto di altri materiali, ma si può intervenire cercando di limitarne il degrado.

Infatti, oltre alla qualità dei diversi tipi di legno che risultano più o meno duraturi, ci sono anche altri fattori determinanti, come la protezione costruttiva, la lavorazione artigianale, le condizioni ambientali e gli effetti atmosferici.

La durabilità delle costruzioni in legno si decide spesso già nella fase di progettazione e può essere sensibilmente prolungata con una coerente progettazione di dettaglio.

La durabilità non va confusa con la manutenzione, indispensabile per la conservazione del materiale. La protezione del legno garantisce la durabilità e riduce al minimo la manutenzione.

La prevenzione del degrado nelle strutture in legno e il restauro delle strutture esistenti si attuano innanzitutto con un'adeguata scelta della specie legnosa in funzione delle condizioni ambientali.

Nei casi in cui rimuovere l'umidità dal legno non sia possibile, si possono eseguire dei trattamenti preservanti per proteggere il materiale dall'attacco biologico. Nel tempo si sono sviluppati diversi tipi di trattamenti che possono essere applicati sia come metodi di prevenzione sia per tenere sotto controllo il degrado già in corso.

I trattamenti possono essere classificati in diverse categorie:

- **METODI STRUTTURALI:** scelta del legno e progetto dei dettagli costruttivi;
- **METODI CHIMICI:** impregnazione del legno con sostanze che bloccano la proliferazione di funghi e la presenza di insetti;
- **METODI FISICI:** creano condizioni ambientali ostili alla sopravvivenza degli agenti aggressivi come il controllo costante di temperature alte/basse, onde elettromagnetiche o raggi gamma;
- **METODI BIOLOGICI:** impiego di organismi viventi per sterminare organismi aggressivi.

Si analizzano ora in dettaglio alcune delle proposte per limitare i danni di degrado del legno.



#### 4.2.3.1 PROTEZIONE COSTRUTTIVA

Il maggior contributo alla durabilità è fornito dalla protezione costruttiva del legno, in modo tale da allungare notevolmente la vita della costruzione complessiva. Come detto il legno deve essere protetto da funghi, insetti e da fenomeni di putrefazione per effetto prolungato dell'acqua. Per questo andrebbero soddisfatte tutte le regole di costruzione che ne garantiscono la durabilità. Per quanto riguarda le aggressioni di insetti o termiti esiste una classificazione che suddivide in legno durevole (D) o poco durevole (S).

È necessario però comprendere ora quali siano le misure concrete per una protezione costruttiva del legno, essendo esso il materiale principale utilizzato nel progetto.

La principale misura è un efficace allontanamento dell'acqua. A tal fine la migliore protezione è fornita da sporgenze e rivestimenti. Se, infatti, è garantita al legno la possibilità di potersi asciugare, la superficie talvolta può anche inumidirsi. Va però evitata la penetrazione dell'acqua negli strati più profondi.

Andrebbero inoltre evitate le superfici esposte orizzontalmente, infatti sono preferibili quelle inclinate. In caso di rivestimenti orizzontali con incastro a maschio e femmina il primo elemento deve essere sempre orientato verso l'alto.

Nelle connessioni le tese dei chiodi o le viti sporgenti sono un punto vulnerabile: una possibile soluzione prevede che i chiodi o le viti di una tavola, siano coperti da quella successiva. I giunti di testa sono controindicati perché si asciugano difficilmente. Le superfici frontali vanno sempre coperte.

Sono assolutamente da evitare gli angoli in cui si può accumulare l'acqua. Inoltre i raccordi degli elementi da costruzione vanno costruiti in modo da escludere la penetrazione di essa. È consigliabile che lo scorrere dell'acqua sia facilitato da uno spigolo o scanalatura di gocciolamento.

Riassumendo, l'acqua stagnante in combinazione con l'ossigeno rappresenta il maggior pericolo di ogni costruzione in legno. Per questo motivo le giuste misure di protezione costruttiva del legno, ponendo particolare attenzione agli incastri e alle esposizioni delle differenti parti della costruzione, rendono quasi sempre superfluo l'impiego di sostanze chimiche e permettono di ottenere una buona durabilità del materiale e conseguentemente della struttura stessa.

#### 4.2.3.2 PROTEZIONE CHIMICA

Negli ultimi anni la protezione del legno per mezzo di sostanze chimiche è caduta in discredito: si temono a ragione rischi per la salute e l'ambiente. Tuttavia in alcuni casi non è possibile evitarla. La protezione chimica e costruttiva del legno si completano a vicenda, anche se la prima non potrà mai sostituire la seconda. Tutte le sostanze per la protezione del legno contengono biocidi e fungicidi. Una semplice difesa superficiale, diversamente da quanto si crede, non è un mezzo di salvaguardia adeguato del legno. Va comunque appurato a seconda del caso specifico se l'impiego sia opportuno o meno.

Le costruzioni in legno altamente esposte al contatto prolungato con l'acqua non possono fare a meno di una protezione chimica. La scelta della sostanza di protezione e della quantità da impiegare avviene a seconda della classificazione e del tipo di legno. Nel caso di impiego di tali sostanze va considerata la necessità di continui trattamenti successivi. Tuttavia la sensibilizzazione pubblica in materia di sostanze chimiche per la difesa del legno ha indotto ultimamente l'industria chimica a cambiare ottica: per questo oggi sono quasi ovunque disponibili nuove sostanze meno aggressive. Con molta attenzione, soppesando vantaggi e svantaggi, va comunque riconosciuto che tali sostanze sono certamente problematiche, ma talvolta indispensabili per proteggere le costruzioni in legno.

I trattamenti chimici, realizzati con sostanze liquide o con vapori e gas, si differenziano dai normali idrorepellenti per la presenza di sostanze tossiche per gli organismi aggressori. La soluzione ha solitamente come matrice l'acqua oppure solventi organici. I trattamenti ad acqua solitamente non manifestano odori particolari, ma possono causare il rigonfiamento del legno a causa della soluzione salina. I trattamenti con solvente, sono invece costituiti, da un biocida organico disciolto in un solvente organico. Il solvente, evaporando, lascia nel legno il biocida che non viene dilavato dall'acqua. A causa della pressione di vapore elevata, il loro utilizzo deve essere controllato, al fine di evitare rilasci inquinanti in ambienti chiusi.

Se contro gli insetti si usano insetticidi in solventi organici, per quanto riguarda i funghi si adottano sostanze a base di: oli (soluzioni di sali metallici e bitumi), solventi organici (pentaclorofenolo), soluzioni acquose a base di rame, cromo e arsenico.

#### 4.2.4 INVECCHIAMENTO

Per effetto degli influssi esterni e atmosferici ogni tipo di legno con il passare degli anni cambia il colore iniziale ed assume una tonalità grigia. Altro processo naturale è la trasformazione della superficie, inizialmente liscia, in ruvida ed erosa. Tali caratteristiche esteriori non significano però che il legno abbia perso la sua stabilità.

In quanto materiale organico, il legno, dopo la lavorazione (taglio, asciugamento, piallatura), è soggetto a un naturale processo di invecchiamento. Le cause sono gli effetti degli agenti atmosferici attraverso la pioggia e l'esposizione ai raggi UVA, l'essiccamento e altri agenti esterni quali ad esempio l'inquinamento. La superficie invecchiata (patina) è per tradizione accettata negli edifici agricoli mentre è considerata antiestetica, antiquata e addirittura segno di trascuratezza in tutti gli altri. Tuttavia la conservazione attraverso l'applicazione periodica di uno strato protettivo mediante verniciatura, spruzzo o impregnazione è macchinoso e quindi poco economico. La maggior parte delle facciate delle nuove case in legno vengono intonacate, soprattutto per evitare i processi di invecchiamento del materiale.

L'erronea credenza assai diffusa che il legno stagionato abbia perso la sua solidità e le due proprietà di isolamento termico può essere sfatata grazie alle informazioni in possesso degli esperti. Oggi, per controllare in modo efficiente l'invecchiamento del materiale, si seguono due principi: o si cerca di proteggerlo o lo si lascia stagionare con coerenza. Le superfici di legno a filo facciata senza tetto sporgente dovrebbero essere più lisce possibile e ben sotto-ventilate, per garantire una stagionatura omogenea. Sporgenze e rientranze diminuiscono notevolmente l'invecchiamento del legno; tuttavia la stagionatura della facciata protetta è disomogenea. Particolare attenzione andrebbe posta all'orientamento delle superfici: le facciate verso Ovest si alterano più velocemente di quelle esposte ad Est perché altamente rivolte a piogge e all'irraggiamento solare prolungato e intenso. È interessante notare che le superfici di edifici ad altitudini elevate presentano a Sud una colorazione bruno-dorata bruciata dal sole mentre verso Nord questa è grigio-argento. Ciò è dovuto alla maggiore irradiazione di raggi UVA e all'aria secca. Le superfici verticali invecchiano meno velocemente di quelle inclinate ed orizzontali.

Tutti i tipi di legno invecchiano in modo simile, cosicché col passare dei decenni abete rosso, larice o latifoglie come il rovere diventano quasi indistinguibili.



Figura 104\_Atelier Zumthor: legno non trattato che presenta segni dell'invecchiamento



## 4.2.5 IL LEGNO E IL FUOCO

Il legno è combustibile e da migliaia di anni è impiegato come tale nelle forme più diverse. Senza il calore del fuoco, l'evoluzione umana avrebbe avuto un corso ben diverso.

Per la protezione antincendio, tuttavia il legno non va considerato combustibile ma un materiale da costruzione. La protezione antincendio infatti ha lo scopo di proteggere le persone, gli animali e i valori materiali dai pericoli del fuoco. Qui si distingue tra protezione antincendio di difesa e preventiva. Nel primo caso si tratta di misure per combattere gli incendi che riguardano sostanzialmente gli interventi dei vigili del fuoco. La protezione antincendio preventiva invece prevede misure edilizie che impediscono la formazione e propagazione di fiamme e fumo.

Anche se l'aspetto di fragilità nei confronti del fuoco è innegabile, è interessante evidenziare il fatto che gli edifici in legno, per quanto soggetti ad incendio, spesso sopravvivono ad esso rimanendo in gran parte intatti, senza arrivare al collasso. Il legno infatti non inizia a bruciare fino a che non viene raggiunta una temperatura di circa 300°C ma, poiché è un cattivo conduttore di calore, anche quando la temperatura superficiale raggiunge i 300°C il nucleo è poco influenzato e continuerà a supportare il carico che era destinato a sostenere. Materiali come l'acciaio, invece, sono ottimi conduttori di calore, e poiché già a 800°C sono facilmente piegabili, a temperature più basse possono deformarsi.

Detto ciò si può affermare che durante un sisma ed un eventuale incendio ad esso associato le costruzioni in legno sono realmente più sicure rispetto a quelle con struttura in acciaio, in quanto dissipano energia sismica nell'attrito tra le diverse parti delle giunzioni, limitano così i danni all'edificio e mantengono una certa integrità strutturale anche di fronte alle alte temperature del fuoco.

La bassa conducibilità termica del legno ha anche un'interessante ricaduta nell'uso: proprio perché il legno è un cattivo conduttore di calore mantiene una sua temperatura costante rimanendo caldo al tatto anche in pieno inverno o fresco in estate. In paesi molto umidi come il Giappone, edifici in pietra trasuderebbero notevolmente in una giornata afosa, quando invece il legno per costruzioni "suda" raramente in quanto è in grado di assorbire i normali livelli di umidità circostante.

### 4.2.5.1 COMBUSTIBILITÀ

La combustibilità di un materiale da costruzione è rilevante unicamente in relazione alla formazione e propagazione di un incendio. Rispetto alla loro reazione al fuoco, tutti i materiali vengono suddivisi in classi.

Legno e derivati sono, secondo la norma europea, "normalmente infiammabili" e corrispondono per lo più alla classe D-s2,d0. Le classi A1 e A2 indicano i materiali non infiammabili, la B e la C quelli difficilmente infiammabili. Le ulteriori indicazioni in caratteri minuscoli (s, d) indicano le proprietà di sviluppo di fumo e gocciolamento. All'interno di questa valutazione il legno si posiziona relativamente bene.

### 4.2.5.2 RESISTENZA AL FUOCO

Il comportamento al fuoco di legno e derivati è definito attraverso la durata di resistenza al fuoco definita come l'intervallo di tempo espresso in minuti in cui un elemento da costruzione può adempire ai requisiti prescritti in condizioni di prove prestabilite.

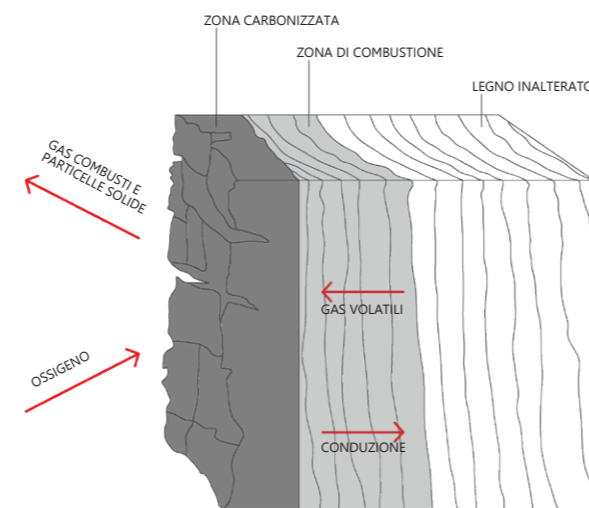


Figura 105\_Trasformazione subita dal legno durante un incendio

Soggetti ad un incendio normalizzato conformemente alla curva temperatura e tempo, gli elementi da costruzione devono opporre una determinata resistenza agli effetti del fuoco.

La durata di resistenza al fuoco è caratterizzata dalle proprietà di capacità portante (R), tenuta ai fumi di combustione (E) e isolamento termico (I). In rapporto alla durata si ricavano le classi di resistenza al fuoco REI 30, REI 60, REI 90, ecc.

Le prestazioni di un elemento costruttivo rispetto a questi requisiti dipendono dall'interazione tra struttura portante, rivestimenti e isolanti. Tutti gli elementi strutturali di una costruzione in legno e derivati, secondo la norma italiana, in caso di incendio devono raggiungere la capacità portante minima di R 60, il che è possibile con l'impiego delle più recenti norme di calcolo quasi sempre senza aumento della sezione portante.

In caso d'incendio, tutti gli elementi devono sostanzialmente garantire la loro funzione. Per pareti non portanti basta il requisito "EI", per esempio EI 30. I requisiti di resistenza al fuoco REI possono trovare considerazione anche per materiali infiammabili. Esistono infatti anche certificati antincendio con REI 90 per pannelli in legno massiccio piuttosto spessi, sebbene rientrino nella categoria "normalmente infiammabili".

Il problema è dunque il seguente: gli elementi "resistenti al fuoco" sono classificati come "normalmente infiammabili". In molti edifici di uso pubblico sono richiesti dalla norma materiali da costruzione di classe A (ignifugo). L'ammissione di modelli di protezione antincendio con definizione di scopi di protezione, com'è già in uso in Germania, Austria e Svizzera, semplificherebbe di molto l'impiego del legno nel settore pubblico.

Oltre alle ottime proprietà fisico-tecniche, il legno come materiale da costruzione ha spesso dimostrato la sua capacità portante in caso d'incendio. Infatti il legno brucia lentamente e con costanza, fatto che permette alle alte temperature di proteggere il nucleo portante grazie allo strato carbonizzato che si forma esternamente riparandolo.

Inoltre è bene sottolineare che il fumo sprigionato dalla combustione del legno, essendo esso un materiale completamente naturale, è molto meno tossico di quello prodotto da altri materiali.

Gli elementi da costruzione in legno più grandi e appiattiti bruciano difficilmente. Purtroppo le norme europee di protezione antincendio non tengono conto di questa proprietà, vedi classificazione "normalmente infiammabile". Sebbene sia un materiale infiammabile, in caso d'incendio rispetto ad altri materiali da costruzione il legno presenta chiari vantaggi, perché grazie alla sua combustione uniforme e prevedibile non produce un crollo improvviso, come avviene invece per costruzioni in metallo come già accennato prima. Raramente l'incendio di una casa in legno provoca il crollo della struttura portante. Il legno che brucia non si deforma come avviene invece per l'acciaio. Inoltre non gocciola, come accade nel caso delle materie plastiche. Ciò permette la fuga dall'edificio in fiamme senza ulteriori fonti di pericolo. Il legno, per la sua scarsa conduttività termica, forma a temperatura di 200°C uno strato carbonizzato. Questo, a sua volta, protegge dal fuoco il legno sottostante portante. Il tempo che precede il crollo di una costruzione portante in legno è stimabile e si preannuncia per tempo con crepitio. Questa proprietà ha un notevole influsso per combattere l'incendio. Una velocità di carbonizzazione di ca. 0,8mm al minuto può rappresentare un tempo determinante per la sopravvivenza.



Figura 106\_Sezione del legno interna non bruciata



#### 4.2.5.3 LA FORMAZIONE DI UN INCENDIO

Spesso si afferma erroneamente che il rischio di formazione di un incendio e il carico d'incendio nelle case in legno siano molto maggiori che in quelle in muratura.

Una serie di ricerche controbattono chiaramente tali informazioni inesatte per i motivi seguenti:

- gli incendi si formano per azione esterna, per esempio apparecchi difettosi, cortocircuiti o incendi di camini e non nel materiale stesso da costruzione. Tali cause non vanno relazionante ai materiali utilizzati per la costruzione. Inoltre una struttura in legno leggera si può proteggere efficacemente con rivestimenti non infiammabili;
- gli incendi di camini sono una delle più frequenti cause di incendio e in questi casi il fuoco si propaga ben presto all'orditura del tetto. Le coperture in legno trovano impiego in molte tipologie edilizie. Se le direttive di protezione antincendio per i camini sono adeguatamente rispettate, anche in questo caso il pericolo è escluso;
- un ulteriore punto debole in caso di incendio è rappresentato dalle aperture nell'edificio. Tuttavia, è ovvio che porte e finestre siano indispensabili in ogni costruzione.

Spesso si sottovaluta la vera problematica che si riscontra in caso di incendio. Infatti il pericolo maggiore non è costituito dalle fiamme che si propagano e creano danni alla struttura, dato che questo è un processo relativamente lento, ma dal fumo che si forma all'interno degli edifici. Difatti le vittime sono spesso causate da intossicazione più che da ustione.

Il rischio di formazione di incendio dipende sostanzialmente dall'arredamento interno. Infatti in un primo tempo brucia sempre l'arredamento costituito ad esempio da tappeti, mobili e tende che producono molto più fumo del legno impiegato come materiale da costruzione. Prima ancora che inizi a bruciare la struttura portante in legno, si sono già formate nella maggior parte dei casi consistenti esalazioni.

Concludendo, si può affermare che, se provvista di rilevatore di fumo, una costruzione in legno è più sicura di una di altro tipo.

#### 4.2.5.4 PROPAGAZIONE DI UN INCENDIO

Uno dei problemi da tenere conto nella progettazione, oltre a limitare le cause che provocano l'incendio è la propagazione di esso.

In un'abitazione a più piani, le facciate in legno vanno attrezzate contro la propagazione del fuoco da un piano all'altro. Quando le fiamme raggiungono uno stato avanzato, arrivano alla facciata attraverso le finestre e possono così propagarsi al piano successivo rientrando dalle aperture stesse.

Per impedire ciò sono necessari sbarramenti antincendio da applicare alla facciata per tenere lontane le fiamme dalla superficie della facciata superiore. Misure adeguate vanno applicate anche agli angoli interni della di essa. Con una progettazione antincendio dettagliata si possono anche costruire facciate in legno per più piani.

Per quanto riguarda le cause degli incendi, la costruzione in legno non si differenzia dagli altri sistemi. Questo è stato riconosciuto anche da rinomate assicurazioni, per cui non si hanno differenze rilevanti nemmeno in questo campo.

Valori sperimentali della velocità di carbonizzazione (Cont et al., 1999)		
Specie legnosa	Massa volumica allo stato normale (kg/m <sup>3</sup> )	Velocità media di carbonizzazione (mm/min)
<i>Abete rosso</i>	450	0,72
<i>Abura</i>	600	0,6
<i>Aniegré</i>	540	0,68
<i>Castagno</i>	470	0,71
<i>Duglasia</i>	510	0,68
<i>Doussié</i>	800	0,48
<i>Faggio</i>	720	0,69
<i>Framiré</i>	610	0,69
<i>Iroko</i>	580	0,6
<i>Kotibé</i>	640	0,6
<i>Larice</i>	510	0,62
<i>Moabi</i>	870	0,48
<i>Pino silvestre</i>	550	0,54
<i>Ramin</i>	730	0,72
<i>Rovere</i>	720	0,49
<i>Sipo</i>	640	0,58

Figura 107\_Velocità di carbonatazione di alcune essenze del legno





## 4.3 CROSS LAMINATED PANELS

La struttura portante di Velika è composta principalmente da pannelli Cross-Lam e si interva solo in alcuni punti con dei pannelli a graticcio. Al fine di progettare al meglio, si sono studiate a lungo le caratteristiche e le modalità di calcolo del sistema a pannelli, identificabile come un'estensione bidimensionale delle travi in legno lamellare.

I pannelli sono ottenuti sovrapponendo strati incrociati e incollando diversi strati di assi di legno. Il materiale di base per la produzione di pannelli Cross-Lam è costituito da tavole grezze di segheria, ricavate prevalentemente dalle porzioni esterne del tronco. Questo prodotto, considerato nel mondo delle segherie come segato di basso valore in virtù del carente valore aggiunto, possiede comunque le migliori proprietà in termini di resistenza e rigidità. La disposizione incrociata delle lamelle longitudinali e trasversali permette di ridurre a valori trascurabili i fenomeni di rigonfiamento e ritiro del pannello, aumentandone notevolmente la resistenza statica e la stabilità dimensionale.

La larghezza delle singole tavole dei pannelli Cross-Lam è compresa normalmente fra 80 mm e 240 mm, lo spessore invece fra 10 mm e 35 mm. Il rapporto fra larghezza e spessore deve essere definito in base all'equivalenza  $l : s \geq 4 : 1$ . Si possono raggiungere dimensioni notevoli: 3 m x 16 m con spessori di 250 mm.

Attualmente per la produzione dei pannelli Cross-Lam si utilizzano specie di conifere quali abete rosso, pino, larice e abete bianco, alle quali potrebbero seguire in futuro specie di latifoglie come ad esempio frassino e faggio. Le lamelle piallate su quattro lati possono presentare un andamento dei bordi parallelo, profilato o concio.

La struttura tipica di un pannello Cross-Lam è costituita da strati di tavole o pannelli monostrato sovrapposti, orientati alternativamente a 90°. È possibile anche un orientamento degli strati di tavole con angolo di 45°. Il legame quasi rigido dei singoli pannelli monostrato si ottiene mediante incollaggio omogeneo dell'intera superficie e per mezzo di un adeguato sistema di applicazione della colla. Inoltre è necessario assicurare il mantenimento della pressione richiesta dalla colla durante l'intero ciclo di pressatura. Dimensioni e forma degli elementi del pannello Cross-Lam sono determinate dalle restrizioni imposte dalle azioni di produzione, di trasporto e di montaggio.

Attualmente possono essere prodotti elementi piani e leggermente curvati, in una direzione, con le seguenti dimensioni: lunghezza=16,5m (max. 30,0m), larghezza=3,0m (max. 4,8m) e spessore  $d_{max}=0,5m$ .

Lunghezze maggiori a 30m possono essere ottenute mediante giunzioni di testa a pettine. Per gli elementi leggermente curvi, gli spessori dei pannelli monostrato devono essere selezionati in base al grado di curvatura desiderato. Il raggio di curvatura massimo dipende dagli spessori degli strati e dalle proprietà di resistenza alla flessione delle lamelle e dovrebbe rispettare i requisiti della norma EN 386 così come avviene per le travi curve di legno lamellare.

Diversamente da queste ultime, tuttavia, le tavole sovrapposte sono disposte perpendicolarmente una all'altra e possono essere incollate o giuntate con connettori metallici. Diverse combinazioni di strati longitudinali e trasversali consentono di ottenere diverse strutture di pannello multistrato, che possono essere ottimizzate rispetto ai requisiti strutturali e di resistenza al fuoco.

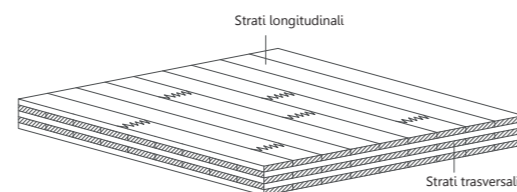


Figura 108\_Struttura di un pannello Cross-Lam a 5 strati

### 4.3.1 PRINCIPIO DI IMPIEGO

I requisiti per la produzione dei singoli prodotti di Cross-Lam e le direttive per l'impiego degli elementi come elementi strutturali o di irrigidimento per costruzioni di legno sono regolamentati dalle omologazioni dei singoli prodotti.

I prodotti possono essere impiegati conformemente alle relative omologazioni come componenti di pareti, solai e coperture in edifici. I pannelli Cross-Lam possono essere utilizzati, se non diversamente specificato nelle relative omologazioni, per componenti da costruzione portanti, di irrigidimento o non portanti, calcolati e costruiti secondo la norma DIN 1052 oppure EN 1995-1-1.

Il loro utilizzo è consentito solo per le classi di impiego 1 e 2 secondo EN 386.

I pannelli Cross-Lam vengono prodotti fondamentalmente in qualità per uso industriale con qualità non a vista. Per ottenere un pannello con superficie di qualità a vista, è necessaria un'adeguata lavorazione dello strato esterno, che in base alle sue caratteristiche meccaniche può contribuire o meno alla funzione portante.



Figura 109\_Pannelli Cross-Lam da 5 strati e 3 strati

### 4.3.2 IMPIEGHI PRINCIPALI

La differenza essenziale fra costruzioni di tipo leggero e di tipo massiccio è che nell'esecuzione massiccia, ad esempio di tetti e pareti esterne, l'elemento isolante è nettamente separato dalla struttura portante. Per la parte strutturale vengono utilizzati nei due sistemi costruttivi famiglie di prodotti completamente diverse. Contrariamente alle costruzioni leggere, dove prodotti a prevalente sviluppo longitudinale rivestiti con pannelli piani sottili assolvono le funzioni di distribuzione del carico (i rivestimenti sono utilizzati a scopo di irrigidimento), nel caso delle costruzioni di tipo massiccio vengono utilizzati elementi piani di grande formato che assorbono e distribuiscono sia i carichi verticali sia quelli orizzontali. La costruzione di tipo massiccio si caratterizza inoltre per il fatto che, rispetto alla costruzione di tipo leggero, può presentare masse di accumulo più grandi. Con una struttura ad almeno cinque strati con l'incollaggio laterale delle singole tavole di uno strato, è possibile ottenere una struttura senza sfogliature, purché le giunzioni fra gli elementi siano realizzate in modo adeguato. Per entrambi i tipi di costruzione è possibile realizzare diverse finiture sia della facciata a vista della superficie di legno sia di un ulteriore rivestimento interno.

La costruzione in legno di tipo massiccio, con pannelli Cross-Lam, si contraddistingue per l'elevata rigidità della struttura. È comunque necessario applicare una tecnica di giunzione adeguata dei singoli pannelli. La costruzione in legno di tipo massiccio con pannelli Cross-Lam è caratterizzata dall'impiego strutturale di elementi multistrato, che presentano lungo gli assi principali dimensioni notevoli rispetto a loro spessore (componenti costruttivi 2D).

Gli elementi piani portanti di Cross-Lam fungono, in base alla situazione di carico, da piastra e/o da lastra. La composizione della sezione trasversale del pannello determina il comportamento portante longitudinale e trasversale dei singoli elementi. Le numerose possibilità di impiego dei pannelli Cross-Lam sono dimostrate dall'estrema varietà di prodotti e componenti ottenibili. Possono essere realizzate pareti esterne e interne di grandi dimensioni, elementi per coperture e solette, parapetti per scale e balconi, come pure componenti a prevalente sviluppo longitudinale con funzioni di distribuzione del carico, quali sostegni e supporti di vario tipo.



Lo spessore di un elemento di parete a 5 strati normalmente impiegato per un edificio a più piani corrisponde in base all'esperienza a circa 95mm (valore indicativo). Lo spessore minimo dei componenti portanti massicci per pareti dipende certamente dal prodotto e dai relativi parametri, tuttavia in generale non dovrebbe mai essere inferiore a 75mm. Con i pannelli Cross-Lam a 5 strati per solette di spessore compreso fra 125mm e 160mm, si possono realizzare, in base alla composizione del pannello e del solaio e al grado di sollecitazione, luci variabili da 4,0m a 5,0m in modo economico. Per luci più grandi e pareti più alte senza supporti intermedi sono indicati spessori più elevati, oppure pannelli nervati con travi di lamellare incollate o sezioni composte.

Gli elementi massicci per pareti, solette e coperture possono essere fabbricati singolarmente su progetto e assemblati con una tecnica di connessione sistematica e semplice, eliminando le lunghe procedure di allineamento e adattamento in cantiere. Coibentazioni, rivestimenti esterni ed elementi di facciata possono essere fissati facilmente agli elementi di pannelli massicci a strati incrociati in Cross-Lam.

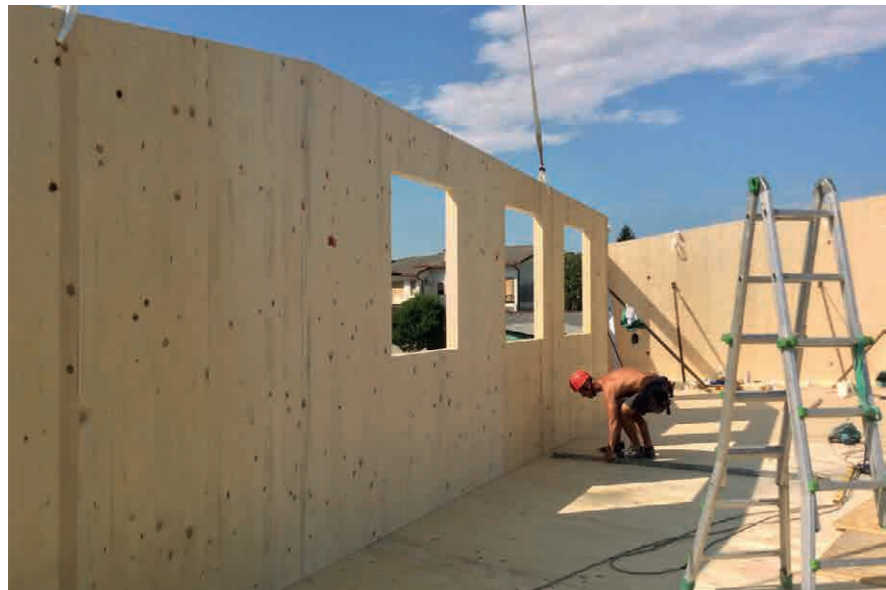


Figura 110\_Esempio applicativo del Cross-Lam

### 4.3.3 REALIZZAZIONE DELL'IRRIGIDIMENTO

L'irrigidimento di edifici costruiti con elementi di pannelli Cross-Lam viene realizzato mediante pareti di irrigidimento che, in combinazione con le solette intermedie, compongono una struttura portante tridimensionale rigida. Elementi di irrigidimento ulteriori non sono di norma necessari per questa "struttura tridimensionale, formata da elementi piani" costruita con pannelli Cross-Lam.

Il numero e la posizione degli elementi di irrigidimento di un edificio dipendono dalla geometria della costruzione, dalla composizione della sezione trasversale e dalla geometria dei singoli elementi di irrigidimento. Per la distribuzione e la trasmissione dei carichi orizzontali, oltre al tipo di tecnica di collegamenti è determinante anche e soprattutto la lunghezza di parete interessata (rapporto lunghezza/altezza di essa).

Aperture di grandi dimensioni nelle pareti (finestre, porte), che interrompono la omogenea distribuzione del carico verticale e orizzontale, interferiscono con l'azione portante del piano della parete. Poiché gli elementi di parete massicci sono decisamente più rigidi rispetto, ad esempio, alle pareti delle costruzioni intelaiate di legno, il numero e la lunghezza delle lastre di irrigidimento possono essere ridotti. Un'adeguata verifica in questo senso è tuttavia indispensabile in ogni caso. Molte costruzioni di ponti di legno dimostrano infine l'impiego efficiente dei pannelli Cross-Lam per gli elementi portanti dell'impalcato.

Bisogna specificare inoltre che per la definizione delle possibili direzioni di sollecitazione e un raffronto univoco fra le caratteristiche meccaniche dei diversi prodotti a base di legno di forma piana è indispensabile un sistema di coordinate unificato.

L'asse x è parallelo alla direzione della fibra dello strato superiore o all'orientamento dello strato superiore. Il piano del pannello è la superficie risultante dagli assi x e y, cioè l'asse y giace sullo stesso piano del pannello in direzione perpendicolare all'asse x. L'asse z, nell'ambito di un sistema di coordinate ortogonali, è perpendicolare al piano del pannello.

Spesso si trova su di esso una freccia che indica la direzione della fibra dello strato esterno, utilizzata anche in cantiere per evitare errori di posa.

### 4.3.4 VANTAGGI DELLE COSTRUZIONI IN CROSS-LAM

Come detto i pannelli Cross-Lam permettono di realizzare elementi strutturali di legno massiccio piani, che formano la struttura dell'edificio.

Quest'ultima è composta da pareti, con funzione strutturale di lastra, e solette, con funzione strutturale di piastra, collegate fra loro tramite connessioni semplici e facilmente realizzabili.

Si ottiene così una tipologia strutturale identica a quella delle costruzioni di calcestruzzo, formate da elementi piani di spessore ridotto. Nel caso delle strutture di edifici con pannelli Cross-Lam lo spessore delle pareti varia fra 120 e 160mm e quello delle solette fra 140 e 200mm.

Grazie a questa struttura massiccia, resistenza e rigidità dell'edificio non hanno nulla da invidiare alle strutture formate da altri materiali, mentre i vantaggi derivanti dall'uso del legno possono essere sfruttati al meglio: primo fra tutti la prefabbricazione in officina di elementi completi di pareti e di solette, che saranno assemblati in modo semplice e rapido direttamente sul cantiere, riducendo il processo progettuale e costruttivo più efficace sotto tutti i punti di vista.

Dal punto di vista progettuale, è particolarmente interessante constatare come questo materiale permetta di considerare le superfici della costruzione, senza doverle realizzare tramite la composizione di un telaio che ne rispetti la geometria e la forma, ma descrivendo con il materiale la forma e la geometria della superficie richiesta dal progetto. Aperture all'interno non sono un ostacolo alla realizzazione della superficie strutturale, ma sono ottenute tramite eliminazione della parte formante l'apertura.

L'apertura in una parete, per esempio creata da una porta o da una finestra, non richiede per principio l'introduzione di un ulteriore elemento, come avviene ad esempio nel caso dei sistemi a telaio.

La superficie della parete, con la sua apertura rappresenta l'elemento strutturale piano e verticale, la cui composizione multistrato permette di mantenere le funzioni strutturali richieste; è superfluo aggiungere che questo modo di procedere ha senz'altro una conseguenza sul comportamento strutturale dei diversi elementi, di cui lo strutturista dovrà tenere conto.

La costruzione può essere quindi vista come una struttura tridimensionale, monolitica, caratterizzata dalla continuità del materiale e dalla distribuzione delle sollecitazioni meccaniche in modo quasi uniforme su tutto l'edificio.

Ne risultano spessori strutturali ridotti, che si manifestano in modo positivo su tutto il progetto. Strutture di questo tipo permettono di aumentare notevolmente la rigidità e la solidità della costruzione, riducendo nel contempo la sollecitazione del materiale.

L'utilizzo dei pannelli individua un sistema ottimale per combinare sia le caratteristiche del legno sia una adeguata risposta nei confronti del sisma; aggiungendo a ciò la possibilità di sfruttare la prefabbricazione in officina e il montaggio, estremamente rapido e tipico della costruzione di legno, si ottiene il quadro completo del potenziale che questa tipologia costruttiva, basata sui pannelli Cross-Lam, può offrire.

Importante infatti è stato l'utilizzo dei pannelli Cross-Lam in diverse situazioni in cui era richiesta velocità, sicurezza ed economicità, senza rinunciare al comfort e alla durata nel tempo. L'Abruzzo, un grande cantiere dopo il terremoto, è testimonianza oculare della possibilità di dare aiuto immediato e soluzioni ottimali sfruttando la progettazione con pannelli prefabbricati.

Concludendo si può affermare che per il progettista, l'uso di questi pannelli dona la possibilità di sfruttare la superficie massiccia come elemento strutturale, svincolandosi dai limiti tradizionali della costruzione di legno basati sulla struttura intelaiata, sulla travatura e sul principio degli assi verticali continui e con interesse molto ridotto.

Per l'architetto e il progettista, l'applicazione di questo materiale significa una libertà molto vasta nella concentrazione degli spazi e della costruzione. Questa tipologia costruttiva apre alla costruzione con il legno anche quei settori che fino a poco tempo fa erano esclusi o, comunque, accessibili solo a costo di soluzioni complesse e compromessi importanti: edifici abitativi multipiano, edifici pubblici, e scuole. Oggi invece edifici e costruzioni architettonicamente più complesse diventano, semplicemente, realizzabili anche con l'utilizzo di questo materiale.

Non è esagerato, quindi, definire questo processo una rivoluzione, e probabilmente non soltanto per la costruzione di edifici in legno.



Di seguito si sintetizzano per punti tutti i vantaggi che può portare la scelta della costruzione attraverso pannelli in Cross-Lam.

#### COSTRUZIONE MASSICCIA

Le costruzioni in Cross-Lam sono e si presentano come elementi strutturali “pieni” e restituiscono quindi la sensazione di “massiccio”, effetto che per esempio una costruzione a secco in acciaio non riesce a trasmettere.

Questa sua caratteristica rende il Cross-Lam anche un ottimo materiale contro l'inquinamento acustico, perché sfrutta la sua massività come potenziale acustico.

#### TEMPI DI COSTRUZIONE RIDOTTI

Basandosi sul concetto di prefabbricazione, ma senza confondere questo concetto con “standardizzazione”, il sistema Cross-Lam rende la fase di posa e realizzazione di cantiere ridotta in maniera sostanziale rispetto ai sistemi tradizionali.

Ciò avviene grazie al fatto che il Cross-Lam viene opportunamente progettato sulle specifiche richieste architettoniche del progettista e viene tagliato a misura nei laboratori.

#### GUADAGNO DI SPAZIO

Nonostante si possa pensare che la struttura in Cross-Lam non sia conveniente per guadagnare spazio, data la sua massività e la sua presenza non occasionale come i pilastri, ma costante per tutta la parete portante, grazie alle sue performanti caratteristiche strutturali ed agli spessori ridotti dei pannelli portanti, è possibile un notevole recupero di spazio con un conseguente guadagno di superficie calpestabile.

#### PREFABBRICAZIONE

La costruzione con la struttura in Cross-Lam è un sistema che permette di essere tagliato in laboratorio e quindi prefabbricato presso gli stabilimenti per la lavorazione del legno.

Questa caratteristica permette di produrre elementi e/o facciate, solai e pareti complete di edifici già provviste di aperture per gli ingressi, vani per finestre e fori per impianti.

Questo procedimento permette di ridurre le fasi di posa e velocizzare la costruzione di un fabbricato.

#### EFFETTO DI LASTRA / PIASTRA CONTROVENTATA

I pannelli Cross-Lam essendo monolitici e di grosse dimensioni, presentano l'eccezionale caratteristica di funzionare da lastra e/o piastra a seconda di come devono sostenere il carico.

Questo vantaggio si può sfruttare notevolmente quando il pannello Cross-Lam lavora come una lastra. In verticale pertanto si potrà sfruttare l'inerzia di una intera parete verticale per poter realizzare aggetti e/o mensole di notevoli geometrie, che risultano assolutamente impensabili ed impossibili da realizzare con sistemi costruttivi tradizionali.

#### COSTRUZIONE ANTISISMICA

Il Cross-Lam è un sistema costruttivo sicuro ed efficace ed è un materiale estremamente idoneo per zone sismiche grazie ai suoi ottimi comportamenti in caso di scosse orizzontali dato che riesce a salvaguardare la sicurezza e la durabilità dei fabbricati nel tempo.

Il comportamento degli edifici a pannelli portanti Cross-Lam nei confronti delle azioni sismiche è di tipo scatolare. L'azione orizzontale viene trasferita dai solai (considerati rigidi nel loro piano) alle pareti di piano in funzione della propria rigidità e da queste ai piani sottostanti fino alle fondazioni.

Per garantire il corretto comportamento della scatola strutturale occorre dotare alcune connessioni di adeguate riserve di sovra-resistenza evitando quindi la rottura e mantenendo un comportamento elastico.

#### PESO RIDOTTO

Il peso contenuto del materiale legno rispetto a quello del cemento armato e rispetto all'acciaio, rende la tecnologia Cross-Lam estremamente efficace nei casi di sopraelevazioni di edifici anche in vista delle forti restrizioni e controlli oggi resi obbligatori a causa dell'entrata in vigore del noto Decreto Ministeriale del 14 Gennaio del 2008.

La notevole riduzione del peso proprio della struttura, aiuta nello svolgimento dei calcoli strutturali a dimensionare l'ossatura portante stessa in modo più leggero. Questo significa una notevole riduzione del materiale di utilizzo e un aumento considerevole dello spazio utilizzato.



Figura 111\_Esempi di costruzioni in Cross-Lam durante le fasi di cantiere



# 4.4

## IL SISTEMA A GRATICCIO MENGOSHI

Intervallati ai setti pieni in Cross-Lam, la grande copertura è sostenuta da setti permeabili a graticcio. L'ispirazione per questo sistema progettuale proviene dall'elemento strutturale Mengoshi ideato da Atsushi Kitagawara.

Si analizzano ora le caratteristiche e le origini di questo sistema costruttivo per poterlo poi rielaborare e applicarlo all'interno del progetto.



Figura 112\_Atsushi Kitagawara

### 4.4.1 ATSUSHI KITAGAWARA

Atsushi Kitagawara è nato ai piedi delle Apli Nipponiche nel 1951 da un'importante famiglia della Prefettura di Nagano e per questo motivo passò la sua infanzia a stretto contatto col ricco patrimonio naturale che caratterizza la regione.

Il luogo in cui è cresciuto e le esperienze che ha avuto da piccolo immerso nella natura, furono sicuramente una grande fonte per delineare gli interessi del famoso architetto che, infatti, sin da ragazzo, sviluppò una profonda attenzione per la vita ed i fenomeni naturali oltre che per le discipline artistiche.

Divenuto ragazzo, sentì chiaro il desiderio di entrare alla Tokyo National University of Fine Arts and Music dove fu ammesso superando brillantemente il test d'ingresso. Nei primi anni di vita universitaria i suoi interessi come ad esempio l'arte avanguardista o il teatro e la musica, lo avvicinarono sempre di più alla disciplina che lo rese celebre: l'architettura.

Tutto cambiò quando, ventunenne, vinse il primo premio ad un concorso internazionale di progettazione architettonica indetto da JA (Shinkenchiku). Fu infatti da questo momento che decise di proseguire gli studi e laurearsi nella facoltà di architettura continuando comunque a coltivare la passione per l'arte e la lettura sia giapponese che europea.

Successivamente, durante un viaggio in Europa ebbe l'opportunità di conoscere e apprezzare la razionalità delle forme e il gusto di edifici contemporanei come la Stonborough-Wittgenstein House a Vienna e i progetti di Giuseppe Terragni a Como e, una volta tornato in patria, in Giappone proseguì il suo viaggio tra i meandri della cultura e della tradizione costruttiva del suo paese visitando Kyoto e altre regioni, imparando che la raffinata estetica dell'architettura non risiede solo nella forma e nel colore ma trova la sua ragione d'essere nella chiara e rigorosa poetica costruttiva oltre che nella ritmica e armoniosa musicalità che coinvolge il costruito nella sua interezza.

La sua formazione, il suo interesse personale, la curiosità e queste esperienze di viaggi per il mondo hanno fortemente contribuito a delineare un pensiero e un modus operandi che risulta perfettamente riconoscibile in tutti i suoi progetti e le sue opere.

### 4.4.2 IL CONCETTO COSTRUTTIVO DEL MENGOSHI

Il Mengoshi nasce da uno studio dei templi antichi e da una rivisitazione in chiave moderna del merikomi. Si tratta di un sistema di legno a graticcio bidimensionale che si inserisce quindi nella tradizione di architetture interamente lignee.

Dal punto di vista puramente costruttivo, l'elemento chiave che caratterizza il sistema Mengoshi è un modello a graticcio di elementi a sezione ridotta e costante che si incastrano ortogonalmente senza l'ausilio di giunzioni metalliche tramite la connessione shiguchi ai-kake (maschio-femmina).

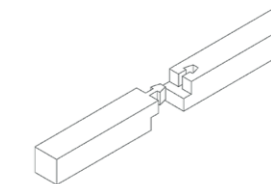
Tale sistema di collegamento consente di creare una parete che sia caratterizzata da rigidità ed elasticità allo stesso tempo, mantenendo un'estetica razionale e rigorosa ma soprattutto creando una struttura che rimane nello spessore complessivo della trave.

Tuttavia, sia dal punto di vista progettuale che costruttivo la connessione ad incastro shiguchi ai-kake da sola non è in grado di garantire né la libertà progettuale né la fattibilità realizzativa.

Infatti, questo particolare incastro non è appropriato per la congiunzione pannelli di Mengoshi aventi direzioni diverse come pareti ortogonali, verticali e solette ed inoltre, da sola, non permette di costruire sezioni di grandezza ridotta di pannello e di unirle solo successivamente in cantiere, pena la perdita di qualsiasi stabilità statica. E' per questo motivo quindi che alla connessione ai-kake si affiancano, in un graticcio di Mengoshi, altri tipi di connessioni che permettono di sviluppare la tridimensionalità della struttura.

Altro concetto molto importante è la realizzazione di una struttura tridimensionale, che attraverso il metodo dell'analisi statica, accreditato in fasi diverse dal Ministero del Territorio Giapponese e ideato dal Ing. Masahiro Inayama, ha reso possibile la certificazione di questa interessante e complicata struttura lignea, considerabile oggi con i suoi pregi e i suoi difetti al pari livello di altri metodi costruttivi.

Nelle immagini riportate nelle pagine seguenti si indicheranno, a livello puramente qualitativo, le soluzioni meccaniche sviluppate per estendere l'idea del pannello e quindi i differenti incastri che rendono possibile la realizzazione di progetti tridimensionali interamente con una struttura a graticcio.



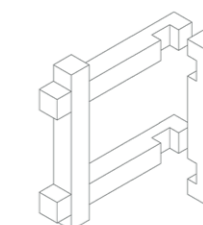
KOSHIKAKE - KAMA - TSUGI

Appartiene alla famiglia di connessione TSUGITE, utilizzata per prolungare le travi. Il sistema raffigurato viene utilizzato per il prolungamento delle travi di bordo.



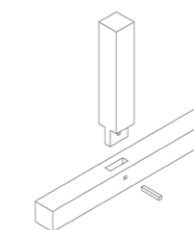
TAN - HOZO - SASHI

Sistema di connessione tra i pilastri esterni del pannello e la trave di basamento. Esso prevede di intagliare il travetto di base e creare un incastro maschio-femmina con il pilastro superiore.



AI - GAKI

Appartiene alla famiglia di connessione SHIGUCHI (che letteralmente significa "Right Angle Joint"). E' un sistema di collegamento utilizzato per incastrare degli elementi perpendicolarmente.



NAGA - HOZO - SASHI

Sistema di connessione tra i pilastri del pannello in legno e la trave di basamento. Il piolo di legno che unisce trave e pilastro viene chiamato Komi - Sen - Uchi.

Figura 113\_Diverse tipologie di incastro nella struttura a Mengoshi tridimensionale







#### 4.4.5 OPERE REALIZZATE

Atsushi Kitagawara Architects ha realizzato diversi progetti con l'impiego della tecnologia Mengoshi, alcuni dei quali si riportano nel seguente paragrafo.

##### 4.4.5.1 KI NO-KUNI INFORMATION PAVILION

Nell'anno 2011 fu realizzato, nella prefettura di Yamanashi, il sito Ki No-Kuni.

Si tratta di un padiglione che ricopre un'area di circa 1000m<sup>2</sup>. Le principali attività di questa struttura sono esporre, formare e permettere un interscambio culturale in merito al legno.

Il volume è concepito come uno spazio corridoio disposto a corte che è possibile percorrere in totale libertà. Il loggiato è composto da un grande tetto continuo che si piega continuamente prima in alto e poi in basso, dove le pareti Mengoshi e i muri wainscot sono disposti ritmicamente lasciando degli spazi coperti passanti che permettono di attraversare la corte in tutte le direzioni.

Si crea quindi una sorta di "Open Gallery" con degli spazi coperti molto flessibili, mentre all'interno della corte si forma uno spazio polivalente adibito a verde. In questo spazio durante l'anno si svolgono vari eventi, come promozioni di legname, festival regionali e mercati all'aperto.

L'idea di una grande copertura che si espanda a creare un susseguirsi di spazi interni ed esterni è la medesima concezione di architettura che rappresenta il progetto Velika. Lo studio di questa architettura ha quindi fornito una maggiore consapevolezza di quello che sarebbe potuto diventare un progetto sostenuto da setti, che fossero pieni o con struttura a graticcio, dove lo spazio esterno è pensato con uguale attenzione allo spazio interno.

Inoltre come nel progetto di tesi è l'elemento progettuale del setto ha una duplice funzione, in quanto oltre che scandire il ritmo e definire lo spazio è anche quell'elemento che sostiene una copertura continua caratterizzata da diverse altezze. Lo studio si è quindi concentrato sia sul sistema strutturale che il setto propone, sia verso la parte puramente architettonica, concettualmente molto vicino al progetto Velika.

Si propongono in seguito alcune foto che illustrano il Padiglione.



Figura 117\_Ki No-Kuni Information Pavilion

##### 4.4.5.3 GIFU ACADEMY OF FOREST SCIENCE AND CULTURE

Realizzata nel 1998, a partire dal concetto di coesistenza tra uomo e foresta, la Gifu Academy of Forest Science and Culture è il primo progetto in cui è stata applicata la parete strutturale Mengoshi.

Poiché in questa fase lo studio AKA dell'architetto Kitagawara non aveva ancora ottenuto la certificazione necessaria per usare il pannello come struttura indipendente, è stato necessario aggiungere dei setti in cemento armato per ottenere la certificazione di stabilità strutturale. Comunque, al di là delle capacità portanti della struttura va sottolineato il valore estetico del pannello Mengoshi. Infatti, nella Gifu Academy, i setti portanti sono stati usati sapientemente dall'architetto per realizzare degli spazi interni versatili e delle corti esterne che offrono scorci suggestivi. Inoltre, in questa architettura regna il concetto di ombra contemplato da Junichiro Tanizaki nel suo saggio "Elogio dell'Ombra", in quanto la copertura aggettante e discontinua cerca di rappresentare le tenebre e l'oscurità tipiche delle foreste.



Figura 118\_Gifu Academy of Forest Science and Culture

##### 4.4.5.2 KAISHO FOREST VIEW TUBE

La prima applicazione del pannello Mengoshi nel suo concetto originale, ovvero di una struttura costituita da soli incastri, è stata la torre panoramica costruita per Aichi-Expo 2005.

Il padiglione è alto 14 metri ed è inserito in un contesto prettamente naturalistico della foresta Kaisho.

Esso nasce dal connubio di tre temi fondamentali:

- L'utilizzo di legname con sezione ridotta;
- L'uso di antiche tecniche giapponesi di lavorazione del legno;
- La tutela ambientale del sito di progetto.

Al fine di fornire spazi chiusi e protetti sono state aggiunte lastre di vetro in alcuni dei fori creati dall'intreccio della maglia Mengoshi, che hanno avuto anche il benefico effetto di irrigidire ulteriormente la struttura.



Figura 119\_Kaisho Forest View Tube



# 4.5

## PRECAUZIONI PROPOSTE

Si procede ora a definire le diverse precauzioni che si applicano all'interno del progetto per proteggere il più possibile il legno dal degrado naturale al quale è sottoposto. L'ambiente marittimo e quindi salino, secco e soggetto all'irradiazione solare va preso in considerazione al fine di progettare una struttura che rimanga indenne il più a lungo possibile.

Uno dei maggiori antagonisti del legno, come detto precedentemente, è di sicuro l'acqua e quindi l'umidità. Per questo motivo, una delle principali accortezze che si è presa in considerazione durante la progettazione, è stata quella di sollevare dal terreno i setti e le pareti. Si è posto un basamento di cemento al di sotto della struttura in modo tale che il legno rimanga sollevato dal suolo. Questo permette di non lasciare mai i pannelli immersi nell'acqua per lungo tempo: in caso di pioggia la base del pannello è possibile che entri in contatto con l'acqua, ma ha così la possibilità di asciugare, senza rimanere per molto a contatto con essa. Il legno ha quindi la possibilità di drenare e non assorbire l'acqua e diffonderla nel pannello di Cross-Lam per capillarità. Inoltre tutti i pannelli Cross-Lam degli edifici e dei setti pieni, sono ricoperti da uno strato di cartongesso rivestito di intonaco. I pannelli di rivestimento permettono di creare un guscio protettivo dalle intemperie e dall'esposizione al sole. Essi inoltre sono distaccati dalla parete in Cross-Lam per mezzo di distanziatori metallici che creano una piccola camera d'aria. Questa avvedutezza riduce al minimo la possibilità che si generi umidità all'interno della parete. Questa infatti provoca un ambiente adatto per l'accrescimento di muffe che fanno marcire il legno e per la nascita di insetti.

Per quanto riguarda la protezione della copertura si è previsto un totale rivestimento nella parte superiore dei pannelli Cross-Lam con una lamiera costituita da una lega metallica a base di zinco e titanio. Anche in questo caso il pacchetto è stato studiato attraverso programmi specifici in modo tale da non creare umidità che resti in contatto con la superficie del legno. Si è dunque trovata la soluzione di interporre tra le lastre di Zintek e i pannelli Cross-Lam uno strato di freno al vapore. Inoltre l'inclinazione della copertura è progettata in modo tale che l'acqua possa sempre essere in grado di defluire attraverso opportuni drenaggi. Non si creano così accumuli o pozze d'acqua che rimangono a stagnare sulla superficie contribuendo a danneggiare gravemente il pannello di legno.

La parte inferiore della copertura non è rivestita con alcun materiale, ma per scelta estetica è stata lasciata a vista. Trattandosi però della superficie rivolta verso il basso, non è soggetta alle intemperie e non è esposta direttamente alle radiazioni solari. Risulta inoltre per la gran parte interna al progetto e quindi riparata anche dalle pareti e dai setti. Anche se non situata quindi in una situazione sfavorevole, è necessario sottoporla a trattamenti adeguati con vernici protettive dei raggi UV e dagli attacchi degli insetti.

I pannelli permeabili costituiti da una struttura a graticcio, sono lasciati anche essi a vista. Nonostante siano sollevati da terra attraverso il basamento in cemento e siano protetti dalla copertura che sostengono, è necessario anche in questo caso un trattamento attraverso vernici che proteggano il legno da possibili attacchi che ne provocherebbero il degrado.

I trattamenti superficiali, per esempio le vernici che si utilizzano all'interno del progetto riescono a limitare l'azione di degrado in profondità e riducono la velocità di assorbimento dell'acqua anche se non la impediscono completamente. Inoltre sono caratterizzati da formule chimiche che servono da insetticidi e/o fungicidi.

L'applicazione di vernici, che si possono presentare più o meno trasparenti, impedisce l'effetto di invecchiamento naturale del legno, che presenta a lungo andare il tipico colore grigio.

Tutto il legno trattato superficialmente, che non è quindi protetto attraverso dei metodi costruttivi, che risultano maggiormente affidabili, deve essere soggetto ad una manutenzione, regolare e frequente.









# CAPITOLO 5

## LA STRUTTURA



5.1 Premesse di Lavoro.....	141	5.9.3 Simulazione del Progetto Velika.....	216
5.1.1 Dati Fondamentali Di Progetto.....	141	5. 10 Sistema di Fondazione.....	218
5.1.1.1 Ubicazione.....	141	5.10.1 Definizione dei Plinti di Fondazione.....	218
5.1.1.2 Descrizione Edificato.....	141	5.10.2 Verifiche.....	219
5.1.2 Normativa di Riferimento.....	141	5.10.2.1 Verifica a Scivolamento.....	220
5.2 Analisi dei carichi.....	142	5.10.2.2 Verifica a Ribaltamento.....	220
5.2.1 Carichi Permanenti.....	142	5.10.2.3 Verifica a Sprofondamento.....	220
5.2.2 Carichi Variabili.....	144	5.11 Dettagli Costruttivi.....	221
5.3 Cross-Lam: Lastra e Piastra.....	164	5.11.1 Tipologie di Connettori.....	221
5.4 Analisi agli Elementi Finiti.....	165	5.11.2 Tipologie di Connessione.....	221
5.5 Calcolo Mediante Abaqus CAE.....	166	5.12 Verifica della Connessione.....	225
5.5.1 Approccio al Programma Abaqus CAE.....	166	5.12.1 Le Resine Epossidiche.....	225
5.5.2 Studio delle Diverse Tipologie di Setti.....	166	5.12.1.1 La Normativa: CNR DT 206/2007.....	225
5.5.3 Analisi delle Rigidezze K.....	167	5.12.1.2 Maxi Adesivo Bicomponente XEPOX®.....	226
5.5.4 Studio delle Tre Tipologie con Abaqus CAE.....	168	5.12.2 Resistenza di un Elemento Ligneo al Fuoco.....	227
5.6 Simulazione della Copertura.....	180	5.12.3 Prima Verifica Condizione Ordinaria.....	228
5.6.1 Il Primo Approccio: Modellazione Isotropa.....	180		
5.6.2 Modellazione Ortotropia.....	186		
5.7 Introduzione di Setti ed Edifici.....	192		
5.7.1 Verifica della Giusta Disposizione dei Setti.....	192		
5.7.2 Il Primo Approccio: Modellazione Isotropa.....	194		
5.7.3 Modellazione Ortotropia.....	198		
5.8 Analisi Sismica.....	204		
5.8.1 Simulazione Dinamica dell’Azione Sismica.....	204		
5.8.2 Massa Partecipante.....	207		
5.8.3 Valutazione Velocità e Accelerazione.....	208		
5.9 Problemi di Instabilità.....	210		
5.9.1 Analisi Incastro - Estremo Libero.....	210		
5.9.2 Analisi Incastro - Manicotto.....	214		

# 5.1

## PREMESSE DI LAVORO

In questo capitolo si intende parlare dei fenomeni strutturali che interessano il progetto oggetto di studio.

In particolare inizialmente si mostreranno le caratteristiche del progetto generali sulla base delle quali si svilupperà poi l’analisi della struttura e le relative verifiche.

### 5.1.1 DATI FONDAMENTALI DI PROGETTO

Prima di addentrarsi nel merito dell’analisi strutturale del progetto vera e propria si è ritenuto opportuno riportare i dati fondamentali inerenti al progetto stesso, iniziando dai dati che interessano il luogo in cui esso si colloca per poi passare ad una breve descrizione delle caratteristiche dell’edificato.

#### 5.1.1.1 UBICAZIONE

- Nazione: Croazia
- Regione: Dalmazia
- Città: Vis
- Località: Prilovo
- Indirizzo: Šetalište Apolonija Zanelle
- Latitudine: 43° 3’ 34’’ N
- Longitudine: 16° 11’ 10’’ E
- Altitudine: 1,26 m s.l.m.

#### 5.1.1.2 DESCRIZIONE EDIFICATO

- Numero di edifici: 4
- Numero setti Cross-Lam: 14
- Numero setti graticcio: 11
- Numero setti graticcio irrigiditi
- Numero di piani: 1
- Ingombro copertura: 54,66 x 42,14m
- Copertura: Altezza variabile 3÷7 m

La descrizione relativa al luogo di progetto e quella riguardante le caratteristiche fondamentali di esso, risulteranno essere indispensabili sia per determinare il tipo di suolo su cui si erige il progetto, per lo studio del comportamento sismico dell’edificio e per determinare i tratti caratteristici degli edifici qualora debbano essere considerati da normativa.

### 5.1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto e la conseguente verifica del complesso architettonico si basa su un quadro normativo ben preciso.

Si riportano in seguito tutte le normative utilizzate per le diverse analisi effettuate sulla struttura di progetto.

- UNI EN 1995, Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno;
- UNI EN 338 - Legno strutturale classi di resistenza;
- UNI EN 1194 - Strutture in legno: legno lamellare incollato. Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici;
- UNI EN 14080 - Strutture in legno: legno lamellare incollato e legno massiccio incollato;
- CNR DT 206/2007 - Istruzioni per la progettazione, l’esecuzione e il controllo delle strutture in legno;
- CNR DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.



# 5.2

## ANALISI DEI CARICHI

Per poter eseguire il calcolo relativo alla resistenza della struttura e quindi dimensionarla, è necessario compiere uno studio relativo ai carichi che potrebbero agire sulla copertura stessa.

La prima operazione necessaria per il dimensionamento e conseguentemente la verifica degli elementi strutturali che compongono il fabbricato è la definizione dei carichi agenti sull'edificio in oggetto.

In particolare si dovranno considerare due tipologie di carico: dapprima i carichi permanenti connessi ad ogni stratigrafia utilizzata di progetto, che a loro volta si suddividono in permanenti portanti e portati, mentre, in secondo luogo si dovranno considerare i carichi definiti come variabili. Tra questi si includono per esempio i carichi relativi all'accumulo eventuale di neve e al vento che investe la struttura di progetto.

In seguito si passerà ad analizzare una per una le tipologie di carico elencate.

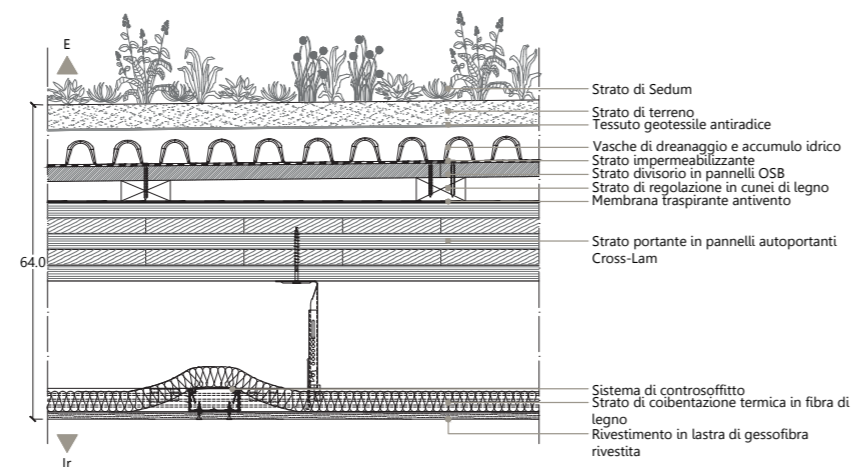
### 5.2.1 CARICHI PERMANENTI

I carichi permanenti sono quelli relativi al peso proprio degli elementi che compongono l'edificio e si dividono in strutturali e non strutturali.

In questa fase viene indicata una stima della componente di carico strutturale dovuta ai pannelli Cross-Lam, studiata accuratamente in un secondo momento.

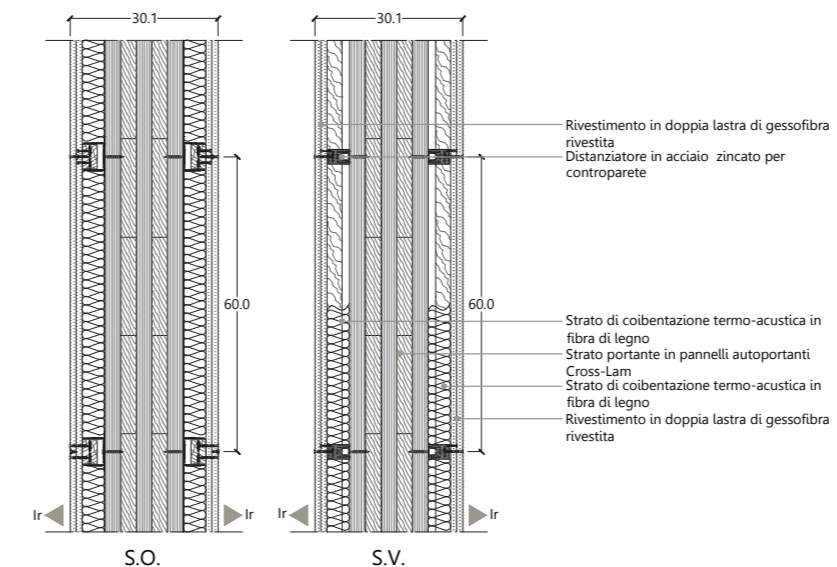
I carichi permanenti non strutturali vengono calcolati a partire dalla stima dei seguenti pacchetti tecnologici.

### C.O. COPERTURA



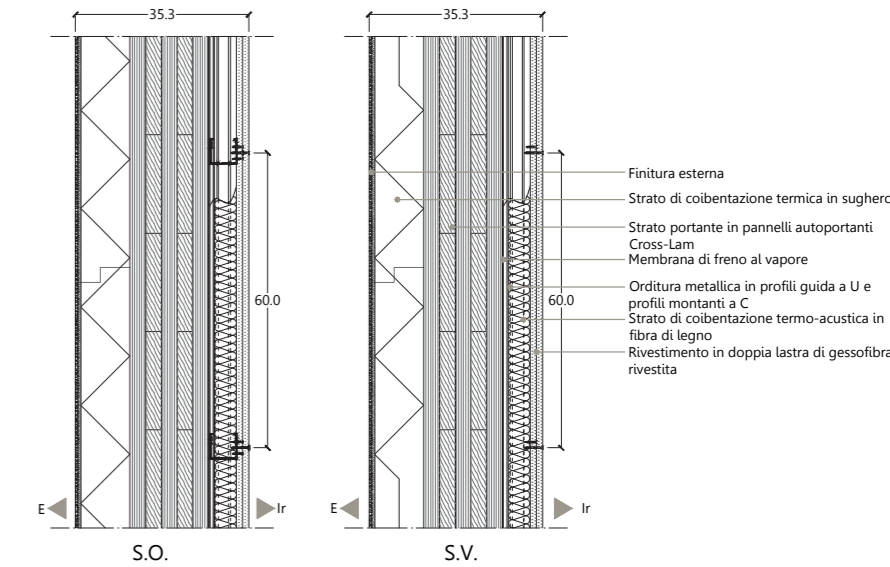
Strato	Spessore singolo strato [m]	Peso di volume [kN/m³]	Riferimento dati peso di volume	Peso per unità di superficie [kN/m²]
Stato di Sedum	0.1	14	Eurocodice UNI ENV 1991-2-1	1.4
OSB	0.03	7	Eurocodice UNI ENV 1991-2-1	0.21
Controsoffitto	/	/	Scheda tecnica Knauf	0.05
Isolante in sughero	0.04	1.666	Scheda tecnica Celenit	0.06664
Lastre di gesso	0.0125	9	Scheda tecnica Knauf	0.1125
<b>Peso totale</b>				<b>1.83914</b>

### P.V. MURO DIVISORIO SEMPLICE



Strato	Spessore singolo strato [m]	Peso di volume [kN/m³]	Riferimento dati peso di volume	Peso per unità di superficie [kN/m²]	Altezza [m]	Peso per unità di lunghezza [kN/m]
Lastre di gesso	0.025	9	Scheda tecnica Knauf	0.225	5	1.125
Isolante in sughero	0.04	1.666	Scheda tecnica Celenit	0.06664	5	0.3332
Sistema di fissaggi	/	/	Scheda tecnica Knauf	0.15	5	0.75
Lastre di gesso	0.025	9	Scheda tecnica Knauf	0.225	5	1.125
<b>Peso totale</b>				<b>0.51664</b>		<b>3.3332</b>

### C.V. CHIUSURA VERTICALE



Strato	Spessore singolo strato [m]	Peso di volume [kN/m³]	Riferimento dati peso di volume	Peso per unità di superficie [kN/m²]	Altezza [m]	Peso per unità di lunghezza [kN/m]
Rasatura finale in intonaco	0.006	20	Eurocodice UNI ENV 1991-2-1	0.12	5	0.6
Isolante in sughero	0.1	1.666	Scheda tecnica Celenit	0.1666	5	0.833
Orditura metallica	/	/	Scheda tecnica Knauf	0.15	5	0.75
Isolante in sughero	0.08	1.666	Scheda tecnica Celenit	0.13328	5	0.6664
Lastre di gesso	0.025	9	Scheda tecnica Knauf	0.225	5	1.125
<b>Peso totale</b>				<b>0.12</b>		<b>3.9744</b>

Il peso proprio di elementi divisorii interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$  purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisorii con  $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisorii con  $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisorii con  $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisorii con  $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisorii con  $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$  .



## 5.2.2 CARICHI VARIABILI

Analizzeremo ora i carichi variabili Q generati sulla struttura avente una vita nominale  $V_n \geq 50$  anni (numero di anni nei quali la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è stata destinata). Tali carichi sono stati determinati ai sensi della NTC 2008 e si dividono in:

- Carichi di esercizio Q1;
- Carichi da neve Q2;
- Carichi da vento Q3.

Per la determinazione di tali carichi si fa riferimento ai valori nominali e caratteristici  $q_k$ ,  $Q_k$ ,  $H_k$  riportati nella tabella 3.1.II della NTC 2008. I valori riportati sono comprensivi degli effetti dinamici ordinari, purché non vi sia rischio di risonanza nelle strutture. In particolare i carichi sopracitati vengono così definiti:

- Carichi verticali uniformemente distribuiti  $q_k$  [kN/m<sup>2</sup>];
- Carichi verticali concentrati  $Q_k$  [kN];
- Carichi orizzontali lineari  $H_k$  [kN/m].

I valori riportati nella Tab. 3.1.II sono riferiti a condizioni di uso corrente delle rispettive categorie. Altri regolamenti potranno imporre valori superiori, in relazione ad esigenze specifiche. In presenza di carichi atipici (quali macchinari, serbatoi, depositi interni, impianti, ecc.) le intensità devono essere valutate caso per caso, in funzione dei massimi prevedibili: tali valori dovranno essere indicati esplicitamente nelle documentazioni di progetto e di collaudo statico.

I carichi variabili orizzontali (lineari) indicati nella Tab. 3.1.II, devono essere utilizzati per verifiche locali e non devono essere sommati ai carichi utilizzati nelle verifiche dell'edificio nel suo insieme. I carichi orizzontali lineari  $H_k$  devono essere applicati a pareti alla quota di 1,20 m dal rispettivo piano di calpestio ed a parapetti o mancorrenti alla quota del bordo superiore.

L'edificio in esame ha una destinazione d'uso prevalentemente pubblica, quindi facciamo riferimento alla categoria C3 (Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone). Per quanto riguarda la copertura facciamo riferimento alla categoria H3 (Coperture speciali da valutarsi caso per caso).

Tabella 3.1.II – Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> 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.</b> 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	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> 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
	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
	<b>Rimesse e parcheggi.</b> 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	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 — —
	secondo categoria di appartenenza			
	* 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			

### 5.2.2.1 INDIVIDUAZIONE DEL LUOGO SISMICO EQUIVALENTE

L'edificio analizzato è sito a Vis e fa riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine 43° 3' 34" N;
- Longitudine: 16° 11' 10" E.

Al fine di poter condurre analisi riguardanti la pericolosità sismica, è necessario individuare la categoria in cui il territorio rientra.

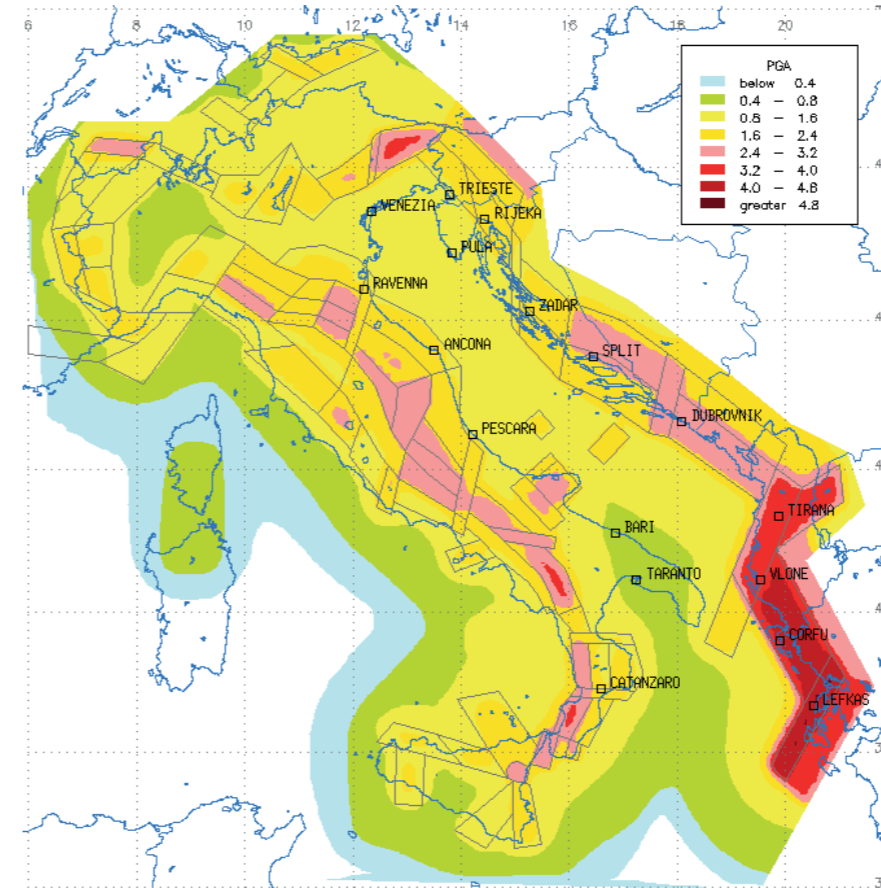


Figura 120\_Rappresentazione della pericolosità sismica nel territorio italiano e croato

### ANALISI DELLA MAPPA SISMICA

Come è possibile constatare dalla mappa sismica riportata a lato l'isola di Vis rientra in una zona media, rappresentata in giallo in figura e considerata dunque a medio pericolo di rischio sismico.

Nonostante l'isola non ricada in fasce associate ad un livello elevatissimo di rischio sismico, i valori di accelerazione di riferimento per l'intervallo relativo alla località di Vis non possono essere trascurati, ma anzi, la questione relativa al sisma assume un ruolo abbastanza rilevante da dover essere ben approfondita.

Entrando nello specifico, si intende comprendere cosa significa essere in una fascia di rischio sismico definita come media, motivo per il quale si riportano dati numerici precisi che forniscono maggiori delucidazioni a riguardo.

I parametri di accelerazione al suolo da considerare per la zona sismica di appartenenza sono compresi nell'intervallo:

$$0.8 \text{ m/s}^2 < \text{PGA} \leq 2.4 \text{ m/s}^2.$$

Individuata la classe di pericolosità sismica nell'isola di progetto, si procede mediante il confronto con le zone sismiche italiane al fine di trovare un luogo di medesima pericolosità sismica con il quale procedere con un'analisi comparativa secondo NTC 2008.

Analizzando dunque la mappatura della cartina relativa alla penisola italiana, si stima che un luogo simile per quanto riguarda i valori di accelerazione al piede è la città di Ancona, situata nella regione delle Marche.

Le coordinate della città considerata sono le seguenti:

- Latitudine 43° 35' 39" N;
- Longitudine: 13° 30' 12" E.

Da questo momento in poi, parlando del sisma si dovrà far riferimento alle caratteristiche specifiche di questa città, in modo tale da potersi basare sull'apparato normativo italiano in riferimento allo studio sismico.

In particolare grazie al programma fornito dalle NTC 2008, si potranno estrapolare gli spettri di risposta elastica ed anelastica caratteristici di Ancona, per poi utilizzarli per la valutazione della risposta al sisma associata al progetto Velika.



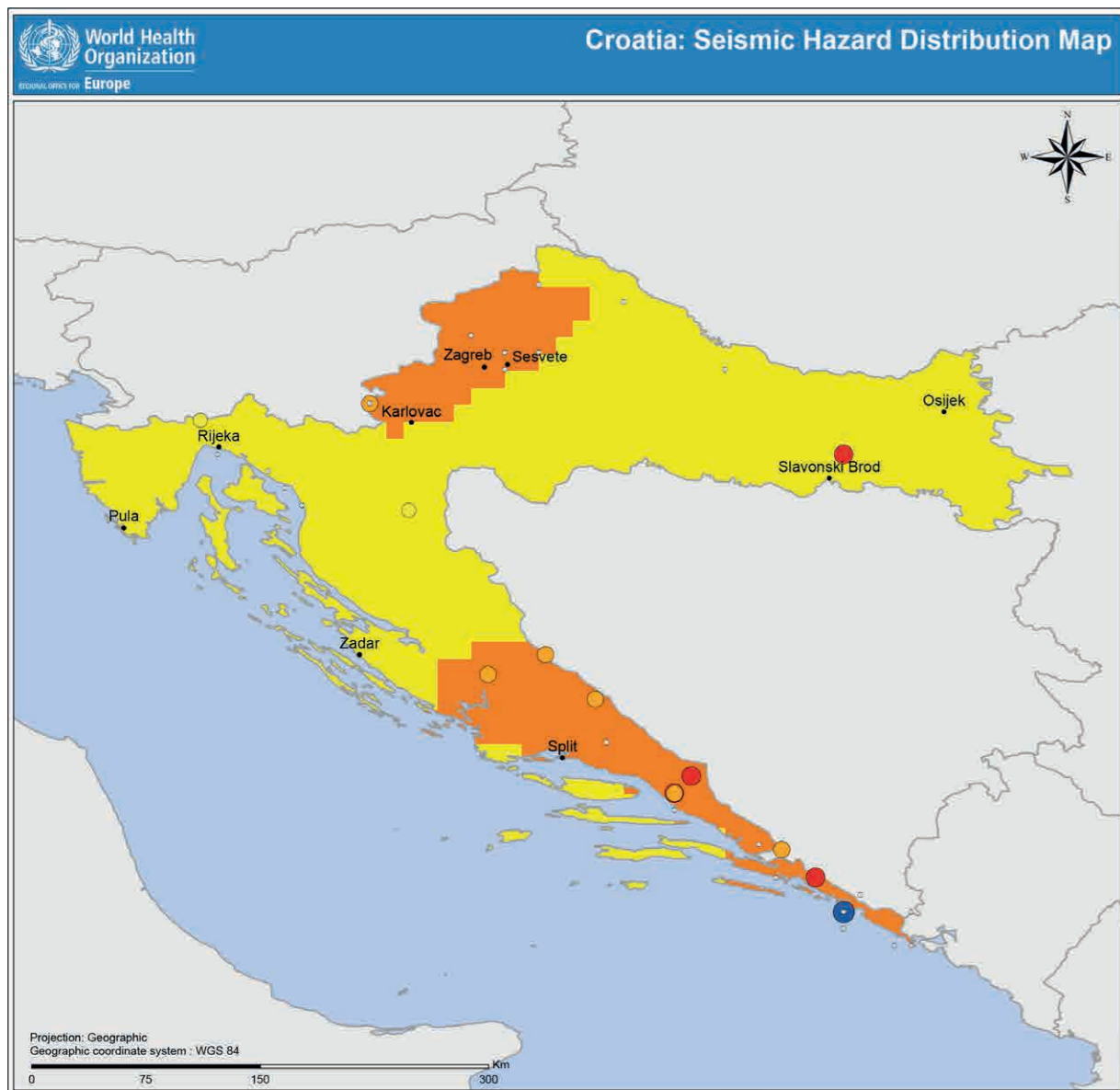
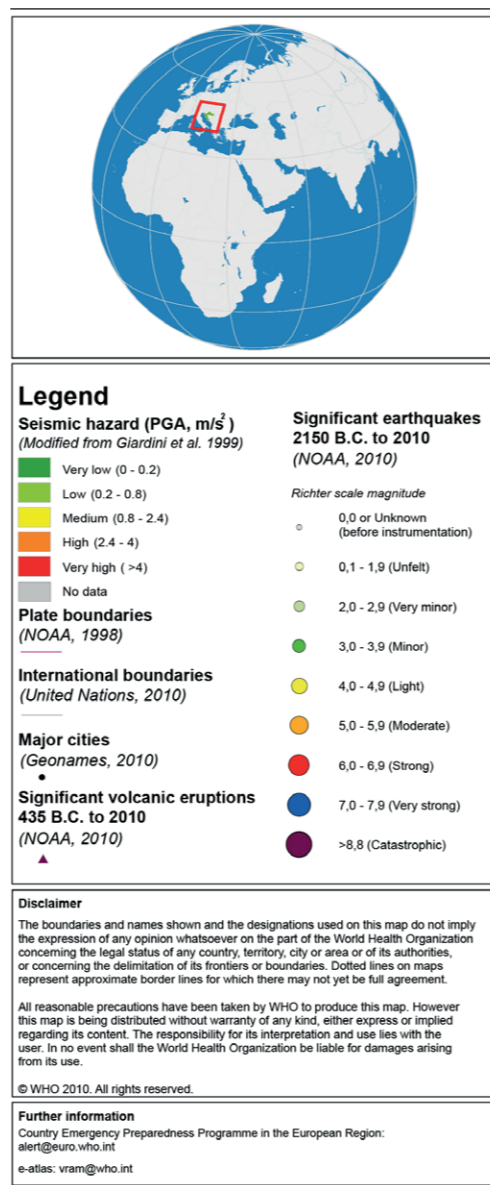


Figura 121\_Rappresentazione della pericolosità sismica nel territorio croato



### 5.2.2.2 AZIONE SISMICA

Come indicato nel paragrafo §3.2. delle Norme Tecnica sulle Costruzioni del 2008, e azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche, ovvero è elemento imprescindibile per questa prima fase di analisi.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa, identificata mediante la simbologia  $a_g$ , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita al §3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente e  $S(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , come definite nel §3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4.

In alternativa è ammesso l’uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.  $T_r^*$  periodo di ritorno di cui compaiono nell’allegato B i valori più significativi (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni).

### STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d’uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali.

Gli stati limite ultimi sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  a cui riferirsi per il calcolo della azione sismica negli stati limite considerati, sono riportati nella seguente tabella, estratta dalle NTC 2008, paragrafo §3.2.1:

Tabella 3.2.1 – Probabilità di superamento  $P_{Vs}$  al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		$P_{Vs}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il valore di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$ , il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$  ed il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T_c^*$  che caratterizzano i quattro stati limite sono stati calcolati attraverso la tabella di calcolo Excel “Spettri-NTCver.1.03”, fornita dal Ministero dei Lavori Pubblici nel quale si sono inseriti le coordinate del comune di progetto.



Stato limite	P <sub>VR</sub> [%]	T <sub>R</sub> [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>0</sub> [adm]	T <sub>c</sub> * [sec]
SLO	81	90	0.059	2.487	0.328
SLD	63	151	0.074	2.527	0.335
SLV	10	1424	0.170	2.561	0.392
SLC	5	2475	0.218	2.539	0.402

Il fattore di struttura orizzontale q si ottiene dalla formula:  $q = q_0 \cdot K_R$ , dove  $q_0$  risulta essere uguale a 3,3, considerando a favore di sicurezza una Classe di Duttività "B" per una struttura a pareti non accoppiate.

Il valore di  $K_R$  consiste invece in un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della struttura. Nel caso in esame, essendo il progetto considerabile come una costruzione non regolare in altezza, il valore del fattore riduttivo è pari a 0,8.

Inoltre si considera la quota parte di comportamento viscoso  $\epsilon = 5\%$  come nel caso tradizionale, risultando in un  $\eta = 1$ .

Si riporta al di sotto la spiegazione della scelta del valore del fattore di struttura (Tab. 7.4.I)

Tabella 7.4.I – Valori di  $q_0$

Tipologia	$q_0$	
	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0 \alpha_r / \alpha_1$	$4,5 \alpha_r / \alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0 \alpha_r / \alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Introduciamo ora il concetto di vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore di vita nominale varia a seconda del tipo di costruzione considerata. Nel caso in esame il progetto ricade nella terza categoria dei tipi di costruzione individuati da normativa così come illustrato in seguito (Tab. 2.4.I).

Tabella 2.4.I – Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, che nel caso in esame l'edificio risulta appartenere alla Classe D'Uso II a cui è associato un valore pari ad 1,0. La classe d'uso in oggetto è relativa a costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali.

In tabella è illustrato il valore del coefficiente  $C_U$  in relazione alla classe d'uso considerata (Tab. 2.4.II).

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

## CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo § 7.11.3. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Queste categorie sono descritte nella tabella riportata in seguito, la quale riporta la descrizione della tipologia di terreno a cui far riferimento (Tab. 3.2.II).

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositii di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{v,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositii di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

## CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella NTC 2008. Nella tabella seguente (Tab. 3.2.IV) sono riportate le caratteristiche di riferimento della superficie topografica proposte dalla normativa. Il caso in esame corrisponde alla categoria T1.

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportato nella Tab. 3.2.VI, in funzione della categoria topografica definita in precedenza per l'edificio di progetto.

Prendendo per assodata l'appartenza dell'edificato di progetto considerato alla categoria topografica T1, relativa a "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ " si ottiene un coefficiente massimo di amplificazione topografica  $S_T$  pari ad 1.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per il calcolo dei coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  si fa riferimento alla tabella riportata a pagina seguente. Per il sottosuolo di categoria A i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti  $S_S$  e  $C_C$  possono essere calcolati, in funzione dei valori di  $F_0$  e  $T_c^*$  relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V, nelle quali il parametro g indica l'accelerazione di gravità mentre il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_C$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Prendendo in considerazione la categoria di sottosuolo C, si ottiene un valore di  $S_S$  pari a 1,5 essendo questa la condizione più critica all'interno della categoria di sottosuolo considerata. Il parametro  $C_C$  invece è variabile a seconda dei diversi stati limite.



VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

Andiamo ad indagare lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali  $S_g(T)$  mediante le seguenti formule:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_g(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

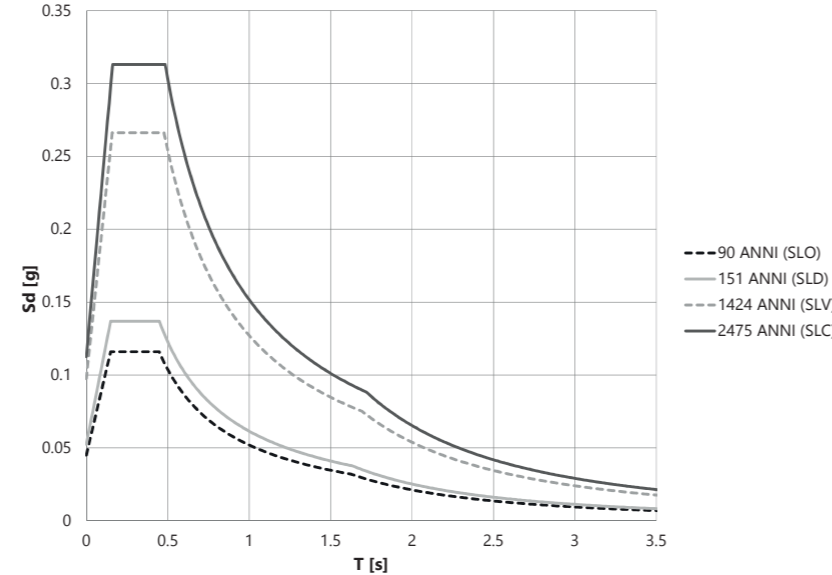
Dove:

- T è il periodo di vibrazione;
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, attraverso la relazione  $S = S_s \cdot S_T = 1,50 \cdot 1 = 1,50$
- $F_o$  è stato definito precedentemente per ogni stato limite;
- $T_C$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro:  $T_C = C_c \cdot T_c^*$
- $T_B$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante dato da:  $T_B = T_C / 3$
- $T_D$  è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:  $T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$

Per gli stati limite ultimi, come nella nostra analisi, ai fini del progetto o della verifica delle strutture, le capacità dissipative di esse possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza e dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità

di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule precedenti,  $\eta$  con  $1/q$ , dove q è il fattore di struttura. Si assumerà comunque  $S_d(T) \geq 0,2a_g$ . In seguito si riporta lo spettro sismico ricavato in cui si mostrano i quattro stati limite associati a un periodi di riferimento differente. I primi due sono relativi a una condizione di stato limite di esercizio, i restanti ad una di stato limite ultimo:

- SLO: Stato Limite di Operatività;
- SLD: Stato Limite di Danno;
- SLV: Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- SLC: Stato Limite di prevenzione del Collasso.



Stato limite	S	S <sub>T</sub>	S <sub>s</sub>	η	T <sub>c</sub>	C <sub>c</sub>
SLO	1.5	1	1.5	1	0.447	1.598185
SLD	1.5	1	1.5	1	0.449	1.596306
SLV	1.5	1	1.5	1	0.477	1.548701
SLC	1.5	1	1.5	1	0.484	1.537258

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI VERTICALI

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni riportate in seguito. Anche in questo caso il calcolo dei parametri sono relazionati al periodo considerato.

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Nelle quali T e  $S_{ve}$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale mentre  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione riportata nella formula sottostante:

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

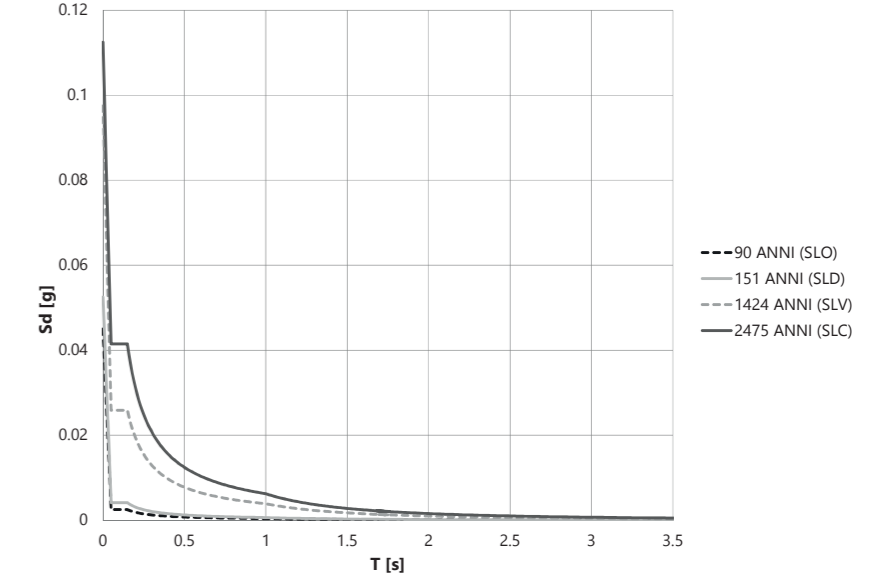
I valori di  $a_g$ , S, η ed  $F_o$  sono stati calcolati nella parte di relazione precedente relativa alla componente orizzontale per i diversi stati limite di riferimento.

I valori di  $S_s$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$  sono ricavati dalla tabella sottostante presente in normativa valida per le categorie di sottosuolo A, B, C, D ed E. In particolare si ha:

- $S_s = 1,0$ ;
- $T_B = 0,05$  secondi;
- $T_C = 0,15$  secondi;
- $T_D = 1,0$  secondi.

Tabella 3.2.VII – Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale

Categoria di sottosuolo	S <sub>s</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s



PRIMO PERIODO DI VIBRAZIONE DELLA STRUTTURA

Si procede ora determinando il primo periodo di vibrazione della struttura ( $T_1$ ) dell'edificio in esame al fine di verificare la possibilità di utilizzo di un'analisi statica lineare. Tale metodo può essere approssciato nel momento in cui il primo periodo di vibrazione della struttura  $T_1$  non superi il valore dato da  $2,5 \cdot T_C$ . Il valore  $T_1$  è generalmente ottenuto mediante lo studio del rapporto spettrale H/V, tuttavia nel nostro caso si fa riferimento alla formula speditiva proposta dalla ordinanza OPCM 5274/2003. La norma prevede l'utilizzo della seguente formula:

$$T_1 = C_1 \cdot H^{3/4}$$

Dove:

- H è l'altezza dell'edificio rispetto al piano di fondazione [m];
- $C_1$  è un fattore dipendente dal tipo di struttura portante.

Essa è applicabile ad edifici aventi altezza minore di 40 m e quindi può essere utilizzata per il caso esaminato. Si considera un'altezza media di 5m. Per il fattore  $C_1$  si utilizza 0,05 in quanto si esaminano edifici aventi struttura differente da una a telaio in acciaio e calcestruzzo. Si ottiene quindi  $T_1 = 0,167$ .



### 5.2.2.3 AZIONE DEL VENTO

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici. Per questo motivo è necessario considerare l'intensità del vento e l'impatto che questo ha sull'edificio.

#### VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento  $v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (come mostrato in Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione seguente:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a(a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

- $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 3.3.1;
- $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (espressa in m) del sito ove sorge la costruzione.

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [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

Essendo l'isola di Vis assimilabile per latitudine alla regione Abruzzo ed avendo un'altitudine di 1,26 metri, quindi inferiore a 500 m, si considera una  $v_b$  di 27 m/s.

### AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni statiche equivalenti sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici interne ed esterne degli elementi costituenti l'edificio. L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data quindi dalla risultante delle azioni agenti sui singoli elementi, considerando come direzione del vento quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione.

La pressione del vento  $p$  è data dall'espressione:

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

dove:

- $q_b$  è la pressione cinetica di riferimento di cui al §3.3.6;
- $c_e$  è il coefficiente di esposizione di cui al §3.3.7;
- $c_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;
- $c_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Indicazioni per la sua valutazione sono riportate al §3.3.8.

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  (in N/m<sup>2</sup>) è data dall'espressione:

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$$

dove:

- $v_b$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s);
- $\rho$  è la densità dell'aria assunta per convenzione costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z=200$  m, esso è dato dalla formula seguente:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

Dove:

- $k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
- $c_t$  è il coefficiente di topografia.

Nel caso in esame l'edificio presenta un'altezza complessiva di 7 m e risulta inferiore ai 200 m stabiliti dalla norma, dunque consideriamo la prima formula scritta.

Al fine di calcolare il coefficiente di esposizione bisogna tener in conto della classe di rugosità del terreno, nel nostro caso assunta pari a C.

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

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 sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Noti la zona del sito "3", la classe di rugosità del terreno "C" e sapendo che l'altezza sul livello del mare è pari a 1,26 m e tenendo conto inoltre che il sito di progetto è situato a meno di 10 km dalla mare, possiamo definire la classe di esposizione che risulta essere la II.

ZONE 1,2,3,4,5						
	costa					
	mare					
	2 km	10 km	30 km	500m	750m	
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**

\* 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

Da normativa possiamo definire il coefficiente di topografia  $c_t = 1$  dal momento che il coefficiente vale per zone pianeggianti, ondulate e collinose. Avendo determinato il coefficiente  $c_e$  possiamo ora ricavare il valore del coefficiente  $c_e$  di esposizione dal seguente grafico:

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

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

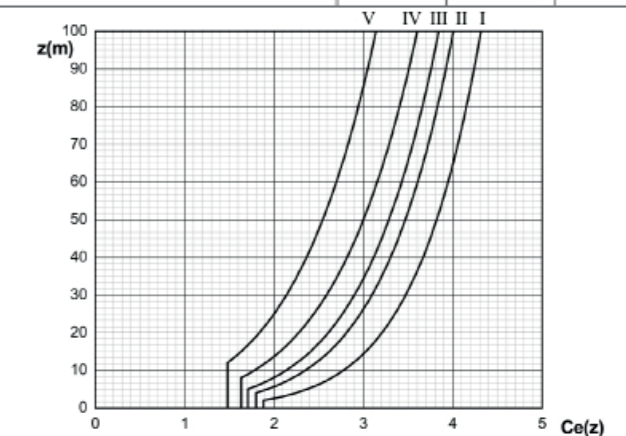


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$  con la quota (per  $c_t = 1$ )



Si nota che fino ad un'altezza  $z$  di 4 m il coefficiente di esposizione  $C_e$  è pari a 1,8; mentre per le altezze superiori varia in funzione della quota del punto considerato lungo la curva II. Dunque, per una corretta analisi in funzione della quota  $z$  è stata divisa l'altezza dell'edificio totale di 7 m in punti posti a quote crescenti di 0,20 m, calcolando il coefficiente  $C_e$  con le formule precedentemente riportate.

### COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti moltiplicativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche. Nel caso in esame si assume  $C_d = 1$ , in quanto non si dispone di analisi specifiche per l'edificio.

### COEFFICIENTE DI FORMA (O AERODINAMICO)

Si valuta ora il coefficiente di forma  $C_p$  (o "aerodinamico"), funzione della tipologia e della geometria della costruzione. Esso nello specifico, tiene in conto della pressione interna ed esterna che agisce sulla copertura. Per tettoie a falde multiple come nel caso analizzato, in prima approssimazione è lecito assumere che i coefficienti di pressione complessiva locale di ciascuna coppia di falde delle tettoie composte da più coppie di falde affiancate (di uguale pendenza) siano uguali a quelli che competono a una singola tettoia a doppia falda (paragrafo H.4.2 del Decreto CNR DT2007).

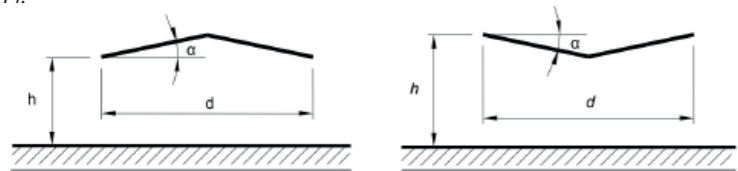


Figura H.21 – Tettoie a doppia falda.

Semplificando la copertura si analizzano le due soluzioni con  $\alpha > 0$  e  $\alpha < 0$ , assumendo come inclinazione media  $10^\circ$ . Tra i diversi valori riportati in tabella si considerano i valori relativi alla situazione C:

- $\alpha > 0$                        $\varphi = 1$                        $C_p = -1,8$
- $\alpha < 0$                        $\varphi = 1$                        $C_p = -2,6$

**Tabella H.VIIIa** – Coefficienti di forza e di pressione complessiva per tettoie a doppia falda: valori per  $\alpha > 0^\circ$ .

$\alpha$	Grado di bloccaggio $\varphi$	Coefficiente di pressione $c_{pm}$			
		A	B	C	D
$5^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,6	+1,8	+1,3	+0,4
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
$10^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,7	+1,8	+1,4	+0,4
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
$15^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,9	+1,9	+1,4	+0,4
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
$20^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	Minimo, $\varphi = 0$	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
$25^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+1,2	+1,9	+1,6	+0,5
	Minimo, $\varphi = 0$	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
$30^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+1,3	+1,9	+1,6	+0,7
	Minimo, $\varphi = 0$	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

**Tabella H.VIIIb** – Coefficienti di forza e di pressione complessiva per tettoie a doppia falda: valori per  $\alpha < 0^\circ$ .

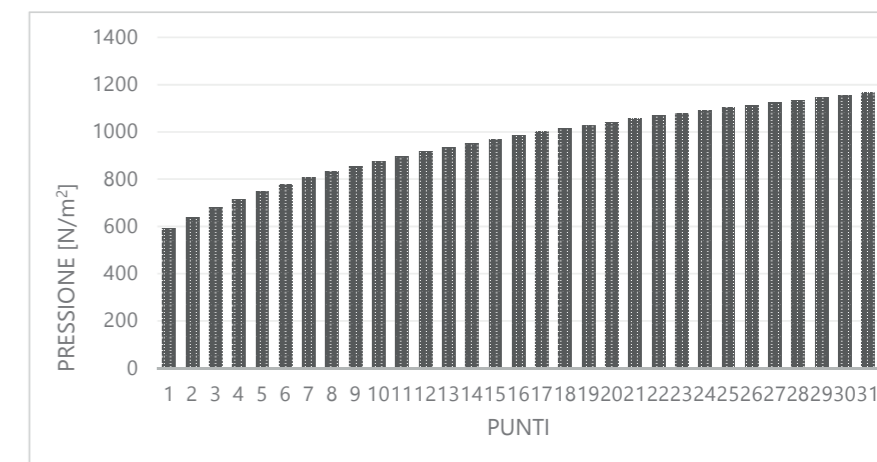
$\alpha$	Grado di bloccaggio $\varphi$	Coefficiente di pressione $c_{pm}$			
		A	B	C	D
$-20^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,8	+1,6	+0,6	+1,7
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
$-15^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,6	+1,5	+0,7	+1,4
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
$-10^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,6	+1,4	+0,8	+1,1
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
$-5^\circ$	Massimo, tutti i valori di $\varphi$	+0,5	+1,5	+0,8	+0,8
	Minimo, $\varphi = 0$	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
	Minimo, $\varphi = 1$	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6

### SOPRAVENTO

Si mostrano in tabella i valori dei coefficienti e della pressione per tutti i punti in cui è stato discretizzato l'edificio.

Punti	$z$ [m]	$q_b$ [N/m <sup>2</sup> ]	$c_e$	$c_p$	$c_d$	$p$ [N/m <sup>2</sup> ]
1	1	455.625	1.08	1.2	1	591.0356
2	1.2	455.625	1.17	1.2	1	638.4428
3	1.4	455.625	1.24	1.2	1	679.5488
4	1.6	455.625	1.31	1.2	1	715.9146
5	1.8	455.625	1.37	1.2	1	748.5758
6	2	455.625	1.42	1.2	1	778.2563
7	2.2	455.625	1.47	1.2	1	805.483
8	2.4	455.625	1.52	1.2	1	830.6522
9	2.6	455.625	1.56	1.2	1	854.0696
10	2.8	455.625	1.60	1.2	1	875.9761
11	3	455.625	1.64	1.2	1	896.5655
12	3.2	455.625	1.68	1.2	1	915.9957
13	3.4	455.625	1.71	1.2	1	934.3973
14	3.6	455.625	1.74	1.2	1	951.8797
15	3.8	455.625	1.77	1.2	1	968.5353
16	4	455.625	1.80	1.2	1	984.4431
17	4.2	455.625	1.83	1.2	1	999.6709
18	4.4	455.625	1.86	1.2	1	1014.278
19	4.6	455.625	1.88	1.2	1	1028.315
20	4.8	455.625	1.91	1.2	1	1041.828
21	5	455.625	1.93	1.2	1	1054.856
22	5.2	455.625	1.95	1.2	1	1067.435
23	5.4	455.625	1.97	1.2	1	1079.597
24	5.6	455.625	2.00	1.2	1	1091.37
25	5.8	455.625	2.02	1.2	1	1102.778
26	6	455.625	2.04	1.2	1	1113.847
27	6.2	455.625	2.06	1.2	1	1124.595
28	6.4	455.625	2.08	1.2	1	1135.043
29	6.6	455.625	2.09	1.2	1	1145.207
30	6.8	455.625	2.11	1.2	1	1155.103
31	7	455.625	2.13	1.2	1	1164.746

Dopo aver riportato i valori numerici delle pressioni agenti sull'edificio si è ritenuto opportuno riportare l'andamento delle pressioni anche in un istogramma, in modo tale da osservarne l'andamento in maniera immediata.



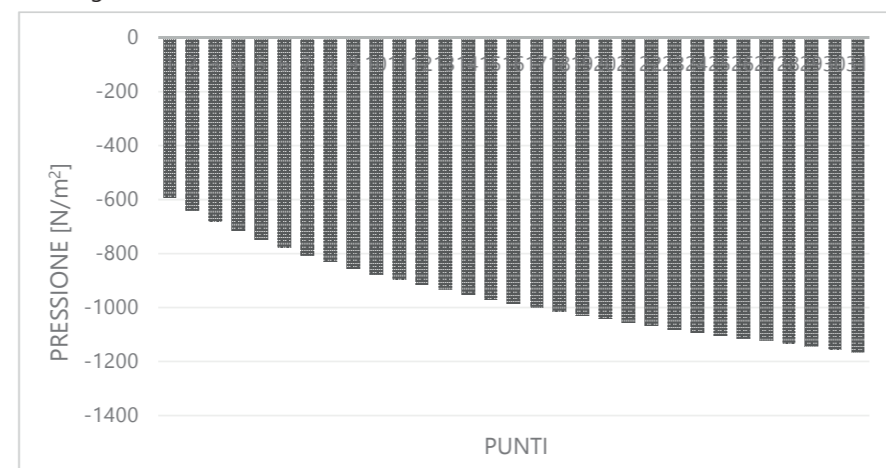


## SOTTOVENTO

Si mostrano in tabella i valori dei coefficienti e della pressione per tutti i punti in cui è stato discretizzato l'edificio.

Punti	z [m]	$q_b$ [N/m <sup>2</sup> ]	$c_e$	$c_p$	$c_d$	p [N/m <sup>2</sup> ]
1	1	455.625	1.08	-1.2	1	-591.036
2	1.2	455.625	1.17	-1.2	1	-638.443
3	1.4	455.625	1.24	-1.2	1	-679.549
4	1.6	455.625	1.31	-1.2	1	-715.915
5	1.8	455.625	1.37	-1.2	1	-748.576
6	2	455.625	1.42	-1.2	1	-778.256
7	2.2	455.625	1.47	-1.2	1	-805.483
8	2.4	455.625	1.52	-1.2	1	-830.652
9	2.6	455.625	1.56	-1.2	1	-854.07
10	2.8	455.625	1.60	-1.2	1	-875.976
11	3	455.625	1.64	-1.2	1	-896.566
12	3.2	455.625	1.68	-1.2	1	-915.996
13	3.4	455.625	1.71	-1.2	1	-934.397
14	3.6	455.625	1.74	-1.2	1	-951.88
15	3.8	455.625	1.77	-1.2	1	-968.535
16	4	455.625	1.80	-1.2	1	-984.443
17	4.2	455.625	1.83	-1.2	1	-999.671
18	4.4	455.625	1.86	-1.2	1	-1014.28
19	4.6	455.625	1.88	-1.2	1	-1028.31
20	4.8	455.625	1.91	-1.2	1	-1041.83
21	5	455.625	1.93	-1.2	1	-1054.86
22	5.2	455.625	1.95	-1.2	1	-1067.44
23	5.4	455.625	1.97	-1.2	1	-1079.6
24	5.6	455.625	2.00	-1.2	1	-1091.37
25	5.8	455.625	2.02	-1.2	1	-1102.78
26	6	455.625	2.04	-1.2	1	-1113.85
27	6.2	455.625	2.06	-1.2	1	-1124.6
28	6.4	455.625	2.08	-1.2	1	-1135.04
29	6.6	455.625	2.09	-1.2	1	-1145.21
30	6.8	455.625	2.11	-1.2	1	-1155.1
31	7	455.625	2.13	-1.2	1	-1164.75

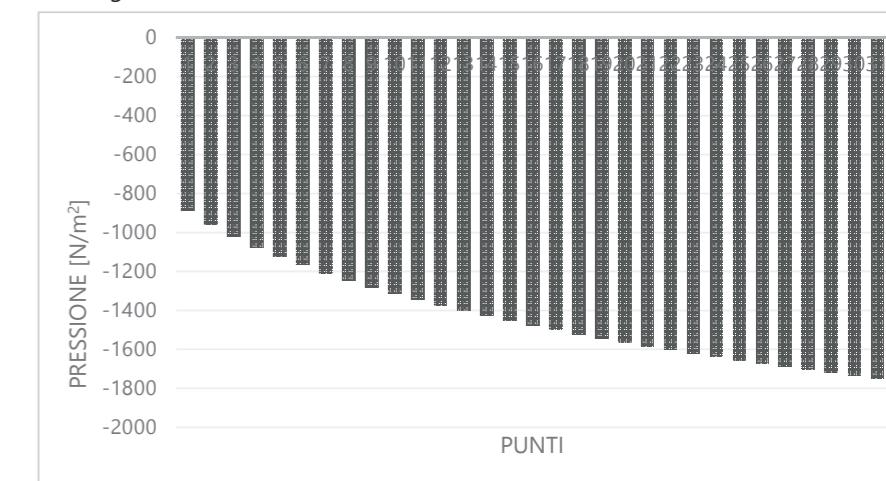
Anche in questo caso dopo aver riportato i valori numerici delle pressioni agenti sull'edificio si è ritenuto opportuno riportare l'andamento delle pressioni anche in un istogramma.

TETTO CON  $\alpha > 0$ 

Si mostrano in tabella i valori dei coefficienti e della pressione per tutti i punti in cui è stato discretizzato l'edificio. In questo caso si è considerata un'inclinazione  $\alpha > 0$ .

Punti	z [m]	$q_b$ [N/m <sup>2</sup> ]	$c_e$	$c_p$	$c_d$	p [N/m <sup>2</sup> ]
1	1	455.625	1.08	-1.8	1	-886.553
2	1.2	455.625	1.17	-1.8	1	-957.664
3	1.4	455.625	1.24	-1.8	1	-1019.32
4	1.6	455.625	1.31	-1.8	1	-1073.87
5	1.8	455.625	1.37	-1.8	1	-1122.86
6	2	455.625	1.42	-1.8	1	-1167.38
7	2.2	455.625	1.47	-1.8	1	-1208.22
8	2.4	455.625	1.52	-1.8	1	-1245.98
9	2.6	455.625	1.56	-1.8	1	-1281.1
10	2.8	455.625	1.60	-1.8	1	-1313.96
11	3	455.625	1.64	-1.8	1	-1344.85
12	3.2	455.625	1.68	-1.8	1	-1373.99
13	3.4	455.625	1.71	-1.8	1	-1401.6
14	3.6	455.625	1.74	-1.8	1	-1427.82
15	3.8	455.625	1.77	-1.8	1	-1452.8
16	4	455.625	1.80	-1.8	1	-1476.66
17	4.2	455.625	1.83	-1.8	1	-1499.51
18	4.4	455.625	1.86	-1.8	1	-1521.42
19	4.6	455.625	1.88	-1.8	1	-1542.47
20	4.8	455.625	1.91	-1.8	1	-1562.74
21	5	455.625	1.93	-1.8	1	-1582.28
22	5.2	455.625	1.95	-1.8	1	-1601.15
23	5.4	455.625	1.97	-1.8	1	-1619.4
24	5.6	455.625	2.00	-1.8	1	-1637.05
25	5.8	455.625	2.02	-1.8	1	-1654.17
26	6	455.625	2.04	-1.8	1	-1670.77
27	6.2	455.625	2.06	-1.8	1	-1686.89
28	6.4	455.625	2.08	-1.8	1	-1702.56
29	6.6	455.625	2.09	-1.8	1	-1717.81
30	6.8	455.625	2.11	-1.8	1	-1732.65
31	7	455.625	2.13	-1.8	1	-1747.12

Anche in questo caso dopo aver riportato i valori numerici delle pressioni agenti sull'edificio si è ritenuto opportuno riportare l'andamento delle pressioni anche in un istogramma.



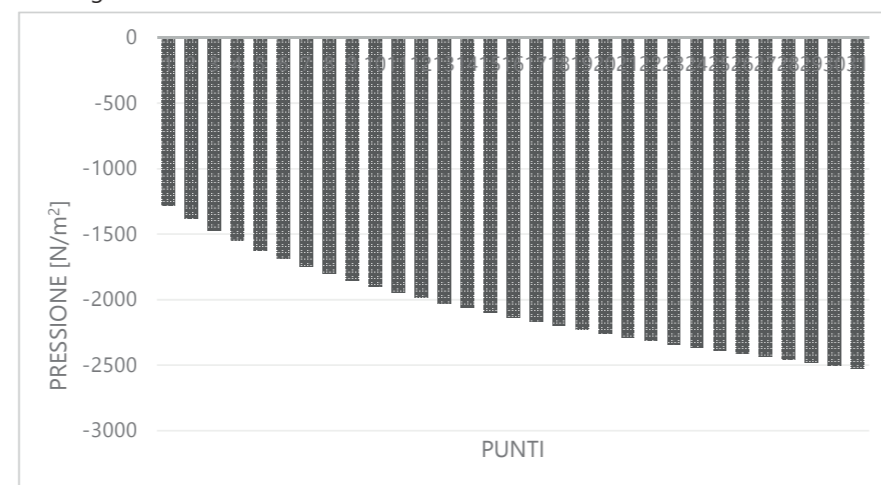


TETTO CON  $\alpha < 0$ 

Si mostrano in tabella i valori dei coefficienti e della pressione per tutti i punti in cui è stato discretizzato l'edificio. In questo caso si è considerata un'inclinazione  $\alpha < 0$ .

Punti	z [m]	$q_b$ [N/m <sup>2</sup> ]	$c_e$	$c_p$	$c_d$	p [N/m <sup>2</sup> ]
1	1	455.625	1.08	-2.6	1	-1280.58
2	1.2	455.625	1.17	-2.6	1	-1383.29
3	1.4	455.625	1.24	-2.6	1	-1472.36
4	1.6	455.625	1.31	-2.6	1	-1551.15
5	1.8	455.625	1.37	-2.6	1	-1621.91
6	2	455.625	1.42	-2.6	1	-1686.22
7	2.2	455.625	1.47	-2.6	1	-1745.21
8	2.4	455.625	1.52	-2.6	1	-1799.75
9	2.6	455.625	1.56	-2.6	1	-1850.48
10	2.8	455.625	1.60	-2.6	1	-1897.95
11	3	455.625	1.64	-2.6	1	-1942.56
12	3.2	455.625	1.68	-2.6	1	-1984.66
13	3.4	455.625	1.71	-2.6	1	-2024.53
14	3.6	455.625	1.74	-2.6	1	-2062.41
15	3.8	455.625	1.77	-2.6	1	-2098.49
16	4	455.625	1.80	-2.6	1	-2132.96
17	4.2	455.625	1.83	-2.6	1	-2165.95
18	4.4	455.625	1.86	-2.6	1	-2197.6
19	4.6	455.625	1.88	-2.6	1	-2228.02
20	4.8	455.625	1.91	-2.6	1	-2257.29
21	5	455.625	1.93	-2.6	1	-2285.52
22	5.2	455.625	1.95	-2.6	1	-2312.78
23	5.4	455.625	1.97	-2.6	1	-2339.13
24	5.6	455.625	2.00	-2.6	1	-2364.63
25	5.8	455.625	2.02	-2.6	1	-2389.35
26	6	455.625	2.04	-2.6	1	-2413.33
27	6.2	455.625	2.06	-2.6	1	-2436.62
28	6.4	455.625	2.08	-2.6	1	-2459.26
29	6.6	455.625	2.09	-2.6	1	-2481.28
30	6.8	455.625	2.11	-2.6	1	-2502.72
31	7	455.625	2.13	-2.6	1	-2523.62

Anche in questo caso dopo aver riportato i valori numerici delle pressioni agenti sull'edificio si è ritenuto opportuno riportare l'andamento delle pressioni anche in un istogramma.

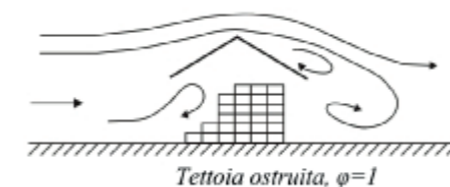


## 5.2.2.4 VALUTAZIONE DELLA FORZA ORTOGONALE AL PIANO

Il paragrafo G.6 delle Istruzioni CNR DT207 fornisce i criteri per valutare le azioni globali del vento sulle coperture che non si collocano permanentemente al di sopra di pareti verticali, ossia in cui lo spazio sottostante non sia delimitato in maniera permanente da pareti.

Si definisce grado di bloccaggio  $\phi$ , il rapporto tra l'area esposta al vento di un'eventuale ostruzione presente al di sotto della tettoia e l'area totale della superficie ortogonale alla direzione del vento al di sotto della tettoia.

La condizione  $\phi=1$  è sostanzialmente diversa da quella prevista per gli edifici in quanto l'eventuale ostruzione può essere offerta anche da elementi che non delimitano completamente e permanentemente lo spazio al di sotto della tettoia in considerazione.



Si prosegue ora valutando l'entità dell'azione  $F$ , risultante delle forze ortogonali al piano di ciascuna falda della tettoia. Tali forze sono quantificate mediante coefficienti di forza,  $c_f$  e dalla posizione del loro punto di applicazione.

Per il calcolo della tettoia si considerano le condizioni di carico più gravose, dove la forza risultante  $F$ , data dalla seguente espressione:

$$F = q_p(z) \cdot L^2 \cdot c_f$$

è considerata agente simultaneamente su entrambe le falde o solo su una di esse.

Per l'individuazione dei coefficienti di forza  $c_f$  si è presa in considerazione la casistica semplificata nel paragrafo G.6.3. della stessa normativa. Limitatamente al caso di vento perpendicolare alla direzione dei colmi delle varie falde e per il solo tipo costruttivo illustrato in Figura G.30, i coefficienti di forza sopra definiti possono essere moltiplicati per i fattori riduttivi riportati in Tabella G.XIV, secondo lo schema indicato nella Figura G.30.

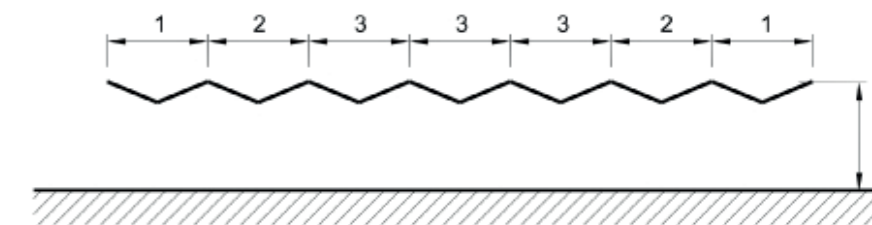


Figura G.30 – Tettoie a falda multipla: individuazione dei vari elementi.

Nella tabella sottostante è riportata la tabella nella quale si osservano i valori assegnati ai coefficienti riduttivi delle forze per le tettoie a falda multipla per il caso di progetto in esame. In particolare i fattori riduttivi sono riportati sia per un valore di  $c_f$  maggiore che minore di zero.

Tabella G.XIV – Coefficienti riduttivi delle forze per tettoie a falda multipla.

Elemento n.	Posizione	Fattori riduttivi per tutti i valori di $\phi$	
		per $c_f > 0$	per $c_f < 0$
1	Primo campo	1,0	0,8
2	Secondo campo	0,9	0,7
3	Altri campi	0,7	0,7

Per le verifiche è stato scelto di simulare la situazione peggiore, in modo da porsi a favore di sicurezza. Si considera quindi un'inclinazione della falda negativa, ovvero  $\alpha < 0$  e un coefficiente  $c_f$  pari a 0,8.

La forza risultante  $F$  viene considerata nella sua totalità in quanto la componente verticale essendo minore del valore di quella inclinata porterebbe ad una implicita verifica della forza stessa.

Si verifica dunque che la forza  $F$ , considerata, sia minore del valore del peso proprio della copertura dato dalla parte strutturale in Cross-Lam e dalle componenti non strutturali.

Per la verifica ci si è posti nella parte di copertura maggiormente esposta all'azione del vento, ossia in campo 1. Inoltre si è scelto di tenere in considerazione la direzione prevalente del vento stesso indagata nei precedenti capitoli, ossia Nord-Ovest, sempre per rimanere a favore di sicurezza.







### 5.2.2.5 AZIONE DELLA NEVE

Il carico provocato dalla neve sulla copertura viene valutato mediante la seguente espressione:

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

dove:

- $q_s$  è il carico della neve sulla copertura;
- $\mu_t$  è il coefficiente di forma della copertura;
- $q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] 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. Si determinano ora i parametri necessari al calcolo.

#### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO ( $q_{sk}$ )

Tale valore dipende dalle condizioni climatiche locali e dalla variabilità della precipitazione nevosa calcolata con periodo di ritorno di 50 anni. L'altitudine di riferimento  $a_s$  è la quota del suolo sul livello del mare del sito di realizzazione dell'edificio corrispondente a 1,26 m s.l.m. Il comune di Vis, in Croazia, secondo la NTC 2008 ricade nella zona II e in funzione della sua altitudine ( $a_s \leq 200$ m) si può fare riferimento al valore  $q_{sk} = 1,00$  kN/m<sup>2</sup>.

#### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE ( $C_E$ )

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in Tab. 3.4.I. Se non diversamente indicato, si assumerà un coefficiente  $C_E = 1$ .

**Tabella 3.4.I** – Valori di  $C_E$  per diverse classi di topografia

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

#### COEFFICIENTE TERMICO ( $C_t$ )

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. Infatti al fine di non sovrastimare il carico derivato dall'accumulo di neve in copertura è opportuno prenderlo in considerazione.

Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, esso deve essere utilizzato come  $C_t = 1$ .

#### COEFFICIENTE DI FORMA ( $\mu_t$ )

Per il coefficiente di forma si fa riferimento alla tabella 3.4.II, da cui risulta che, con un angolo di inclinazione della falda pari a 0°, o comunque minore di 30°, si assume  $\mu_t$  pari a 0,8.

**Tabella 3.4.II** – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_t$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

#### CALCOLO DEL CARICO DI NEVE IN ASSENZA E IN PRESENZA DI VENTO

Generalmente il carico da neve viene valutato secondo due particolari situazioni: la prima è quella relativa alla presenza di vento, mentre la seconda considera il vento assente.

Per coperture poco inclinate, assumibili come piane, non è però necessario considerare l'influenza del vento sul carico da neve.

Nel caso in analisi, le varie falde componenti la copertura hanno un'inclinazione così contenuta da potersi ritenere sostanzialmente piana. Di conseguenza il valore del carico di neve prescinde dalla presenza o assenza del vento e risulta perciò uguale a:

$$q_s = \mu_t \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2.$$

### 5.2.3 RIASSUNTO DEI CARICHI

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i valori ottenuti per ogni stratigrafia analizzata nel capitolo relativo ai carichi permanenti, in modo tale da evidenziare tutti i carichi agenti.

Per la copertura si propone un riepilogo dettagliato con il peso del materiale strutturale, non strutturale ed il carico delle chiusure verticali dimezzato. In più si specificano per questo pacchetto i valori di carichi variabili relativamente a neve e manutenzione.

STRATIGRAFIA	Denominazione carico	Peso per unità di superficie	kN/m <sup>2</sup>
Copertura	G2a		1.83914
Muro divisorio semplice	G2b		0.51664
Chiusura verticale	G2c		0.12

COPERTURA	CARICHI PERMANENTI (G)	kN/m <sup>2</sup>
	Peso proprio Cross-Lam	0.988848
	Permanenti non strutturali	1.83914
	Carico delle chiusure verticali dimezzato	0.06
	<b>TOT</b>	<b>2.887988</b>
	CARICHI VARIABILI (Q)	kN/m <sup>2</sup>
	Neve	0.8
	Manutenzione	0.5



## 5.3 CROSS-LAM: LASTRA E PIASTRA

I pannelli Cross-Lam nascono alla fine degli anni novanta da un progetto di sviluppo e di ricerca realizzato presso l'Università di Graz. A questo progetto ne sono seguiti poi diversi altri che hanno portato allo stato attuale delle conoscenze tecniche a riguardo di questo materiale.

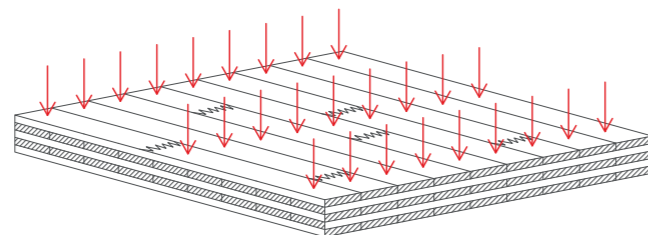
Le costruzioni con pannelli a strati incrociati, note anche come CLT (acronimo di Cross Laminated Timber), sono caratterizzate dall'impiego di elementi multistrato nei quali due dimensioni risultano predominanti rispetto alla terza; in altre parole questi elementi possono essere considerati come bidimensionali.

Questi pezzi, generalmente piani, possono assumere, in base alle condizioni di carico cui vengono sottoposti, due diversi comportamenti strutturali:

- un comportamento a piastra, nel caso in cui le sollecitazioni siano prevalentemente perpendicolari al piano del pannello stesso e quindi entrino in gioco le resistenze e le rigidità del pannello a flessione e taglio fuori dal suo piano;
- un comportamento a lastra, nel caso in cui le sollecitazioni siano prevalentemente contenute nel piano del pannello stesso e quindi entrino in gioco le resistenze e le rigidità del pannello nel suo piano.

Di fatto è possibile ricondurre il tipo di comportamento all'orientazione dei pannelli stessi; elementi disposti orizzontalmente, ad esempio i solai, avranno un comportamento del tipo a piastra, mentre le pareti verticali lavoreranno principalmente a lastra.

COMPORTAMENTO A PIASTRA



COMPORTAMENTO A LASTRA

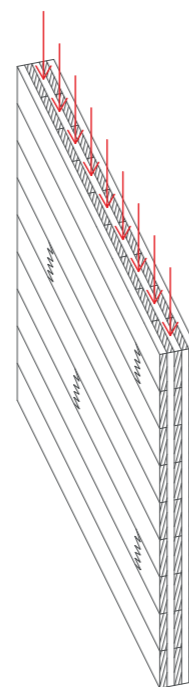


Figura 122\_In alto comportamento a piastra, in basso comportamento a lastra di un pannello

## 5.4 ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI

Per quanto riguarda la modellazione numerica della struttura si è proceduto mediante un calcolo agli elementi finiti. Essa prevede la discretizzazione delle parti che vanno a comporre la geometria del solido al fine di calcolarne gli spostamenti, le deformazioni e le sollecitazioni delle varie porzioni.

È necessario dapprima delineare i principi di funzionamento di questo tipo di analisi che risulta essere molto complessa nella determinazione delle condizioni al contorno.

Le analisi strutturali FEM (metodo agli elementi finiti) permettono di calcolare il comportamento strutturale di un sistema. Esse sono importanti quando si vuole eseguire lo studio approfondito di strutture complesse o esaminare dal punto di vista ingegneristico il comportamento di sistemi.

Tramite una griglia geometrica definita mesh, il metodo FEM suddivide il modello importato in molti piccoli elementi per poter facilitarne il calcolo. La soluzione finale viene trovata dal sistema combinando tutte le soluzioni parziali ricavate per ogni elemento.

A fronte delle condizioni al contorno applicate, un'analisi FEM permette di ricavare spostamenti, deformazioni e tensioni presenti in un sistema strutturale.

Le classiche formule derivate dalla teoria della scienza delle costruzioni hanno validità solo in casi particolari. L'errore più comune è quello di estendere il loro utilizzo su qualsiasi struttura. Per esempio, intagli, spigoli, sezioni tozze sono casi in cui esse non dovrebbero essere applicate. Il metodo migliore per risolvere un

grande spettro di problemi è quello di eseguire simulazioni FEM grazie alle quali strutture complesse possono essere totalmente calcolate e ottimizzate. Utilizzando i calcoli a elementi finiti si possono agevolmente individuare: punti critici o deboli delle strutture, eccesso o difetto di materiale, buona o cattiva distribuzione delle masse, stati di sollecitazione, stati di deformazione e anche punti di rottura.

Un modello di questo genere è costituito da un sistema di punti, detti "nodi", che definiscono la forma di esso. A questi nodi sono collegati gli elementi finiti veri e propri che compongono la mesh, ossia la maglia a elementi finiti e contengono le proprietà materiali e strutturali del modello, che ne definiscono il comportamento e la reazione in determinate condizioni.

La densità della mesh a elementi finiti può cambiare a seconda della variazione attesa nei livelli di carico/sollecitazione in un'area specifica. Le zone soggette a forti variazioni del carico solitamente richiedono una mesh più fitta rispetto a quelle con variazioni di carico ridotte o assenti. I punti di interesse possono essere nodi di frattura di materiali precedentemente testati, raccordi, spigoli, dettagli complessi e zone soggette a forti sollecitazioni.

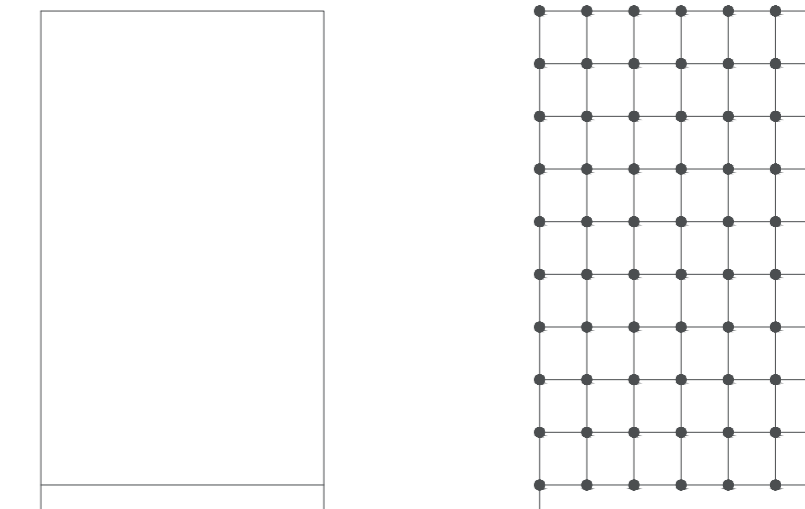


Figura 123\_Discretizzazione di un elemento strutturale secondo mesh

# 5.5

## CALCOLO MEDIANTE ABAQUS CAE

### 5.5.1 APPROCCIO AL PROGRAMMA ABAQUS CAE

Data la complessità della geometria, per il calcolo della struttura è stato utilizzato un software agli elementi finiti: Abaqus CAE.

La struttura da esaminare viene modellata partendo dal modello in Rhinoceros, semplificandolo con l'introduzione di sole superfici piane, in modo tale che il programma Abaqus CAE riconosca automaticamente le diverse parti disposte nello spazio. Da qui si esporta il file in formato ACIS (.sat) e lo si importa nel programma. La copertura viene studiata connessa ai setti di sostegno, differenziando i setti pieni in Cross-Lam da quelli costituiti da un sistema a graticcio, caratterizzati da una rigidità inferiore. Partendo da queste superfici, per mezzo del comando "submit mesh" si crea una suddivisione del solido secondo una maglia regolare. I parametri che l'operatore può monitorare sono:

- Mesh formata da elementi triangolari e quadrangolari;
- Dimensione della mesh, calcolata stabilendo la grandezza ottimale in relazione all'elemento analizzato, in modo che essa risulti essere il meno approssimata possibile.

Si ricorda inoltre che la connessione tra setto e copertura è automaticamente riconosciuta dal programma come un incastro soltanto se la mesh risulta essere coincidente, altrimenti vanno introdotte opportune modalità di connessione. A terra bisogna bloccare lo spostamento nelle tre direzioni x, y, z mediante il comando BCs.

### 5.5.2 STUDIO DELLE DIVERSE TIPOLOGIE DI SETTI

Prima di svolgere le analisi vere e proprie delle azioni agenti sulla copertura e il rispettivo calcolo di verifica, si procede allo studio e al calcolo delle differenze di rigidità che si hanno tra il setto pieno, il setto con il sistema a graticcio ed il sistema irrigidito. Bisogna precisare inoltre che, per quanto concerne i setti di sostegno, essi hanno ruolo di pilastro all'interno del progetto.

Il setto a graticcio è stato introdotto per questioni architettoniche al fine di permettere la permeabilità alla vista al di sotto della grande copertura. Tuttavia per risolvere eventuali problemi di rigidità strutturale sono stati introdotti dei sistemi di irrigidimento in OSB, opportunamente studiati secondo una trama derivante dal pattern di resti di antichi mosaici provenienti dalle pavimentazioni delle terme romane collocate a pochi passi dal sito di progetto.

Sono stati quindi analizzati tutti questi tre sistemi di sostegno verticale che vanno ad articolarsi all'interno del progetto. Di seguito si riportano le dimensioni dei modelli considerati nell'analisi agli elementi finiti.

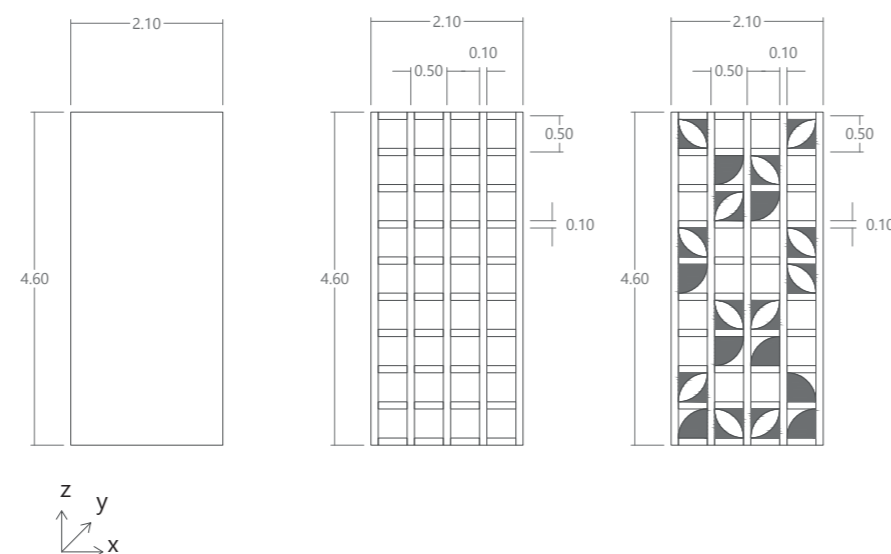


Figura 124\_Dimensioni delle diverse tipologie di setti analizzati agli elementi finiti

### 5.5.3 ANALISI DELLE RIGIDENZE K

L'obiettivo ultimo di questa prima parte di lavoro è lo studio della rigidità dei tre sistemi prima descritti al fine di valutare la possibilità o meno di considerarli tutti come elementi di sostegno verticali omogenei.

Si è analizzata la diversa rigidità che si ottiene dalle tre tipologie, applicando una forza unitaria di entità pari a 1kN. Essa è stata imposta prima in direzione parallela ai setti, ossia lungo x e successivamente in direzione perpendicolare, ossia lungo y, ottenendo così l'entità di spostamento nei due casi.

Ciò è stato possibile settando in maniera corretta dal programma Abaqus CAE i parametri di output, spuntando la voce "UT, Translations" dalla finestra "Edit Field Output Request".

Una volta ricavato lo spostamento  $\delta$ , considerando la forza unitaria, si può ottenere la rigidità k relativa al setto analizzato con la seguente formula:

$$k = F / \delta$$

Le unità di misura utilizzate sono per la forza impressa i newton (N) e per quanto riguarda gli spostamenti i metri (m), ottenendo quindi la dimensione della costante di rigidità pari a N/m.

Per poter confrontare le due grandezze di rigidità k si sono considerate le tre tipologie di setti con la medesima geometria, considerando una media tra le misure reali ottenute dal progetto architettonico. Come è illustrato nella pagina precedente, le dimensioni considerate per i setti sono 2,10m di larghezza e 4,60m di altezza, per uno spessore di 10cm.

A lato vediamo l'effettiva distribuzione delle diverse tipologie di setti nella planimetria di progetto. In particolar modo per quanto riguarda la torre panoramica, date le esigenze architettoniche di permeabilità alla vista ma al contempo robustezza strutturale è stato impiegato un sistema completamente a graticcio con irrigidimenti semicircolari in pannelli OSB. Per quanto riguarda il sistema di setti di sostegno al di sotto della copertura invece, i pannelli a graticcio sono stati inseriti ad esempio verso il campo di lavanda per permettere di osservare le essenze naturali facenti parte del progetto.

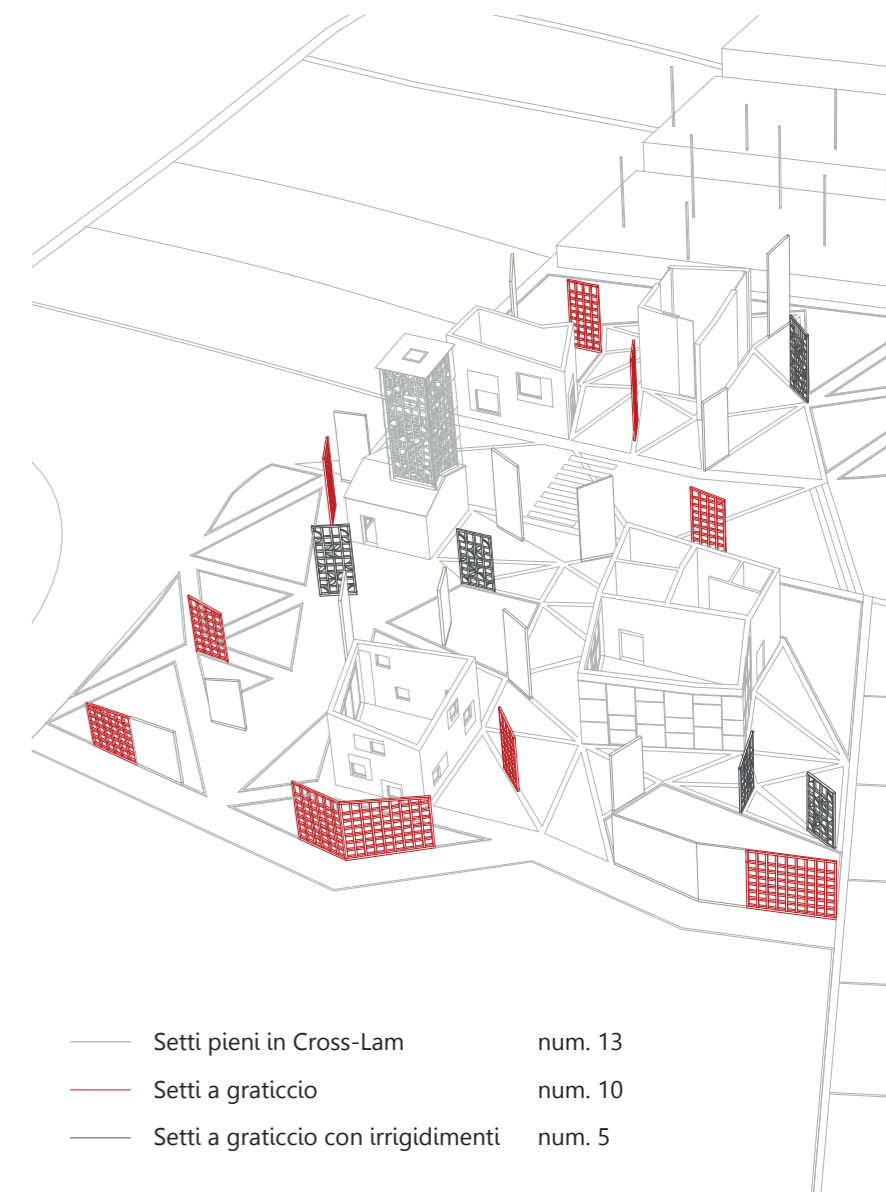


Figura 125\_Effettiva distribuzione nel progetto delle differenti tipologie di sostegno verticale



## 5.5.4 STUDIO DELLE TRE TIPOLOGIE CON ABAQUS CAE

### DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA CON RHINOCEROS

Il primo step di lavoro consiste nella rappresentazione degli elementi mediante il software Rhinoceros. In particolar modo è necessario eliminare dal modello tridimensionale lo spessore degli elementi, che verrà successivamente assegnato mediante il programma agli elementi finiti. Si generano quindi superfici che vanno a comporre il setto pieno, il setto a graticcio e quello a graticcio con irrigidimenti. Al fine di permettere l'importazione del modello in Abaqus bisogna esportare gli elementi in formato ACIS (.sat) direttamente da Rhinoceros.

### IMPORTAZIONE DEL MODELLO RHINOCEROS IN ABAQUS CAE

Una volta aperto il programma Abaqus CAE, dalla finestra "File" e mediante il comando "Import>Part" si seleziona il file ACIS (.sat) precedentemente generato. Particolare attenzione bisogna porre selezionando "Combine into single part" in quanto all'interno del modello sorgente è presente più di un singolo elemento. Per quanto riguarda la definizione degli attributi si sceglie elementi tridimensionali e deformabili. Non è necessario imporre una scala al modello, in quanto in fase di generazione della geometria si è lavorato in unità di misura reali. Una volta definiti tutti i parametri iniziali, si visualizza nella finestra di lavoro la geometria da analizzare.

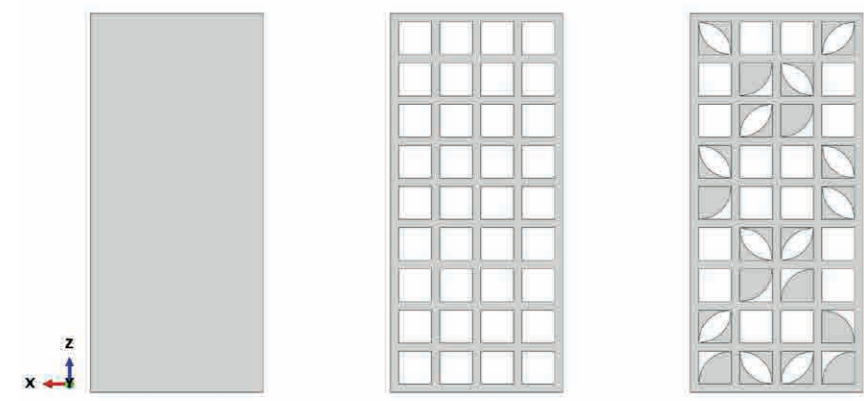


Figura 126\_Rappresentazione della mesh

### GENERAZIONE DELLA MESH

Una volta importato in Abaqus CAE il modello, si procede alla generazione della mesh che determineranno la precisione degli output di simulazione.

La dimensione della griglia di suddivisione è stata studiata a seconda della grandezza degli elementi importati: dato che il setto con la struttura a graticcio è composto da travetti perpendicolari di dimensioni 0,10x0,10 m, la minima maglia rappresentabile, risulta appunto di 0,10 m.

Sono state quindi effettuate diverse simulazioni: dapprima con la dimensione di una griglia pari a 0,10x0,10 m successivamente dividendola della metà e così via. I risultati ottenuti con una mesh di 0,10x0,10 m sono stati definiti infatti troppo grossolani. Al fine di ottenere risultati maggiormente precisi si è infittita la dimensione della mesh ed imposta di dimensioni 0,05x0,05 m. In conclusione si è scelto di utilizzare quest'ultima tipologia di griglia, la quale approssima in maniera accettabile il valore individuato dal limite.

Con il rimpicciolirsi della maglia della mesh infatti si ottengono via via spostamenti sempre maggiori fino al raggiungimento di un asintoto che rappresenta l'effettivo valore di analisi, ad esempio lo spostamento.

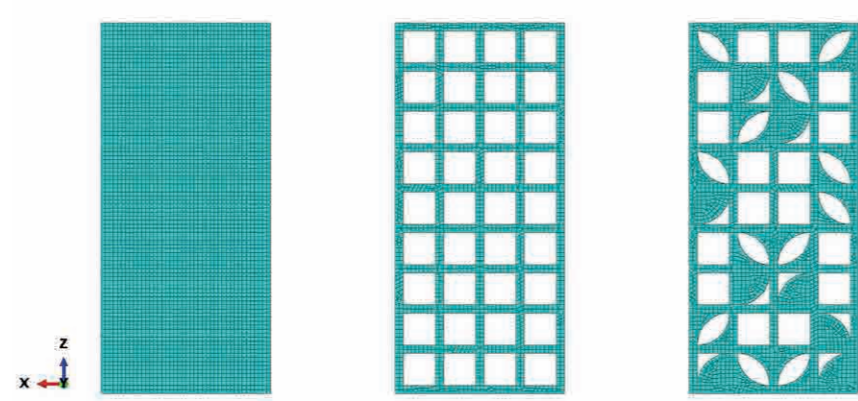


Figura 127\_Rappresentazione della mesh

### PROPRIETÀ DEL MATERIALE CROSS-LAM

Al fine di ottenere risultati coerenti alla realtà vengono assegnate le proprietà del materiale.

I setti pieni sono in materiale Cross-lam, caratterizzato da strati di lamelle orientate in direzioni perpendicolari per implementare le capacità resistenti del materiale in tutte le direzioni. Il materiale che compone i setti a graticcio è legno massiccio proveniente da elementi di scarto, in quanto questo sistema esalta la sua caratteristica di ecosostenibilità.

Al momento della simulazione sono state fatte diverse considerazioni e semplificazioni a livello di modellazione. Per ottenere risultati confrontabili e giungere a conclusioni sul comportamento delle tre tipologie di sistema di sostegno verticale si è imposta la stessa tipologia di materiale e si è ipotizzato un comportamento isotropo in questa prima fase di lavoro, anche se, come noto, il comportamento del legno lamellare è ortotropo.

In particolar modo sono stati imposti i seguenti parametri:

- Densità del legno pari a 630 kg/m<sup>3</sup>;
- Modulo di elasticità di Young 7,4 GPa;
- Coefficiente di Poisson 0.4.

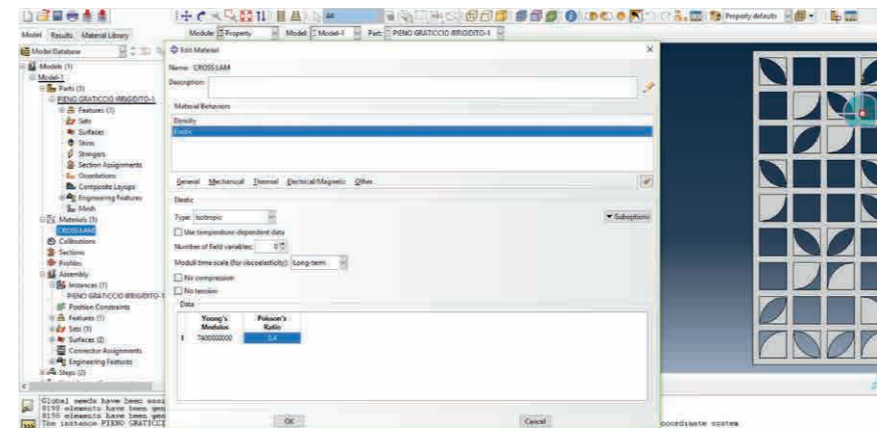


Figura 128\_Definizione delle proprietà del materiale

### DETERMINAZIONE E ASSEGNAZIONE DELLA SEZIONE

Avendo lavorato con elementi "Surface" in Rhinoceros, ossia mediante superfici bidimensionali, è necessario assegnare la grandezza dello spessore della sezione in esame al fine di simulare elementi tridimensionali con Abaqus CAE.

Si hanno infatti due opportunità: si può generare direttamente una geometria tridimensionale con i programmi di modellazione, lavorando quindi in Abaqus CAE con elementi "solid>homogeneous"; oppure si sceglie di lavorare con elementi "shell>homogeneous" e imporre lo spessore dei setti direttamente dal programma agli elementi finiti.

### DEFINIZIONE DEGLI OUTPUT DI SIMULAZIONE

Gli ultimi step di preparazione del modello per la simulazione sono l'assemblaggio delle parti, che permette di unire i dati precedentemente associati agli elementi shell, e la definizione degli output di analisi.

In particolar modo, per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, Abaqus CAE permette di scegliere i diversi parametri da un elenco di dati prestabilito.

Per il lavoro di analisi sui sistemi di sostegno verticale si necessita di conoscere il valore "UT>Translations" e "UR>Rotations" per quanto riguarda la sezione spostamenti, mentre "SF>Section forces and moments" per gli sforzi.

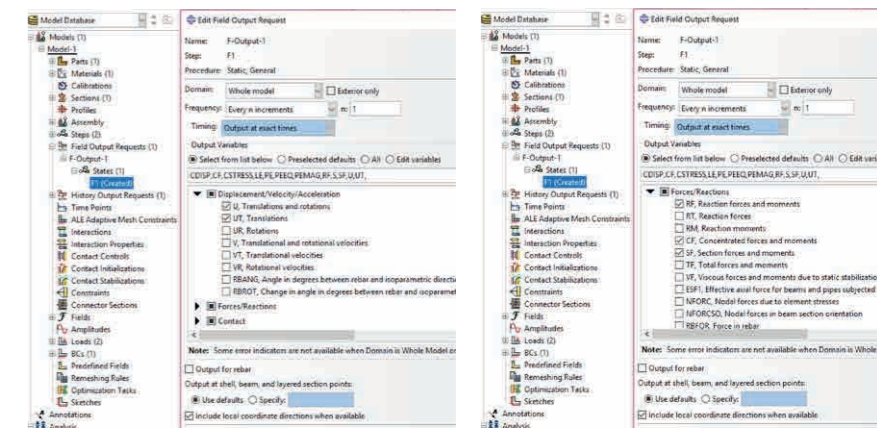


Figura 129\_Individuazione degli output di analisi

### 5.5.4.1 SIMULAZIONE 1: CARICO SECONDO L'ASSE X

Dopo aver impostato le condizioni al contorno per le analisi, si procede con lo studio vero e proprio dei pannelli. Molteplici sono i risultati che si possono ottenere, utili a comprendere il comportamento differente delle due tipologie di setti presenti nel progetto. Una prima analisi sta nell'imposizione di una forza di 1 kN uniformemente distribuita in sommità dei setti avente direzione opposta all'asse X, quindi una forza orizzontale da sinistra verso destra.

Ai tre setti viene applicato il vincolo di incastro a terra attraverso il comando "BCs", bloccando gli spostamenti e le rotazioni nelle tre direzioni x, y, z. Inferiormente si nota la rappresentazione grafica dei vincoli posti a terra.

Rispettivamente a sinistra il setto pieno in materiale Cross-Lam, rappresentato da una mesh con maglia regolare di dimensioni 0,02x0,02m; in centro si vede rappresentato il sistema a graticcio sempre caratterizzato da una mesh di dimensioni 0,02x0,02m che quindi discretizza in maniera opportuna i travetti disposti perpendicolarmente tra loro. Infine si nota a destra l'ultima configurazione del sistema a graticcio con irrigidimenti in OSB, anch'esso suddiviso con una griglia di 0,02x0,02m. Si è scelto di infittire la maglia di mesh rispetto alla minima applicabile, ossia quella di 0,10x0,10m, al fine di ottenere risultati più precisi convergenti alla soluzione reale.

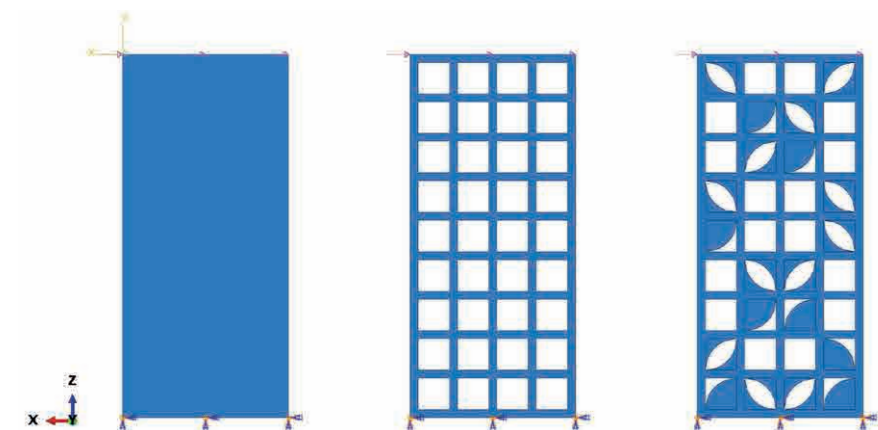


Figura 130\_Rappresentazione del carico applicato in direzione X

Dopo aver riportato le rappresentazioni dei setti e dopo aver descritto le condizioni al contorno assegnate ad ognuno di essi, si commentano i risultati ottenuti dalle analisi effettuate. In particolare si esplicitano i valori di spostamento ottenuti e si calcolano poi le rigidezze dei tre differenti elementi verticali di sostegno.

Considerando il setto pieno in Cross-Lam, lo spostamento ottenuto dopo aver applicato una forza unitaria, è di  $1,26 \cdot 10^{-4}$  m. Calcolando con la formula prima descritta e utilizzando una forza unitaria, si ottiene una rigidezza:

$$k_{\text{SETTO PIENO}} = 7,93 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Il setto con sistema a graticcio risulta avere uno spostamento molto maggiore rispetto al setto pieno pari a  $7,55 \cdot 10^{-4}$  m. Si calcola ora la sua rigidezza che risulta essere pari a:

$$k_{\text{SETTO A GRATICCIO}} = 1,32 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Il setto con sistema a graticcio con l'aggiunta di sistemi di irrigidimento in OSB risulta avere uno spostamento molto maggiore rispetto al setto pieno ma pur sempre la metà rispetto a quello del sistema a graticcio puro. Lo spostamento misurato risulta infatti di  $2,51 \cdot 10^{-4}$  m. Si calcola ora la sua rigidezza che risulta essere pari a:

$$k_{\text{SETTO A GRATICCIO CON IRRIGIDIMENTI}} = 3,98 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Il risultato ottenuto conferma le aspettative teoriche, ossia che il setto più rigido si identifica con quello pieno in Cross-Lam, mentre quello più deformabile è il sistema a graticcio puro.

Tuttavia è da sottolineare che lo spostamento ottenuto per il setto a graticcio risulta comunque accettabile al fine strutturale. Pertanto il sistema graticciato all'interno del progetto risulta utilizzabile, prestando però attenzione all'adeguato posizionamento: i setti pieni devono essere posti in corrispondenza delle zone critiche e devono essere omogeneamente alternati con i setti a graticcio, in modo tale da avere una rigidezza globale che si possa considerare uniformemente distribuita sulla struttura.

Affiancando le due tipologie di elementi verticali strutturali si ha inoltre il vantaggio di avere un risultato piacevole anche dal punto di vista architettonico, in quanto non esiste un'area all'interno del progetto in cui lo sguardo verso il panorama sia ostacolato.

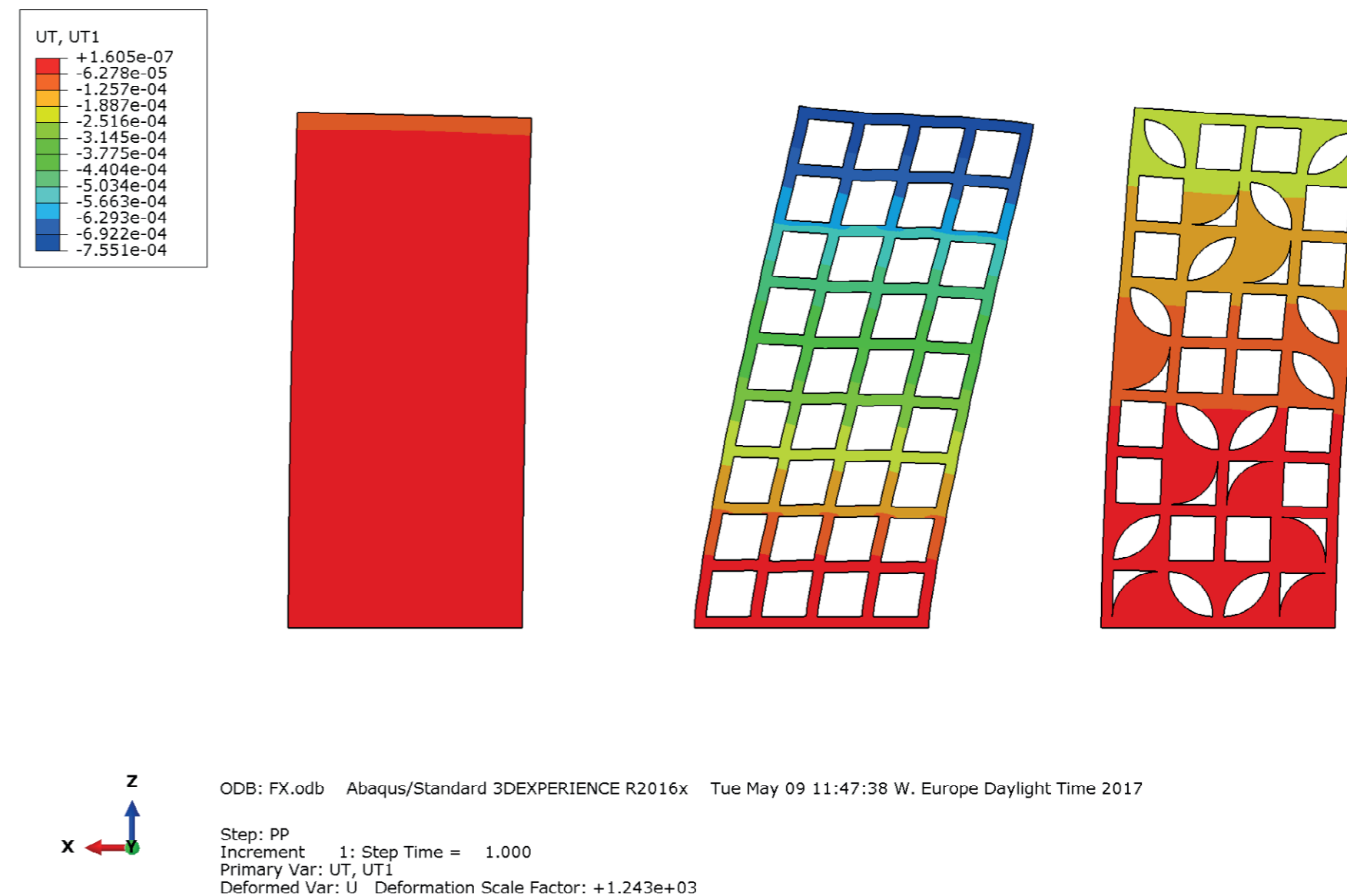


Figura 131\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione X con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN



Altri output di analisi sono rappresentati dall'entità delle rotazioni secondo i diversi assi, dai valori delle forze e dei momenti risultanti.

In particolar modo nella colonna a destra si vedono raffigurate le rotazioni UR1 in alto, attorno all'asse X e le rotazioni UR2 in basso, attorno all'asse Y.

Analizzando i risultati si conclude che le rotazioni maggiori, identificate dal colore blu scuro e rosso intenso, si verificano nel setto graticciato. In particolar modo se si presta attenzione alla raffigurazione centrale si nota come nel primo caso gli elementi critici sono i travetti di bordo, mentre per quanto riguarda le rotazioni attorno all'asse Y vengono coinvolti anche i travetti centrali lontano dalle posizioni di incastro. Tuttavia è da puntualizzare che l'entità di tali rotazioni rientra comunque in intervalli ammissibili ai fini progettuali.

Si propone nella pagina seguente una raffigurazione della voce "RF, Reaction forces and moments", in cui vengono rappresentate le reazioni delle forze secondo l'asse X, ossia RF1, essendo l'asse 1 coincidente con l'asse X del sistema di riferimento utilizzato. Si nota dalla restituzione grafica come i setti non presentino forze di reazione nell'altezza della geometria ma solamente alla base e quindi all'incastro. Nel setto con sistema a graticcio le reazioni non risultano tutte dirette nella medesima direzione ma risultano avere segno opposto. In corrispondenza di ogni travetto verticale si nota un'inversione: questo si ottiene a causa della non continuità rappresentativa del sistema a graticcio. La reazione massima si riscontra proprio in quest'ultimo setto meno omogeneo.

Ultimo risultato che si propone è lo studio di "SF, Section forces and moments", di cui si riportano le forze secondo la direzione X, identificate con il codice SF1. Si nota che i valori massimi si hanno in corrispondenza dei travetti di collegamento orizzontale del sistema a graticcio, nelle immediate vicinanze degli incastri.

Per quanto riguarda i momenti agenti si riportano i risultati di  $M_x$  e  $M_y$  rispettivamente identificati dalla soluzione SF4 ed SF5. È interessante notare come gli elementi maggiormente sottoposti a momento flettente  $M_x$  sono gli incastri del sistema a graticcio, mentre quelli che registrano momento flettente  $M_y$  maggiore sono le parti centrali dei travetti di collegamento.

I momenti torcenti sulla struttura, che si notano dalla soluzione SF6, qui non riportata, risultano essere nulli.

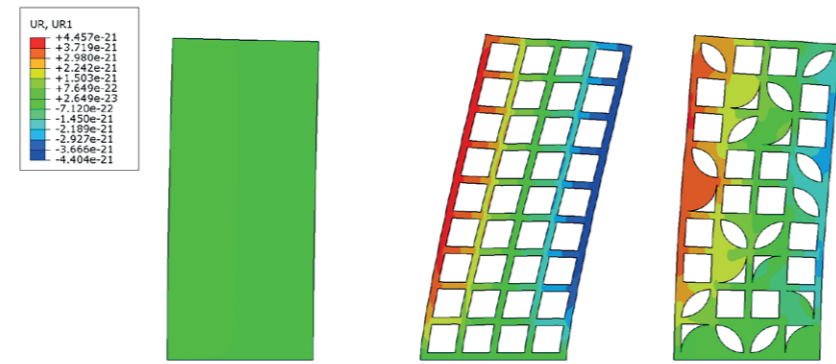


Figura 132\_Rotazioni attorno all'asse X

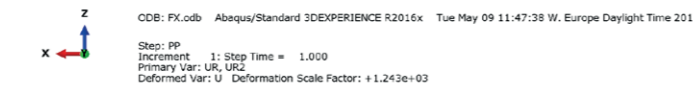
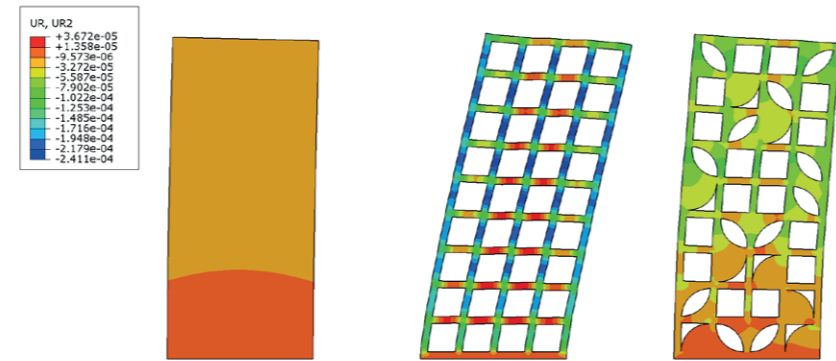


Figura 133\_Rotazioni attorno all'asse Y

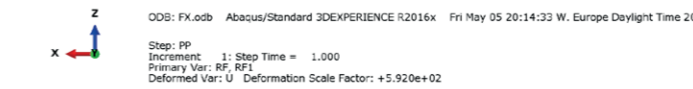
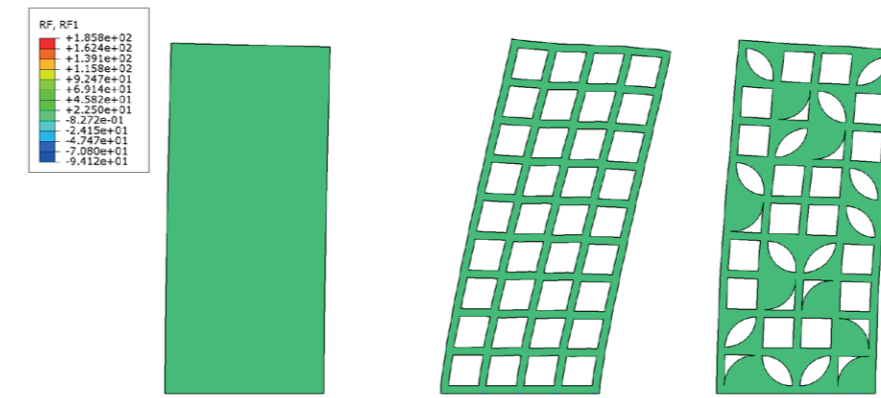


Figura 134\_Force di reazione in direzione X

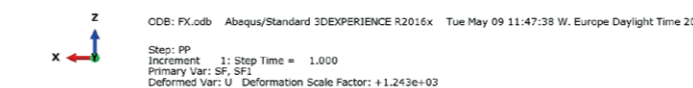
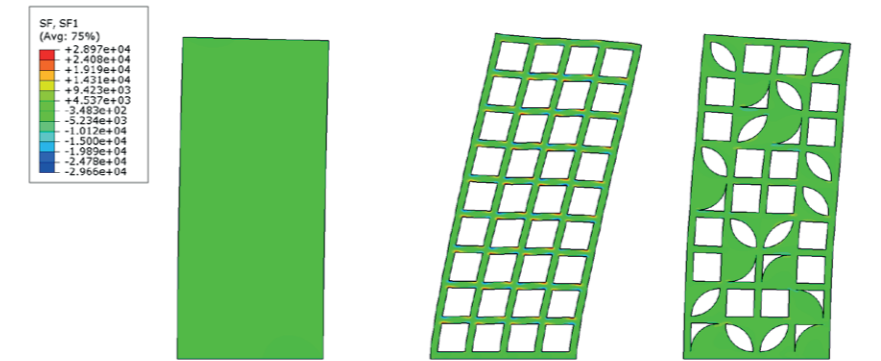


Figura 135\_Force nella sezione in direzione X

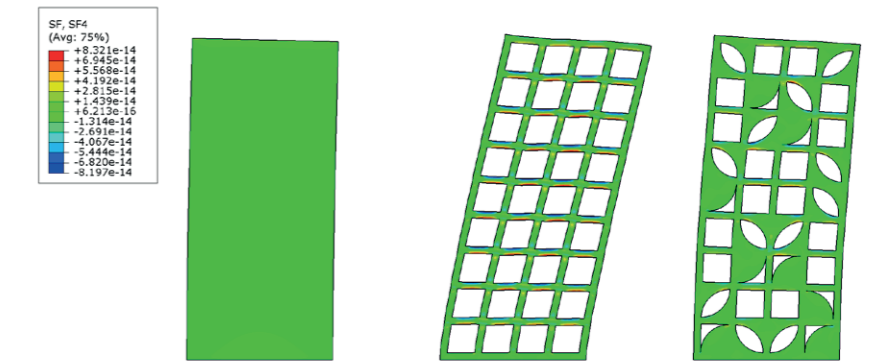


Figura 136\_Raffigurazione dei momenti  $M_x$

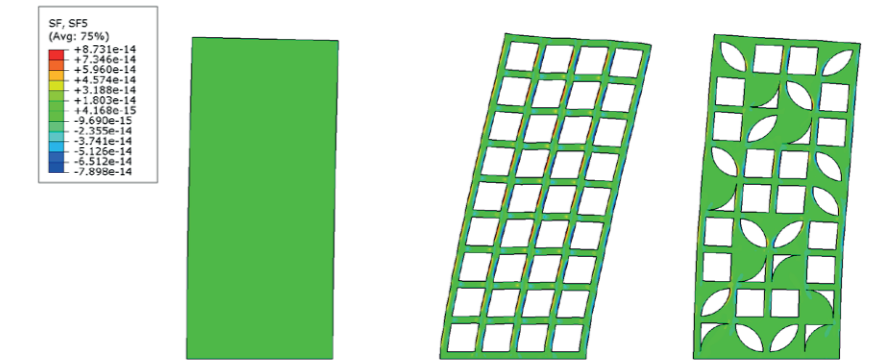


Figura 137\_Raffigurazione dei momenti  $M_y$

### 5.5.4.2 IL SISTEMA IRRIGIDITO: PROVE DI RIGIDEZZA

I sistemi a graticcio con irrigidimenti interni in OSB sono stati introdotti nel progetto al fine di sopperire alla mancanza di rigidità da parte dei sistemi di sostegno verticale a graticcio semplice. Come detto in precedenza questi elementi sono di forma concava e convessa e sono identificabili come la quarta parte di una geometria circolare. È però indispensabile comprendere in che modo essi sono stati disposti all'interno del graticcio. Infatti lo studio dei motivi che andranno a comporre il sistema di sostegno verticale deve avere anche una giustificazione strutturale, oltre che puramente artistica.

A tal proposito si è scelto di simulare differenti proposte di irrigidimento per poi poter scegliere la più rigida dopo aver condotto un'analisi agli elementi finiti sotto carico imposto di 1 kN trasversale in sommità, forza che agisce nel piano di sviluppo del pannello. In particolar modo è da sottolineare come i sistemi di irrigidimenti sono stati collocati all'interno della maglia a graticcio secondo particolari direttrici, ossia le diagonali della croce di Sant'Andrea, luogo dei punti in cui si concentrano gli sforzi al momento di sollecitazione di un piano verticale. Si sono così composte due croci, lungo l'altezza del setto, tramite l'inserimento di elementi in materiale OSB.

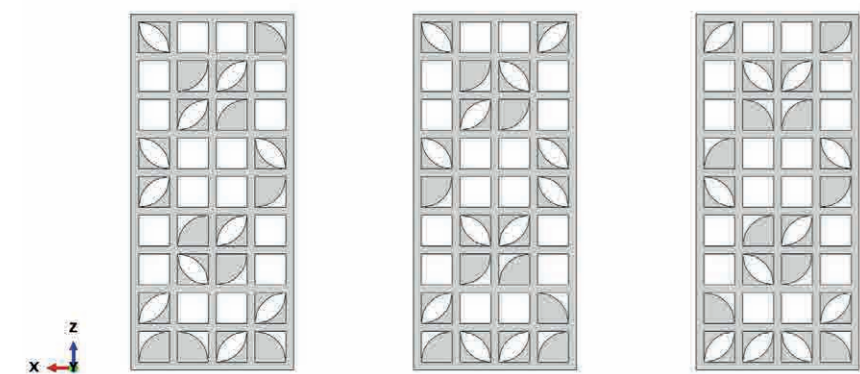


Figura 138\_Rappresentazione delle tre differenti tipologie di irrigidimento analizzate

Per quanto riguarda il primo caso riportato in figura, esso mostra uno spostamento lungo l'asse delle X pari a  $5,03 \cdot 10^{-4}$  m. Si calcola ora la sua rigidità che risulta essere pari a:

$$k_{\text{SETTO IRRIGIDITO 1}} = 1,99 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Il secondo setto a graticcio irrigidito registra uno spostamento lungo l'asse delle X pari a  $3,14 \cdot 10^{-4}$  m. Si calcola ora la sua rigidità che risulta essere pari a:

$$k_{\text{SETTO IRRIGIDITO 2}} = 3,18 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

La terza tipologia di irrigidimenti fornisce un risultato di uno spostamento lungo l'asse X pari a  $4,4 \cdot 10^{-4}$  m. Si calcola ora la sua rigidità che risulta essere pari a:

$$k_{\text{SETTO IRRIGIDITO 2}} = 2,27 \cdot 10^6 \text{ N/m.}$$

Per sopperire alle necessità strutturali derivanti dal progetto, si è ritenuto necessario scegliere il sistema di sostegno verticale più rigido tra quelli simulati. In questo caso particolare quindi si prenderà in considerazione il secondo setto, in quanto in termini di rigidità è maggiore rispetto agli altri due analizzati.

Analogamente è stata compiuta per i setti a graticcio irrigiditi che rientrano all'interno del progetto, andando a scegliere il sistema più resistente tra una gamma di soluzioni proposte.

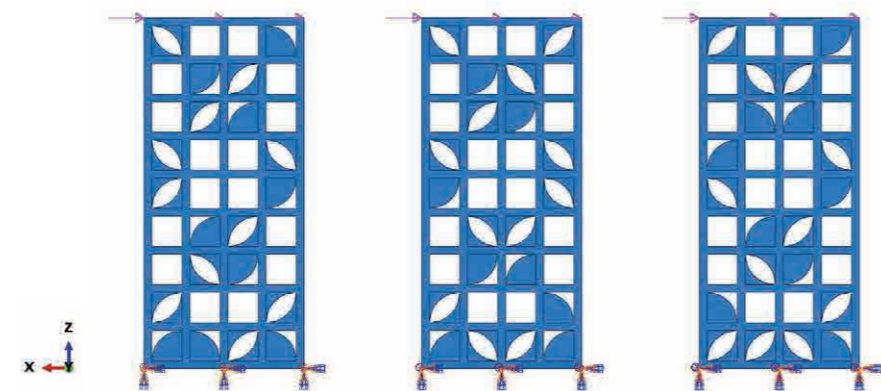
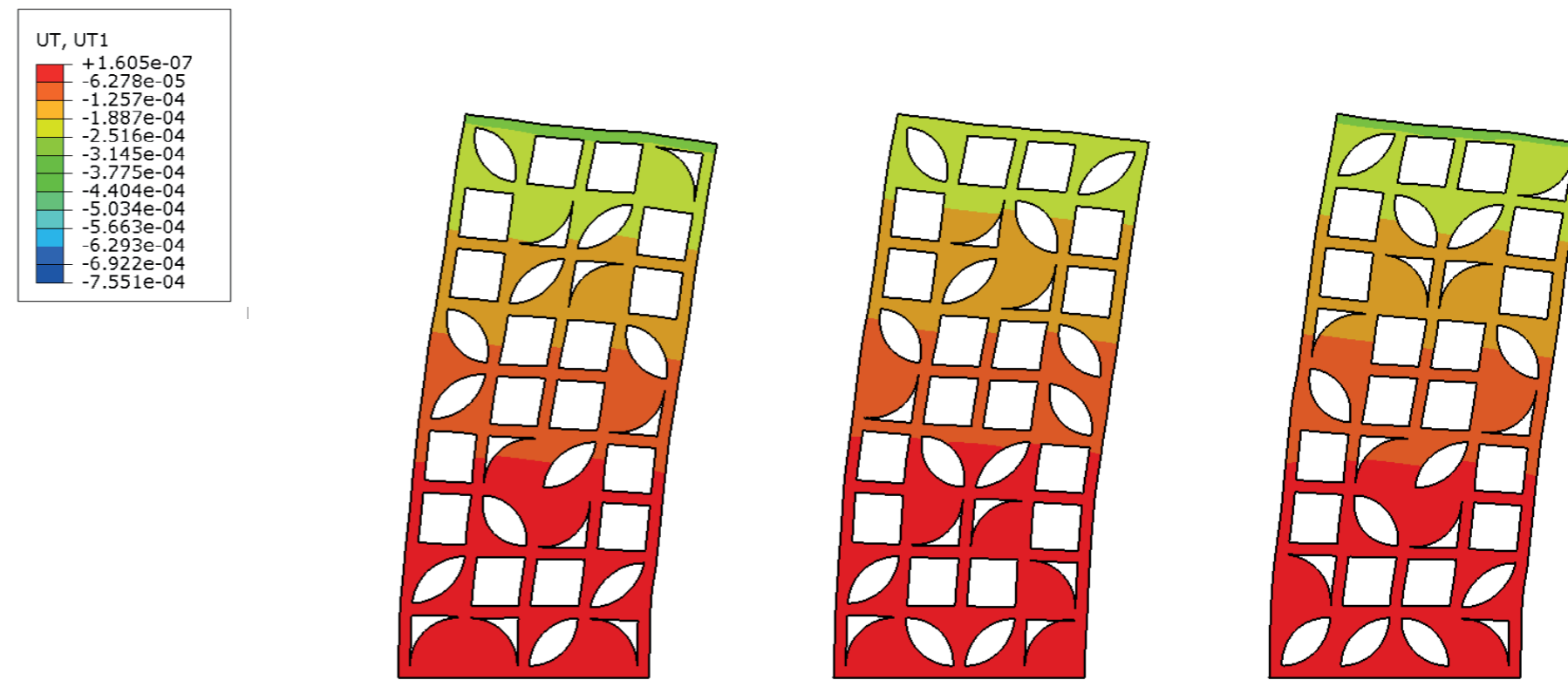


Figura 139\_Rappresentazione delle condizioni di carico in sommità e incastro a terra



ODB: FxIRR.odb    Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x    Tue May 09 12:18:56 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT1  
 Deformed Var: U    Deformation Scale Factor: +2.209e+03

Figura 140\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione X con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN in sommità dei setti



### 5.5.4.3 SIMULAZIONE 2: CARICO SECONDO L'ASSE Y

Dopo aver simulato la situazione dei pannelli con carico secondo l'asse X, si passa ad eseguire le medesime simulazioni impostando nuovamente le condizioni al contorno. Anche in questo caso molteplici sono i risultati che si possono ottenere, utili a comprendere il comportamento differente delle due tipologie di setti presenti nel progetto. La seguente simulazione è consistita nell'imposizione di una forza di 1 kN uniformemente distribuita in sommità dei setti avente direzione opposta all'asse X, quindi una forza orizzontale perpendicolare allo sviluppo del setto.

Ai tre setti viene applicato il vincolo di incastro a terra attraverso il comando "BCs", bloccando gli spostamenti e le rotazioni nelle tre direzioni x, y, z. Inferiormente si nota la rappresentazione grafica dei vincoli posti a terra. Rispettivamente a sinistra si trova il setto pieno in materiale Cross-Lam, rappresentato da una mesh con maglia regolare di dimensioni 0,02x0,02m; in centro si vede rappresentato il sistema a graticcio sempre discretizzato da una mesh di dimensioni 0,02x0,02m che quindi simula in maniera opportuna i travetti disposti perpendicolarmente tra loro. Infine si nota a destra l'ultima configurazione del sistema a graticcio con irrigidimenti in OSB, anch'esso suddiviso con una griglia di 0,02x0,02m. Anche in questo caso si è scelto di infittire la maglia di mesh rispetto alla minima applicabile di 0,10x0,10m, al fine di ottenere risultati più precisi convergenti alla soluzione reale.

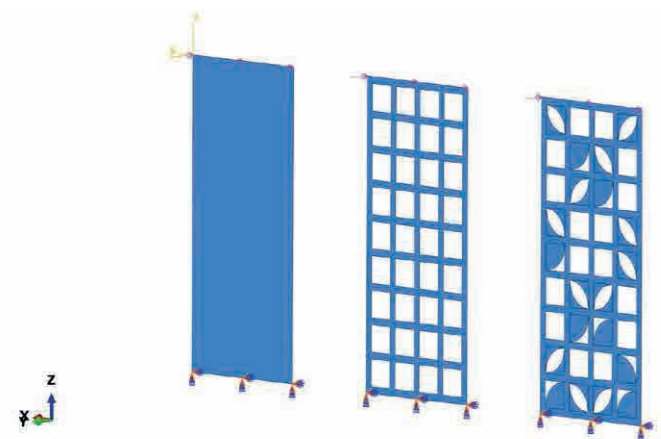


Figura 141\_Rappresentazione del carico applicato in direzione X

Il fine ultimo di queste analisi consiste sempre nello studio delle diverse rigidità dei setti di sostegno verticali.

Nella rappresentazione a fianco si mostrano i risultati ottenuti per quanto riguarda gli spostamenti in direzione Y, ossia nel verso di applicazione della forza uniformemente distribuita in sommità delle strutture.

Considerando il setto pieno in Cross-Lam, lo spostamento ottenuto dopo aver applicato una forza unitaria, è di  $2,5 \cdot 10^{-2}$  m. Calcolando con la formula prima descritta e utilizzando una forza unitaria, si ottiene una rigidità:

$$k_{\text{SETTO PIENO}} = 4 \cdot 10^4 \text{ N/m.}$$

Il setto con sistema a graticcio risulta avere uno spostamento molto maggiore rispetto al setto pieno, pari a  $1,00 \cdot 10^{-1}$  m. Si calcola ora la sua rigidità che risulta essere:

$$k_{\text{SETTO A GRATICCIO}} = 10 \cdot 10^4 \text{ N/m.}$$

Il setto a graticcio con l'aggiunta di sistemi di irrigidimento in OSB risulta avere uno spostamento molto maggiore rispetto al setto pieno ma pur sempre la metà rispetto a quello del sistema a graticcio puro. Lo spostamento misurato è infatti di  $6,68 \cdot 10^{-2}$  m. Si calcola ora la sua rigidità pari a:

$$k_{\text{SETTO A GRATICCIO CON IRRIGIDIMENTI}} = 1,47 \cdot 10^4 \text{ N/m.}$$

Il risultato ottenuto conferma ancora una volta le aspettative teoriche, ossia che il setto più rigido si identifica con quello pieno in Cross-Lam, quello più deformabile con il sistema a graticcio semplice.

Tuttavia è da sottolineare che lo spostamento ottenuto per il setto a graticcio è comunque accettabile al fine strutturale. Pertanto il sistema graticciato all'interno del progetto risulta utilizzabile, prestando sempre attenzione all'adeguato posizionamento: così come nel caso della simulazione 1 eseguita, con forza applicata in direzione X, i setti pieni devono essere posizionati nei punti più critici, dove è necessario avere una maggiore rigidità strutturale. Si specifica che l'utilizzo dei setti a graticcio con irrigidimenti è utilizzabile solo se alternato in modo omogeneo con la tipologia di setto pieno in modo tale da avere una rigidità globale che si possa considerare uniformemente distribuita su tutta la struttura.

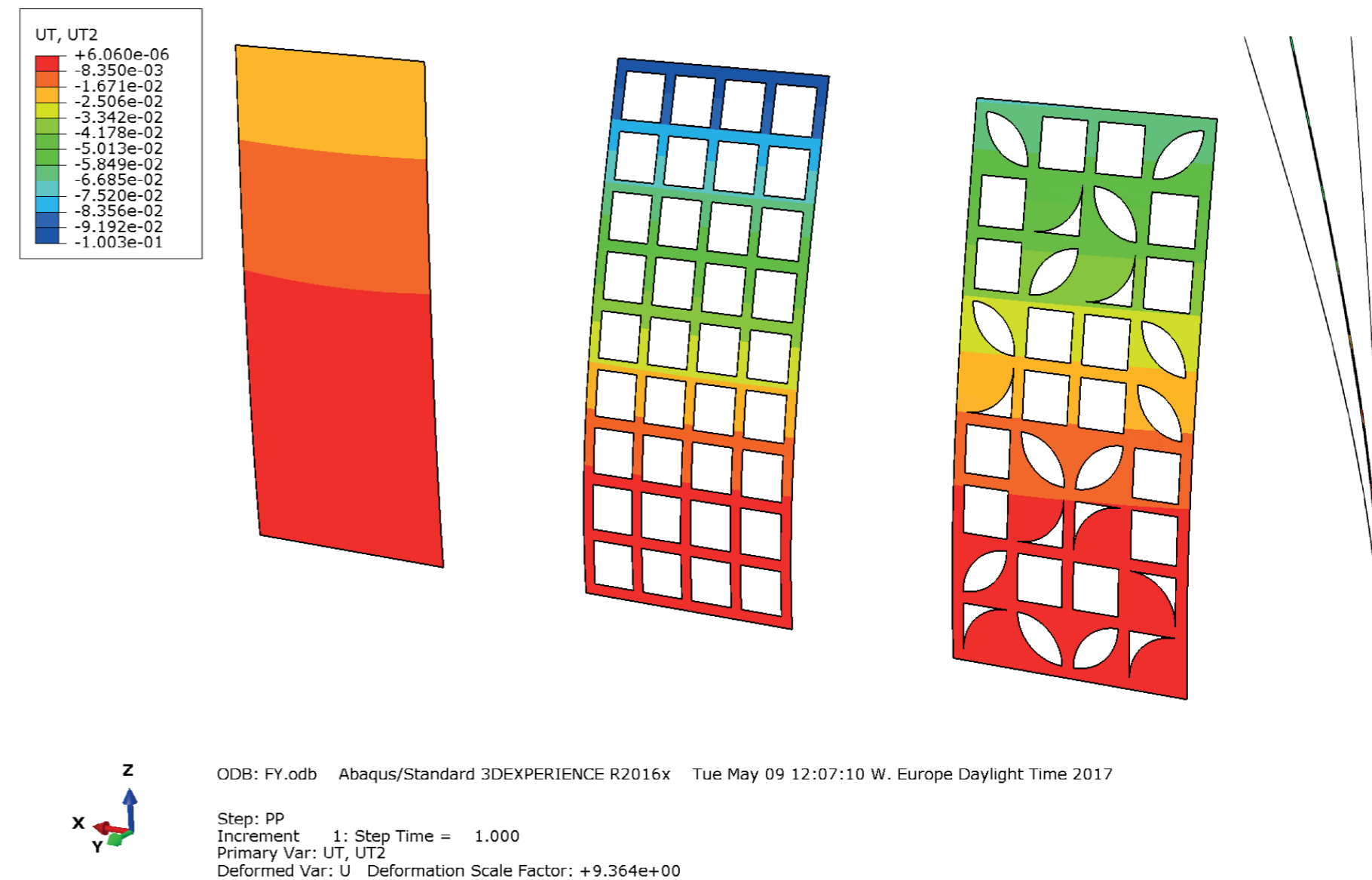


Figura 142\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Y con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN, a lato una vista laterale per capire il rapporto delle tre deformate con l'indeformata

Anche per la simulazione 2 si sono considerati altri output per rendere le analisi più complete, come ad esempio l'entità delle rotazioni secondo i diversi assi e i valori delle forze e dei momenti risultanti.

In particolar modo nella colonna a destra vediamo raffigurate le rotazioni UR1 in alto, attorno all'asse X, e UR2 in basso, attorno all'asse Y.

Analizzando i risultati si conclude che le rotazioni maggiori, identificate dal colore rosso intenso, si verificano alla sommità del setto graticciato dove è stato applicato il carico. In particolar modo si deve sottolineare come le rotazioni si registrano soltanto attorno all'asse X, in quanto attorno all'asse Y le rotazioni risultano essere molto vicine al valore zero. Tuttavia è da puntualizzare che l'entità di tali rotazioni rientra comunque in intervalli ammissibili ai fini progettuali. Da qui si può dedurre la bontà di questi elementi verticali per il sostegno della copertura in pannelli Cross-Lam.

Si propone nella pagina seguente una raffigurazione della voce "RF, Reaction forces and moments", in cui vengono proposte le reazioni delle forze secondo asse Y, ossia RF2, essendo l'asse 2 coincidente con l'asse Y del sistema di riferimento utilizzato. Si nota dalla restituzione grafica come i setti non presentino forze di reazione nell'altezza della geometria ma solamente alla base, cioè all'incastro. Nel setto caratterizzato dal sistema a graticcio le reazioni non risultano tutte nella medesima direzione, ma hanno segno opposto. In corrispondenza di ogni travetto verticale si nota infatti un'inversione: questo si ottiene a causa della non continuità rappresentativa del sistema a graticcio. La reazione massima si riscontra proprio in quest'ultimo setto meno omogeneo rispetto agli altri.

Ultimo risultato che si propone è lo studio di "SF, Section forces and moments", di cui si riportano le forze secondo direzione Y, identificate con il codice SF2. Si nota che i valori massimi si hanno in corrispondenza del setto a graticcio puro circa a 70cm dall'incastro alla base, dove si concentrano gli sforzi e le fibre risultano essere maggiormente sollecitate.

Per quanto riguarda i momenti agenti si riportano i risultati di  $M_x$  e  $M_y$  rispettivamente identificati dalla soluzione SF4 ed SF5.

I momenti torcenti sulla struttura, che si notano dalla soluzione SF6, qui non riportata, risultano essere nulli.

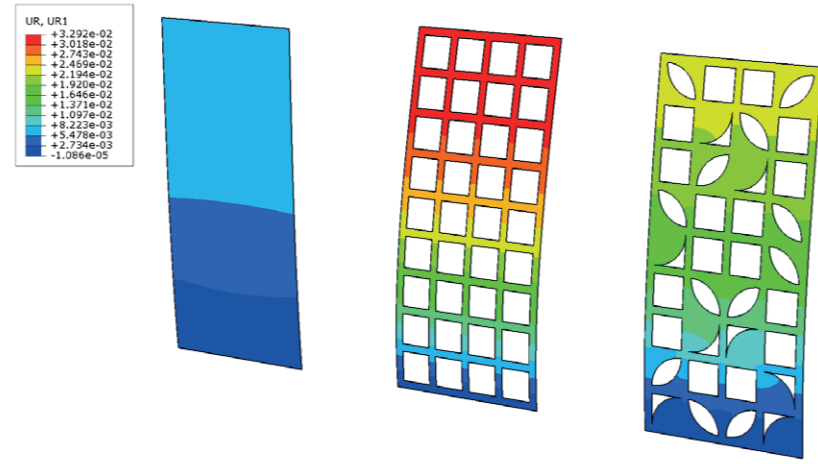


Figure 143: Rotations around the X-axis. ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: UR, UR1 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 143\_Rotazioni attorno all'asse X

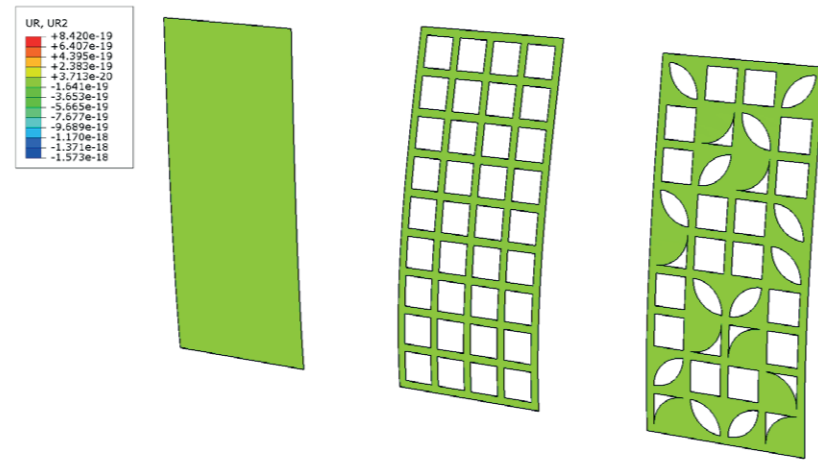


Figure 144: Rotations around the Y-axis. ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: UR, UR2 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 144\_Rotazioni attorno all'asse Y

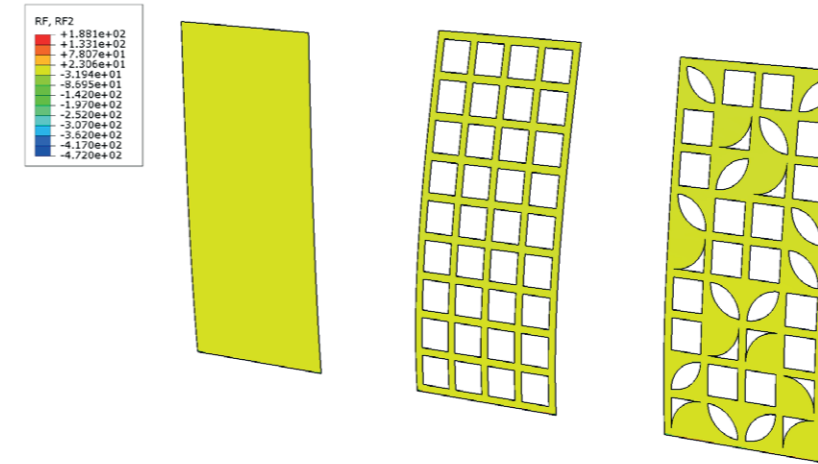


Figure 145: Reaction forces in the Y direction. ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: RF, RF2 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 145\_Forze di reazione in direzione Y

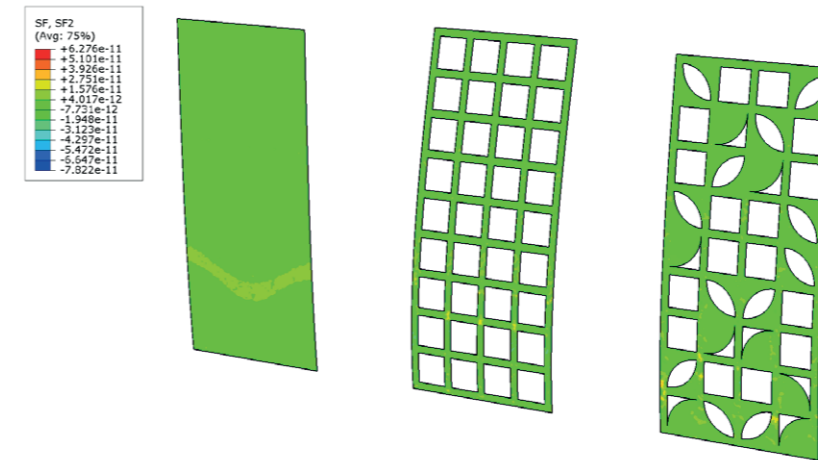


Figure 146: Forces in the section in the Y direction. ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: SF, SF2 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 146\_Forze nella sezione in direzione Y

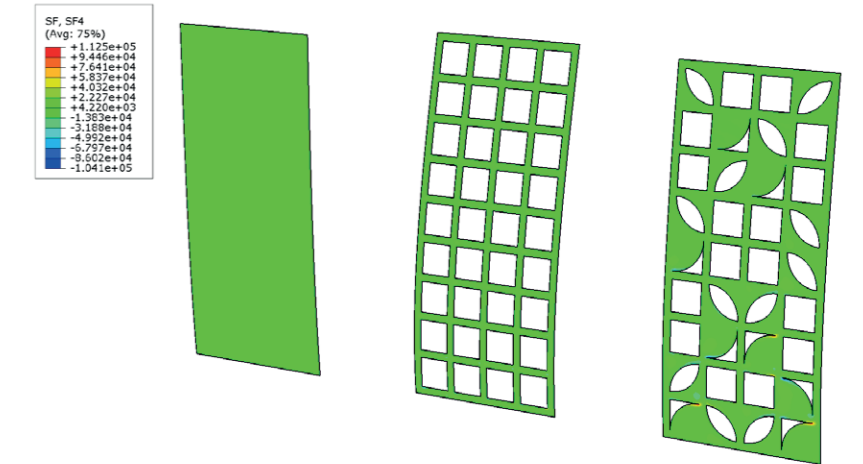


Figure 147: Moment distribution  $M_x$ . ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: SF, SF4 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 147\_Raffigurazione dei momenti  $M_x$

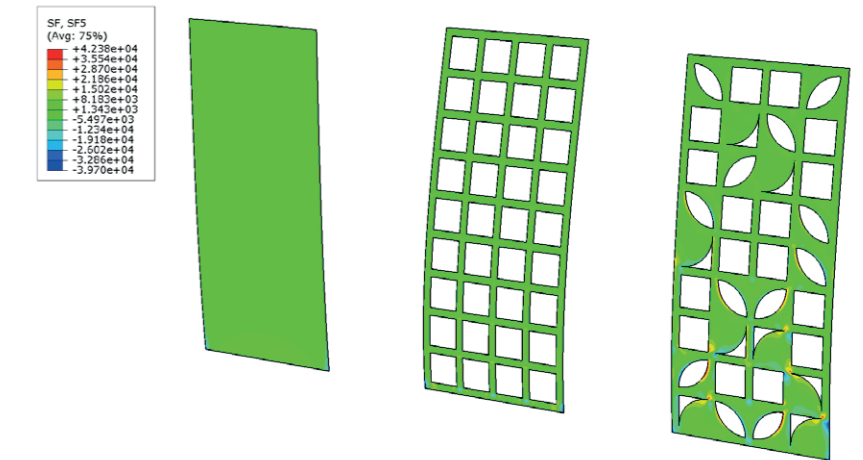


Figure 148: Moment distribution  $M_y$ . ODB: FY.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Tue May 09 12:07:10 W. Europe Daylight Time 2017. Step: PP Increment: 1: Step Time = 1.000 Primary Var: SF, SF5 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +9.364e+00

Figura 148\_Raffigurazione dei momenti  $M_y$



# 5.6

## SIMULAZIONE DELLA COPERTURA

### 5.6.1 IL PRIMO APPROCCIO: MODELLAZIONE ISOTROPA

In fase iniziale si è operata una semplificazione del problema andando a studiare le superfici in copertura senza l'introduzione della diversità di rigidità dei setti pieni e a graticcio. In corrispondenza di ogni elemento verticale si introduce un elemento di "Boundary Conditions" che blocca gli spostamenti nelle tre direzioni. Dopo aver calcolato le azioni agenti sulla copertura, attraverso il programma Abaqus CAE, si prede in considerazione il momento agente massimo e si verifica la sezione in Cross-Lam. Si ricorda che alla copertura, sostenuta da setti pieni e setti a graticcio, si applicano i carichi  $G_k$ :

- Peso proprio degli elementi della copertura, con riferimento al materiale specifico Cross-Lam pari a  $0,63 \text{ kN/m}^2$

Inoltre si applicano i carichi variabili  $Q_k$ :

- Carico della neve pari a  $0,8 \text{ kN/m}^2$

Lo spessore della copertura durante le analisi è stato considerato pari a  $0,16 \text{ m}$ . La distanza media dei setti stabilisce la luce di calcolo,  $l=5 \text{ m}$ . Lo spessore minimo di verifica deve quindi risultare  $t= 1/25$  della luce, quindi  $t=0,2 \text{ m}$ . Ciò nonostante si utilizza nella verifica uno spessore sempre pari a  $0,16 \text{ m}$ , valore che nelle analisi di Abaqus CAE, soddisfa comunque i calcoli.

Si studiano poi le differenti combinazioni di carico e si prendono in considerazione i momenti agenti sulla copertura,  $M_{xx}$  e  $M_{yy}$ .

### COSTRUZIONE DEL MODELLO

Una prima fase di lavoro ha previsto la semplificazione del modello tridimensionale mediante il programma Rhinoceros. Gli elementi che vanno a comporre la struttura devono essere identificati come elementi "Surface" in modo tale da poterli esportare in formato ACIS (.sat) e importarli nel programma agli elementi finiti Abaqus CAE.

Un aspetto importante da tenere in considerazione al momento della modellazione è la perfetta coincidenza tra le diverse superfici, al fine di non creare errori e discrepanze durante le simulazioni di calcolo.

Si delinea ora il metodo di approccio di questa prima fase. Dovendo andare a definire la posizione degli elementi verticali per introdurre gli incastri nella corretta posizione, è stato ritenuto necessario suddividere le falde di copertura in corrispondenza di questi elementi. Così facendo, una volta importato il modello in Abaqus CAE, è stato possibile selezionare il segmento perfettamente coincidente con le dimensioni del setto ed andare ad introdurre il vincolo agli spostamenti.

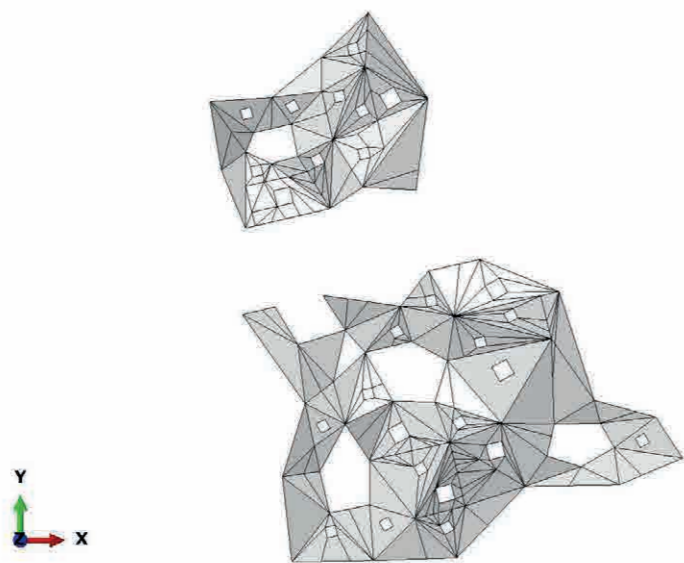


Figura 149\_Costruzione del modello semplificato

### CREAZIONE DELLA MESH

È importante, ai fini delle simulazioni di calcolo, la generazione di una mesh compatibile con il modello analizzato che non presenti tuttavia discontinuità al suo interno.

Fatto da tenere in considerazione è che tale mesh deve presentare un elemento di termine nel momento in cui si incontra un elemento verticale di sostegno. Anche per rispondere a questa problematica si è ritenuto opportuno suddividere le superfici di falda in corrispondenza dei setti e degli edifici, in modo tale da avere la certezza che il programma potesse lavorare in maniera corretta e coerente.

È possibile scegliere la dimensione della mesh da definirsi in maniera compatibile con le dimensioni progettuali. Più le dimensioni della griglia di suddivisione sono piccole, più il programma fornisce un risultato attendibile e preciso. In questo caso è stata assegnata una mesh di dimensioni pari a  $0,10 \times 0,10 \text{ m}$ .

Ora il programma associa il materiale e lo spessore forniti, le condizioni di carico, i vincoli imposti alla mesh generata.

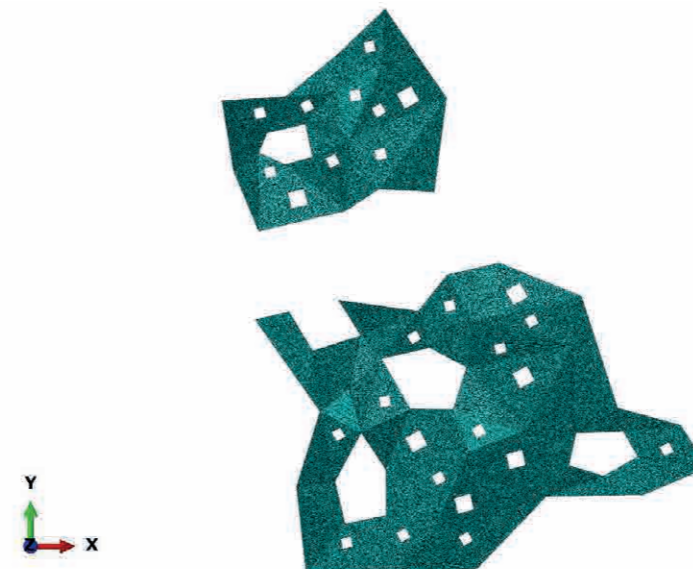


Figura 150\_Delineazione della mesh

### DETERMINAZIONE DEGLI INCASTRI

In questo primo step di lavoro non è stata introdotta alcuna differenza a livello di rigidità tra setti a graticcio, setti pieni ed edifici. Al fine di procedere secondo una continua implementazione della complessità del modello, si è scelto in questa prima fase di analisi della struttura di copertura di non introdurre gli elementi verticali, andando quindi a studiare solamente il comportamento delle diverse falde.

Gli elementi verticali di sostegno sono stati quindi trascurati, ponendo tuttavia in corrispondenza della sommità di essi, direttamente sulle superfici di copertura, dei vincoli di incastro.

In corrispondenza dei segmenti selezionati per gli appoggi, opportunamente definiti in fase di generazione della geometria di base, vengono assegnate le condizioni di incastro mediante il comando "Boundary Conditions". Selezionando la voce "Displacement/Rotations" si può scegliere quali parametri bloccare.

Nel caso in esame si sceglie di impedire gli spostamenti nelle tre direzioni  $x, y, z$ .

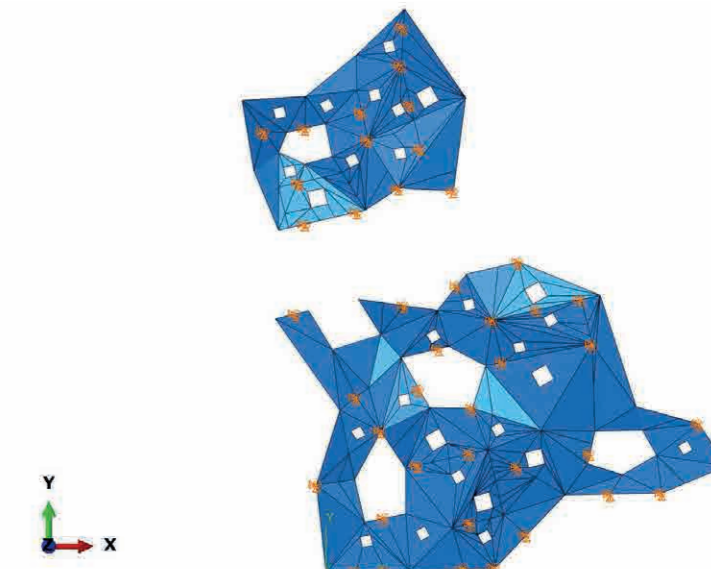


Figura 151\_Determinazione degli incastri a terra

### ASSEGNAZIONE DEI CARICHI

Si passa ora all'assegnazione dei carichi precedentemente riportati: peso proprio e carico di neve. In prima istanza bisogna creare uno "Step" relativo alle condizioni di carico assegnando la voce "static, general" per la tipologia.

Vengono inseriti due carichi gravitazionali per le due situazioni, in modo tale da imporre la direzione secondo asse z globale.

In primis il peso proprio viene associato ad un'accelerazione di 9,81m/s<sup>2</sup>. È necessario anteporre il segno "meno" al valore di accelerazione in quanto il sistema di riferimento con cui lavora il programma Abaqus CAE è rivolto verso l'alto.

Per quanto riguarda il carico da neve, pari a 0,8 kN/m<sup>2</sup> (ossia 81,54 kg/m<sup>2</sup>) bisogna trovare un'analogia al fine di andare ad amplificare il peso della struttura mediante un'accelerazione:

$$\rho \cdot t = 630 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,16 \text{ m} = 100,8 \text{ kg/m}^2$$

$$81,54 \text{ kg/m}^2 / 100,8 \text{ kg/m}^2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 7,93 \text{ m/s}^2.$$

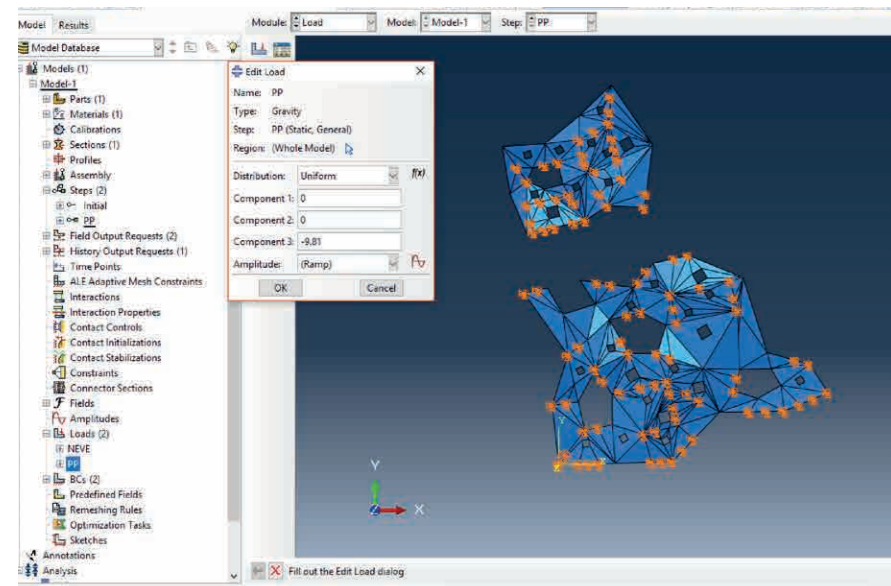


Figura 152\_Imposizione dei carichi di progetto

### RISULTATI OTTENUTI DALLA SIMULAZIONE

Una volta determinate le condizioni al contorno ed imposti i carichi di progetto pari al peso proprio e alla neve, si procede con le simulazioni.

Un ultimo importante step è quello di assemblaggio della struttura in esame mediante il comando "Assembly>Instances".

Successivamente si possono definire gli output da controllare in fase di simulazione andando a settare le diverse voci possibili dalla tabella sotto la voce "Field Output Requests". Si è ritenuto opportuno selezionare la voce "UT, Translations" che individua l'entità degli spostamenti della struttura nelle tre direzioni. Queste si possono selezionare come media pesata delle traslazioni nelle tre direzioni, oppure come specifiche selezionando l'asse di riferimento interessato.

In particolar modo si vogliono indagare gli spostamenti secondo l'asse Z ossia quelli perpendicolari al piano medio di sviluppo della copertura. Questo sono identificati dal programma secondo la voce UT3, essendo 3 l'asse corrispondente a Z.

Altro risultato che si propone è lo studio di "SF, Section forces and moments", di cui si riportano i momenti che vanno ad agire sulla struttura. In particolar modo si ricavano i momenti flettenti in direzione X (M<sub>x</sub>), identificati dalla sigla SF4, ed i momenti flettenti in direzione Y (M<sub>y</sub>), identificati da SF5.

Questi risultati verranno utili in fase di verifica della struttura, in cui si devono confrontare i valori ottenuti dalle simulazioni con i limiti imposti da normativa e dai parametri dei materiali. I momenti torcenti sulla struttura M<sub>xy</sub>, che si identificano nella soluzione SF6, qui non riportata, risultano essere nulli.

I dati fino ad ora estrapolati saranno poi opportunamente riportati nel paragrafo seguente, dove si confronteranno con la nuova situazione presentata: infatti il modello verrà implementato con l'introduzione dei parametri di ortotropia del materiale.

La filosofia di lavoro, quindi, rispetta sempre la volontà di partire da un modello relativamente semplice per poi confrontarlo con simulazioni più complesse che rispecchiano in maniera più veritiera il caso reale. In questo modo si cerca di limitare la possibilità di errore e si verifica passo dopo passo la bontà dei parametri e delle condizioni al contorno del modello agli elementi finiti.

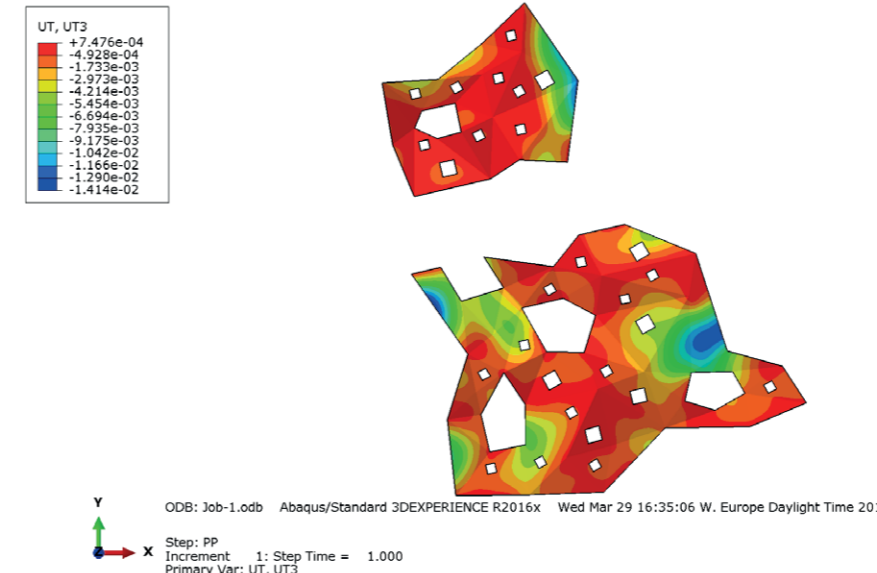


Figura 153\_Spostamenti in direzione Z



Figura 154\_Momenti flettenti M<sub>x</sub>



Figura 155\_Momenti flettenti M<sub>y</sub>

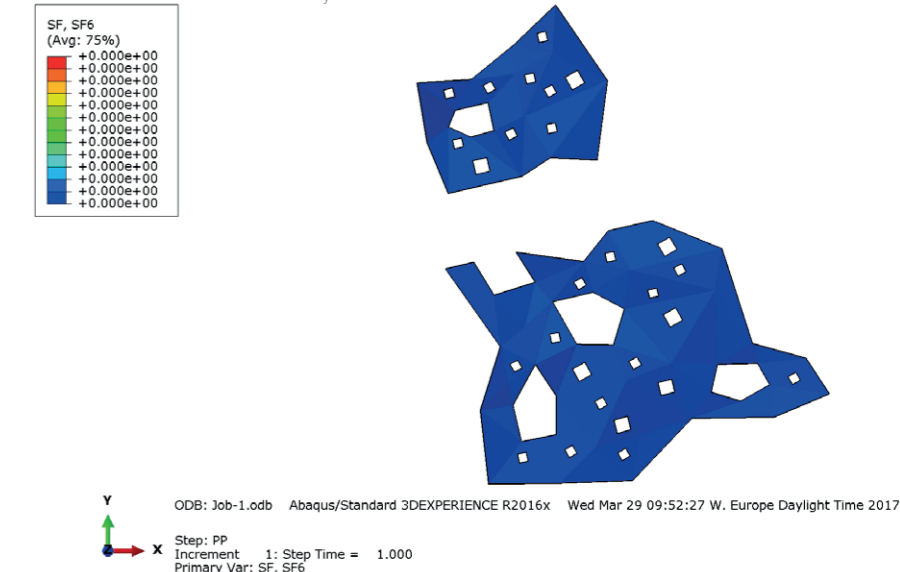
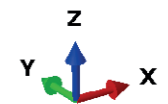
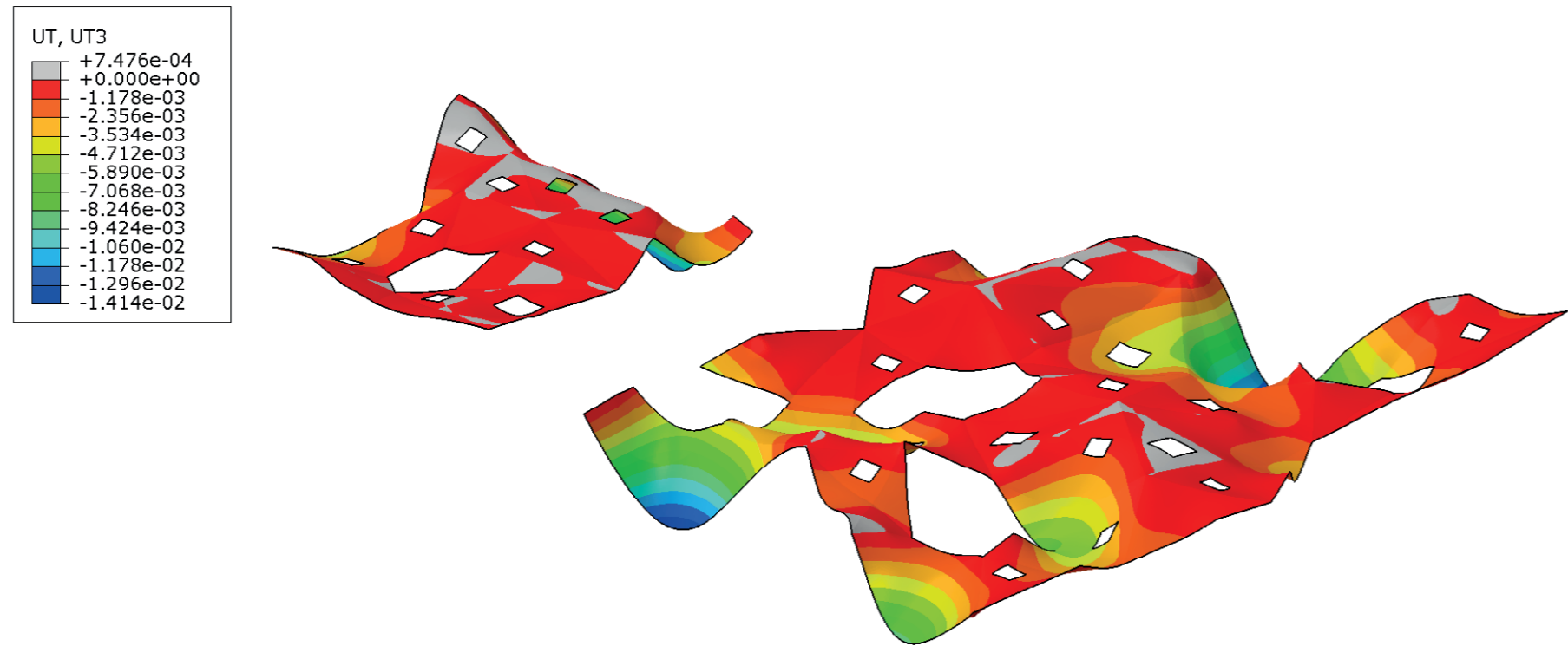


Figura 156\_Momenti torcenti M<sub>xy</sub>

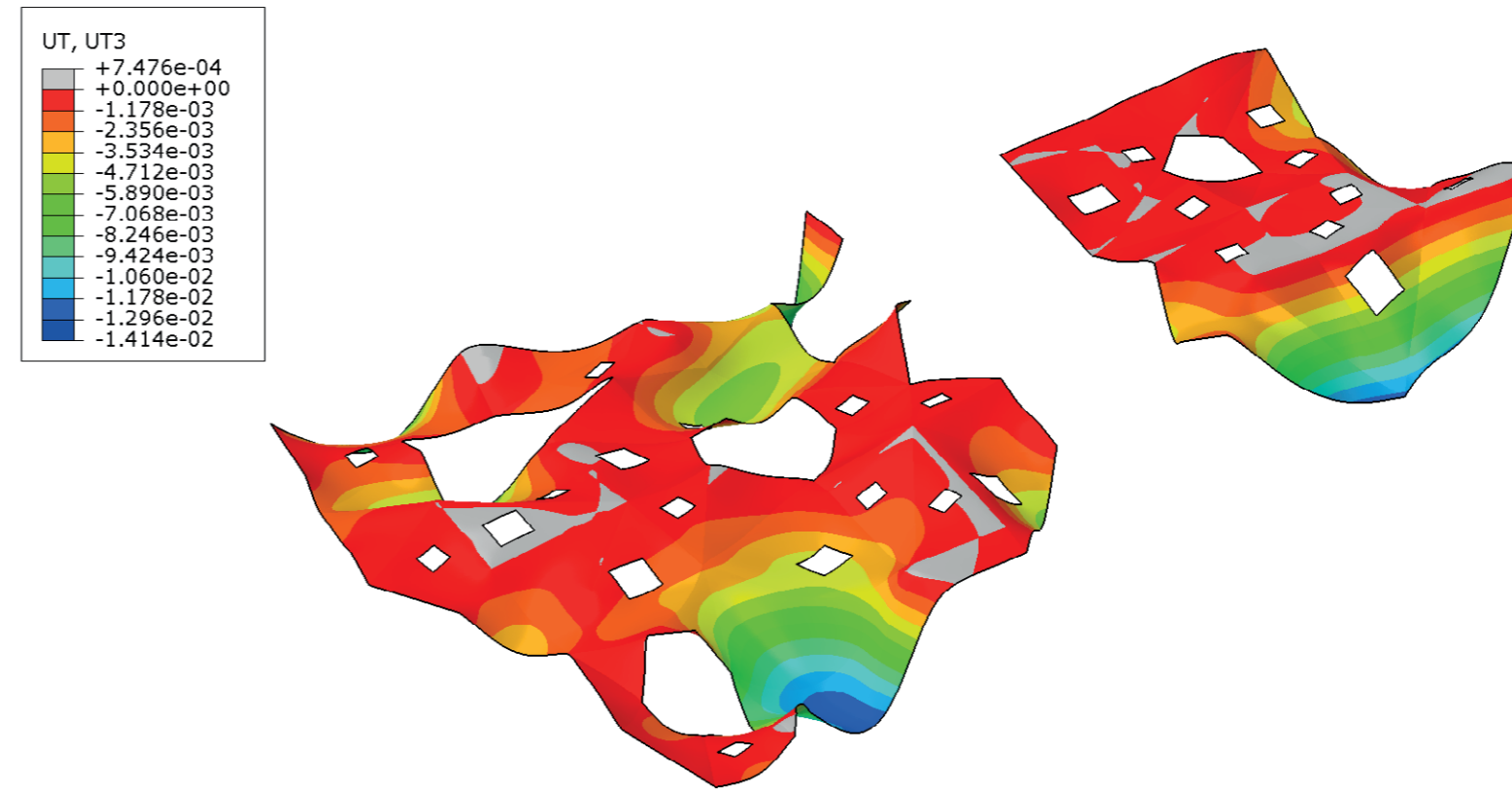




ODB: TettoIsotropo.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Thu Mar 30 09:45:14 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +4.009e+02

Figura 157\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della copertura



ODB: TettoIsotropo.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Thu Mar 30 09:45:14 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +4.009e+02

Figura 158\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della copertura

### 5.6.2 MODELLAZIONE ORTOTROPA

Il comportamento meccanico del legno varia significativamente in base alle tre direzioni che lo caratterizzano, motivo per cui esso viene definito ortotropo.

È da sottolineare che la resistenza maggiore si registra in direzione della fibratura, pertanto gli elementi in legno ad uso strutturale vengono sfruttati quasi esclusivamente in tale direzione.

Per quanto riguarda l'orientazione delle fibre si distinguono:

- Quella longitudinale (L), in direzione parallela alle fibre;
- Quella radiale (R), in direzione ortogonale rispetto ai cerchi di accrescimento;
- Quella tangenziale (T), in direzione tangenziale ai cerchi di accrescimento.

In generale si può assumere il comportamento del materiale legno al "Modello delle Cannucce Affiancate", che delinea alcuni principi utili alla comprensione e alla elaborazione delle condizioni al contorno. Le resistenze in direzione perpendicolare alle fibre sono più basse di quelle in direzione parallela; le verifiche devono essere svolte separatamente per le tensioni agenti nelle due direzioni ortogonali principali; bisogna evitare sforzi di trazione in direzione perpendicolare alla fibra ed infine si deve sempre tener conto dell'inclinazione delle tensioni rispetto alla direzione delle stesse.

Al fine di simulare questo comportamento attraverso il programma Abaqus CAE si sono definiti i parametri secondo cui si registra il comportamento a lamina del materiale analizzato:

- $E_1$  modulo elastico parallelo alla direzione della fibratura;
- $E_2$  modulo elastico perpendicolare alla direzione della fibratura;
- $\nu_{12}$  coefficiente di Poisson;
- $G_{12}$  modulo tangenziale nel piano;
- $G_{13}$  modulo tangenziale fuori dal piano;
- $G_{23}$  modulo tangenziale fuori dal piano.

Dalle tabelle presenti in normativa EN 338 riguardanti il materiale Cross-Lam si ricavano i seguenti parametri, riconducibili ai valori richiesti dal programma.

- $E_0 = 11 \text{ GPa}$
- $E_{90} = 0,37 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0,69 \text{ GPa} = G_{12}$
- $\nu_{12} = 0,4;$

Per i valori del modulo elastico si è operata una media pesata ("Rule of Mixtures") secondo i cinque diversi strati del pannello in Cross-Lam, ottenendo così  $E_1$  e  $E_2$ . Gli altri valori invece sono determinabili attraverso le formule:

- $E_1 = (3 \cdot E_0 + 2 \cdot E_{90}) = 6,748 \text{ GPa};$
- $E_2 = (2 \cdot E_0 + 3 \cdot E_{90}) = 4,622 \text{ GPa};$
- $G_{13} = 1/10 G_{\text{mean}} = 0,069 \text{ GPa};$
- $G_{23} = 1/10 G_{\text{mean}} = 0,069 \text{ GPa}.$

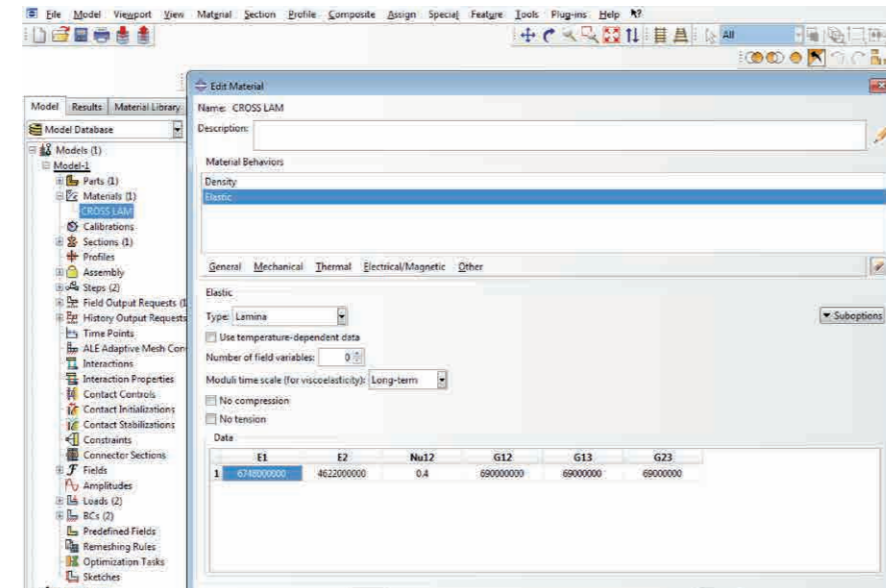


Figura 159\_Determinazione del comportamento a lamina

### ORIENTAMENTO DEL SISTEMA DI RIFERIMENTO

Data la conformazione della struttura in esame si è ritenuto necessario, ai fini del calcolo con materiale ortotropo, imporre alle falde di copertura un sistema di riferimento locale. Sotto il comando "Property" mediante la voce "Assign>Material Orientation", è possibile assegnare diversi sistemi di riferimento alle parti del modello.

Abaqus CAE richiede la direzione dell'asse principale, individuabile attraverso i nodi del triangolo in esame ed un punto appartenente al piano XY. In dettaglio si assume come "asse 1" principale, la direzione X, corrispondente al lato più lungo del triangolo di copertura. Il punto appartenente al piano XY sarà identificato dal terzo vertice della falda triangolare.

Il sistema di riferimento globale del programma Abaqus CAE è orientato in modo tale da avere l'asse Z positivo verso l'alto. Al fine di ottenere l'asse Z locale di ogni falda positivo anch'esso verso l'alto si è proceduto nell'individuazione dei nodi richiesti in senso antiorario.

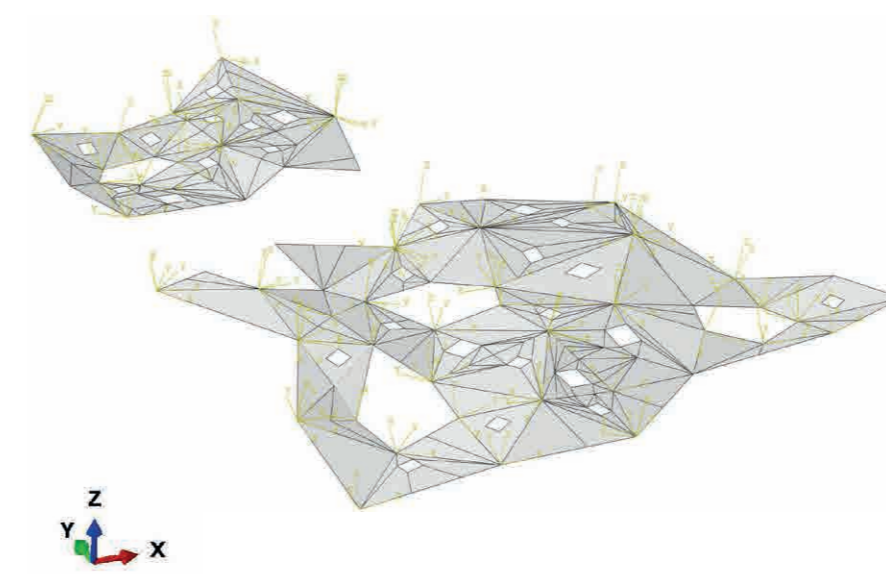


Figura 160\_Determinazione degli incastrati a terra

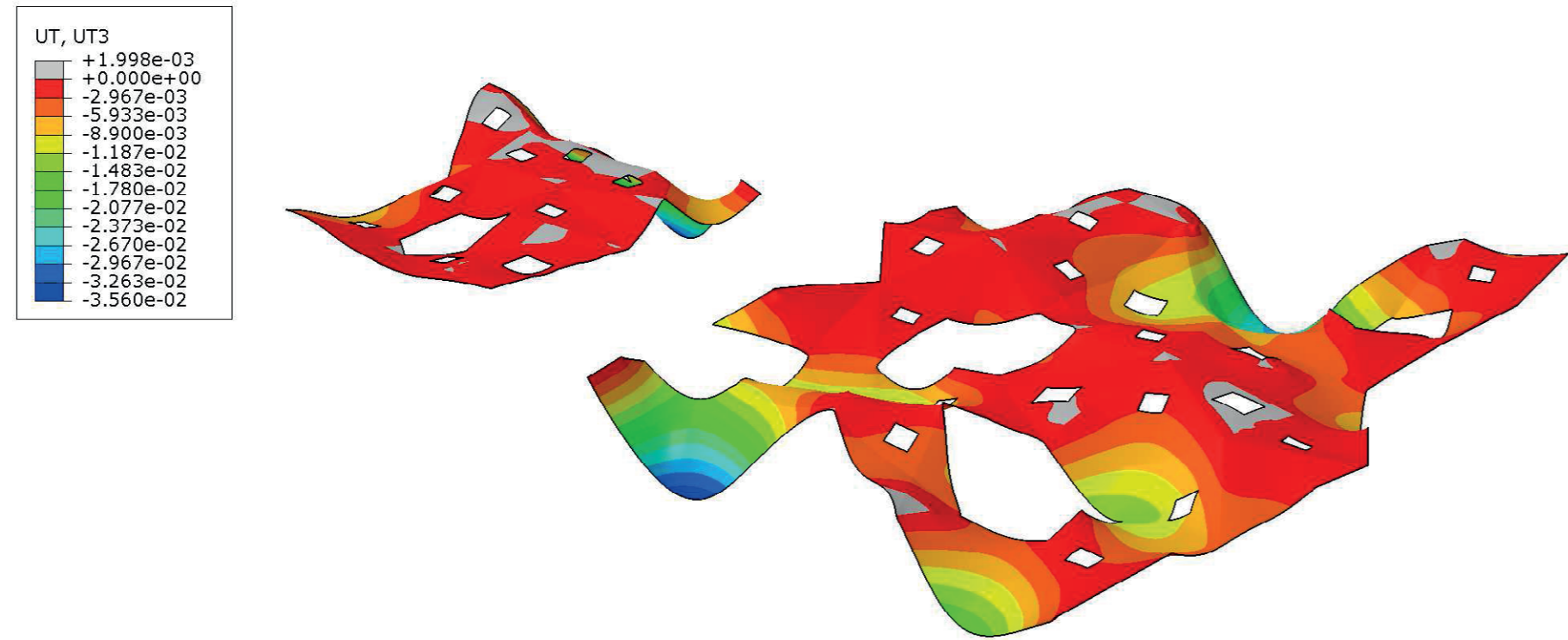


Figura 161\_Momenti  $M_y$



Figura 162\_Momenti  $M_{yy}$

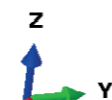
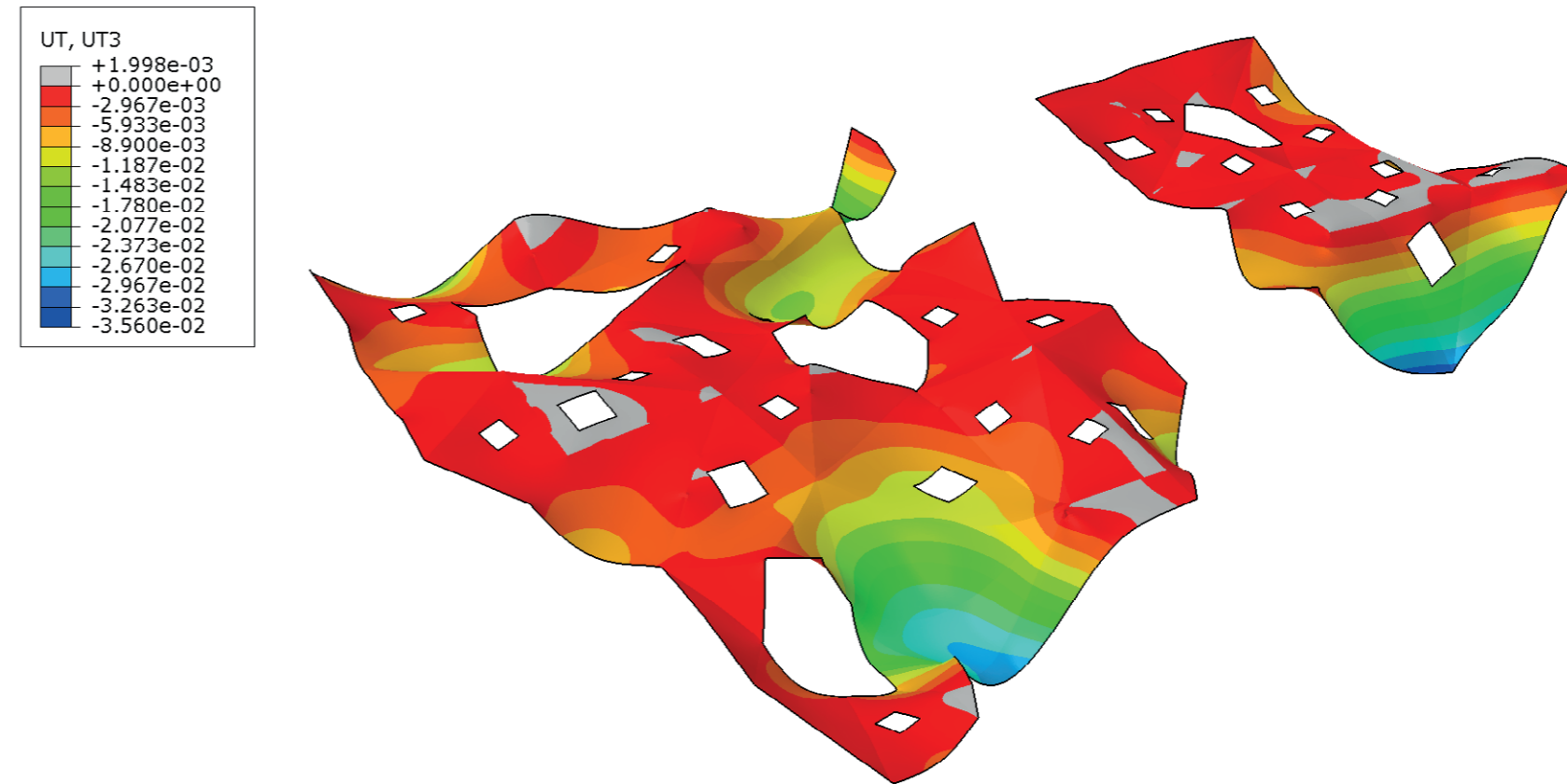




ODB: TettoOrtotropo.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Wed Apr 05 17:02:14 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.592e+02

Figura 163\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della copertura



ODB: TettoOrtotropo.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Wed Apr 05 17:02:14 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +1.592e+02

Figura 164\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della copertura

### 5.6.2.1 CALCOLO DELLA SEZIONE

Per procedere con la verifica della sezione, si segue il calcolo proposto da promo\_legno a cura di Andrea Bernasconi: "Il calcolo dell'XLAM. Basi, normative, progettazione, applicazione".

Tale documento afferma che "la determinazione degli sforzi interni delle solette di Cross-Lam può in molti casi partire dal principio che l'elemento di Cross-Lam è sottoposto alla sollecitazione di flessione e taglio in una sola direzione del piano. L'elemento inflesso diventa quindi l'elemento più semplice, e probabilmente anche quello più frequente, da calcolare e dimensionare. Il principio di calcolo indicato di seguito si applica comunque alla verifica della resistenza a flessione e a taglio del pannello Cross-Lam, indipendentemente dal fatto che sia sollecitato in una sola oppure in entrambe le direzioni del suo piano".

Ai fini applicativi del calcolo si ricorda inoltre che la distribuzione delle sollecitazioni a flessione deve tenere conto della struttura a strati dell'elemento e delle differenti caratteristiche meccaniche dei singoli strati.

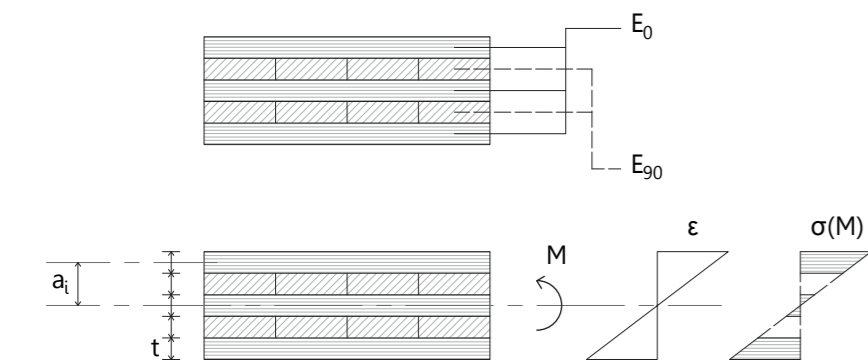


Figura 165\_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento Myy

Di seguito riportiamo i valori del modulo elastico E per il legno, rispettivamente parallelo e perpendicolare alle fibre:

- E<sub>0</sub> = 11000000 kN/m<sup>2</sup>
- E<sub>90</sub> = 370000 kN/m<sup>2</sup>

Il calcolo della rigidezza flessionale della sezione di Cross-Lam, deve prendere in considerazione la differenza del modulo E tra i diversi strati di tavole.

Vista la grande differenza fra E<sub>0</sub> e E<sub>90</sub> è senz'altro indicato trascurare gli strati disposti trasversalmente.

Si ricorda inoltre che nella progettazione si dovrà tenere conto dei momenti agenti e della maggiore rigidezza in una direzione rispetto all'altra.

Si procederà dunque con un disegno del dettaglio appropriato in modo tale da ottenere sempre la situazione in cui il momento agente maggiore tra M<sub>xx</sub> e M<sub>yy</sub> sia applicato alla sezione con il numero di strati con le fibre parallele in numero maggiore.

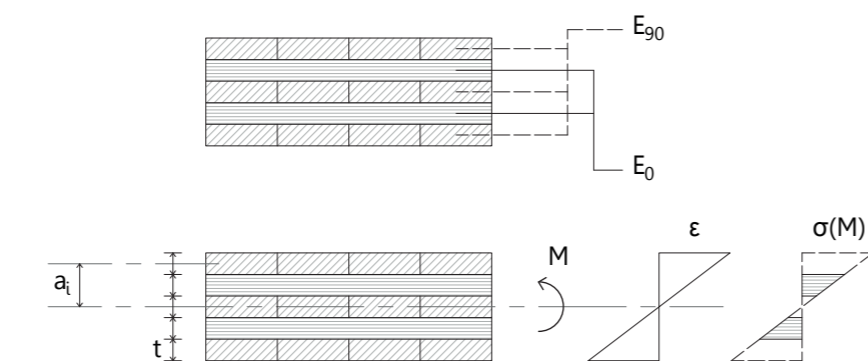


Figura 166\_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento Mxx

Si riportano ora i risultati ottenuti dal programma Abaqus CAE riguardanti i momenti agenti sulla copertura:

- M<sub>xx</sub> = 30 kNm
- M<sub>yy</sub> = 48 kNm

Il momento massimo tra i due risulta essere M<sub>yy</sub>, si procederà dunque con il calcolo prendendo in considerazione la sezione con maggiori strati con le fibre parallele, nella direzione Y.

DIREZIONE M<sub>yy</sub>

Strato 1			
Inerzia	J <sub>1</sub>	0,000002	m <sup>4</sup>
Modulo elastico	E <sub>0 1</sub>	11000000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>1</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>1</sub>	0,06	m
Spessore	t <sub>1</sub>	0,03	m

Strato 2			
Inerzia	J <sub>2</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>90 2</sub>	370000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>2</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>2</sub>	0,03	m
Spessore	t <sub>2</sub>	0,03	m

Strato 3			
Inerzia	J <sub>3</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>0 3</sub>	11000000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>3</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>3</sub>	0	m
Spessore	t <sub>3</sub>	0,03	m

Strato 4			
Inerzia	J <sub>4</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>90 4</sub>	370000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>4</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>4</sub>	0,03	m
Spessore	t <sub>4</sub>	0,03	m

Strato 5			
Inerzia	J <sub>5</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>0 5</sub>	11000000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>5</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>5</sub>	0,06	m
Spessore	t <sub>5</sub>	0,03	m

Si sono riportati i dati relativi ad ogni strato corrispondente alla direzione Y. Tali valori sono utilizzati nel calcolo degli sforzi con le formule riportate di seguito.

$$K = EJ = \sum (E_i \cdot J_i) + \sum (A_i \cdot a_i^2 \cdot E_i)$$

- Dove:
- K = rigidezza flessionale nella direzione considerata
  - J<sub>i</sub> = inerzia del singolo strato
  - E<sub>i</sub> = modulo E del singolo strato
  - A<sub>i</sub> = superficie del singolo strato
  - a<sub>i</sub> = distanza dal baricentro della sezione
  - t<sub>i</sub> = spessore del singolo strato

Nel caso del momento M<sub>yy</sub>, la rigidezza flessionale risulta pari a K<sub>yy</sub> = 2450 m<sup>4</sup>. Si calcola dunque lo sforzo agente con la formula:

$$\sigma = \frac{M}{K} \cdot a \cdot E_i$$

Dove: M = momento flettente  
a = distanza dal baricentro della fibra considerata

Lo sforzo risulta σ<sub>yy</sub> = 16,16 MPa < f<sub>mk</sub> 24 MPa, e risulta quindi verificato.

Si procede con lo stesso calcolo lungo la direzione X:

DIREZIONE M<sub>xx</sub>

Strato 1			
Inerzia	J <sub>1</sub>	0,000002	m <sup>4</sup>
Modulo elastico	E <sub>90 1</sub>	370000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>1</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>1</sub>	0,06	m
Spessore	t <sub>1</sub>	0,03	m

Strato 2			
Inerzia	J <sub>2</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>0 2</sub>	11000000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>2</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>2</sub>	0,03	m
Spessore	t <sub>2</sub>	0,03	m

Strato 3			
Inerzia	J <sub>3</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>90 3</sub>	370000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>3</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>3</sub>	0	m
Spessore	t <sub>3</sub>	0,03	m

Strato 4			
Inerzia	J <sub>4</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>0 4</sub>	11000000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>4</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>4</sub>	0,03	m
Spessore	t <sub>4</sub>	0,03	m

Strato 5			
Inerzia	J <sub>5</sub>	0,000002	m <sup>3</sup>
Modulo elastico	E <sub>90 5</sub>	370000	kN/m <sup>2</sup>
Sup strato	A <sub>5</sub>	0,03	m <sup>2</sup>
Dist baricentro	a <sub>5</sub>	0,06	m
Spessore	t <sub>5</sub>	0,03	m

Nella direzione X il momento risulta minore. Di conseguenza la rigidezza flessionale K calcolata è inferiore rispetto a quella lungo Y, ed è pari a K<sub>xx</sub> = 643,5 m<sup>4</sup>.

Lo sforzo lungo X risulta σ<sub>xx</sub> = 23,07 MPa.

Anche in questo caso lo sforzo risulta inferiore di f<sub>mk</sub> = 24 MPa, ed è quindi verificato, anche se con meno margine rispetto alla direzione Y.

Questo perché nonostante il valore del momento sia inferiore, la sezione presenta uno strato in meno con le fibre parallele in direzione X e questo incide molto sulla resistenza totale dell'elemento analizzato.



# 5.7

## INTRODUZIONE DI SETTI ED EDIFICI

### 5.7.1 VERIFICA DELLA GIUSTA DISPOSIZIONE DEI SETTI

Un'ulteriore affinazione del modello è consistita nell'interporre all'interno del file di simulazione i setti di sostegno verticali e gli edifici posti al di sotto della copertura. In particolar modo si sono modellati in Rhinoceros gli elementi verticali come superfici, differenziando tra setti pieni e setti a graticcio.

La prima fase di lavoro è consistita nella verifica del progetto architettonico, ossia la valutazione ingegneristica e strutturale della bontà del modello delineato secondo i principi architettonici, le condizioni paesaggistiche, i vincoli ambientali e le condizioni di esposizione al sole.

Da queste analisi sarà evidente come i principi di lavoro iniziali siano ben impostati, come ad esempio la disposizione ortogonale dei setti diffusi sotto la copertura e la giusta alternanza tra setti pieni in Cross-Lam ed elementi a graticcio. Tuttavia, dopo una prima analisi strutturale, è risultato che la struttura registrava un eccessivo spostamento secondo l'asse Z. Si è reputata quindi necessaria l'introduzione di ulteriori setti pieni, setti a graticcio e, dove risultava necessaria la permeabilità alla vista e al contempo un irrigidimento migliore del graticcio, sono stati introdotti i setti con irrigidimenti in pannelli OSB.

È da sottolineare come, in questa prima fase di analisi critica del progetto architettonico, gli studi condotti hanno considerato un materiale isotropo avente densità pari a  $630 \text{ kg/m}^3$ , modulo di elasticità pari a  $7,4 \text{ GPa}$  e coefficiente di Poisson pari a  $0,4$ .

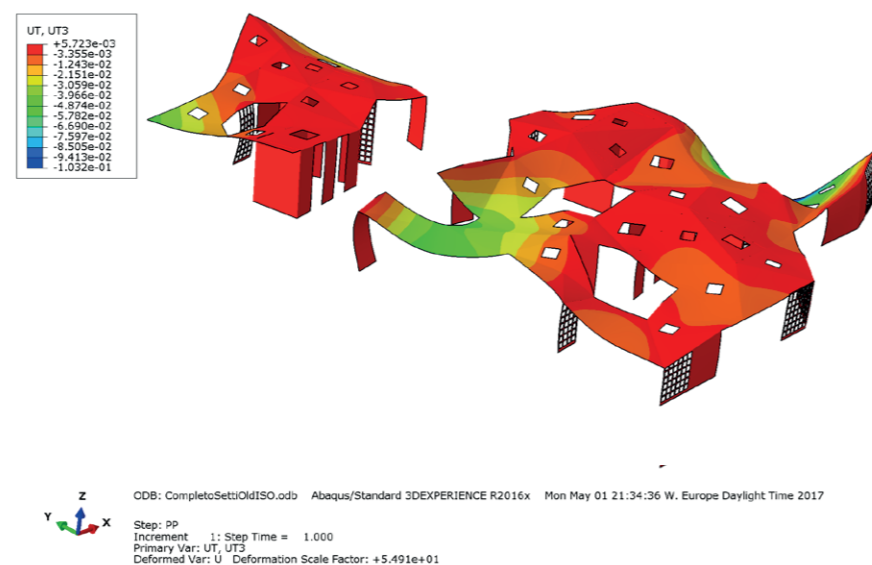


Figura 167\_Spostamenti in direzione Z del primordiale progetto architettonico (vista 1)

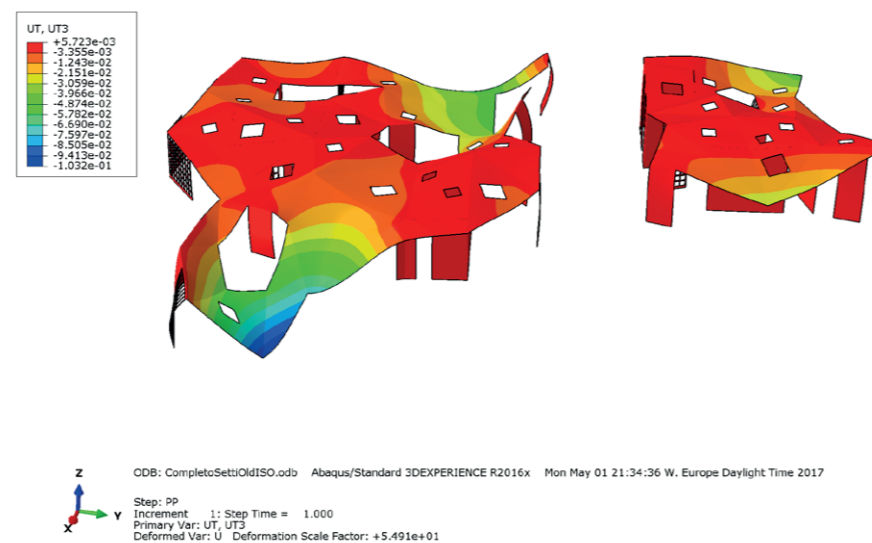


Figura 168\_Spostamenti in direzione Z del primordiale progetto architettonico (vista 2)

Si nota infatti dalle simulazioni agli elementi finiti appena proposte, come gli spostamenti sotto peso proprio e carico di neve risultino essere eccessivi per la struttura in esame.

Il procedimento di lavoro si è così basato sull'individuazione delle parti deboli della copertura, ossia quelle falde che dalle simulazioni mostravano un'eccessiva deformabilità sotto peso proprio e carico di neve.

Dopo aver individuato queste aree, che sono mostrate nella figura sottostante, si sono inseriti setti aggiuntivi nei punti deboli della copertura, al fine di limitare gli spostamenti in direzione dell'asse globale Z.

Ulteriore analisi critica è stata condotta in corrispondenza di quelle parti in cui non è sufficiente l'introduzione di un setto a graticcio per sopperire alle necessità strutturali, in quanto questo risulta essere meno rigido di un setto pieno in Cross-Lam. Da necessità architettoniche, però, è essenziale la presenza di un elemento che permetta la permeabilità alla vista: per sopperire ad entrambe queste richieste sono stati introdotti elementi di irrigidimento in OSB all'interno del setto a graticcio.

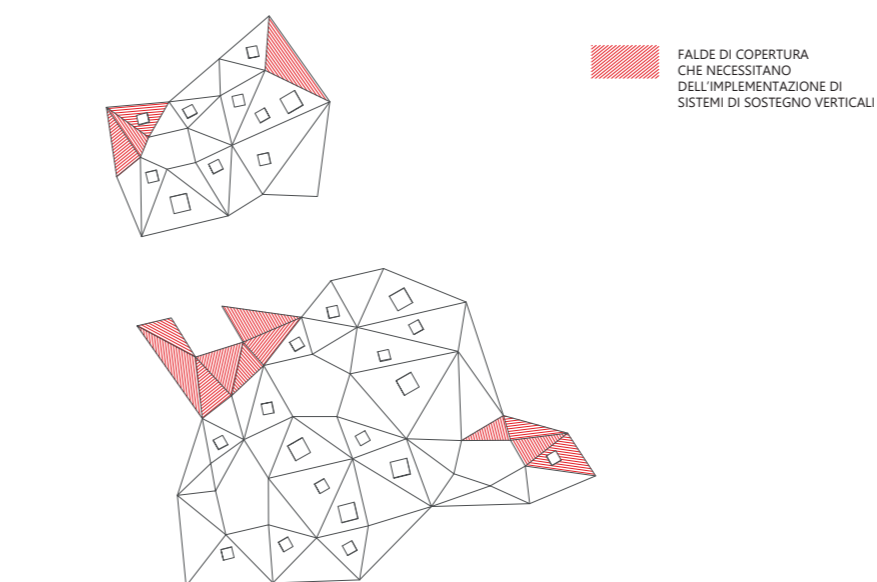


Figura 169\_Individuazione delle aree deboli della copertura

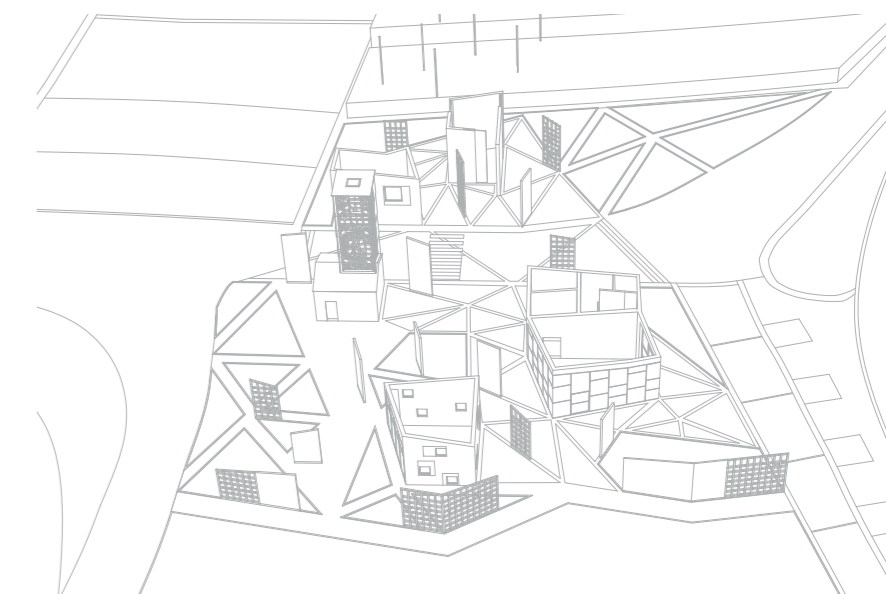


Figura 170\_Setti pieni e a graticcio presenti nel progetto primordiale

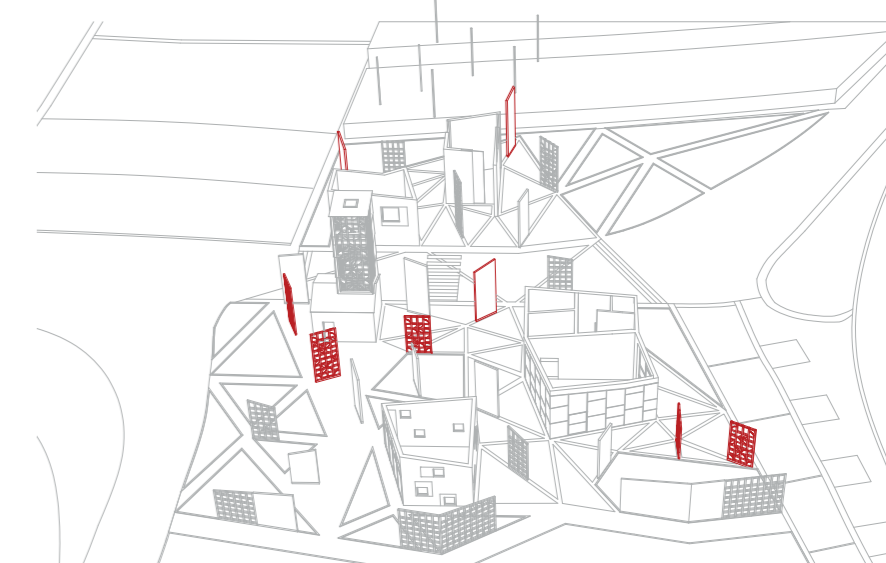


Figura 171\_Implementazione di setti pieni, a graticcio ed irrigiditi nel progetto definitivo

### 5.7.2 IL PRIMO APPROCCIO: MODELLAZIONE ISOTROPA

Al fine di preparare il file Acis (.sat) per da importare in Abaqus CAE è stato necessario modellare in Rhinoceros gli elementi di verticali mediante il comando "planar surface", differenziando tra setti pieni e setti a graticcio, quelli rinforzati ed i muri degli edifici.

In particolar modo è necessario sottolineare come si è scelto di introdurre i muri degli edifici all'interno del programma agli elementi finiti. Si è considerato sostegno strutturale soltanto quella quota parte di muro opaco che non presentasse aperture o finestre. Si è ottenuto così un insieme di fasce verticali che vanno ad individuare le parti più resistenti dei muri degli edifici.

Importando nel modello Abaqus CAE è stato possibile unire quest'ultimi elementi al modello del tetto andando a creare due diverse istanze, una per la copertura ed una per gli elementi verticali, per poi unirle mediante il comando di unione booleana "Merge/Cut Instance", che permette di creare una nuova parte dall'unione di due o più istanze.

Di seguito si procede con la generazione della mesh iniziando dalla parte unita. In tal modo si è sicuri della perfetta coincidenza tra la suddivisione in parti degli elementi verticali e delle falde sovrastanti. Si è assegnata una dimensione della mesh pari a 0,10mX0,10m.

Per quanto riguarda la definizione delle "Boundary Conditions" si impongono gli spostamenti nulli in corrispondenza dei segmenti che appoggiano sul terreno. In particolar modo essi sono le parti terminali di edifici e setti.

Il programma Abaqus CAE, una volta assemblate le diverse parti, considera i segmenti in adiacenza alle due parti come incastri, ripristinando quindi la continuità della struttura e della mesh. Per questo motivo non bisogna assegnare condizioni al contorno tra elementi verticali e copertura.

Una volta definita la geometria complessiva si è valutato prima il caso di materiale isotropo, per poi andare ad implementare il modello introducendo l'ortotropia.

I parametri del materiale definiti in queste prime simulazioni agli elementi finiti sono densità pari a 630 kg/m<sup>3</sup>, modulo di elasticità pari a 7,4 GPa e coefficiente di Poisson pari a 0,4.

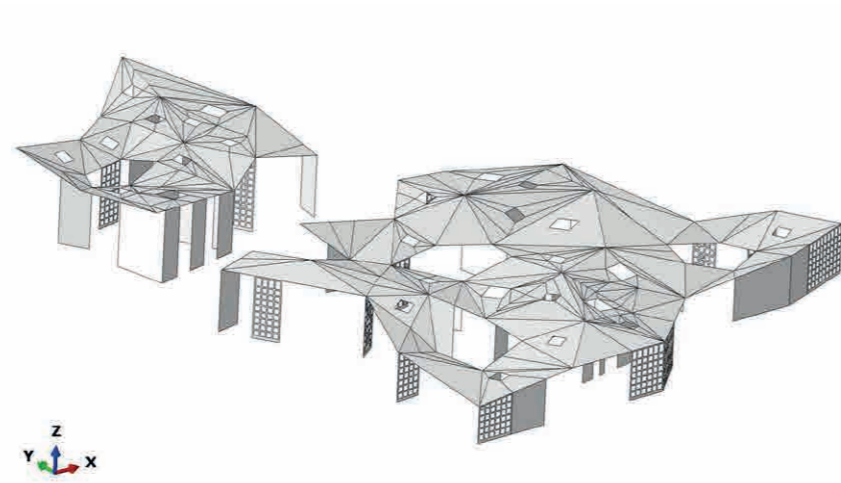


Figura 172\_Definizione della geometria per il modello strutturale completo

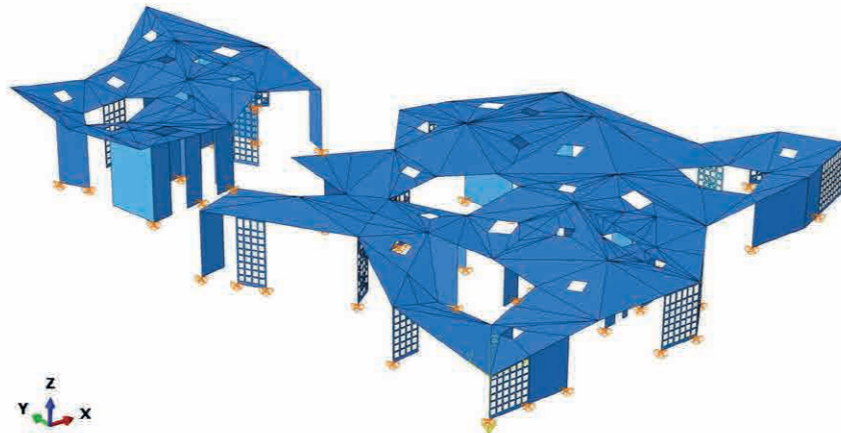


Figura 173\_Individuazione degli incastri a terra

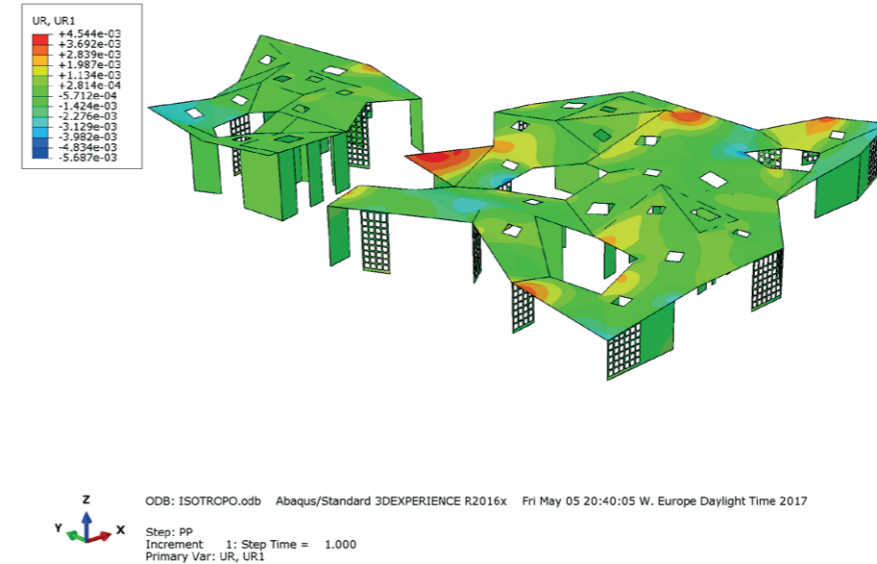


Figura 174 Rotazioni in direzione X

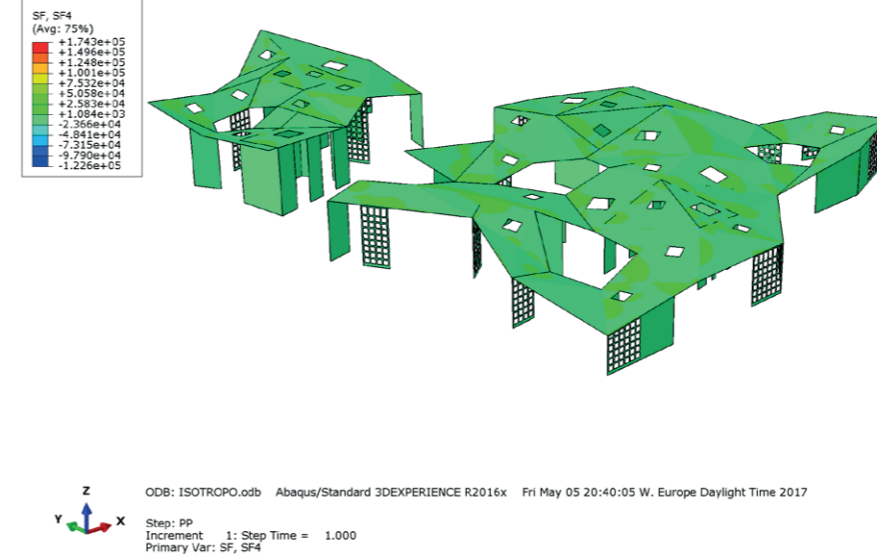


Figura 175\_Momenti flettenti M<sub>x</sub>

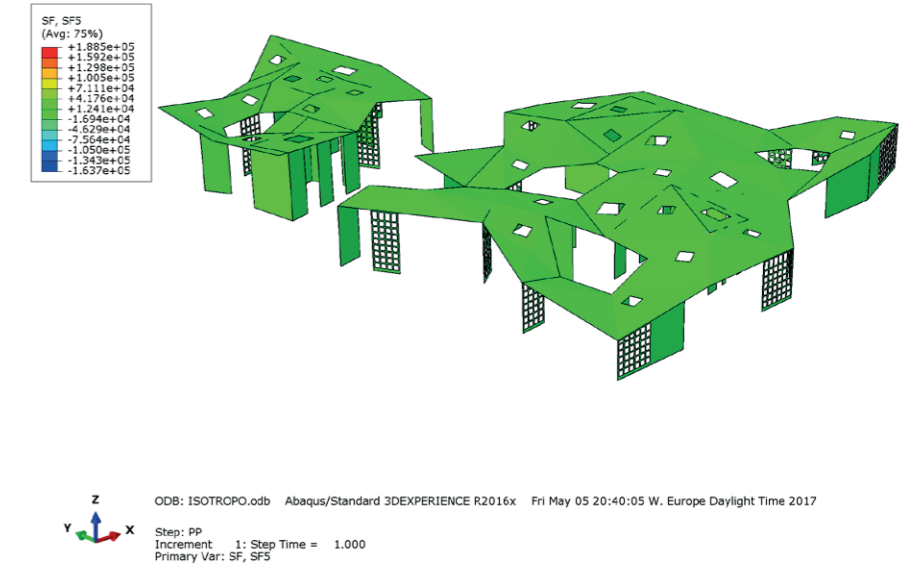


Figura 176 Momenti flettenti M<sub>y</sub>

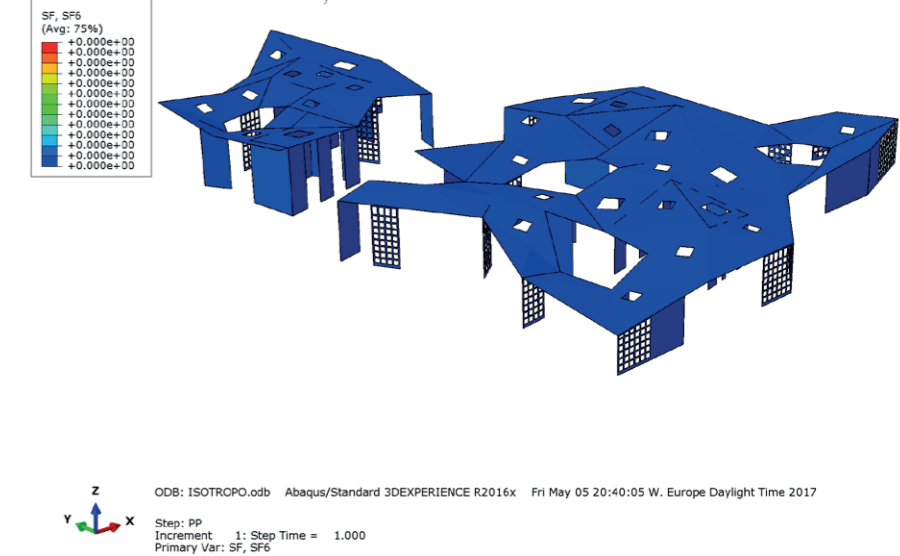
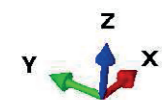
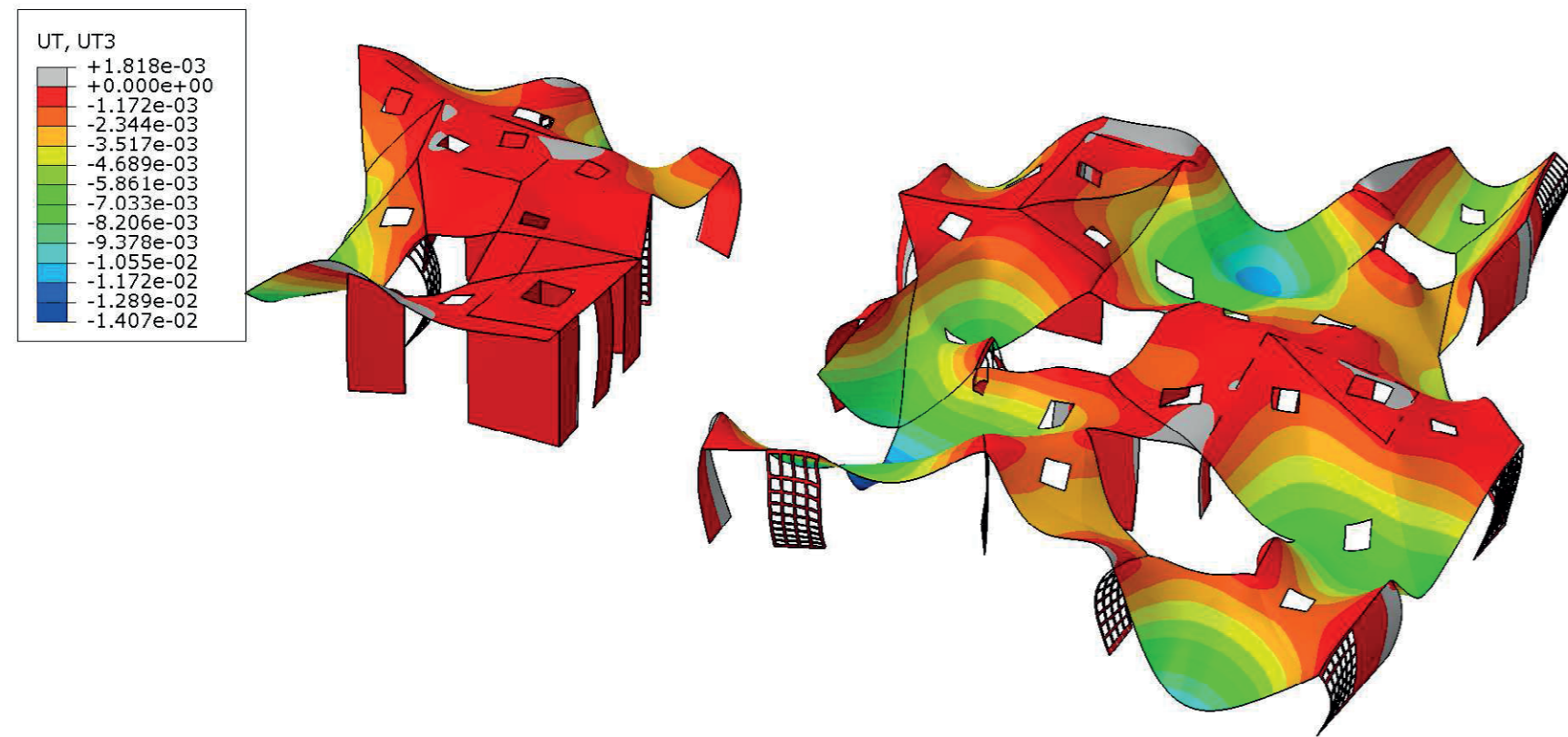


Figura 177\_Momenti torcenti M<sub>xy</sub>

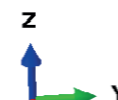
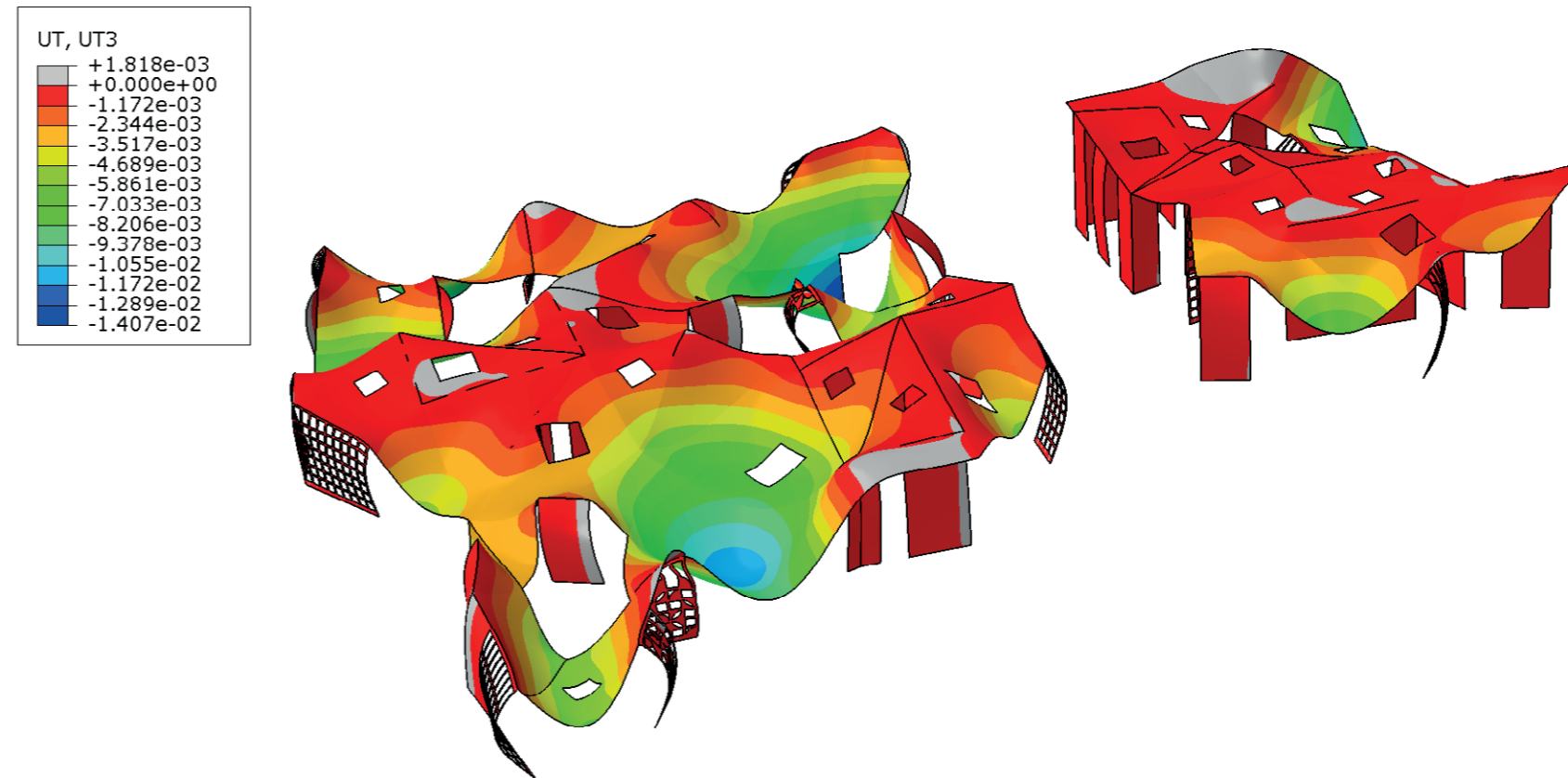




ODB: ISOTROPO.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Fri May 05 20:40:05 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +4.029e+02

Figura 178\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della struttura completa



ODB: ISOTROPO.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Fri May 05 20:40:05 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +4.029e+02

Figura 179\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della struttura completa

### 5.7.3 MODELLAZIONE ORTOTROPA

Al fine di ottenere un modello più affine al caso reale si introduce la proprietà di ortotropia che caratterizza il materiale Cross-Lam.

Le fibre degli strati collaboranti, cioè quello centrale e i due esterni, sono orientate secondo il lato più lungo in modo tale da lavorare meglio per le funzioni strutturali. Come eseguito per il capitolo relativo alla simulazione della sola copertura, è necessario assegnare un sistema di riferimento locale unico per gli elementi aventi la stessa inclinazione. Per convenzione e coerenza tra i diversi elementi si è utilizzato per le falde di copertura un sistema di riferimento locale avente asse Z diretto come l'asse Z globale. Per gli elementi di sostegno verticale invece è stato assegnato un sistema di riferimento locale avente gli assi X e Y nel piano dei setti e l'asse Z locale coincidente con l'asse Y globale.

Si riportano per completezza i parametri impiegati per la definizione del comportamento a lamina della struttura.

Dalle tabelle presenti in normativa EN 338 riguardanti il materiale Cross-Lam si ricavano i seguenti parametri, riconducibili ai valori richiesti dal programma.

- $E_0 = 11 \text{ GPa}$
- $E_{90} = 0,37 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0,69 \text{ GPa} = G_{12}$
- $\text{Nu}_{12} = 0,4;$

Per i valori del modulo elastico si è operata una media pesata ("Rule of Mixtures") secondo i cinque diversi strati del pannello in Cross-Lam, ottenendo così  $E_1$  e  $E_2$ . Gli altri valori sono determinabili attraverso le seguenti formule:

- $E_1 = (3 \cdot E_0 + 2 \cdot E_{90}) = 6,748 \text{ GPa};$
- $E_2 = (2 \cdot E_0 + 3 \cdot E_{90}) = 4,622 \text{ GPa};$
- $G_{13} = 1/10 G_{\text{mean}} = 0,069 \text{ GPa};$
- $G_{23} = 1/10 G_{\text{mean}} = 0,069 \text{ GPa}.$

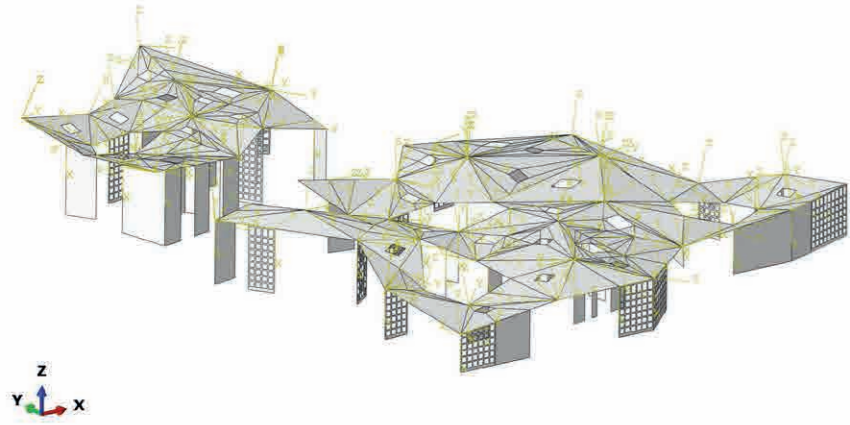


Figura 180\_Individuazione dei sistemi di riferimento locali per ogni elemento Cross-Lam

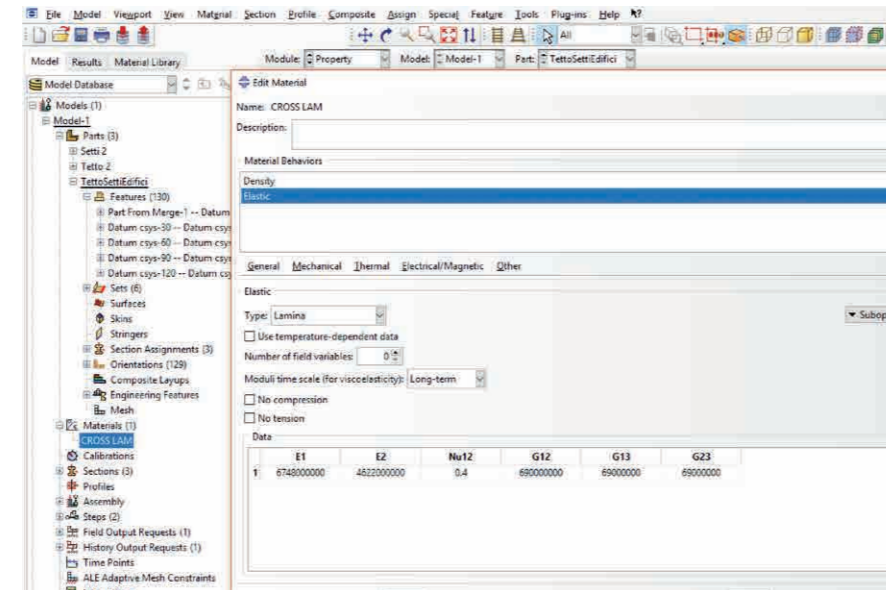


Figura 181\_Determinazione del comportamento a lamina

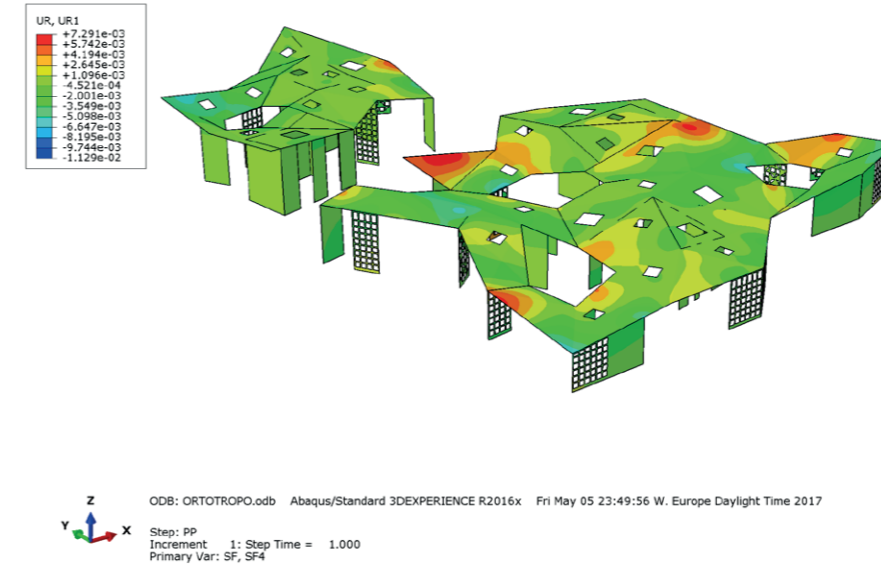


Figura 182\_Rotazioni in direzione X

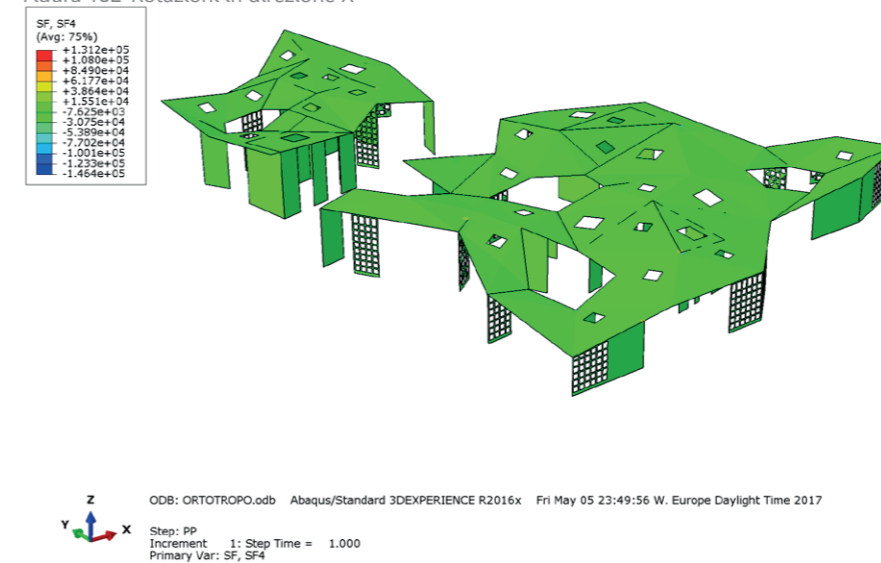


Figura 183\_Momenti flettenti  $M_x$

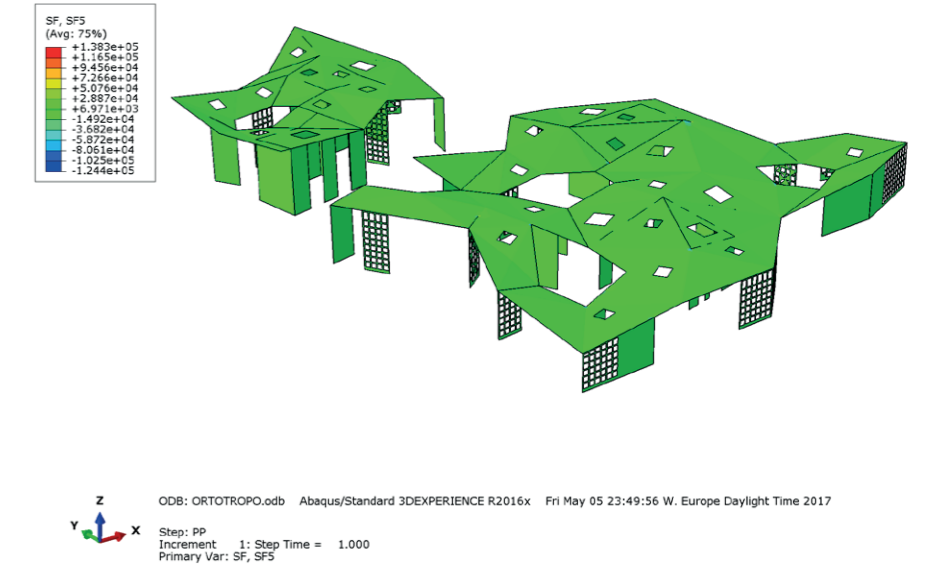


Figura 184\_Momenti flettenti  $M_y$

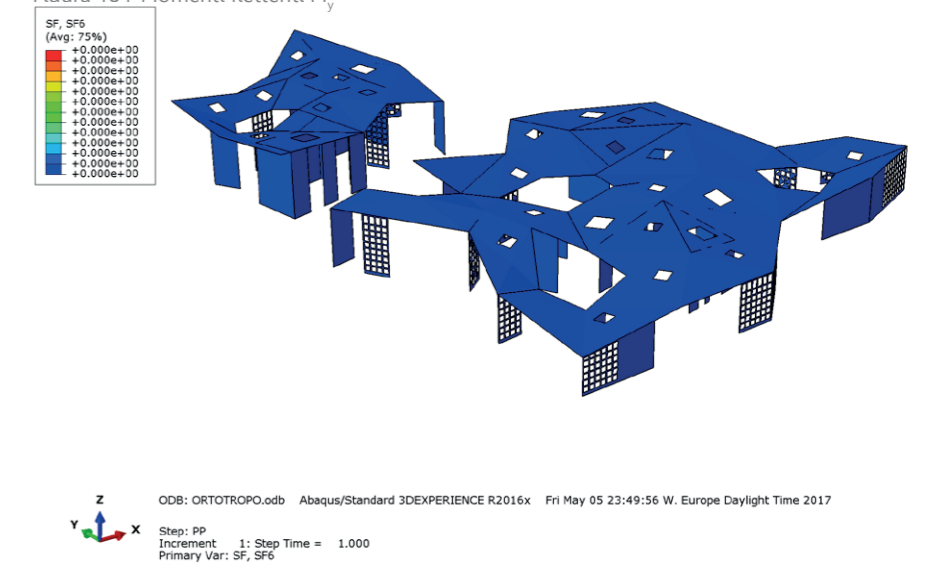
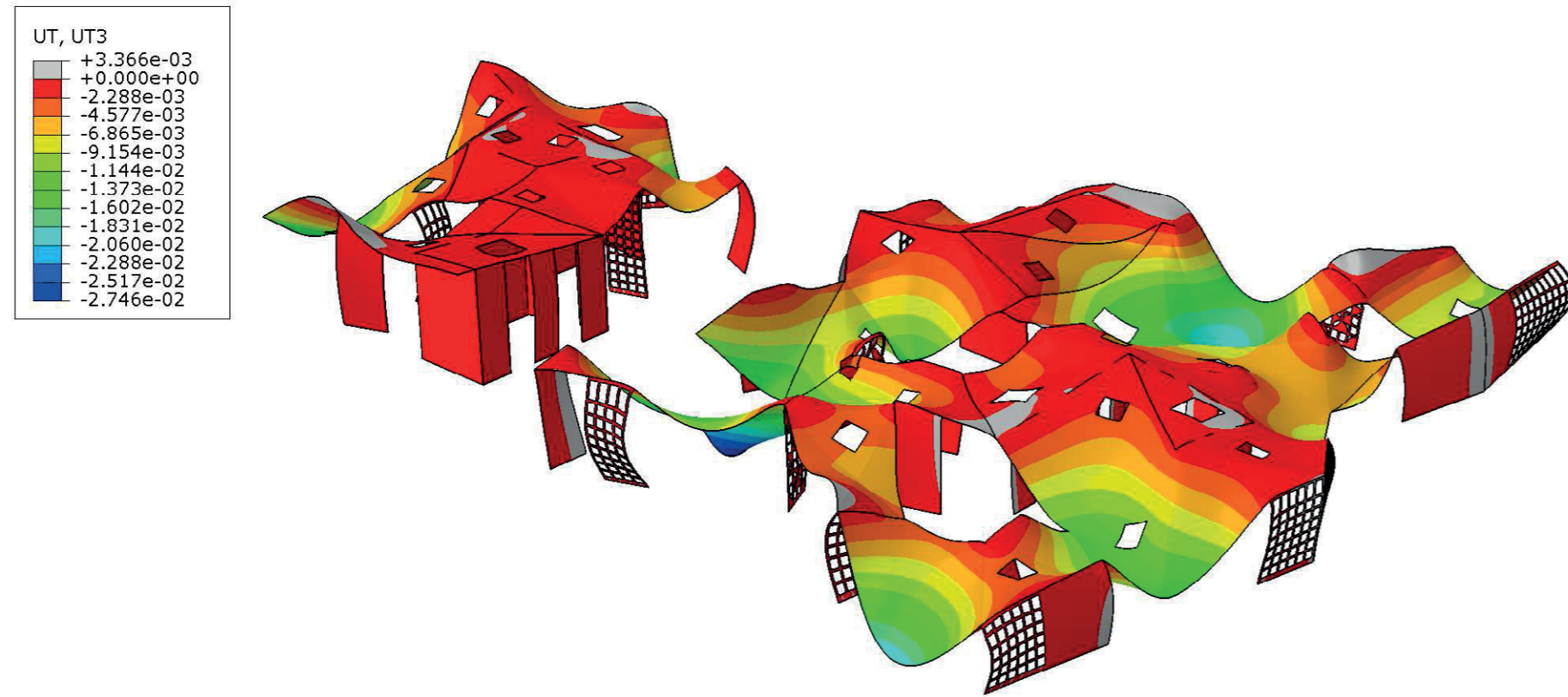


Figura 185\_Momenti torcenti  $M_{xy}$

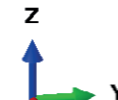
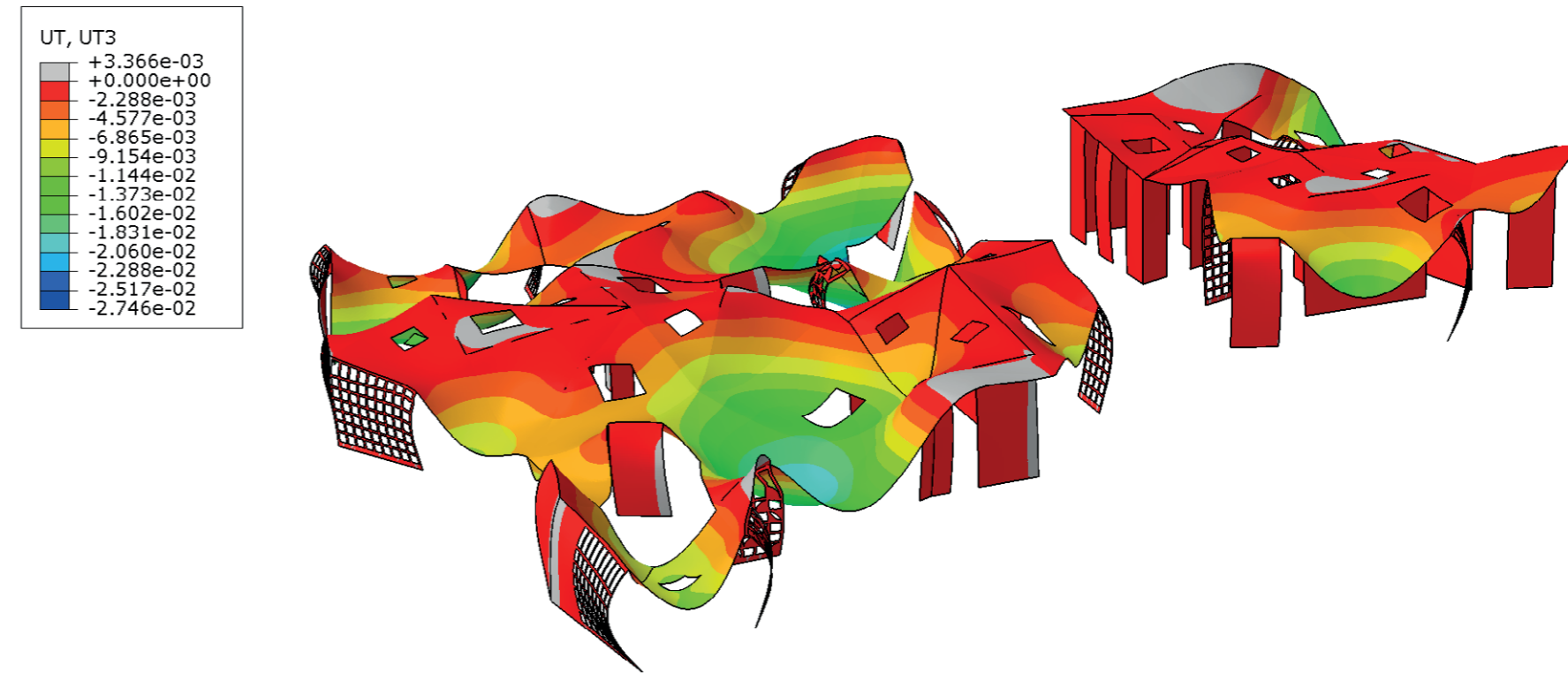




ODB: ORTOTROPO.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Fri May 05 23:49:56 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.064e+02

Figura 186\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della struttura completa



ODB: ORTOTROPO.odb Abaqus/Standard 3DEXPERIENCE R2016x Fri May 05 23:49:56 W. Europe Daylight Time 2017

Step: PP  
 Increment 1: Step Time = 1.000  
 Primary Var: UT, UT3  
 Deformed Var: U Deformation Scale Factor: +2.064e+02

Figura 187\_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della struttura completa

### 5.7.3.1 CALCOLO DELLA SEZIONE

Per procedere con la verifica del calcolo della sezione, si segue il calcolo proposto da promo\_legno a cura di Andrea Bernasconi: "Il calcolo dell'XLAM. Basi, normative, progettazione, applicazione".

Ai fini applicativi del calcolo si ricorda inoltre che la distribuzione delle sollecitazioni a flessione deve tenere conto della struttura a strati dell'elemento e delle differenti caratteristiche meccaniche dei singoli strati. Di seguito riportiamo i valori del modulo elastico E per il legno, rispettivamente parallelo e perpendicolare alle fibre:  $E_0 = 11000000 \text{ kN/m}^2$ ;  $E_{90} = 370000 \text{ kN/m}^2$ .

Il calcolo della rigidità flessionale della sezione di Cross-Lam, deve prendere in considerazione la differenza del modulo E tra i diversi strati di tavole. Vista la grande differenza fra  $E_0$  e  $E_{90}$  è senz'altro indicato trascurare gli strati disposti trasversalmente. Si ricorda inoltre che nella progettazione si dovrà tenere conto dei momenti agenti e della maggiore rigidità in una direzione rispetto all'altra.

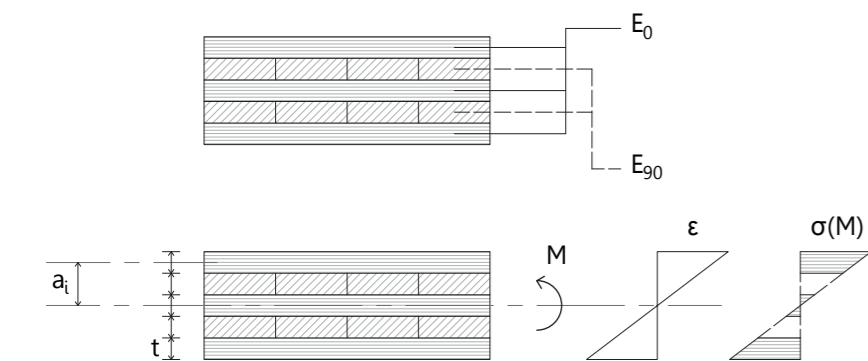


Figura 188\_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento  $M_{yy}$

Si ripropongono le formule contenute nel manuale seguito per la verifica. Il fine ultimo è il calcolo degli sforzi con le formule riportate di seguito.

$$K = EJ = \sum (E_i \cdot J_i) + \sum (A_i \cdot a_i^2 \cdot E_i)$$

Dove:  $K$  = rigidità flessionale nella direzione considerata  
 $J_i$  = inerzia del singolo strato  
 $E_i$  = modulo E del singolo strato  
 $A_i$  = superficie del singolo strato  
 $a_i$  = distanza dal baricentro della sezione  
 $t_i$  = spessore del singolo strato

La rigidità flessionale lungo l'asse Y risulta pari a  $K_{yy} = 2450 \text{ m}^4$ , lungo l'asse X è pari a  $K_{xx} = 643,5 \text{ m}^4$ . Si calcola dunque lo sforzo agente con la formula:

$$\sigma = \frac{M}{K} \cdot a \cdot E_i$$

Dove:  $M$  = momento flettente  
 $a$  = distanza dal baricentro della fibra considerata

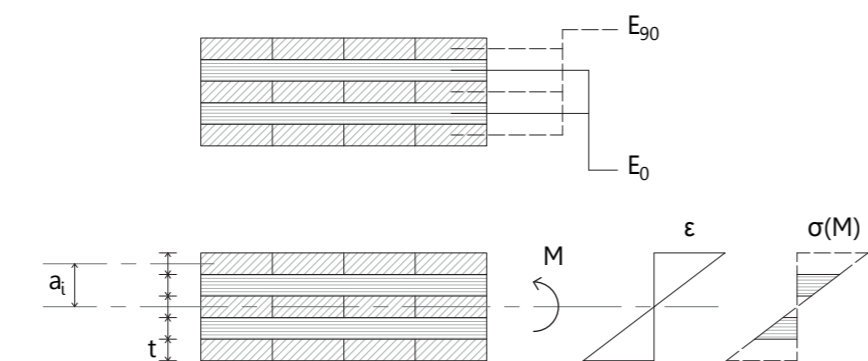


Figura 189\_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento  $M_{xx}$

#### DIREZIONE $M_{yy}$

Strato 1			
Inerzia	$J_1$	0,000002	$\text{m}^4$
Modulo elastico	$E_{01}$	11000000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_1$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_1$	0,06	m
Spessore	$t_1$	0,03	m

Strato 3			
Inerzia	$J_3$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{03}$	11000000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_3$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_3$	0	m
Spessore	$t_3$	0,03	m

Strato 5			
Inerzia	$J_5$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{05}$	11000000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_5$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_5$	0,06	m
Spessore	$t_5$	0,03	m

#### DIREZIONE $M_{xx}$

Strato 1			
Inerzia	$J_1$	0,000002	$\text{m}^4$
Modulo elastico	$E_{901}$	370000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_1$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_1$	0,06	m
Spessore	$t_1$	0,03	m

Strato 3			
Inerzia	$J_3$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{903}$	370000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_3$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_3$	0	m
Spessore	$t_3$	0,03	m

Strato 5			
Inerzia	$J_5$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{905}$	370000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_5$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_5$	0,06	m
Spessore	$t_5$	0,03	m

Strato 2			
Inerzia	$J_2$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{902}$	370000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_2$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_2$	0,03	m
Spessore	$t_2$	0,03	m

Strato 4			
Inerzia	$J_4$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{904}$	370000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_4$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_4$	0,03	m
Spessore	$t_4$	0,03	m

Strato 2			
Inerzia	$J_2$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{02}$	11000000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_2$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_2$	0,03	m
Spessore	$t_2$	0,03	m

Strato 4			
Inerzia	$J_4$	0,000002	$\text{m}^3$
Modulo elastico	$E_{04}$	11000000	$\text{kN/m}^2$
Sup strato	$A_4$	0,03	$\text{m}^2$
Dist baricentro	$a_4$	0,03	m
Spessore	$t_4$	0,03	m

Con il programma Abaqus CAE, oltre che un risultato grafico, è possibile estrapolare tutti i risultati in una tabella di testo che può essere analizzata in Excell. Ciò è stato fatto al fine di assicurarsi che lo stato tensionale massimo non fosse raggiunto in nessun punto della struttura analizzata.

Dal programma si ottengono i momenti riferiti ad ogni punto, da cui si può calcolare il valore di sforzo corrispondente mediante la formula prima riportata, ricavata dal documento scientifico a cura di Andrea Bernasconi precedentemente citato.

I valori ottenuti si sono poi confrontati con il parametro caratteristico del materiale  $f_{mk}$  pari a 24 MPa.

Attraverso la funzione conta di Excell vengono individuati se eventualmente sono presenti parametri che superano il valore limite. La funzione da introdurre nel foglio di calcolo è di seguito riportata:

$$= \text{CONTA.SE}(K20:L4079; ">H12")$$

Come mostrato nella figura sottostante non esistono parametri che eccedono lo sforzo limite.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	*****											
2	Field Output	May 08 12:11	2017									
3												
4	Source 1											
5	-----											
6												
7	ODB: Y:/ORTOTROPO.odb					$K_x$	643.50					
8	Step: PP					$K_y$	2450.25					
9	Frame: Increment 1: Step Time = 1.000					a	0.08					
10						$E_0$	11000000					
11	Loc 1: Integration point values from source 1					$E_{90}$	370000					
12						$f_{mk}$ [Pa]	24000000					
13	Output sorted by column "Element Label".											
14												
15	Field Output reported at integration points for region: P3-1.Region					MOMENTI DA ABAQUS		VALORI ASSOLUTI		SFORZI		CONTA
16	Element Label	SF.SF1	SF.SF2	SF.SF6	SF.SF3	$M_x$ [Nm/m]	$M_y$ [Nm/m]	ASS $M_x$ [Nm]	ASS $M_y$ [Nm]	$\sigma_{xx}$ [Pa]	$\sigma_{yy}$ [Pa]	0.00
17		@Loc 1	@Loc 1	@Loc 1	@Loc 1							
18	Pt	@Loc 1	@Loc 1	@Loc 1	@Loc 1							
19												
20	1	1	-925.51	-4.57E+03	0	666.171	608.192	-1.28E+03	608.19	1280.16	779733.33	1641230.77
21	2	1	-60.6051	-4.09E+03	0	-397.015	-143.13	-974.884	143.13	974.88	183500.00	1249851.28
22	3	1	-101.965	-4.98E+03	0	-586.289	-8.25748	-1.08E+03	8.27	1077.44	10599.33	1381333.33
23	4	1	2.72272	-6.19E+03	0	-694.288	-9.2529	-1.10E+03	9.25	1103.82	11862.69	1415153.85
24	5	1	-10.7488	-7.53E+03	0	-706.144	-4.25783	-1.12E+03	4.26	1117.03	5458.76	1432089.74
25	6	1	15.521	-8.88E+03	0	-698.745	-1.44782	-1.12E+03	1.45	1123.51	1856.18	1440397.44
26	7	1	9.77005	-1.02E+04	0	-672.728	-9.80E-01	-1.13E+03	0.98	1126.56	1255.93	1444307.69
27	8	1	14.2487	-1.14E+04	0	-644.251	3.78E-02	-1.13E+03	0.04	1127.89	48.44	1446012.82
28	9	1	13.094	-1.26E+04	0	-615.635	3.25E-01	-1.13E+03	0.32	1127.92	416.15	1446051.28
29	10	1	8.81452	-1.37E+04	0	-589.776	7.54E-01	-1.13E+03	0.75	1127.21	966.68	1445141.03
30	11	1	12.4166	-1.48E+04	0	-567.703	1.01204	-1.13E+03	1.01	1125.80	1297.49	1443333.33
31	12	1	2.89566	-1.58E+04	0	-549.449	1.29065	-1.12E+03	1.29	1123.90	1654.68	1440897.44
32	13	1	11.6207	-1.68E+04	0	-534.557	1.5436	-1.12E+03	1.54	1121.48	1978.97	1437794.87

Figura 190\_Verifica degli sforzi agenti sulla struttura



# 5.8

## ANALISI SISMICA

### 5.8.1 SIMULAZIONE DINAMICA DELL'AZIONE SISMICA

Date le coordinate geografiche del sito di progetto, è particolarmente interessante andare ad indagare la risposta sismica della struttura in analisi.

Il programma Abaqus CAE richiede come input i valori dei diversi spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali e verticali al fine di ottenere un output dal programma per quanto riguarda le componenti di spostamento della struttura sotto l'azione sismica.

In associazione ad ogni modo di vibrare si ottiene una deformazione della struttura, individuata andando a studiare gli spostamenti che essa registra con l'applicazione delle diverse entità di accelerazione sismica. Si nota come per piccoli modi di vibrare gli elementi coinvolti sono i setti a graticcio, in quanto costituiscono gli elementi più deformabili dell'intera struttura.

A partire dall'undicesimo modo di vibrare si nota un coinvolgimento maggiore della struttura, come si può notare graficamente nelle pagine successive.

Altro step significativo si individua in corrispondenza del ventiquattresimo modo di vibrare, in cui si nota che gran parte della copertura, oltre che i setti verticali, è soggetta a spostamenti non trascurabili.

L'inizio di una situazione di collasso si registra per il sessantaquattresimo modo di vibrare dove le deformazioni della struttura escono di gran lunga dal range di valori accettabili e soprattutto poche parti della struttura si mantengono in configurazione indeformata.

### DEFINIZIONE DELLO STEP "FREQUENCY"

Per svolgere le analisi sismiche è necessario definire alcuni step di lavoro.

In particolar modo questi ricadono nella sezione "Linear Perturbation" e sono in primo luogo lo step "Frequency", che permette di definire i valori di accelerazione in funzione della frequenza, in secondo luogo "Response Spectrum", che definisce le condizioni al contorno per la risposta sismica.

Definendo il primo parametro di lavoro si sceglie come modalità di risoluzione sismica la voce "Eigensolver>Lanczos", imponendo che la simulazione debba essere svolta per ogni frequenza definita nella fase successiva di definizione del modello di calcolo, spuntando la voce "All in frequency range", come mostrato nel fermo immagine riportato in basso. Come parametro di massima frequenza di interesse sismico si impongono dieci cicli.

Ora attraverso la voce "Amplitude" si vanno a definire gli spettri di risposta orizzontali e verticali calcolati secondo la condizione di stato limite ultimo SLV ossia di "Salvaguardia della Vita".

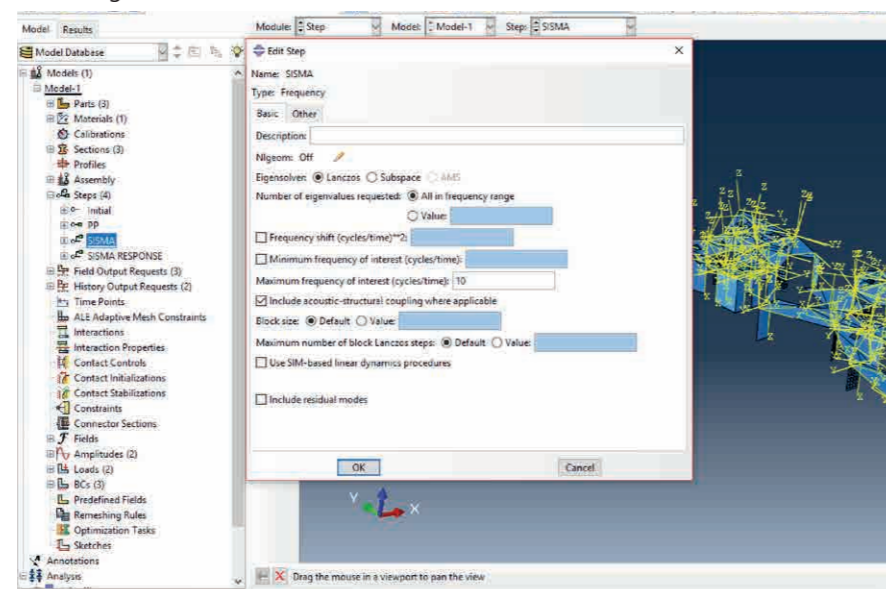


Figura 191\_Definizione dello Step "Frequency"

### SPETTRO DI RISPOSTA ORIZZONTALE E VERTICALE

Al fine di ottenere i risultati del comportamento sotto l'azione sismica della struttura modellata, si sono dovuti inserire i parametri relativi alle coordinate geografiche del luogo di progetto. Per lo sviluppo degli spettri di risposta orizzontali e verticali ci si è riferiti al modello di calcolo proposto dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (2008), simulando una località italiana avente lo stesso PGA di Vis.

Si ottengono i valori relativi al periodo T [s] e i relativi valori di accelerazione sismica calcolata in funzione dell'accelerazione di gravità, ossia Se [g].

Il programma Abaqus richiede come input i valori di intensità dell'accelerazione, la relativa frequenza e lo smorzamento. La frequenza f [1/s] per definizione si calcola come l'inverso del periodo T. I valori di intensità di accelerazione, sotto la voce "Magnitude", sono da inserire in ordine crescente in modo tale che la simulazione solleciti la struttura con valori sempre crescenti. Il valore di "Damping", cioè smorzamento, è imposto pari a zero.

Questi passaggi sono eseguiti sia per lo spettro orizzontale sia per quello verticale.

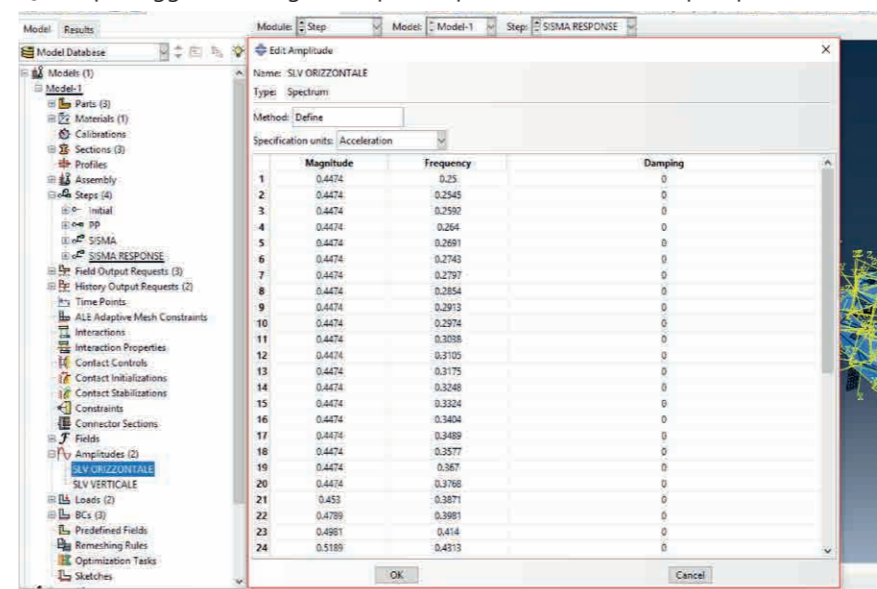


Figura 192\_Definizione dei valori di spettro di risposta orizzontale e verticale

### DEFINIZIONE DELLO STEP "RESPONSE SPECTRUM"

Per la definizione della simulazione sismica è necessario introdurre un nuovo step di lavoro, sempre a partire dalla voce "Linear Perturbation", si sceglie "Response Spectrum".

Condizione necessaria al fine della buona riuscita delle simulazioni è che i due spettri di risposta SLV inseriti nella fase precedente siano impostati come ortogonali tra loro.

Per questo motivo si sceglie una direzione prevalente del moto sismico, quella orizzontale, sotto la sezione "First direction" e "Second direction", mentre la componente sismica verticale si impone alla sezione "Third direction".

Al fine di ottenere moti ortogonali si impongono le seguenti direzioni:

- First direction: SLV ORIZZONTALE direction cosines x=1, y=0, z=0;
- Second direction: SLV ORIZZONTALE direction cosines x=0, y=1, z=0;
- Third direction: SLV VERTICALE direction cosines x=0, y=0, z=1.

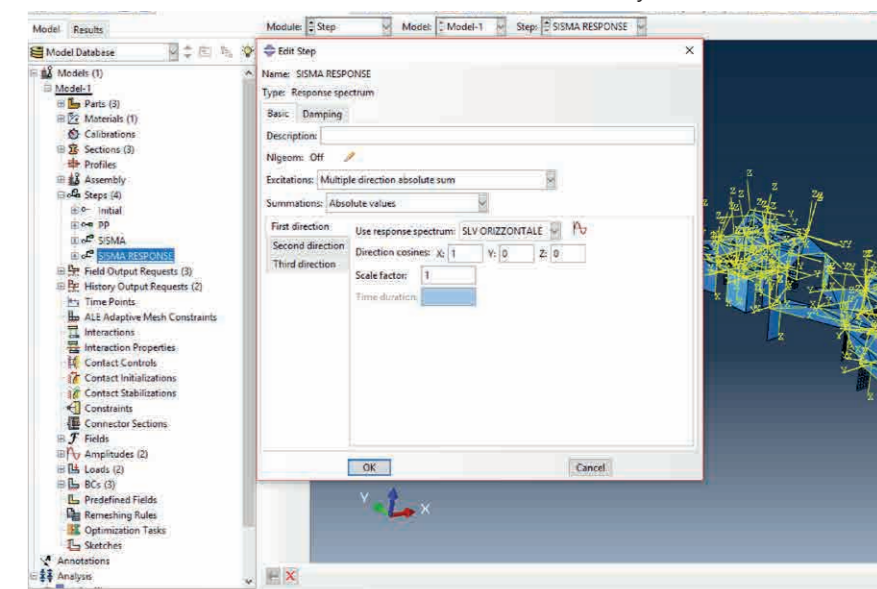


Figura 193\_Definizione dello Step "Response Spectrum"

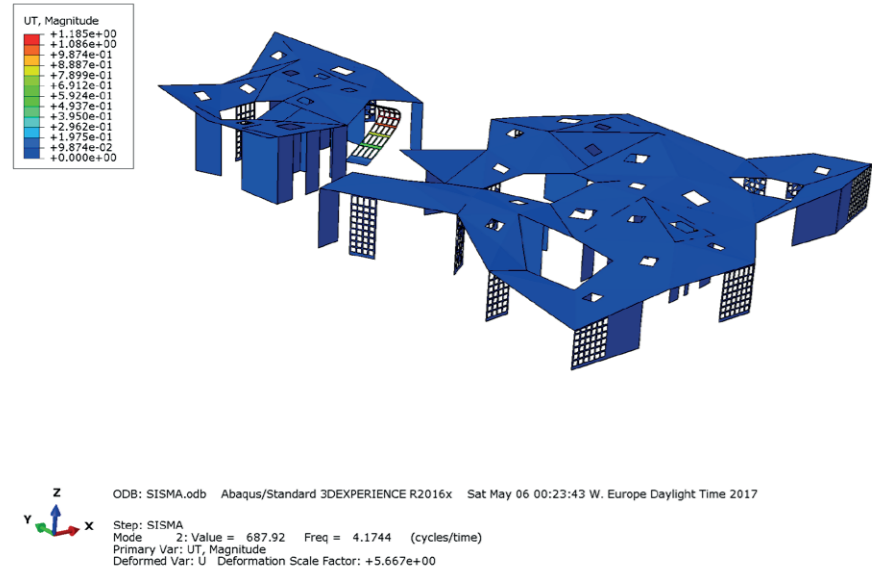


Figura 194\_Spostamenti risultanti dal 2° modo di vibrare

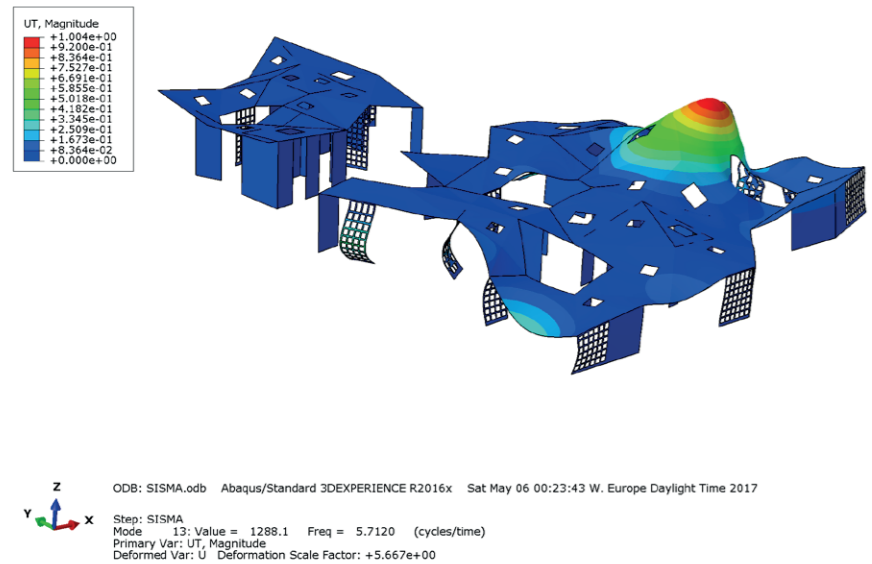


Figura 195\_Spostamenti risultanti dal 13° modo di vibrare

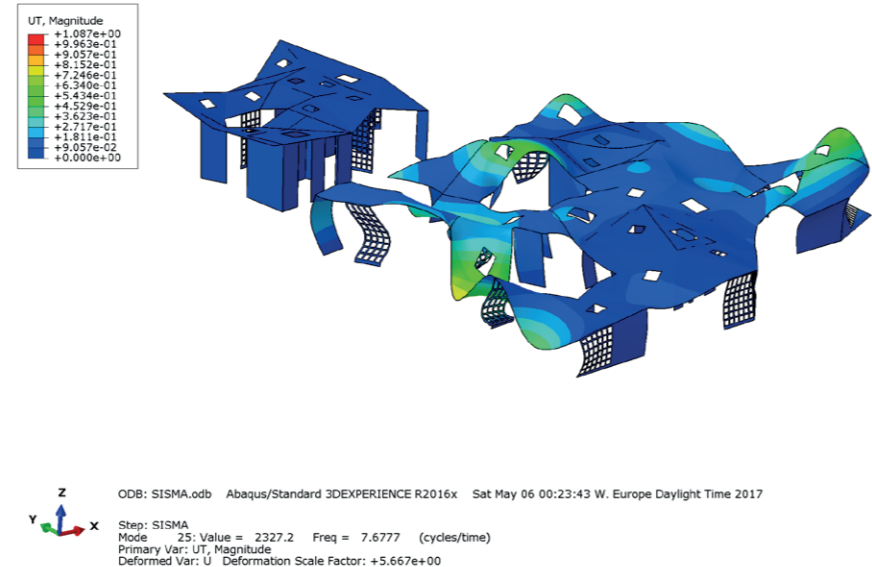


Figura 196\_Spostamenti risultanti dal 25° modo di vibrare

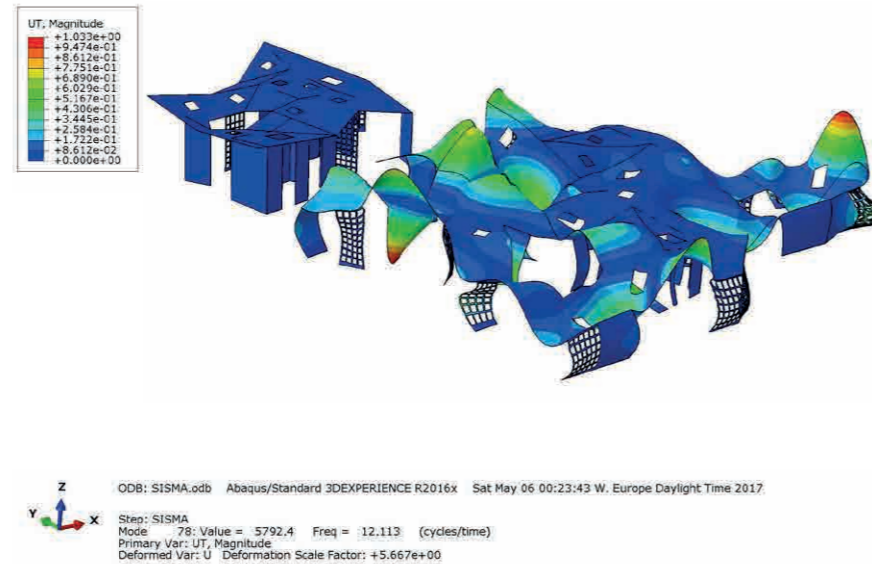


Figura 197\_Spostamenti risultanti dal 78° modo di vibrare

### 5.8.2 MASSA PARTECIPANTE

L'analisi modale consiste nella determinazione delle forme modali e dei periodi propri della struttura sulla base delle masse e delle rigidità.

Gli output di risposta sismica valutano la componente di spostamento della struttura in funzione dei diversi modi di vibrare. In particolar modo è possibile estrarre dal programma un file .dat al fine di indagare la quantità di massa coinvolta nell'azione sismica simulata, relativamente ai tre assi di riferimento X, Y, Z, in funzione dei vari modi di vibrare.

Considerando la massa totale della struttura, pari a 157312,47 kg, si ricava la percentuale di massa coinvolta. In dettaglio è significativo considerare i modi di vibrare che presentano un coinvolgimento della massa superiore al 5%, per questo motivo viene aggiunta una colonna di filtro per valutare i parametri significativi. Si vanno a sommare le diverse componenti di massa partecipante secondo i tre assi ottenendo, in corrispondenza del 159° modo di vibrare, una partecipazione del 79,02% secondo l'asse X, 87,14% nell'asse Y e 30,36% nell'asse Z.

Massa totale della struttura 157312.47 kg

MODE NO	EFFECTIVE MASS							
	X-COMPONENT			Y-COMPONENT			Z-COMPONENT	
	%Massa X	Massa X>5%		%Massa Y	Massa Y>5%		%Massa Z	Massa Z>5%
1	84.56	0.05	0.00	196.05	0.12	0.00	0.01	0.00
2	202.14	0.13	0.00	90.23	0.06	0.00	0.22	0.00
3	262.33	0.17	0.00	13.38	0.01	0.00	0.00	0.00
4	79.16	0.05	0.00	704.89	0.45	0.00	20.23	0.01
5	86.63	0.06	0.00	247.96	0.16	0.00	31.07	0.02
6	12.49	0.01	0.00	12213.00	7.76	1.00	491.07	0.31
7	530.36	0.34	0.00	3212.10	2.04	0.00	4952.50	3.15
8	152.40	0.10	0.00	28.46	0.02	0.00	690.53	0.44
9	45.76	0.03	0.00	448.43	0.29	0.00	78.25	0.05
10	154.33	0.10	0.00	623.40	0.40	0.00	1841.10	1.17
11	233.42	0.15	0.00	11.50	0.01	0.00	13.55	0.01
12	1389.10	0.88	0.00	137.81	0.09	0.00	136.69	0.09
13	22.15	0.01	0.00	299.31	0.19	0.00	6549.30	4.16
14	452.85	0.29	0.00	12394.00	7.88	1.00	116.83	0.07
15	50.18	0.03	0.00	423.84	0.27	0.00	106.47	0.07
16	79.17	0.05	0.00	28345.00	18.02	1.00	627.66	0.40
17	2.37	0.00	0.00	1454.60	0.92	0.00	2835.40	1.80
18	609.67	0.39	0.00	93.85	0.06	0.00	543.77	0.35
19	0.33	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.99	0.00
20	1331.50	0.85	0.00	6.02	0.00	0.00	2578.90	1.64
21	3249.40	2.07	0.00	246.04	0.16	0.00	981.58	0.62
22	2664.80	1.69	0.00	10959.00	6.97	1.00	2362.70	1.50
23	741.61	0.47	0.00	4004.80	2.55	0.00	17.61	0.01
24	3086.10	1.96	0.00	9818.60	6.24	1.00	5705.20	3.63
25	16645.00	10.58	1.00	2517.60	1.60	0.00	0.19	0.00

Figura 198\_Analisi dei dati derivati dalla simulazione sismica con Abaqus CAE

Si riporta di seguito la modellazione dei dati estrapolati dalle simulazioni sismiche in Abaqus CAE. Si propone uno studio della percentuale di massa partecipante alla deformazione sismica in funzione dei differenti modi di vibrare della struttura.

Si sono analizzati 159 modi di vibrare della struttura, di questi soltanto 11 provocano un coinvolgimento maggiore del 5% della massa totale, risultando quindi significativi. In particolar modo si nota come lungo l'asse X si contano cinque modi di vibrare che eccitano più del 5% della massa totale.

In corrispondenza dell'asse Y si registra il maggior numero di modi di vibrare associati ad una partecipazione notevole della massa in gioco, si hanno sei modi di vibrare che deformano più del 5% di massa della struttura, in particolar modo è da sottolineare come in riferimento a questo asse si ha la partecipazione significativa della massa in corrispondenza del più piccolo modo di vibrare che corrisponde all'undicesimo.

Lungo l'ultimo asse, cioè Z, non si nota nessun modo di vibrare che ecciti la struttura per una quantità maggiore del 5%.

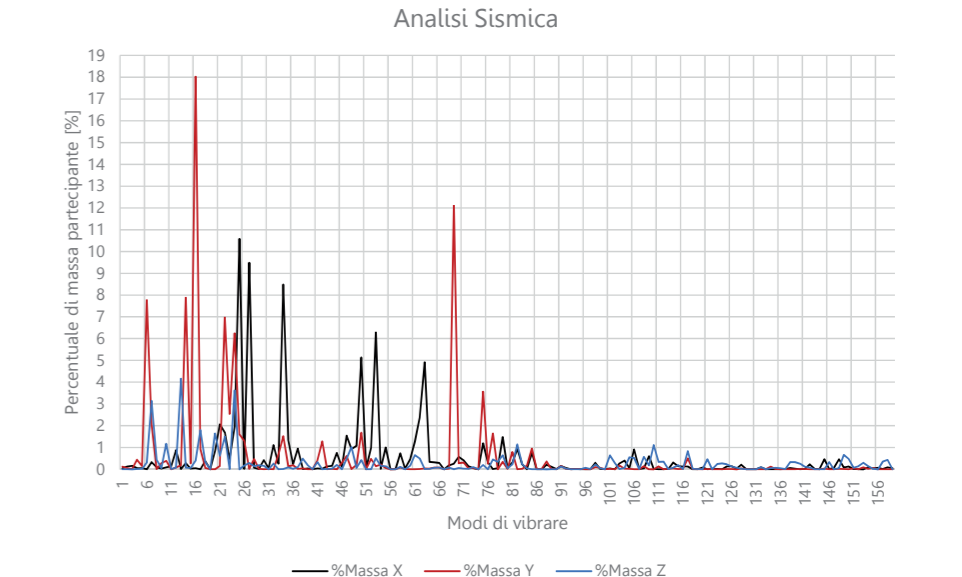


Figura 199\_Percentuale di massa partecipante al variare del modo di vibrare



### 5.8.3 VALUTAZIONE VELOCITÀ E ACCELERAZIONE

L'analisi spettrale consiste nel calcolo della risposta della struttura attraverso lo spettro (in termini di forze, spostamenti e sollecitazioni).

L'analisi dinamica lineare è il metodo d'analisi lineare di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica e consiste:

- Nella determinazione dei modi di vibrare della costruzione (analisi modale);
- Nel calcolo degli effetti dell'azione sismica, rappresentata dallo spettro di risposta di progetto, per ciascuno dei modi di vibrare individuati (analisi spettrale);
- Nella combinazione degli effetti.

Di seguito si propone lo studio degli output risultanti da due singole simulazioni sismiche: la prima imponendo lo spettro di risposta orizzontale ricavato dalle NTC 2008 all'inizio del capitolo, secondo la direzione X, la seconda secondo la direzione Y.

Si nota come l'entità delle velocità riscontrate nella struttura sono maggiori in corrispondenza dei sistemi di sostegno verticale a graticcio, elementi deboli che risultano essere i primi a deformarsi durante l'evento sismico.

Per quanto riguarda le componenti di accelerazione è bene verificare che i parametri di output del programma siano confrontabili, a livello di ordine di grandezza, non nello specifico valore, con l'accelerazione derivante dallo spettro di risposta orizzontale dal foglio di calcolo proposto dalla normativa NTC 2008, utilizzato in fase preliminare per questo lavoro. Da questo foglio di calcolo si individua un valore  $S_d=0,25g$ , che moltiplicato per il valore dell'accelerazione di gravità, imposto pari a  $9,81 \text{ m/s}^2$ , fa ottenere un valore di accelerazione pari a  $2,45 \text{ m/s}^2$ .

Per ogni simulazione si selezionano i risultati delle componenti di accelerazione prima secondo direzione 1, corrispondente all'asse X, poi secondo direzione 2, corrispondente all'asse Y. Filtrando i valori si ottiene una componente media accelerativa sia per la direzione X che per la direzione Y di circa  $1,5 \text{ m/s}^2$ .

Come anticipato, gli ordini di grandezza risultano essere affini e dunque la simulazione risulta essere qualitativamente corretta.

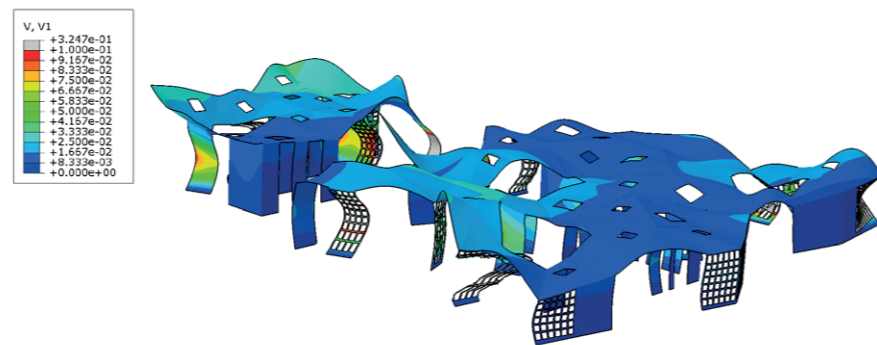


Figura 200\_Velocità risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse X

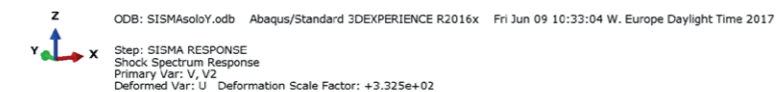
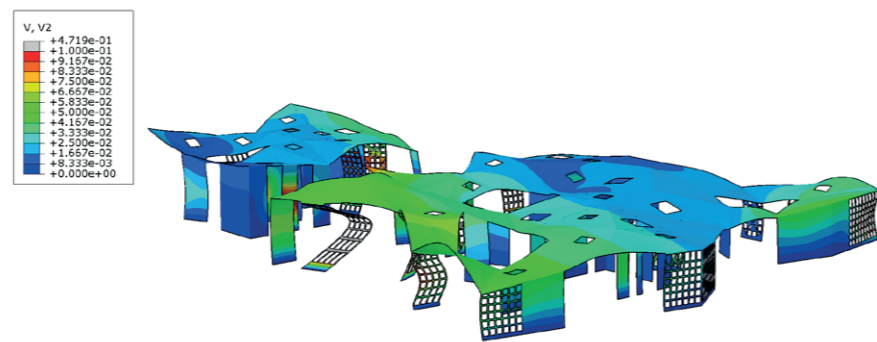


Figura 201\_Velocità risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse Y

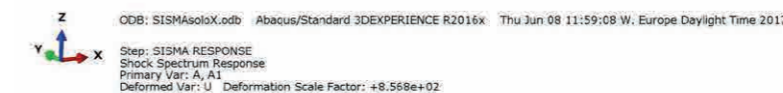


Figura 202\_Accelerazione risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse X

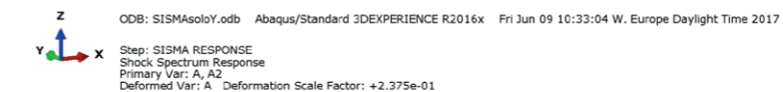
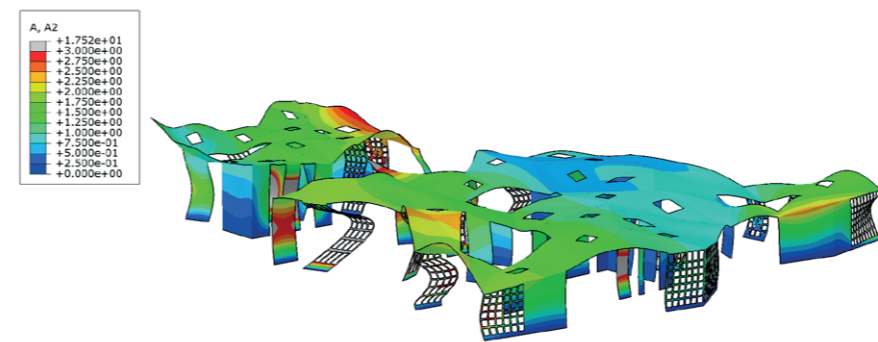


Figura 203\_Accelerazione risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse Y

### COMBINAZIONE DI COMPONENTI X, Y, Z DELLE RISPOSTE SISMICHE

Una volta calcolate le componenti di risposta modale di accelerazione secondo direzione X, Y e Z bisogna procedere con una combinazione opportuna dei risultati al fine di ottenere un comportamento realistico della struttura. Gli effetti spaziali di un terremoto sono combinati con una delle seguenti regole: SRSS (Radice Quadrata della Somma dei Quadrati); CQC (Combinazione Quadratica Completa); 100%-30%-30% (ASCE 7-10); 100%-40%-40% (R.G. 1.92).

Se la risposta viene valutata mediante analisi statica o dinamica in campo lineare, essa può essere calcolata separatamente per ciascuna delle tre componenti; la risposta a ciascuna componente, ove necessario, è combinata con gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale della componente stessa, utilizzando la radice quadrata della somma dei quadrati. Gli effetti sulla struttura (sollecitazioni, deformazioni, spostamenti, ecc.) sono combinati successivamente, applicando la regola percentuale 100%-30%-30%, proposta da Newmark e Rosenblueth:

$$1,00 E_x + 0,30 E_y + 0,30 E_z$$

con rotazione dei coefficienti moltiplicativi e conseguente individuazione degli effetti più gravosi. La componente verticale verrà tenuta in conto ove necessario. Se la risposta viene valutata mediante analisi statica in campo non lineare, ciascuna delle due componenti orizzontali è applicata separatamente. Come effetti massimi si assumono i valori più sfavorevoli così ottenuti.

Se la risposta viene valutata mediante analisi dinamica con integrazione al passo, in campo lineare o non lineare, le due componenti accelerometriche orizzontali sono applicate simultaneamente a formare un gruppo di accelerogrammi e gli effetti sulla struttura sono rappresentati dai valori medi degli effetti più sfavorevoli ottenuti dalle analisi; mentre se si utilizzano almeno 7 diversi gruppi di accelerogrammi, sono identificati dai valori più sfavorevoli degli effetti. In nessun caso si possono adottare meno di tre gruppi di accelerogrammi.

Nel caso in cui sia necessario valutare gli effetti della variabilità spaziale del moto, l'analisi deve essere eseguita imponendo alla base della costruzione storie temporali del moto sismico differenziate ma coerenti tra loro e generate in accordo con lo spettro di risposta appropriato per ciascun supporto.

# 5.9 PROBLEMI DI INSTABILITÀ

Il fenomeno di instabilità caratterizza elementi aventi una dimensione molto piccola rispetto alle altre. Oggetto di studio sono i sistemi di sostegno verticale del progetto che risultano avere uno spessore di circa 0,10 m, contro le dimensioni di 2,10 m di larghezza e in media 4,60 m di altezza, quindi rientranti nel caso sopracitato come soggetti imputabili di instabilità.

Per verificare la stabilità della struttura si è condotta un'analisi di Buckling con il programma Abaqus CAE al fine di ottenere il carico critico per ogni sistema di sostegno verticale, ossia per il setto pieno in Cross-Lam, il pannello a graticcio e la soluzione irrigidita.

In particolar modo l'analisi è stata condotta in prima istanza andando ad indagare il carico critico euleriano relativo ad un setto di sostegno verticale pieno in Cross-Lam. Successivamente si è istituito un modello agli elementi finiti in Abaqus CAE in modo tale da verificare il valore ricavato analiticamente.

Si è poi andati a simulare il modulo a graticcio puro e il sistema irrigidito, al fine di definire il carico critico di punta che questi sistemi possono sostenere.

Mediante la definizione delle aree di influenza si sono approssimati i carichi di peso proprio e neve che qualitativamente incidono sul caso peggiore di sostegno verticale, andando a verificare che tale carico non ecceda quello critico.

Infine è stata simulato l'intero progetto, composto da copertura e sistemi di sostegno verticali, valutando l'azione di peso proprio dei pannelli in legno lamellare e l'incidenza del carico da neve.

## 5.9.1 ANALISI INCASTRO - ESTREMO LIBERO

### 5.9.1.1 SETTO PIENO

Si è iniziato lo studio dei problemi di instabilità andando a simulare un setto pieno Cross-Lam di dimensioni 2,10x4,60x0,10m. Si è calcolato in prima istanza il carico critico euleriano, definito come quella forza di compressione il cui valore porta indefinitamente ad inflessione il solido snello su cui agisce, generando instabilità a carico di punta. Il carico critico euleriano risulta essere pari a:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{min}}{l_0^2}$$

Nella formula sopra riportata si indica con  $N_{cr}$  la forza critica, con  $J_{min}$  il minimo fra i momenti d'inerzia della sezione trasversale, con E il modulo di elasticità longitudinale, mentre  $l_0$  è la lunghezza libera di inflessione, definita come la distanza tra due flessi nella configurazione di trave deformata. Nel caso esaminato di asta incastrata alla base e con il secondo estremo libero la lunghezza di libera inflessione è pari a due volte la lunghezza dell'asta.

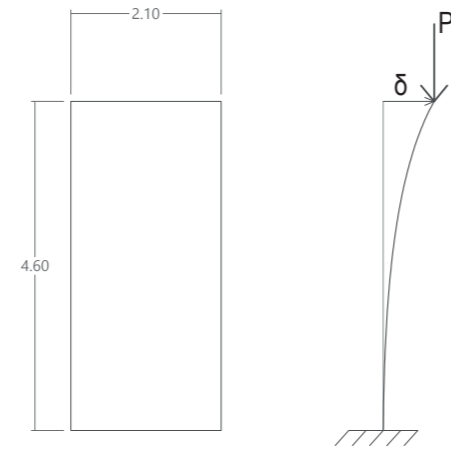


Figura 204\_Definizione della geometria del setto pieno in Cross-Lam

Dati i seguenti valori:

- $E=7,4$  GPa
- $J_{min} = 2,1 \text{ m} \cdot (0,1 \text{ m})^3 / 12 = 0.000175 \text{ m}^4$
- $l_0 = 2 \cdot 4,60 \text{ m} = 9,2 \text{ m}$

Si ricava il carico critico euleriano che risulta essere pari a 150,85 kN.

Il medesimo setto è stato simulato agli elementi finiti svolgendo un'analisi di Buckling. Le condizioni al contorno sono di incastro a terra avendo bloccato sia gli spostamenti sia le rotazioni in tutte e tre le direzioni. La modellazione prevede la creazione di una mesh di grandezza a discrezione dell'utente, posta nel caso in esame pari a 0,2x0,2 m. Si impone un carico di 1000N in sommità del sistema di sostegno verticale.

Dalla simulazione di Buckling si ottiene che il carico critico è di 159,85 kN. La differenza tra i due risultati ottenuti dal calcolo a mano e mediante il programma agli elementi finiti è da considerarsi trascurabile ai fini della progettazione.

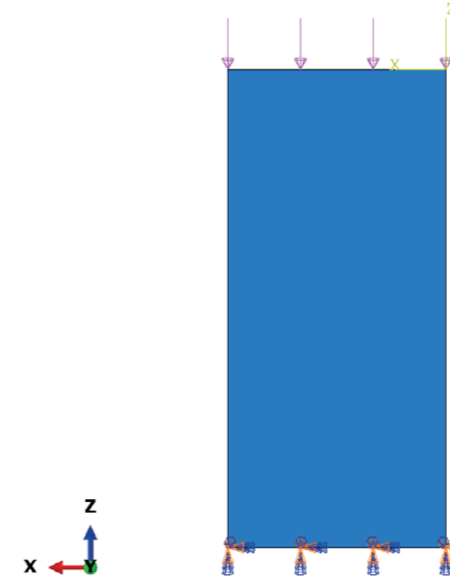


Figura 205\_Rappresentazione delle condizioni al contorno imposte nell'analisi di Buckling

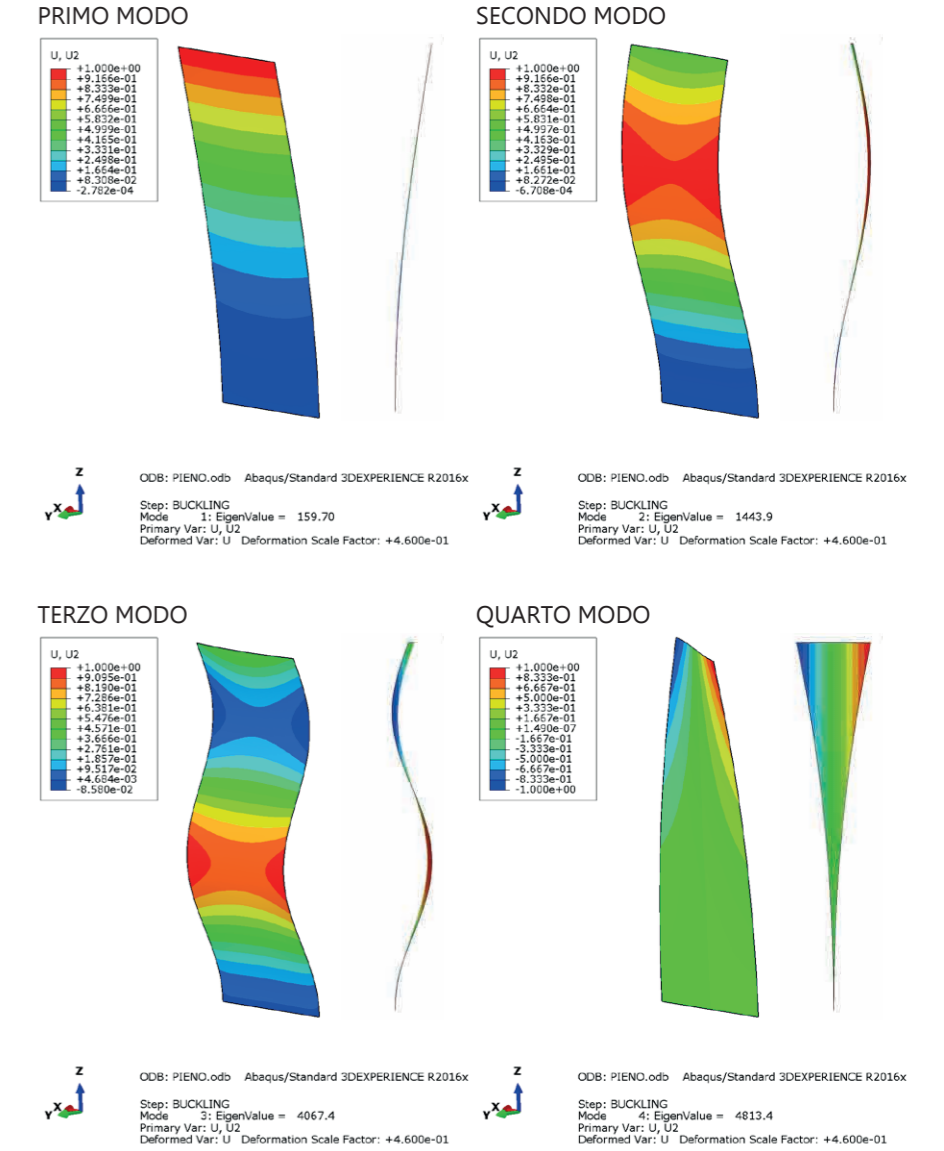


Figura 206\_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-estremo libero



### 5.9.1.2 SETTO A GRATICCIO

Calcolando analiticamente il carico critico euleriano per il setto a graticcio si deve considerare la minima sezione trasversale al fine di calcolare l'inerzia J. Si calcola quindi la parte dei travetti verticali, di sezione 0,1x0,1x0,1 m moltiplicati per il numero di elementi, ovvero cinque.

Si ottiene dunque un valore di carico critico pari a 35,91 kN.

Simulando la struttura mediante il programma agli elementi finiti Abaqus CAE si ottiene conferma del valore trovato: il sistema di sostegno ingratteggiato risulta essere quello più instabile in quanto presenta un carico critico pari a 37,53 kN.

A lato si vedono rappresentati i diversi modi di instabilità, con l'aumentare del carico critico. Si riportano gli spostamenti lungo l'asse 2, ovvero Y, coincidente con la direzione fuori piano del pannello.

Per una più completa comprensione del problema si fornisce una vista prospettica della deformata del setto, a destra, e una vista laterale, a sinistra.

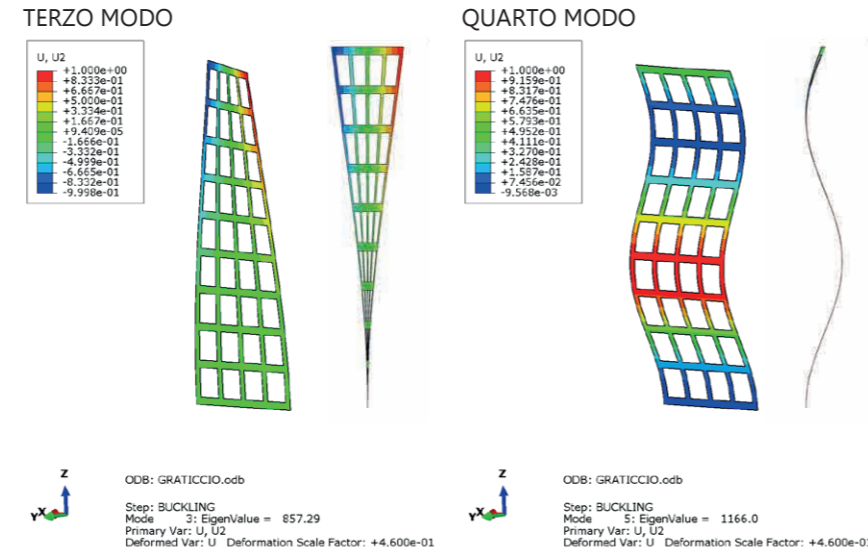
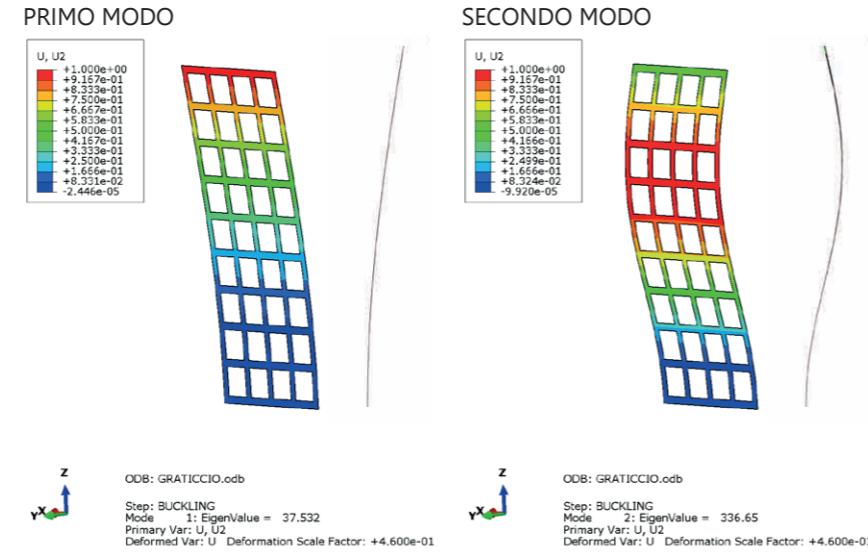


Figura 208\_Analisi di Buckling per il setto a graticcio per incastro-estremo libero

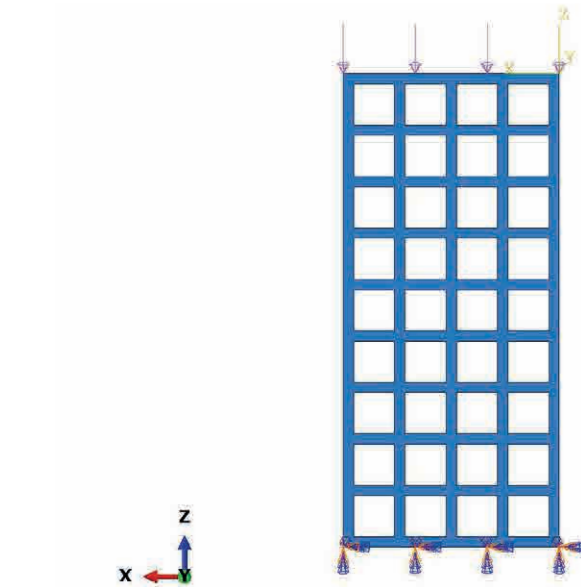


Figura 207\_Rappresentazione delle condizioni al contorno imposte nell'analisi di Buckling

### 5.9.1.3 SETTO A GRATICCIO IRRIGIDITO

Il calcolo analitico per il sistema irrigidito risulta essere dispendioso in quanto la sezione da considerare varia lungo l'altezza del setto stesso, essendo gli irrigidimenti disposti a "Croce di Sant'Andrea" ovvero secondo due diagonali.

Date le due verifiche precedenti si decide di simulare il sistema di sostegno verticale con il programma Abaqus CAE, reputando la bontà delle simulazioni verificata nei due casi precedenti di setto pieno e setto a graticcio.

Il sistema di sostegno ingratteggiato con irrigidimenti risulta essere più resistente del precedente a graticcio in quanto presenta un carico critico pari a 54,37 kN.

Si conferma dunque la volontà di utilizzare questa tipologia di sostegno verticale per combinare le necessità architettoniche e quelle strutturali: la permeabilità alla vista e soprattutto alla luce, mediante questo sistema, non è compromessa.

Nelle parti del progetto dove strutturalmente non è possibile utilizzare il sistema a graticcio puro si decide dunque di sostituirlo con questa soluzione.

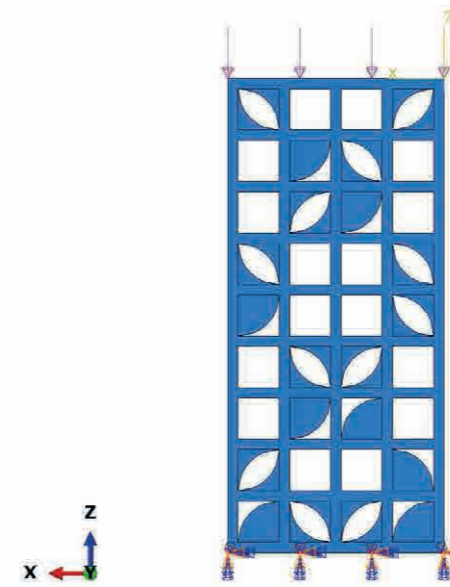


Figura 209\_Rappresentazione delle condizioni al contorno imposte nell'analisi di Buckling

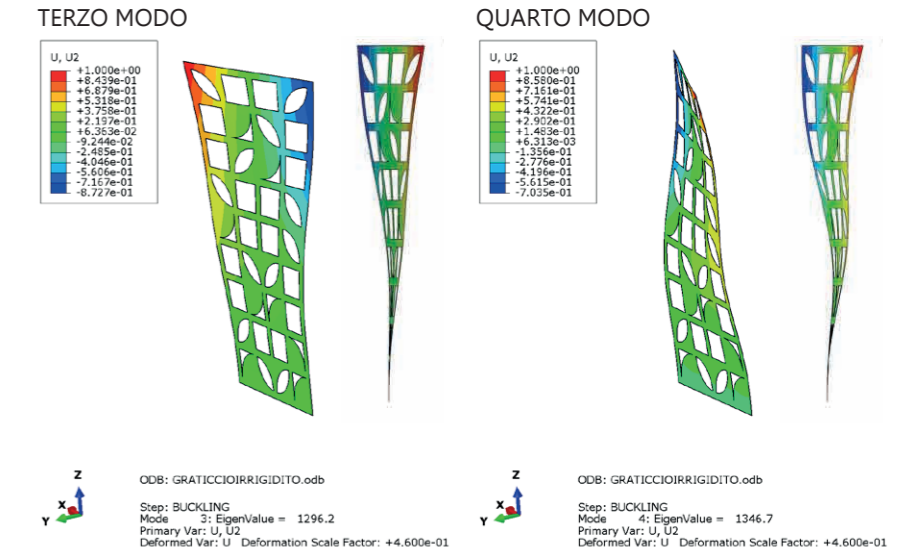
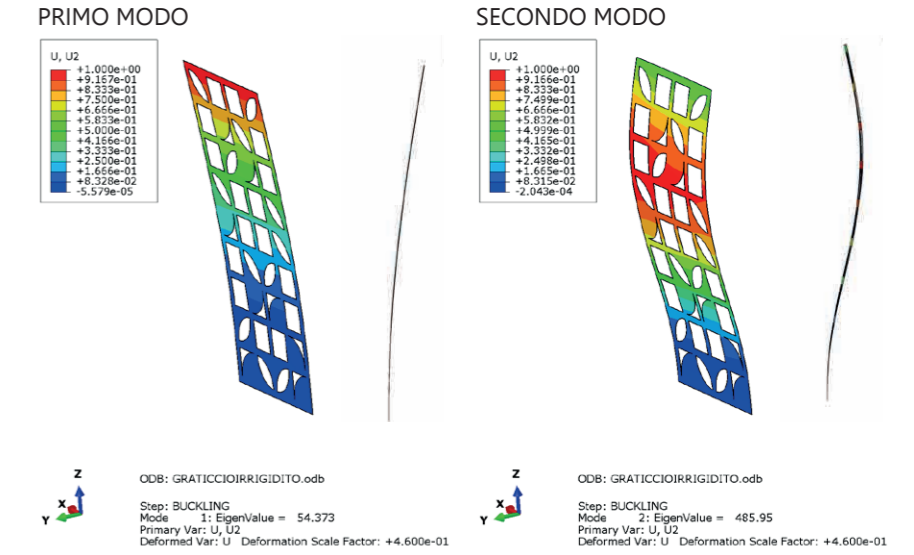


Figura 210\_Analisi di Buckling per il setto a graticcio irrigidito per incastro-estremo libero

## 5.9.2 ANALISI INCASTRO - MANICOTTO

In vista delle simulazioni riguardanti il progetto totale per il problema di instabilità, si è reputato opportuno simulare un secondo caso di asta sotto carico di punta, introducendo un manicotto in sommità. I sistemi di sostegno verticale del progetto Velika sono ancorati in sommità dalla copertura, quindi si è reputato opportuno semplificarli mediante uno schema statico di incastro-manicotto e studiare il carico critico associato a questa struttura.

Nella formula per il calcolo del carico critico euleriano cambia il parametro  $l_{cr}$ , ovvero la lunghezza libera di inflessione che è la distanza tra due flessi nella configurazione di trave deformata.

Nel caso esaminato di asta incastrata alla base e con un manicotto nel secondo estremo, la lunghezza di libera inflessione è pari a 0,5 volte la lunghezza dell'asta. Cambia dunque il coefficiente moltiplicativo relativo alla lunghezza di libera inflessione rispetto al caso precedente di asta incastrata alla base e con il secondo estremo libero.

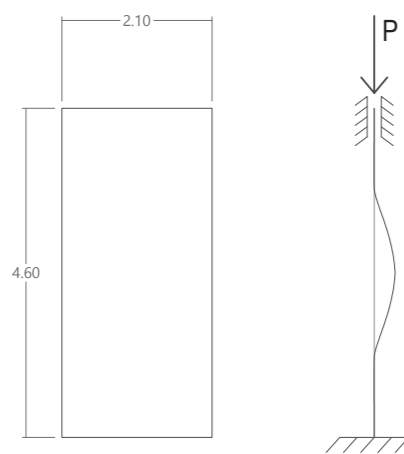


Figura 211\_Definizione dello schema statico per le analisi incastro-manicotto

### 5.9.2.1 SETTO PIENO

Si parte dal calcolo analitico del carico critico euleriano per un setto pieno, ottenendo come risultato un carico pari a 2413,64 kN.

Simulando il sistema di sostegno verticale in Abaqus CAE si impongono differenti condizioni al contorno rispetto all'analisi precedente di incastro-estremo libero. In particolar modo alla superficie di base si bloccano gli spostamenti e gli incastri nelle tre direzioni, mentre in sommità si lasciano liberi solamente gli spostamenti secondo l'asse 3, ossia l'asse Z verticale, simulando il vincolo di manicotto.

Dagli output ricavati dall'analisi di Buckling si registra un carico critico associato al primo modo pari a 2655,1 kN.

Come nelle simulazioni precedenti si registra un leggero distacco tra i valori ricavati mediante le formule analitiche e il programma agli elementi finiti: motivazione di ciò risiede nella dimensione della mesh che approssima il risultato.

PRIMO MODO

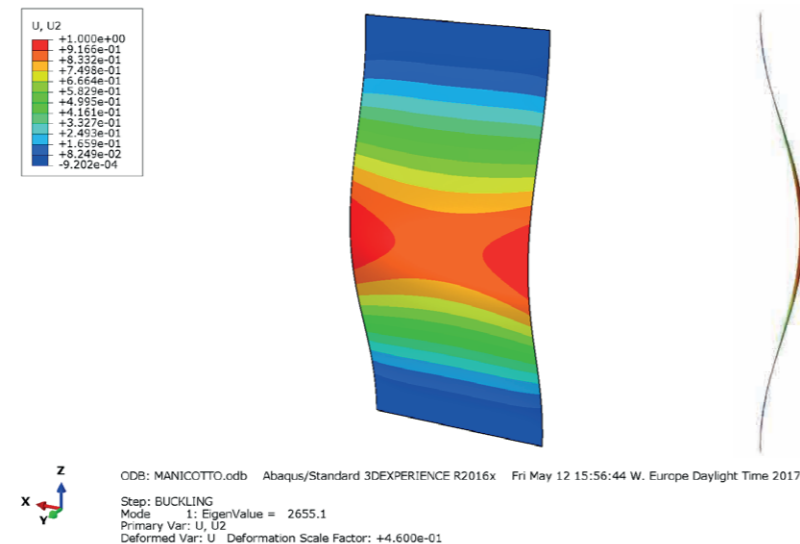


Figura 212\_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-manicotto

### 5.9.2.2 SETTO A GRATICCIO

Calcolando analiticamente il valore di carico critico relativamente al setto a graticcio bisogna prestare particolare attenzione riguardo all'inerzia da considerare. Nella definizione di carico critico si deve calcolare infatti l'inerzia  $J_{min}$ , ovvero la minima fra i momenti d'inerzia della sezione trasversale del setto analizzato. Si calcola dunque l'inerzia relativa alla sezione di cinque travetti di sostegno verticale aventi ciascuno sezione 0,10x0,10m.

Svolgendo i calcoli si ottiene un carico critico euleriano relativo al primo modo pari a 574,67 kN.

Dagli output ricavati dall'analisi di Buckling si registra un carico critico associato al primo modo di 606,35 kN.

Ciò significa che è da valutare il valore della forza agente su ogni sistema di sostegno graticciato del progetto e verificare che sia minore del carico critico calcolato, considerando l'area di influenza che caratterizza ogni setto in esame.

PRIMO MODO

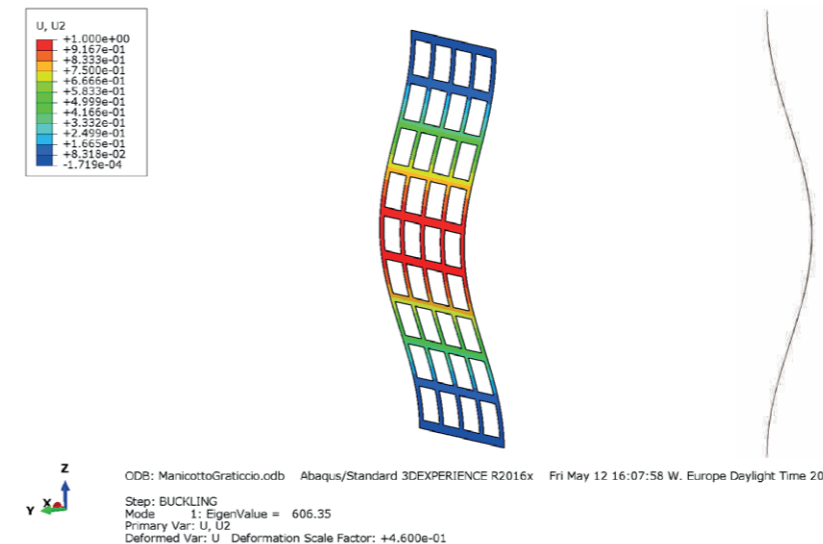


Figura 213\_Analisi di Buckling per il setto a graticcio per incastro-manicotto

### 5.9.2.3 SETTO A GRATICCIO IRRIGIDITO

Si prova ora a simulare il sistema di sostegno verticale caratterizzato da una struttura a graticcio con l'aggiunta del sistema di irrigidimento in pannelli OSB.

Data l'irregolarità in altezza del sistema analizzato, non è significativo calcolare analiticamente il carico critico associato al graticcio irrigidito.

Si ottiene un carico critico euleriano relativo al primo modo di intensità pari a 869,13 kN.

Esso risulta essere maggiore rispetto alla simulazione relativa al graticcio irrigidito puro. Si conferma ulteriormente la possibilità di utilizzare questa soluzione nei punti critici del progetto.

Come si può notare dalla restituzione grafica proposta in basso la deformata relativa alla prima situazione di instabilità corrisponde alla situazione teorica di incastro alla base e manicotto in sommità, le parti centrali subiscono uno spanciamiento in direzione Y, perpendicolare al piano di sviluppo del setto.

PRIMO MODO

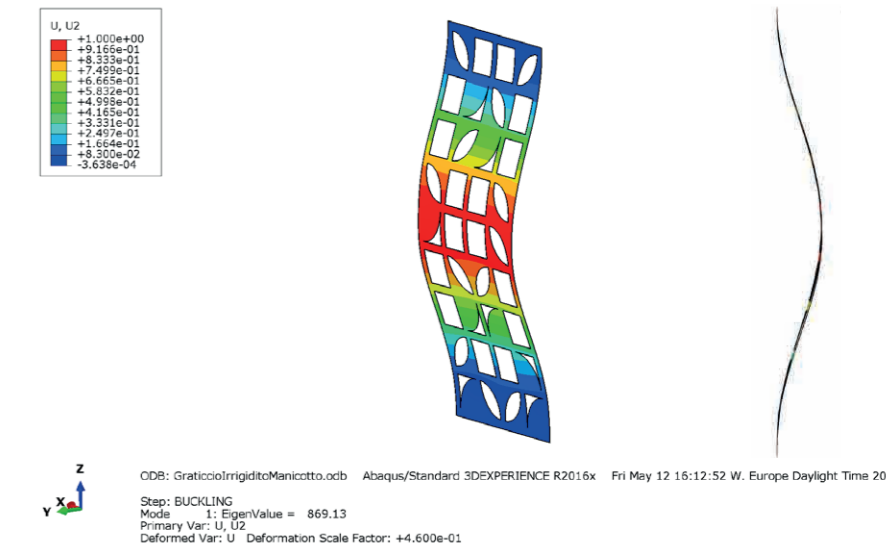


Figura 214\_Analisi di Buckling per il setto a graticcio irrigidito per incastro-manicotto



### 5.9.3 SIMULAZIONE DEL PROGETTO VELIKA

Dopo aver studiato i carichi critici relativi ai sistemi di sostegno verticale si vuole fornire un risultato globale del progetto Velika.

Si parte dal modello ortotropo analizzato in precedenza e si definiscono le condizioni al contorno per un'analisi di Buckling, sotto la voce "Linear perturbation".

Particolare attenzione va fatta durante l'assegnazione delle condizioni al contorno, che sono i carichi a cui la struttura è soggetta sotto la voce "Load" e i gradi di libertà a terra definiti dal parametro "BCs".

In dettaglio si devono riassegnare le voci prima citate e disporle sotto lo step di Buckling, al fine di coinvolgere i parametri nella simulazione.

Una volta preparato il modello e definiti i parametri, il programma agli elementi finiti Abaqus CAE inizia un processo di implementazione del carico imposto, nel caso specifico pari al peso proprio e al carico da neve, fino al raggiungimento di una condizione di instabilità di un elemento componente la struttura.

Dagli output si nota come il carico critico di instabilità al primo ordine si verifica implementando il carico del 43%: infatti il coefficiente amplificativo estrapolato dal programma agli elementi finiti è pari a 1,43.

Come si nota dalla rappresentazione riportata nella pagina seguente, il primo elemento a raggiungere il carico di instabilità si identifica con un setto a graticcio, essendo questa struttura la più debole tra i sistemi analizzati.

In particolar modo si può notare come la deformazione avvenga nel piano di sviluppo del setto, secondo un meccanismo che ricorda le condizioni di incastro alla base e maniccotto in sommità.

Nessun altro elemento della struttura risulta perturbato da questo primo step di analisi.

Tuttavia, essendo il fattore moltiplicativo maggiore dell'unità, la struttura risulta ben progettata sotto i carichi di peso proprio e neve.

Tutte queste analisi condotte hanno permesso di validare la conformazione strutturale del progetto analizzato.

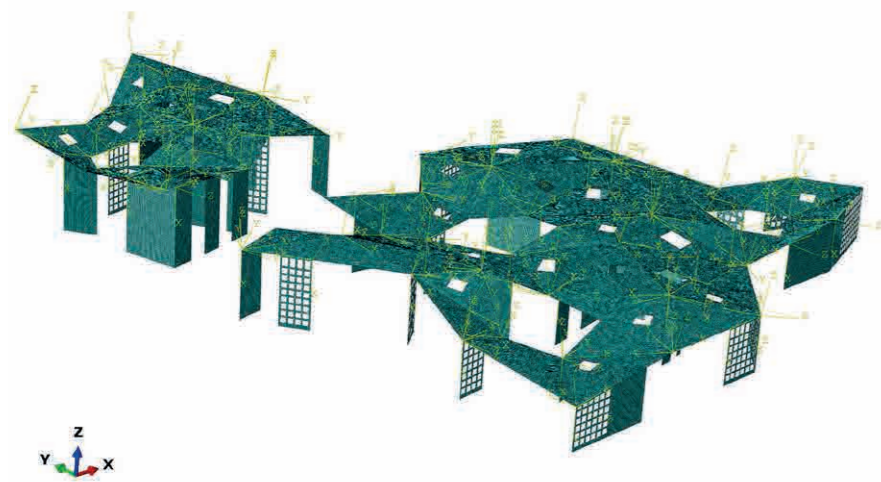


Figura 215\_Definizione dello schema statico per le analisi incastro-maniccotto

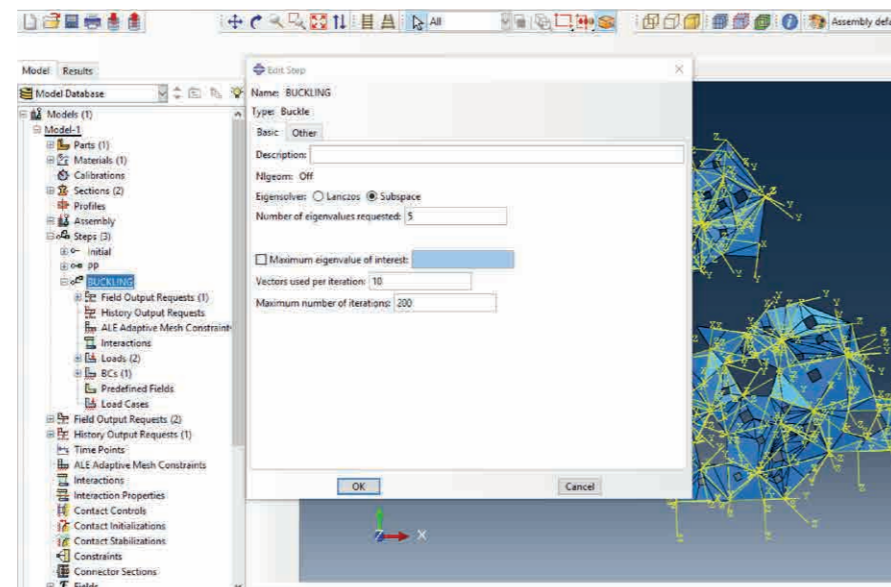
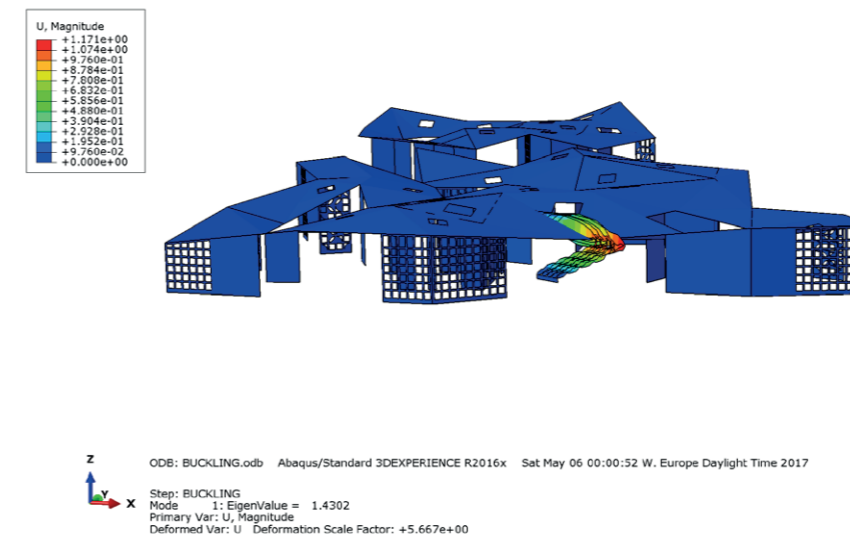


Figura 216\_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-maniccotto

#### PRIMO MODO



#### SECONDO MODO

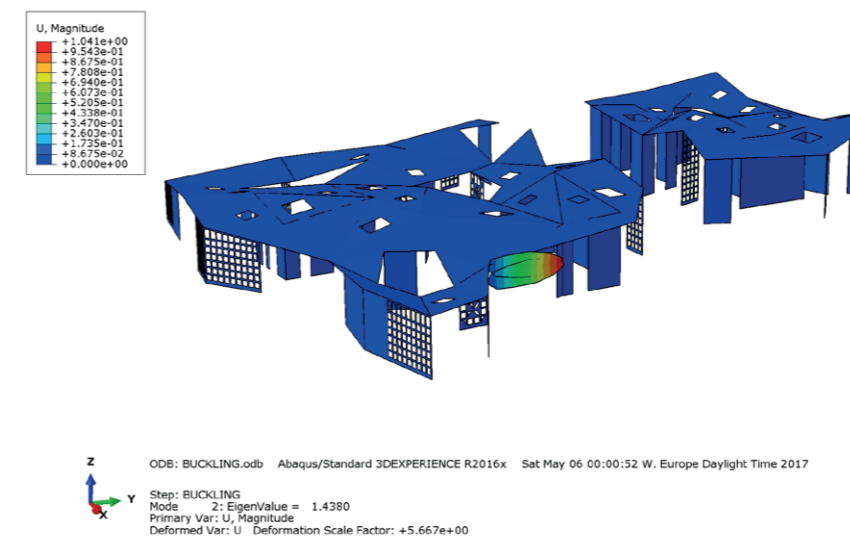
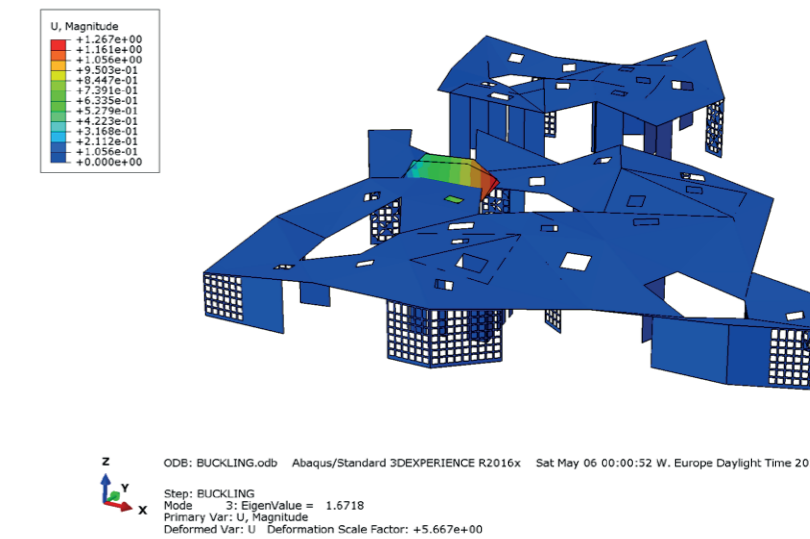
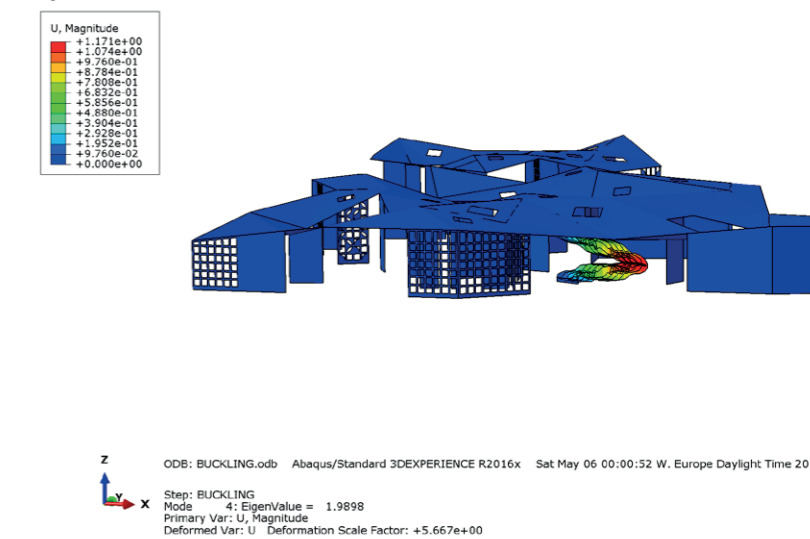


Figura 217\_Output dell'analisi di Buckling per la struttura totale

#### TERZO MODO



#### QUARTO MODO



# 5.10

## SISTEMA DI FONDAZIONE

La statica del sistema Cross-Lam prevede la presenza di una fondazione che permetta di appoggiare i pannelli alla base in tutta la loro lunghezza. Il pannello viene posizionato al di sopra di una membrana impermeabilizzante, per evitare il contatto diretto parete-fondazione, fungendo da barriera all'umidità da risalita. Si è pensato di porre diversi plinti isolati al di sotto di ciascun setto portante e di ogni parete verticale che costituisce gli edifici. Il plinto di fondazione è un elemento in calcestruzzo armato il cui scopo è di distribuire a terra i carichi trasmessi dalla struttura sovrastante. Per il dimensionamento delle fondazioni sono state considerate le azioni incidenti sugli elementi verticali, considerando quota parte dei carichi della copertura agenti sull'elemento verticale, includendo sia la porzione di carico relativa al peso proprio della copertura verde, sia quella relativa ai carichi variabili come il vento e la neve. Si scelgono dei plinti con forma a "T" di base rettangolare per il dimensionamento della fondazione.

I plinti sono collegati tra loro al fine di contrastare elevati spostamenti alla base in caso di forze orizzontali agenti sull'edificio. Si sceglie dunque un sistema di cavi metallici collegati alle estremità di ogni plinto. Particolare attenzione si è posta alla protezione di tali cavi in quanto si trovano in un ambiente aggressivo, poiché interrati. La protezione catodica è indicata per la soluzione di questo problema: si tratta infatti di una tecnica elettrolitica di salvaguardia dalla corrosione di strutture metalliche esposte a un ambiente elettrolitico (terreni, acqua marina, sostanze chimiche, ecc.) che può essere aggressivo nei confronti del metallo. Essa può essere attuata mediante accoppiamento galvanico utilizzando lo zinco.

### 5.10.1 DEFINIZIONE DEI PLINTI DI FONDAZIONE

Per il dimensionamento dei plinti di fondazione, si va a definire la capacità portante di una fondazione superficiale sotto carico centrato.

Si suppone per il caso in esame che il livello di falda coincida con il piano di posa, ad una profondità di 40 cm.

Si calcola ora il carico limite relativamente alla fondazione di progetto con la seguente formula:

$$q_L = \gamma_{dry} \cdot N_q(\Phi) + 0,5 B \cdot \gamma' \cdot N_\gamma$$

Supponendo una larghezza di fondazione B pari a 0,5 m, si valuta il carico limite relativamente a questa soluzione.

Di seguito i dati relativi alle proprietà del terreno utilizzate per il calcolo. Si considera la presenza di un terreno sabbioso.

Peso specifico del terreno	$\gamma_{sat}$	19.5	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico secco del terreno	$\gamma_{dry}$	15.4	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico acqua	$\gamma_w$	10	kN/m <sup>3</sup>
Peso specifico sommerso	$\gamma'$	9.5	kN/m <sup>3</sup>

peso specifico CLS	$\gamma_{CLS}$	25	kN/m <sup>3</sup>
--------------------	----------------	----	-------------------

Fattore di capacità portante del sovraccarico	$N_q$	10.66	
Fattore di capacità portante per il peso del terreno	$N_\gamma$	10.88	
Angolo di attrito	$\phi$	25	°

Il carico limite  $q_L$  risultante è pari a 91,50 kN/m<sup>2</sup>. Il carico effettivo q agente sul plinto, calcolato mediante l'analisi svolta all'inizio del medesimo capitolo, risulta essere pari a 2,89 kN/m<sup>2</sup>.

Si valuta ora il fattore di sicurezza  $F_s$ :

$$F_s = q_L / q$$

Da normativa il fattore  $F_s$  deve essere maggiore di 3.

$$F_s = 91,50 \text{ kN/m}^2 / 2,89 \text{ kN/m}^2 = 5,69 \geq 3$$

Il risultato risulta essere verificato.

### 5.10.2 VERIFICHE

Si verifica la fondazione a scivolamento, ribaltamento e a sprofondamento.

In primo luogo si definiscono i parametri e le dimensioni del plinto come riportato in figura sottostante. Tali misure sono state definite pensando di creare un sistema di fondazione prefabbricato che fosse ripetibile per ogni sistema di sostegno verticale. Si è quindi stabilita la lunghezza pari a 2,5 m, dato che i setti misurano 2,10 m. La base sulla quale appoggia il setto è larga 0,16 m, ossia coincidente con lo spessore del pannello Cross-Lam di parete: questo permette il fissaggio alla base del legno tramite collegamento hold down. Particolare attenzione è posta all'altezza del plinto al fine di creare un cordolo di base per i setti di 0,15 m fuori terra.

Base fondazione	B	0.5	m
Lunghezza fondazione	L	2.5	m
Altezza base	h	0.15	m
Altezza totale	H	0.55	m
Altezza della T	$h_T$	0.4	m
Spessore T	$s_T$	0.16	m

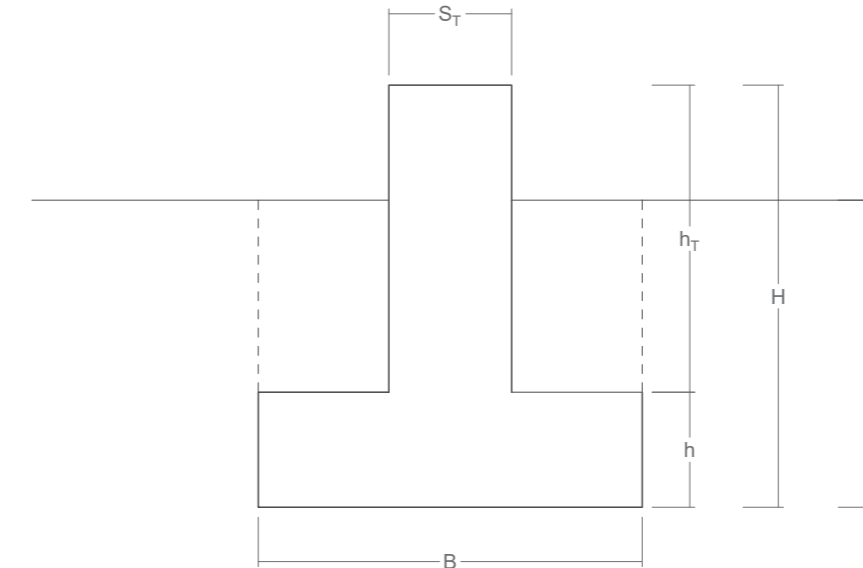


Figura 218\_Dimensioni del plinto di fondazione

Si calcolano le diverse componenti di peso utili alle verifiche geotecniche della fondazione.

$$\text{Peso base fondazione: } W_f = B \cdot h \cdot \gamma_{cls} = 0,5\text{m} \cdot 0,15\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3 = 1,875\text{kN/m}$$

$$\text{Peso altezza fondazione: } W_p = s_T \cdot h_T \cdot \gamma_{cls} = 0,16\text{m} \cdot 0,4\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3 = 1,6\text{kN/m}$$

$$\text{Peso del terreno: } W_t = (B - s_T) \cdot (d - h) \cdot \gamma_{dry} = 0,5\text{m} \cdot 0,15\text{m} \cdot 25\text{kN/m}^3 = 1,875\text{kN/m}$$

$$\text{Carico in sommità: } Q = 0,462 \text{ kN/m}$$

Si calcola ora la spinta laterale del terreno sulla fondazione:

$$S = 0,5 \cdot d^2 \cdot K_{a,s} \cdot \gamma_{dry}$$

L'angolo di attrito del terreno è pari a 25°, si calcola dunque il coefficiente di spinta relativo alla sabbia:

$$K_{a,s} = (1 - \sin \Phi) / (1 + \sin \Phi) = 0,4$$

Essendo la falda coincidente con il piano di posa, la spinta dell'acqua risulta essere nulla.

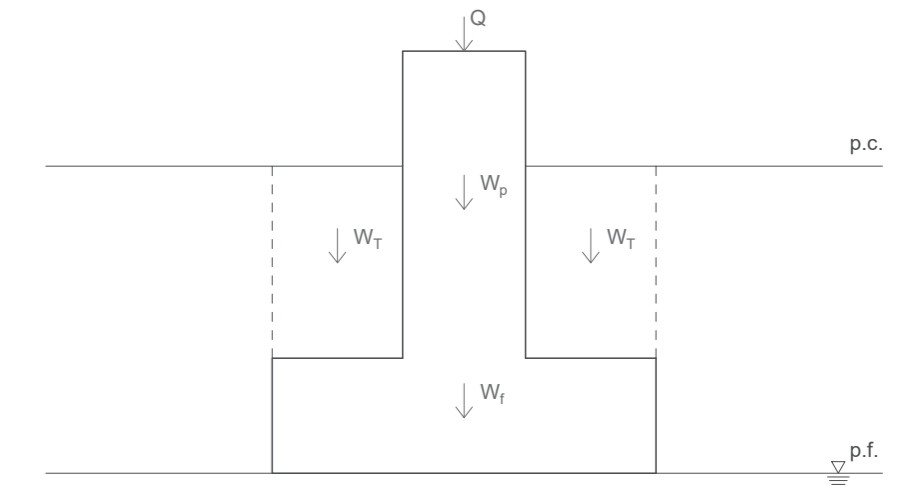


Figura 219\_Componenti di peso utili alle verifiche geotecniche



### 5.10.2.1 VERIFICA A SCIVOLAMENTO

La verifica a scivolamento sul piano di posa della fondazione consiste nell'imporre l'equilibrio alla traslazione orizzontale tra tutte le forze instabilizzanti e resistenti che intervengono nel problema.

È necessario soddisfare la seguente relazione:

$$F_{s, sciv} \cdot S = T_L$$

Calcolando  $T_L = (W_f \cdot W_p \cdot W_t \cdot Q) \cdot \tan(2/3 \cdot \Phi) = 1,57 \text{ kN}$ , si ricava il fattore di sicurezza che si confronta poi con il valore imposto da normativa. Il fattore di sicurezza a scivolamento risulta pari a:

$$F_{s, sciv} = 3,14 \geq 1,3$$

La verifica è soddisfatta.

### 5.10.2.2 VERIFICA A RIBALTAMENTO

La verifica a ribaltamento consiste nell'imporre un equilibrio alla rotazione attorno ad un CIR (Centro di Istantanea Rotazione), il punto più a valle dell'opera di sostegno, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti.

È necessario soddisfare la seguente relazione:

$$F_{s, rib} \cdot S \cdot b_s = (W_f \cdot b_f + W_p \cdot b_p + W_t \cdot b_t + Q \cdot b_Q)$$

Calcolando il fattore di sicurezza a sprofondamento esso risulta pari a:

$$F_{s, rib} = 19,67 \geq 1,5$$

La verifica è soddisfatta.

### 5.10.2.3 VERIFICA A SPROFONDAMENTO

La verifica a sprofondamento deve soddisfare la seguente relazione:

$$F_{s, sprof} = (q_L \cdot B) / (W_f + W_p + W_t + Q)$$

Il fattore di sicurezza a sprofondamento risulta pari a:

$$F_{s, rib} = 8,72 \geq 3$$

La verifica è soddisfatta.

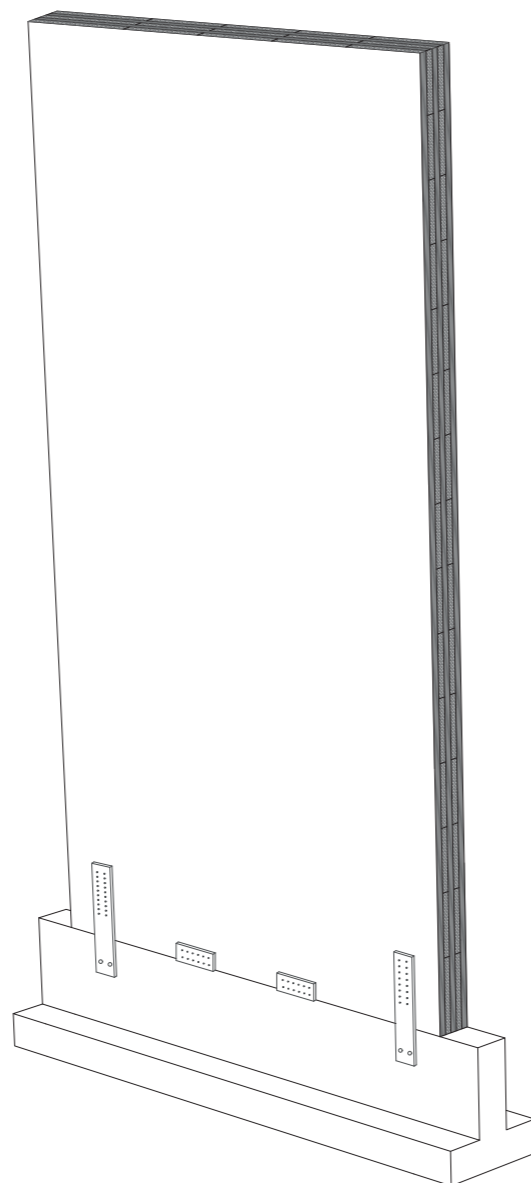


Figura 220\_Rappresentazione tridimensionale del sistema di fondazione di un setto

## 5.11 DETTAGLI COSTRUTTIVI

Per quanto riguarda i sistemi costruttivi in Cross-Lam, gli elementi massicci di parete, solaio e copertura possono essere prodotti esattamente e singolarmente in base alle indicazioni di progetto e possono essere collegati con sistemi di connessione semplici e standardizzati. Vengono a mancare, quindi, quelle lunghe e complicate operazioni di finitura e di montaggio in cantiere. Isolamento, rivestimenti ed elementi di facciata possono essere facilmente fissati agli elementi lamellari.

Tutto ciò conferma che il sistema Cross-Lam si riconosce per la sua velocità costruttiva e semplicità di posa.

I particolari costruttivi di seguito riportati rappresentano alcune possibilità per le più importanti giunzioni degli elementi di tavole di compensato impiegati in edilizia residenziale, quindi con l'utilizzo di elementi di parete di altezza pari ad un interpiano.

Si deve sottolineare come i disegni dei particolari costruttivi illustrati nel seguito sono limitati esclusivamente ai dettagli dei sistemi meccanici di collegamento; non sono dunque riportati, salvo poche eccezioni, i particolari relativi al posizionamento degli altri elementi legati alla protezione della parete e dei collegamenti, quali guaine, teli o nastri di isolamento, nonché rivestimenti contro il fuoco, che rappresentano comunque un aspetto di fondamentale importanza per il giunto stesso.

Le singole connessioni devono essere disposte e dimensionate, in ogni caso, in base alle esigenze derivanti dal calcolo strutturale.

### 5.11.1 TIPOLOGIE DI CONNETTORI

Per quanto riguarda le tipologie di connettori disponibili per tutti i collegamenti che verranno presentati, c'è da dire che queste fanno parte della grande famiglia dei connettori a gambo cilindrico, che comprende:

- Chiodi;
- Viti;
- Spinotti e bulloni.

### 5.11.2 TIPOLOGIE DI CONNESSIONE

Di seguito si analizzano le differenti tipologie di connessione di pannelli strutturali in Cross-Lam. Per le differenti tipologie di collegamenti si possono distinguere:

- Collegamento tra pannello verticale e pannello orizzontale;
- Collegamento tra pannello verticale e pannello verticale;
- Collegamento tra pannello orizzontale e pannello orizzontale.

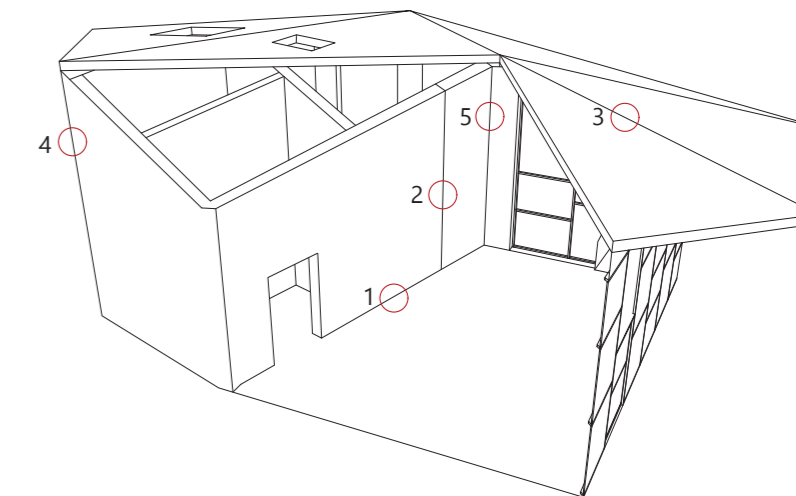


Figura 221\_Individuazione delle diverse tipologie di connessione

### 5.11.2.1 GIUNTI PARETE-FONDAZIONE

I pannelli vengono solidarizzati con gli elementi di fondazione in calcestruzzo al fine di contrastare l'effetto delle azioni orizzontali che gravano sull'edificio, tipicamente il vento ed il sisma. Queste connessioni si dividono in due grandi gruppi:

- Connessioni a taglio: hanno principalmente il compito di impedire la traslazione orizzontale del pannello, quando questo è sottoposto ad una forza orizzontale;
- Connessioni a trazione, che hanno la funzione di impedire una rotazione del pannello attorno ad uno dei suoi spigoli.

Si utilizzano solitamente angolari metallici allungati, denominati hold-down (letteralmente dall'inglese "tieni giù"), efficaci nei confronti della trazione (sollevamento) e piastre angolate per gli sforzi di taglio (scorrimento). In generale, comunque, è possibile dire che le piastre in acciaio sono collegate agli elementi lignei mediante chiodi o viti ed alle fondazioni in calcestruzzo mediante barre filettate o tasselli con ancoraggio meccanico o chimico.

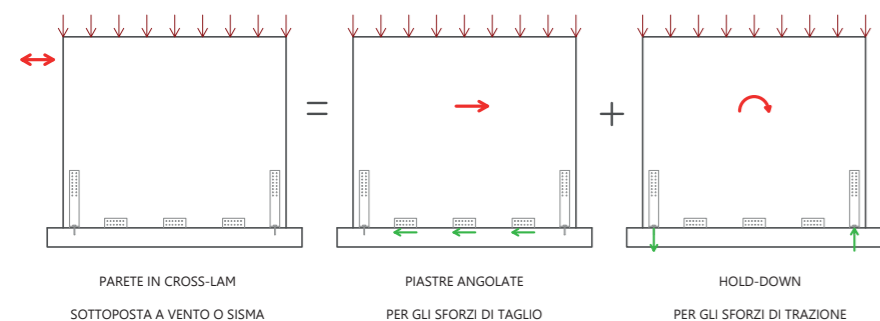


Figura 222\_Parete in Cross-Lam soggetta a forza orizzontale (vento o sisma)

### 5.11.2.2 GIUNTI VERTICALI PANNELLO-PANNELLO

Le dimensioni laterali dei pannelli possono essere limitate da ragioni di carattere produttivo e di trasporto, per le quali risulta necessario collegare in verticale più pannelli Cross-Lam per realizzare una parete che abbia una considerevole estensione, tipicamente maggiore di 12 m. Pertanto è necessario collegare i vari pannelli fra loro mediante giunti verticali realizzati tramite tavole di giunzione, viti o chiodi. Le tavole faranno lavorare a taglio i vari connettori. Se le tavole si collegano in una scanalatura interna del pannello, si avranno due sezioni resistenti altrimenti, se la tavola viene collegata in una scanalatura esterna si avrà una singola sezione resistente. La parete finale può essere quindi composta da diversi pannelli collegati verticalmente tra loro. Per questo tipo di giunto sono disponibili anche soluzioni realizzate senza coprighiunto mediante viti incrociate, in cui i pannelli sono semplicemente accostati tra loro, e soluzioni, ancora senza coprighiunto, dove però i pannelli sono appoggiati tra loro mediante una sella. Si tratta, in ogni caso, di giunti legno-legno senza interposizione di elementi metallici quali piastre forate.

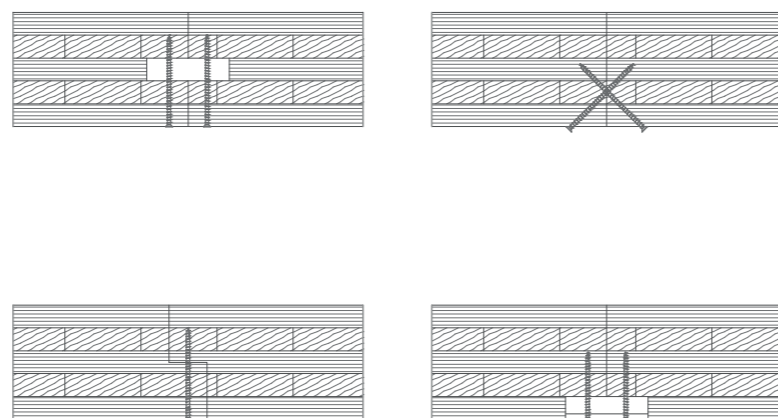


Figura 223\_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti parete-parete

### 5.11.2.3 GIUNTI ORIZZONTALI SOLAIO-SOLAIO

Anche nel caso delle partizioni orizzontali come i solai e le coperture, realizzati con pannelli di tavole incrociate è necessario realizzare giunti trasversali tra pannello e pannello, poiché questi hanno una dimensione trasversale ridotta per ragioni produttive e di trasporto. Il fine ultimo è quello di realizzare un diaframma orizzontale continuo di maggiori dimensioni (comportamento a lastra) ed evitare abbassamenti differenziali (comportamento a piastra).

È da puntualizzare che in quanto si tratta di collegamenti "a cerniera", in cui può essere trasmesso il taglio e non la flessione, la direzione di queste giunzioni deve essere ovviamente parallela alla direzione portante principale del solaio. Lo spessore si predimensiona a circa L/35 o L/40. L'effetto portante è solo in una direzione pertanto si possono calcolare come travi in legno sollecitate a flessione e taglio.

Si specifica che i collegamenti tra elementi orizzontali sono del tutto simili a quelli illustrati per il giunto continuo di parete-parete.

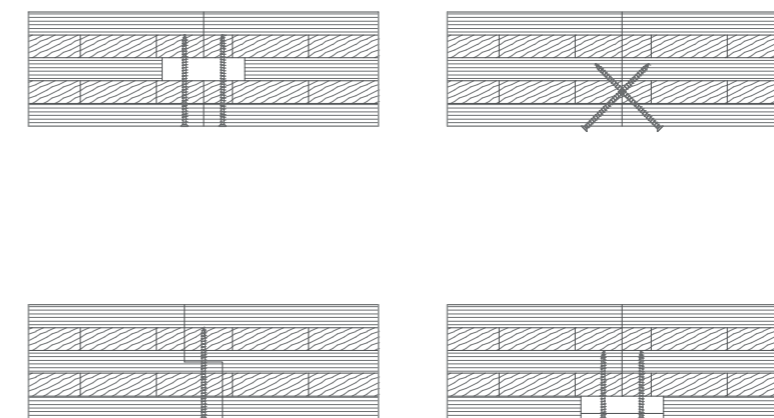


Figura 224\_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti solaio-solaio

### 5.11.2.4 GIUNTI D'ANGOLO

Il collegamento d'angolo tra pareti ortogonali è indispensabile per garantire una maggiore robustezza all'intera costruzione. Tale vincolo può costituire un presidio per le forze fuori piano delle pareti, dovute, ad esempio, alle forze di instabilizzazione laterale oppure all'effetto del vento sulle pareti. Esistono, anche in questo caso, diverse possibili soluzioni di collegamento, per esempio utilizzando viti auto-foranti o piastre angolari d'acciaio. Una soluzione che presenti un intaglio sul pannello Cross-Lam è invece da evitare in quanto questo, se non adeguatamente rinforzato, può innescare una fessurazione trasversale anche per valori modesti di tensioni di trazione. Nel caso in cui si faccia affidamento alla resistenza ad estrazione delle viti auto-foranti, si deve fare attenzione alle modalità di inserimento della vite: infatti, se questa viene inserita in uno strato del pannello con direzione delle fibre parallela all'asse della vite stessa, questa può essere considerata inefficace o, quantomeno, avere una resistenza ridotta. Si consiglia sempre di inserire le viti con una direzione leggermente inclinata rispetto al piano della parete.

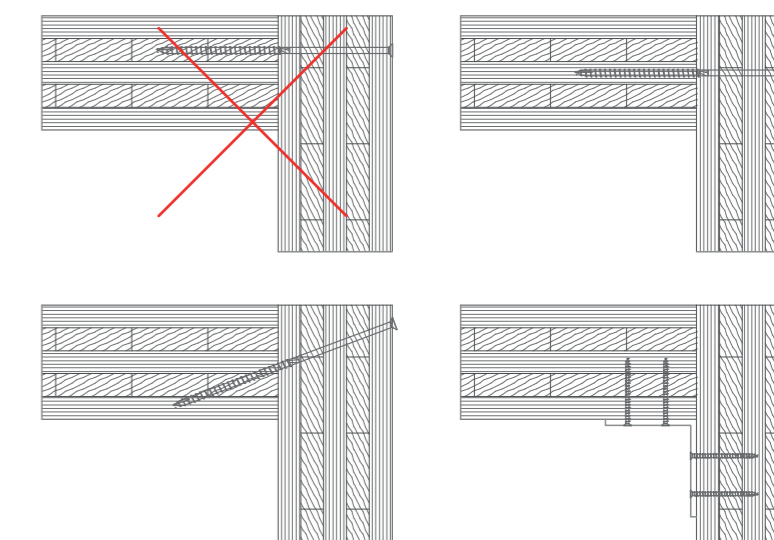


Figura 225\_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti d'angolo



### 5.11.2.5 GIUNTI PARETE-PARETE INCROCIO

Si analizza ora l'ultima tipologia di connessione che si incontra all'interno del progetto in esame. Essa riguarda il caso di incrocio tra parete perimetrale e parete divisoria interna.

Anche nel caso di una parete interna che interseca una parete esterna è necessario collegare le pareti per conferire una maggiore robustezza alla costruzione ed offrire un presidio per i meccanismi fuori piano.

Le soluzioni adottate in questa tipologia sono assimilabili a quelle illustrate nel collegamento d'angolo. In particolar modo possiamo avere una connessione mediante viti autofilettanti incrociate, inclinate rispettivamente di circa 25°, come rappresentato nella prima figura sotto. Nella seconda immagine vediamo la connessione mediante una sola vite auto-filettata inserita perpendicolarmente alla parete. Si può ottenere la connessione mediante due angolari posti internamente tra la parete divisoria interna e la perimetrale.

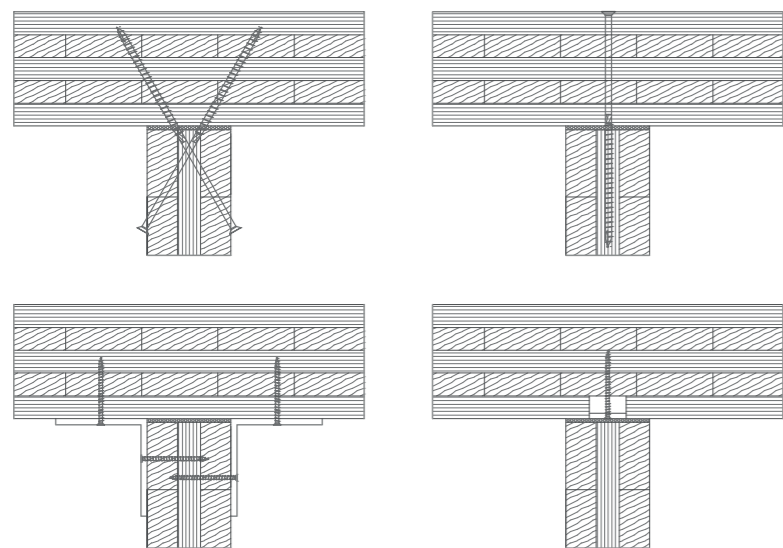


Figura 226\_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti parete-parete incrocio

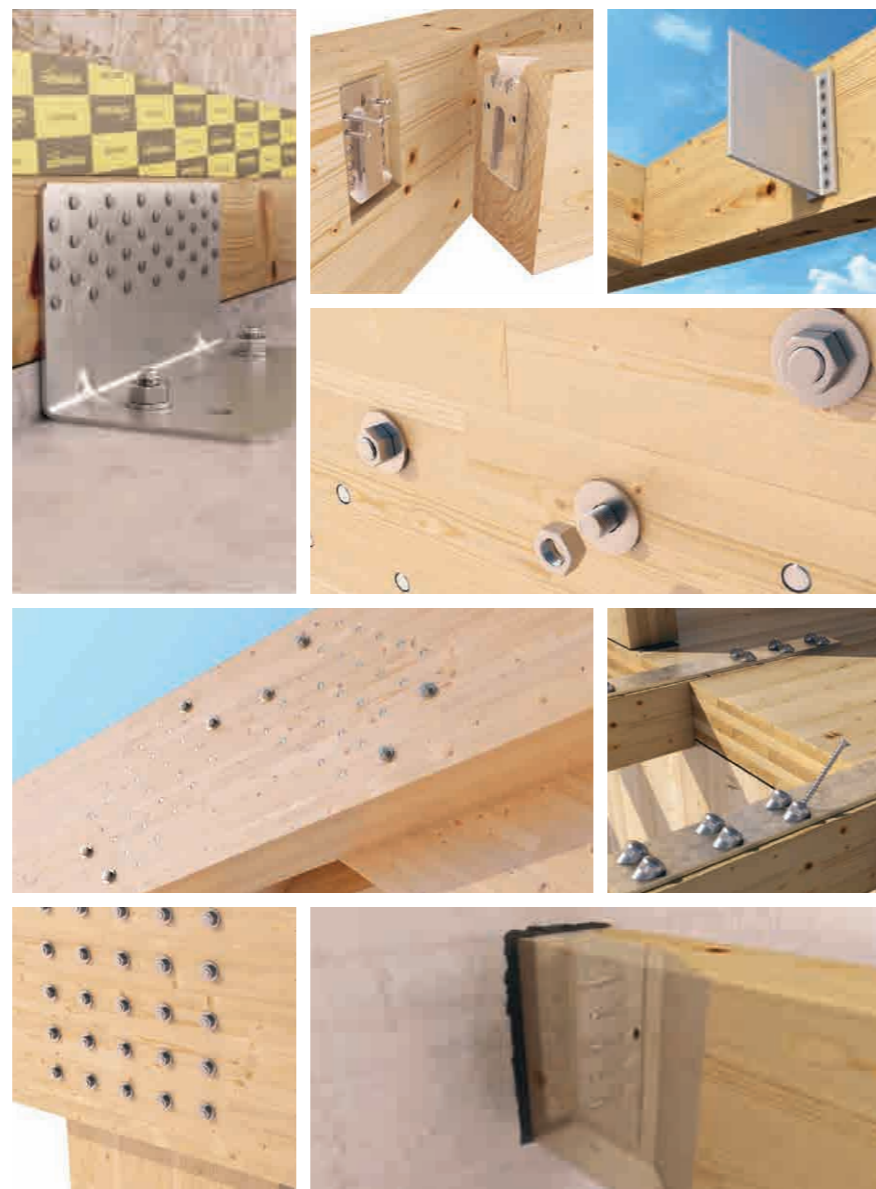


Figura 227\_Conessioni per pannelli in Cross-Lam

## 5.12 VERIFICA DELLA CONNESSIONE

### 5.12.1 LE RESINE EPOSSIDICHE

Lo studio delle connessioni tra i diversi pannelli Cross-Lam della copertura è stato oggetto di discussione. Esso deve essere immaginato come un sistema che abbia la possibilità di trasferire il momento agente sulla struttura e non solamente gli sforzi di taglio: si necessita quindi una soluzione rappresentativa di un sistema ad incastro, non a cerniera. Per ottenere una situazione di questo tipo si è dunque ricorsi all'impiego di resine epossidiche. Si tratta di colle bicomponenti (la componente contenente gli anelli epossidici e la componente responsabile della reticolazione e del processo di indurimento), che possono presentare caratteristiche fisico-meccaniche anche molto diverse in funzione della specifica formulazione.

Si definiscono collegamenti con elementi di acciaio incollati quelli realizzati utilizzando elementi metallici, quali barre o piastre, inseriti in apposite sedi ricavate negli elementi di legno da unire, e solidarizzati ad essi mediante adesivi appropriati. Tali unioni devono essere limitate a strutture in classe di servizio 1 e 2 su legno già in equilibrio igrometrico con l'ambiente. È necessario accertarsi che le caratteristiche dell'adesivo e la sua adesione all'acciaio e al legno diano le più ampie garanzie di durabilità, sulla base di evidenze sperimentali o specifici test di laboratorio, e che, nelle condizioni di temperatura e umidità previste, il permanere di tali condizioni sia assicurato per tutta la vita in esercizio della struttura. Al momento dell'incollaggio delle barre di acciaio, l'umidità del legno può risultare al massimo pari al 20%. Lo spessore dell'adesivo non deve risultare maggiore del valore indicato nella sua certificazione.

#### 5.12.1.1 LA NORMATIVA: CNR DT 206/2007

È in vigore la normativa del Consiglio Nazionale delle Ricerche relativa alle "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture di Legno", la quale delinea delle disposizioni costruttive in materia di collegamenti con elementi di acciaio incollati per le strutture in legno. Tale documento indica che le unioni con elementi metallici incollati devono essere realizzate con particolare attenzione alle seguenti prescrizioni costruttive:

- Le superfici degli elementi metallici devono essere accuratamente pulite e sgrassate;
- Le superfici dei fori devono risultare da lavorazioni eseguite con taglio netto;
- Nel caso di barre il diametro del foro deve essere da 2 a 6mm maggiore del diametro esterno della barra e comunque tale che lo spessore dell'adesivo risulti inferiore al limite massimo indicato dal formulatore della resina;
- Devono essere utilizzati opportuni dispositivi di centraggio dell'elemento metallico nella sede, in modo da assicurare uno spessore di resina costante su tutta la superficie laterale;
- L'adesivo destinato per uso strutturale su legno deve essere formulato e testato, in modo da evidenziarne l'adesione (resistenza a taglio), la compatibilità con diverse specie legnose e la durabilità nei confronti dell'esposizione a cicli termo igrometrici coerenti con la classe di servizio prevista;
- L'adesivo deve essere utilizzato seguendo le raccomandazioni del produttore riguardo alla miscelazione dei componenti, alle condizioni ambientali di applicazione, alle modalità di esecuzione ed alle condizioni di stagionatura;
- Durante le operazioni di iniezione della resina è necessario verificare che il foro si riempia completamente con l'adesivo;
- Al momento dell'iniezione, l'umidità del legno non deve essere maggiore del 3% dell'umidità minima prevista in esercizio, mediata su tutta la sezione del pezzo;
- Il giunto potrà essere sollecitato solo dopo l'avenuta stagionatura della resina, nei tempi indicati dal produttore.

### 5.12.1.2 MAXI ADESIVO BICOMPONENTE XEPOX®

XEPOX® è una famiglia di eccellenti adesivi epossidici bicomponenti per opere strutturali in legno o legno lamellare, legno-cemento® e legno-acciaio. Essi possono essere ottimamente utilizzati anche per la giunzione di altri materiali (calcestruzzo, marmi o pietre, metalli in genere, materiali sintetici, ecc) o per il loro collegamento. Gli adesivi epossidici bicomponenti sono fondamentali per la realizzazione di tutti i sistemi di giunzione e di collegamento CNP (Cenci, Nosedà, Piazza). Per efficacia ed affidabilità, questi sistemi sono tra i più avanzati nell'ambito della strutturistica in solo legno o legno lamellare e combinazioni strutturali miste in legno-cemento e legno-acciaio. La loro realizzazione è facile, però deve essere accurata.

La resina epossiamminica XEPOX® è di tipo termoidurente ed una volta polimerizzata diventa chimicamente inerte. Ciò sta a significare che la sua struttura molecolare non è più modificabile. Di conseguenza la sua resistenza caratteristica rimane immutata. Le resine epossidiche XEPOX® sono formulate per garantire ottime caratteristiche di colabilità, adesività e bagnabilità del legno e dell'acciaio. Gli adesivi XEPOX® sono insensibili alle variazioni di umidità e, in caso di incendio, sono protetti dallo stesso legno.

Essendo l'elemento legno quello che presenta le caratteristiche più deboli, la durata dei giunti CNP, correttamente dimensionati, non può ritenersi inferiore alla durata dell'elemento ligneo. I valori di rottura a taglio delle resine epossiamminiche XEPOX® sono di gran lunga superiori a quelli del legno e le caratteristiche prestazionali minime non sono inferiori a quelle sotto indicate dalla Cenci Legno. Per disporre dei valori specifici esatti, occorre consultare le schede tecniche specifiche per ogni tipo di adesivo XEPOX®.

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA:

- Carico unitario di rottura per compressione > 75 MPa;
- Carico unitario di rottura a flessotrazione > 45 MPa;
- Carico unitario di rottura a trazione > 30 MPa;
- Carico unitario di rottura a taglio > 45 MPa;
- Modulo elastico a compressione > 6500 MPa.

Dopo trent'anni della produzione del legno lamellare in Italia, molti casi denunciano il disastroso comportamento dei collegamenti a secco, soprattutto in elementi lamellari lignei esposti alle intemperie o in condizione di assumere acqua risultante da accumulo di condensa su parti metalliche o murarie aderenti al legno. Da qui nasce l'esigenza di un sistema innovativo e duraturo.

A differenza delle congiunzioni puramente metalliche, la sicurezza del funzionamento dei sistemi CNP è assoluta, perché la resina XEPOX fatta percolare dall'alto raggiunge tutte le superfici degli intagli o dei fori ed involuppa completamente gli elementi metallici inseriti per la ripresa delle forze. Si consiglia uno spessore della resina di circa 0,8-1,5 cm per lato dell'elemento metallico.

I sistemi CNP sono per lo più predisposti per un collegamento di tipo rigido. Per ottenere la loro massima efficienza, l'adesione della resina al legno deve essere assoluta. Un'incompleta o parziale incollatura non è tollerabile. In fase di calcolo tutti gli elementi di collegamento incollati e le superfici di incollaggio devono essere verificati.

Per la realizzazione di unioni devono essere utilizzate piastre di acciaio che garantiscano una adeguata aderenza con la resina. È pertanto da escludere l'utilizzo di piastre lisce. La capacità portante ultima dell'unione deve essere determinata sulla base di prove sperimentali specifiche su campioni al vero.

Devono essere utilizzati opportuni dispositivi di centraggio dell'elemento metallico nella sede di messa in opera, in modo da assicurare uno spessore di resina costante su tutta la superficie laterale della connessione legno-acciaio, in modo tale da ottenere una connessione uniforme.

Sotto il profilo operativo, le caratteristiche principali delle resine epossiamminiche XEPOX sono:

- Facilità di applicazione;
- Alta resistenza;
- Invariabilità volumetrica e massima affidabilità nel tempo;
- Immodificabilità della loro struttura molecolare;
- Mancanza di tossicità.

### 5.12.2 RESISTENZA DI UN ELEMENTO LIGNEO AL FUOCO

Per il singolo elemento ligneo esposto al fuoco, in assenza di valutazioni più rigorose, si può fare riferimento al calcolo della cosiddetta "sezione efficace" in corrispondenza del tempo "t" richiesto di resistenza al fuoco. Tale sezione si ottiene riducendo la sezione iniziale di una profondità di carbonizzazione "effettiva" calcolata come di seguito esposto:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \cdot d_0$$

Dove:

- $d_{ef}$  è la profondità di carbonizzazione;
- $d_{char} = \beta_0 \cdot t$ ;
- $\beta_0$  è la velocità di carbonizzazione ideale, convenientemente superiore a quella effettiva, per includere gli effetti (negativi) di fessurazioni e arrotondamento degli spigoli della sezione;
- $k_0$  è il coefficiente dipendente dal tempo t, variabile linearmente tra 0 (in corrispondenza del tempo t =0) e 1 (in corrispondenza del tempo t =20 minuti), ed assunto costante e pari ad 1 per t >20 minuti;
- $d_0 = 7\text{mm}$ .

Per quanto riguarda il parametro di velocità di carbonizzazione  $\beta_0$  in mancanza di valutazioni sperimentali dirette effettuate in accordo alle pertinenti normative CEN, si può fare riferimento a quanto riportato nella Tabella 12.1.

Tabella 12.1–Velocità di carbonizzazione $\beta_0$	
Materiale	$\beta_0$ [mm/minuto]
<b>a) Conifere e faggio</b>	
Legno massiccio con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup>	0.8
Legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup>	0.7
<b>b) Latifoglie</b>	
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 290 kg/m <sup>3</sup>	0.7
Legno massiccio o legno lamellare incollato con massa volumica caratteristica non inferiore a 450 kg/m <sup>3</sup>	0.55
<b>c) LVL</b>	
con massa volumica caratteristica non inferiore a 480 kg/m <sup>3</sup>	0.7

Si considera la velocità di carbonizzazione  $\beta_0$  pari a 0,7 mm/minuto. Il tempo R.E.I. in corrispondenza del calcolo al fuoco è stato considerato pari a 60 minuti. Si ottiene dunque svolgendo i calcoli:

$$d_{ef} = 42 \text{ mm} + 1 \cdot 7 \text{ mm} = 49 \text{ mm}$$

Facendo riferimento al diagramma sperimentale dei Vigili del Fuoco, si sa che la temperatura del legno resta praticamente invariata già sotto 2 cm dalla superficie della sezione residua.

L'adesivo epossidico inserito all'interno della sezione lignea non subisce alcuna modificazione se ben protetto dal legno stesso.

Considerando l'altezza totale della trave in legno lamellare pari a 160 mm ed essendo la profondità di carbonizzazione pari a 49 mm, il limite risulta essere pari a:

$$h_{\text{piastra massima}} = 160 \text{ mm} - 49 \text{ mm} = 111 \text{ mm}.$$

Si sceglia una piastra di altezza pari a 110 mm.

Di seguito si riporta una rappresentazione delle due falde che vengono considerate per la definizione del sistema di collegamento.

Nell'immagine al di sotto si evidenziano le falde scelte per lo studio della connessione. Essendo queste di grandezza considerevole si valutano le azioni agenti all'interfaccia come valori medi delle forze in gioco sulla struttura totale.

$$M_{\text{interfaccia}} = 6000000 \text{ Nmm}$$

$$N_{\text{interfaccia}} = 8330 \text{ N}$$

$$T_{\text{interfaccia}} = 2978 \text{ N}$$

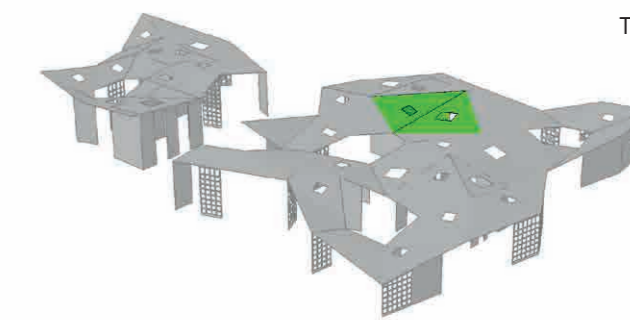


Figura 228\_Rappresentazione delle falde considerate per il calcolo della connessione



### 5.12.3 PRIMA VERIFICA CONDIZIONE ORDINARIA

In questa prima verifica non si tiene conto del contatto legno-legno.

Le piastre dovranno essere ben spianate per poterle inserire senza difficoltà mentre in seguito verranno fissate tra loro con alcuni punti di saldatura lungo il perimetro ed anche nelle zona centrale. Le superfici dovranno essere pulite e preferibilmente sabbiare con trattamento SA3, protetto da una velatura di zinco inorganico (circa 40 micron [μ]).

Per quanto riguarda la connessione esaminata, si suppone di disporre di lamiera striate Fe 43 ( $f_{yd} = 275 \text{ kN/m}^2$ ).

Si calcola ora il modulo di resistenza minimo della piastra metallica:

$$W_{\min \text{ piastra}} = M_{\text{pannello}} / \sigma_{\text{Fe43}} = 6000000 \text{ Nmm} / 275 \text{ N/mm}^2 = 21818,18 \text{ mm}^3$$

Quindi lo spessore minimo della piastra risulta essere pari a:

$$s_{\min \text{ piastra}} = W \cdot 6 / h_{\text{piastra}}^2 = 21818,18 \text{ mm}^3 \cdot 6 / (0,11 \text{ m})^2 = 10,81 \text{ mm}$$

Si sceglie uno spessore della piastra pari a 11 mm.

Si va ora a calcolare l'area del ferro e il modulo di resistenza effettivo:

$$A_{\text{Fe}} = 110 \text{ mm} \cdot 11 \text{ mm} = 1210 \text{ mm}^2$$

$$W_{\text{Fe}} = 11 \text{ mm} \cdot (110 \text{ mm})^2 / 4 = 33275 \text{ mm}^3$$

Si procede ora con la verifica degli sforzi, andando a confrontare il risultato con il valore di sforzo di snervamento dell'acciaio pari a  $275 \text{ N/mm}^2$ .

$$\sigma_{\text{Fe id}} = \sqrt{\left(\frac{M}{W_{\text{Fe}}}\right)^2 + \left(\frac{N}{A_{\text{Fe}}}\right)^2 + 3\left(\frac{T}{A_{\text{Fe}}}\right)^2}$$

Si ottiene un valore di sforzo  $\sigma_{\text{Fe id}} = 180,50 \text{ N/mm}^2$ , che risulta essere minore del valore di snervamento dell'acciaio  $f_{yd} = 275 \text{ kN/m}^2$ .

Lo spessore della piastra risulta quindi essere verificato.

Si procede ora con la determinazione della lunghezza della piastra, ultima grandezza da definire per l'elemento in acciaio. Essa si definisce a partire dal momento torcente agente su di essa.

Si valuta ora la tensione  $\tau_{\max}$  che si verifica nella particella incollata (centimetro quadro) più lontana dal baricentro.

Si può considerare la superficie dell'incollaggio interessata dall'adesivo epossidico, includendo un maggior margine di non oltre un paio di centimetri dal perimetro dell'interfacciamento della piastra (lamiera o altro), nel qual caso, prudenzialmente, si assume il valore di  $0,9 \text{ N/mm}^2$  (conifera europea); oppure, si considera la superficie di interfaccia della lamiera e si assume il limite di  $1,2 \text{ N/mm}^2$  (conifera europea), ossia la massima resistenza ammissibile a taglio del legno (quella nella direzione perpendicolare alla fibra).

Forza assiale N e taglio T danno luogo ad una forza risultante R assorbita da tutta la superficie interfacciata. Si ottiene dunque un momento torcente  $\tau_R$ :

$$\tau_R = \frac{\sqrt{N^2 + T^2}}{n^{\circ} \text{ facce} \cdot A}$$

Svolgendo i calcoli si ottiene  $\tau_R = 0,08 \text{ N/mm}^2$ .

Il momento torcente è ripreso dalla resistenza torsionale del giunto, ossia dall'inerzia polare  $J_p = J_x + J_y = 1145833333 \text{ mm}^4 + 554583333 \text{ mm}^4 = 1201291667 \text{ mm}^4$ .

Il momento torcente ( $M_t$ ) ha il valore del momento flettente nel nodo, integrato dal momento di trasporto locale prodotto dalla risultante R delle forze agenti nell'altro polo per la distanza (braccio) tra i baricentri dei due poli. Il punto più sollecitato è quello alla distanza  $d_{\max}$  più lontana dal baricentro del sistema.

$$\tau_{\text{tor}} = \frac{M_t \cdot d_{\max}}{n^{\circ} \text{ facce} \cdot J_p}$$

Si ricava  $\tau_{\text{tor}} = 0,68 \text{ N/mm}^2$ .

Sommando i due risultati ottenuti si ricava il valore di tensione massima:

$$\tau_{\max} = \left( \frac{M_t \cdot d_{\max}}{J_p} + \frac{\sqrt{N^2 + T^2}}{A} \right) \cdot \frac{1}{n^{\circ} \text{ interfacce}}$$

Si ottiene  $\tau_{\max} = 0,76 \text{ N/mm}^2$ .

Il valore massimo ricavato è inferiore al valore limite  $1,2 \text{ N/mm}^2$ .

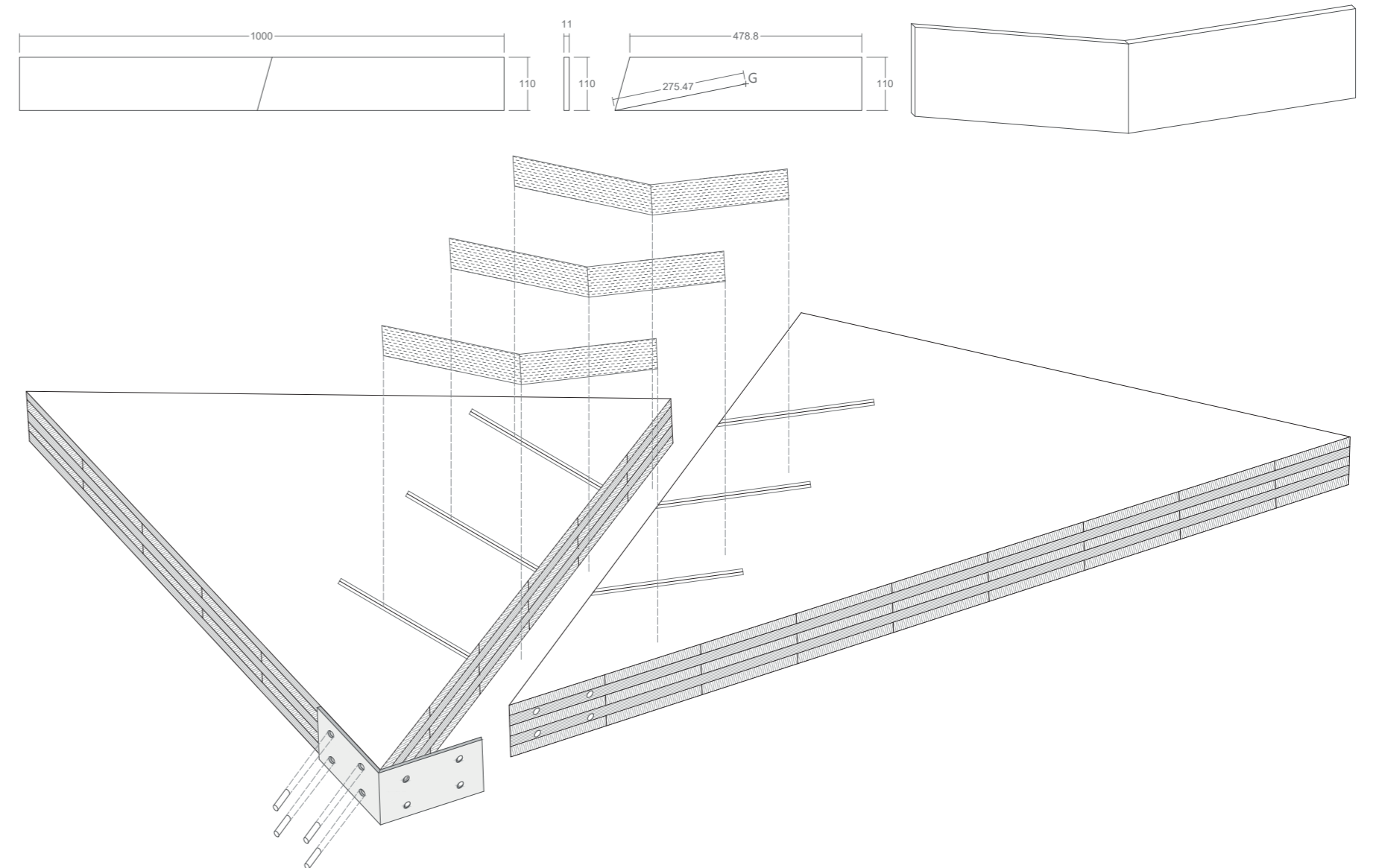


Figura 229\_Schematizzazione della connessione tra falde di copertura e sistema provvisorio di posizionamento mediante piastra metallica removibile





# CAPITOLO 6

## IL FARO PANORAMICO

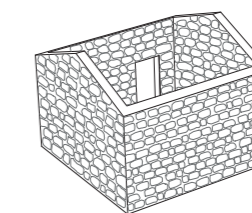
6.1 Definizione della Geometria.....	233
6.1.1 L'inserimento del Faro nel Progetto.....	233
6.1.2 Dimensionamento del Sistema a Graticcio.....	235
6.1.3 Dettaglio Graticcio di Facciata.....	236
6.1.3.1 Lo Studio Dei Pattern .....	236
6.1.3.2 Disposizione Degli Irrigidimenti.....	237
6.1.4 Scelta Cromatica.....	238
6.1.5 Rivestimento Esterno .....	239
6.1.5.1 Involucro Vetrato .....	239
6.1.5.2 Sistema di Fissaggio delle Lastre Vetrato.....	240
6.2 Analisi Strutturale .....	241
6.2.1 Condizioni Al Contorno.....	241
6.2.2 Modello Senza Scala.....	242
6.2.3 Modello Con Scala.....	243
6.3 Prototipo.....	244
6.3.1 Dimensioni del Pannello.....	244
6.3.2 Costruzione del Pannello.....	247
6.3.2.1 Travetti In Legno di Larice .....	247
6.3.2.2 Irrigidimenti in OSB.....	248
6.3.3 Assemblaggio del Pannello Graticciato .....	250

# 6.1

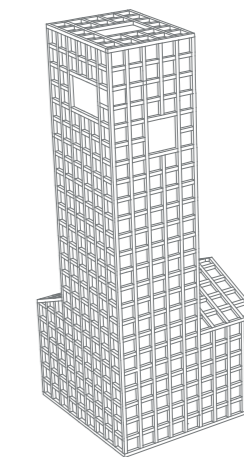
## DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA

### 6.1.1 L'INSERIMENTO DEL FARO NEL PROGETTO

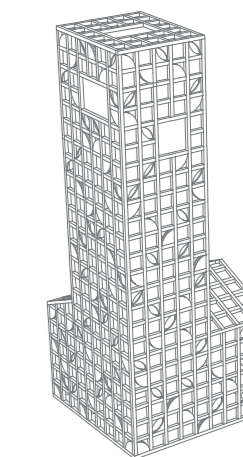
All'interno del progetto Velika si ha la presenza di un elemento architettonico particolare che si identifica in una sorta di torre composta da elementi a graticcio. Sulla penisola di Prilovo si trova infatti una costruzione parallelepipedica in pietra che si è deciso di riqualificare trasformandola così in un elemento significativo del progetto. Del volume esistente si sono mantenute le pareti perimetrali che risultavano essere in buono stato e si sono tamponate le aperture presenti utilizzando la medesima pietra locale. In seguito si è inserito un vano per consentire l'ingresso all'interno dell'edificio. Per quanto riguarda la copertura invece questa è stata smantellata poiché lo stato di conservazione non era ottimale. In merito agli interventi nuovi sulla per-esistenza, all'interno dell'edificio si crea una contro-scocca interna in legno al fine di proteggere l'ambiente chiuso da eventuali crolli di massi in caso di eventi sismici. La scatola si presenta come un sistema a graticcio in cui sono presenti elementi in OSB disposti in modo tale da creare dei controventi al fine di irrigidire la struttura nel suo complesso. È presente poi all'interno della scatola perimetrale un'ulteriore volume a graticcio che si eleva per un'altezza di 11,60 m da terra. Internamente è installata una scala a chiocciola autoportante in acciaio, che permette ai visitatori di salire in cima alla costruzione per poter ammirare il paesaggio offerto dall'isola dall'alto. Anche relativamente alla torre, il sistema strutturale a graticcio è arricchito da materiale di irrigidimento in OSB. Le coperture dell'edificio in pietra e della torre sono realizzate in lamiera in zinco-titanio, e il faro, inoltre, presenta un lucernario in sommità.



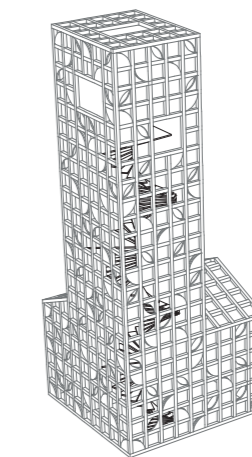
1. Struttura esistente privata della copertura originaria



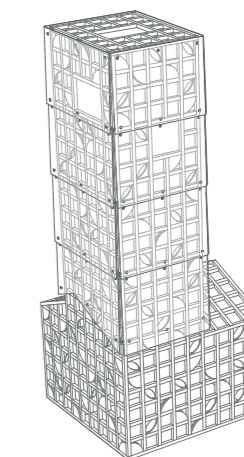
2. Scocca antisismica costruita con sistema a graticcio



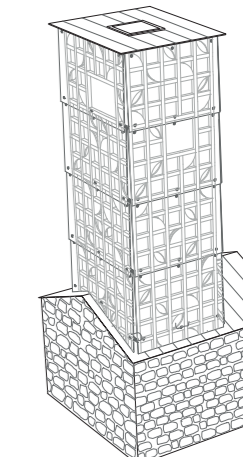
3. Introduzione degli elementi di irrigidimento in OSB



4. Installazione di una scala a chiocciola interna in acciaio



5. Protezione della torre con lastre in vetro trasparente



6. Completamento della copertura con lamiera in zinco-titanio tipo Zintek





Figura 230\_Prilovo e le luci della notte

### 6.1.2 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA A GRATICCIO

Il sistema a graticcio è composto da elementi in legno di larice con sezione quadrata. In particolare si ha la presenza di parti verticali ed orizzontali che combinate tra loro formano una struttura a graticcio. Nello schema sottostante si rappresenta il disegno della struttura utilizzata e ne si evidenziano le dimensioni.



Si riportano ora la sezione orizzontale del faro ed il prospetto Sud con le relative quote.

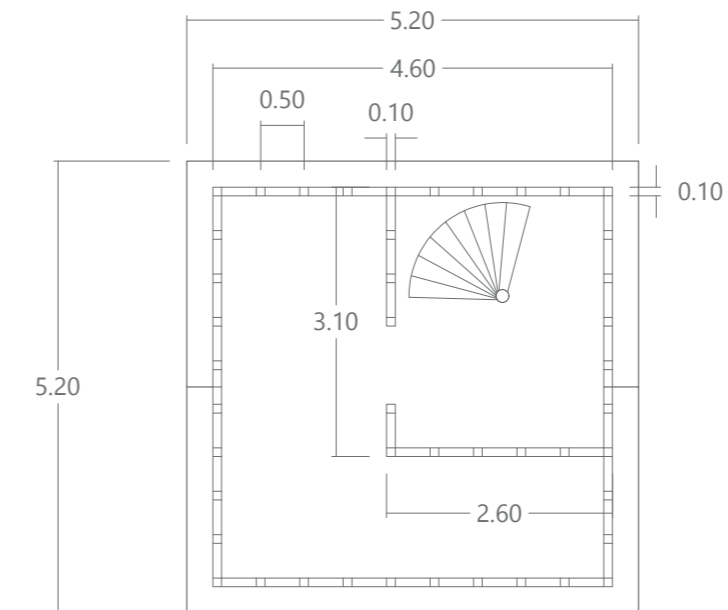


Figura 231\_Sezione orizzontale

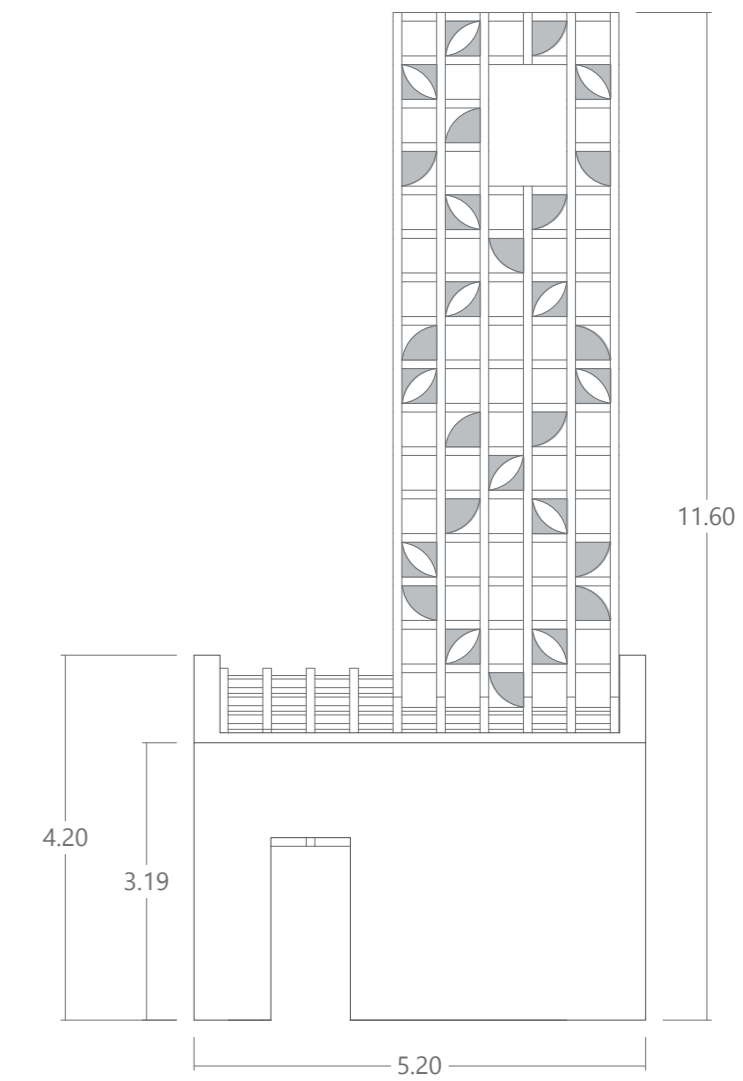


Figura 232\_Prospetto Sud

### 6.1.3 DETTAGLIO GRATICCIO DI FACCIATA

Con la progettazione del faro si intende creare un punto panoramico all'interno del progetto dal quale si possa osservare il territorio circostante.

In seguito allo sviluppo della scocca interna si è pensato di irrigidire le facciate della struttura a graticcio mediante l'utilizzo di elementi concavi e convessi di rinforzo in OSB.

Questi sono necessari soprattutto nella parte centrale e verso gli estremi superiori e inferiori del pannello, ossia sulle linee della croce di Sant'Andrea, per garantire maggiori prestazioni nei confronti delle azioni orizzontali che colpiscono la struttura: saranno quindi disposti lungo le direzioni principali di sforzo.

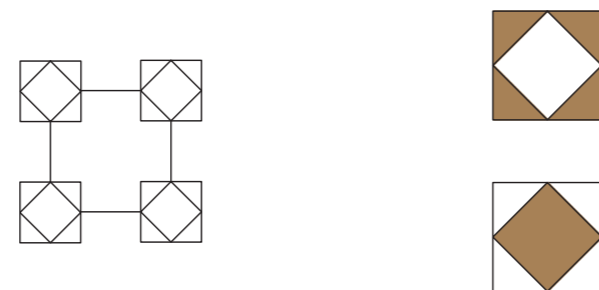
La forma degli elementi inseriti è stata scelta in modo tale che richiamasse la trama del pattern ritrovato sulla pavimentazione dei resti delle terme romane adiacenti all'area di progetto, la cui fotografia è riportata al di sotto. A partire da questo riferimento si è così rielaborato un pattern che potesse essere utilizzato nella struttura a graticcio. A lato si presentano i moduli ricavati dai resti della pavimentazione romana e quelli rielaborati.



Figura 233\_Pavimentazione delle terme romane

#### 6.1.3.1 LO STUDIO DEI PATTERN

Si riporta il disegno del pattern riportato sui resti della pavimentazione delle antiche terme romane, che si trovano in prossimità dell'area di progetto. Il modulo di base che viene ripetuto è costituito da una forma ottagonale al centro che presenta sui lati inclinati la presenza di elementi quadrati con un rombo riprodotto internamente. Il disegno della pavimentazione presenta una colorazione univoca e omogenea ed è scandito soltanto dai solchi che riproducono la trama.



Si mostra il nuovo motivo geometrico curvilineo elaborato per i pannelli a graticcio. Esso prevede la presenza di elementi concavi e convessi che richiamino la maglia del modulo rappresentato sulla pavimentazione.

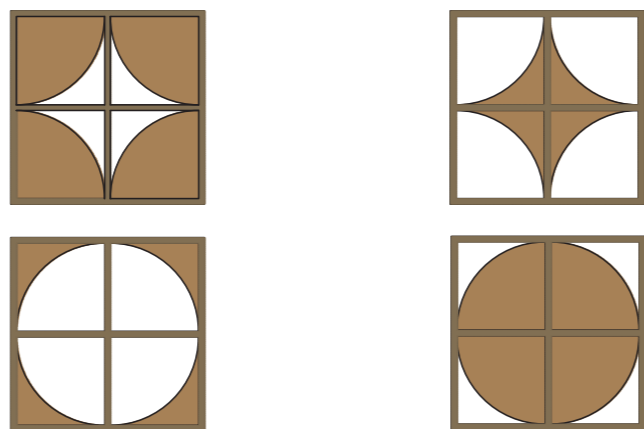


Figura 234\_Definizione del pattern utilizzato

#### 6.1.3.2 DISPOSIZIONE DEGLI IRRIGIDIMENTI

Per quanto riguarda l'introduzione degli irrigidimenti in OSB si è proceduto in primo luogo posizionandoli in modo tale che dessero un contributo strutturale alla torre. Si sono dunque disposti secondo le diagonali della torre, come mostrato a lato, in modo tale che fossero posizionati secondo la croce di Sant'Andrea. Questo ha permesso di irrigidire l'edificio rendendolo molto più resistente soprattutto alle azioni orizzontali agenti su di esso come ad esempio la forza del vento piuttosto che quella del sisma. Partendo dal basamento si è pensato di creare degli irrigidimenti diagonali che arrivassero fino alla parte alta della torre. Le dimensioni delle croci sono differenti per i prospetti poiché due hanno una base composta da 6 maglie e gli altri due da 4 maglie. Per irrigidire ulteriormente la struttura si è pensato poi di porre un doppio pannello OSB nello spessore dei travetti componenti la maglia. In particolare le soluzioni utilizzate sono due a seconda dell'uso di irrigidimenti concavi o convessi. Quelli convessi vengono disposti in modo tale che frontalmente si veda un solo pannello, mentre quelli concavi vengono disposti in modo sfalsato per far sì che l'effetto risultante da prospetto generi una specie di occhio inclinato secondo una delle diagonali della maglia quadrata. In seguito si riportano tutte le combinazioni possibili che possono essere effettuate con gli irrigidimenti per articolare la struttura a graticcio.

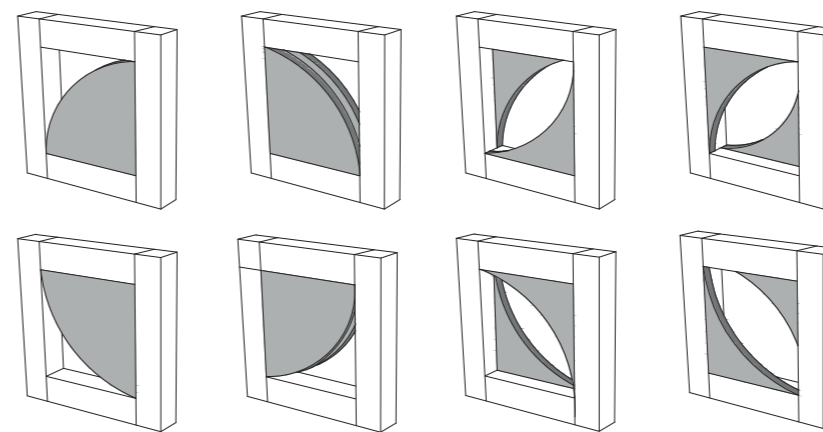


Figura 235\_Combinazioni dei pattern per gli irrigidimenti

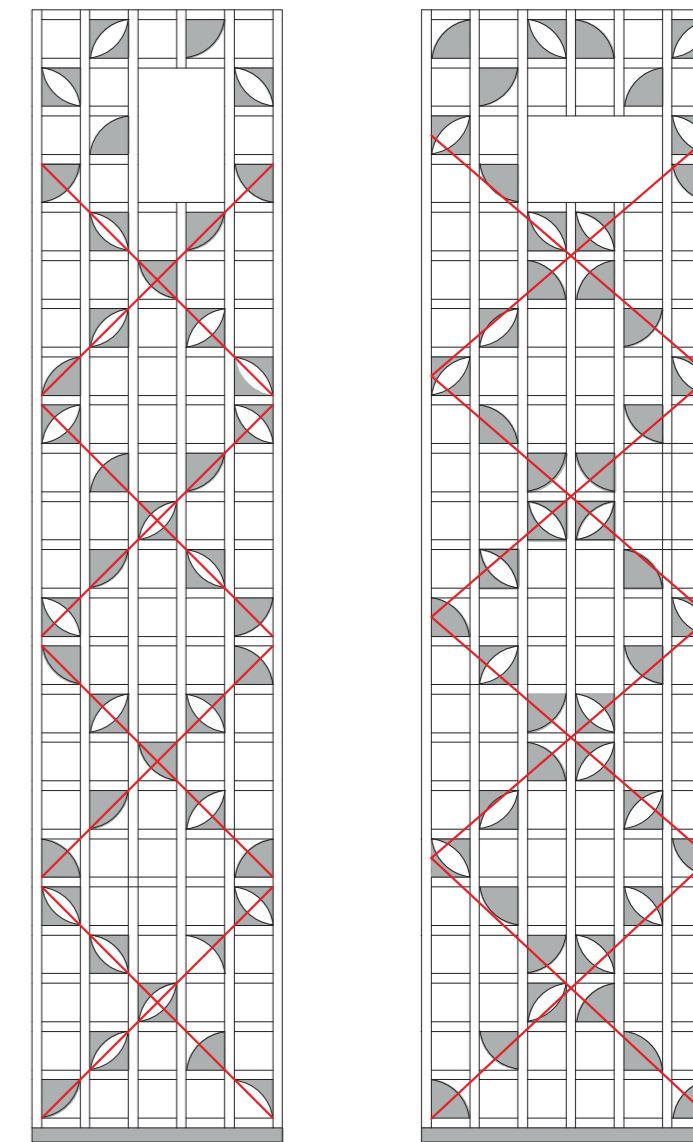


Figura 236\_Prospetto di una facciata della torre



### 6.1.4 SCELTA CROMATICA

Elemento fondamentale per l'aspetto estetico della torre panoramica è stato lo studio dei colori con cui dipingere gli irrigidimenti in OSB per far sì che non prevalesse il tono marrone del legno e in modo tale che si riuscisse a leggere in maniera più immediata la trama creata dagli elementi stessi. In particolare si sono presi come riferimento gli interni della Villa Imperiale di Katsura situata a Kyoto. Al suo interno sono presenti delle pareti mobili caratterizzati da una trama costituita da quadrati con tonalità di colore differenti. In particolare le cromie dell'edificio variano dal bianco all'azzurro al blu. Oltre a ciò il pattern regolare della Villa Imperiale richiama molto la struttura a graticcio di cui è costituita la torre panoramica. Le tonalità fredde sulle sfumature dell'azzurro e del blu sono inoltre gli stessi colori che si riscontrano nella penisola di Prilovo, in quanto rievocano le cromie del cielo e del mare.

Si sono scelte tre tonalità di colori che sono state poi riportate in modo del tutto casuale sugli irrigidimenti concavi e convessi presenti all'interno di alcune maglie del graticcio, con l'accorgimento di utilizzare lo stesso colore per ogni coppia di pannelli.

A lato si riporta la palette cromatica utilizzata per dipingere i pannelli OSB ed una rappresentazione della torre panoramica stessa.

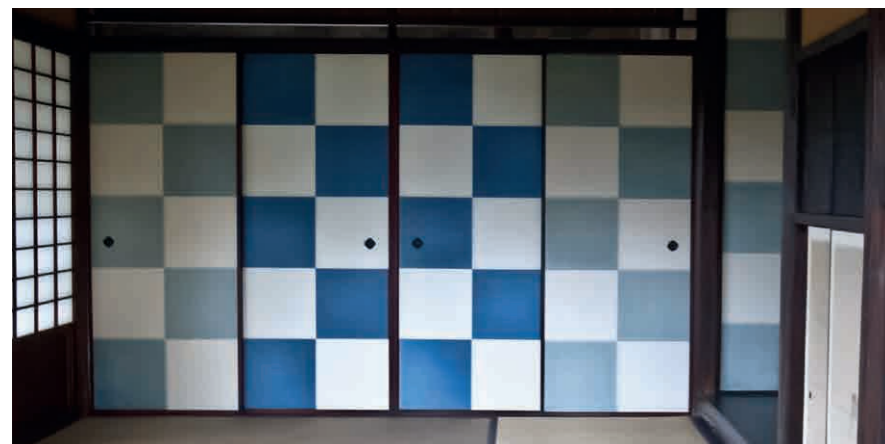


Figura 237\_Interno della Villa Imperiale di Katsura, Kyoto

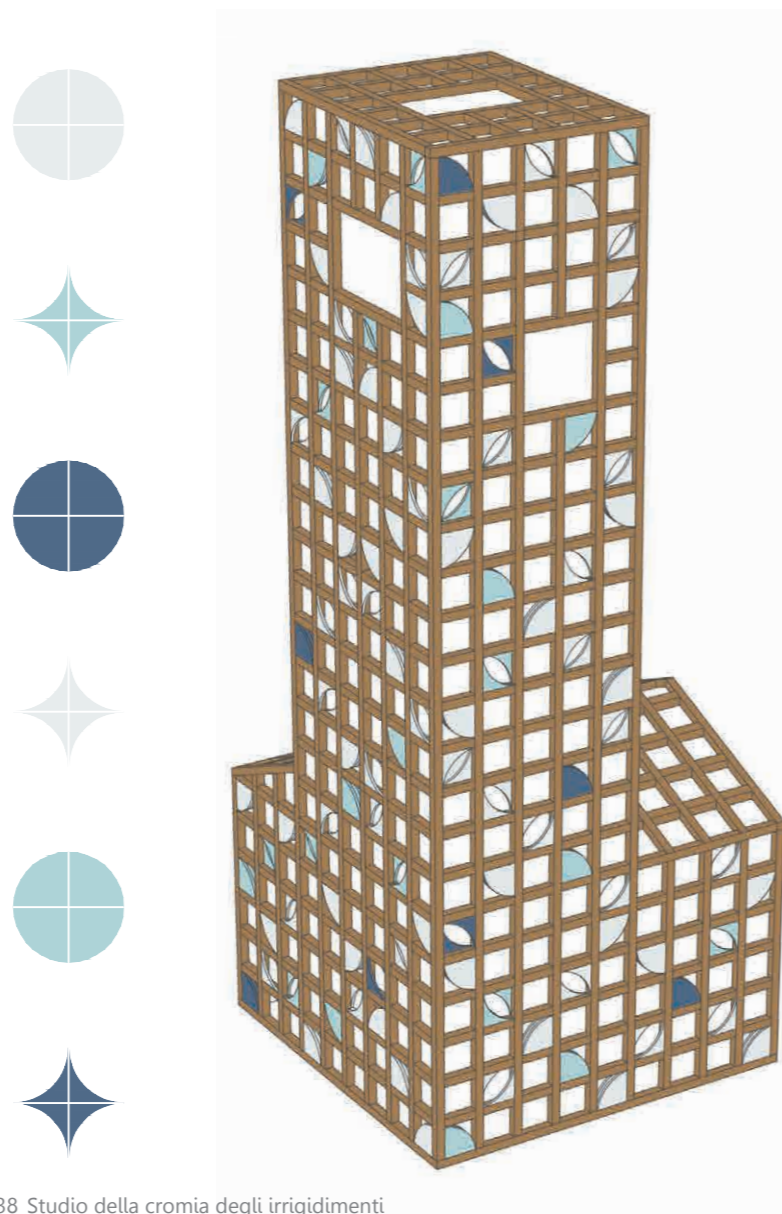


Figura 238\_Studio della cromia degli irrigidimenti

### 6.1.5 RIVESTIMENTO ESTERNO

#### 6.1.5.1 INVOLUCRO VETRATO

In questo paragrafo si intende definire il sistema di protezione per il graticcio in larice della torre panoramica.

Si è dovuto considerare un modo per proteggere il legno dagli agenti atmosferici senza intaccare l'essenza architettonica del costruito, composta da un graticcio in elementi lignei.

Lo spazio si presenta come un recupero di una struttura in pietra preesistente, a cui viene rimossa la copertura al fine di introdurre questo elemento architettonico di notevole impatto visivo. Il tetto della struttura esistente viene sostituito con un laminato in zinco titanio, particolarmente resistente al degrado per fattori atmosferici.

Per combinare questi materiali in maniera opportuna si è deciso di rivestire la struttura di elevazione con un elemento trasparente, ovvero con delle lastre di vetro autopulenti. Questo nasce anche dalla necessità di permettere la permeabilità alla vista agli osservatori all'interno della torre, al fine di poter godere del panorama sottostante.

Si è deciso di predisporre un involucro totale per l'elemento di elevazione, anche in corrispondenza delle interruzioni del sistema a graticcio, predisposte a livello opportuno per la vista. In questo modo la scala interna è totalmente riparata in caso di pioggia. La modularità della struttura ha permesso di disporre i sistemi di fissaggio puntuali in maniera ordinata, ovvero in corrispondenza degli elementi orizzontali del sistema a graticcio.

L'edificio preesistente in pietra godeva della presenza di un tetto a doppia falda di cui si è deciso di mantenere la cui forma. Il vetro risulta dunque opportunamente sagomato su questi due lati spioventi.

La funzione del faro panoramico è quella di accogliere i visitatori durante le giornate e funge da lanterna di riferimento per la città di Vis durante la notte, quando l'illuminazione al suo interno dona alla struttura un carattere affascinante e particolare.

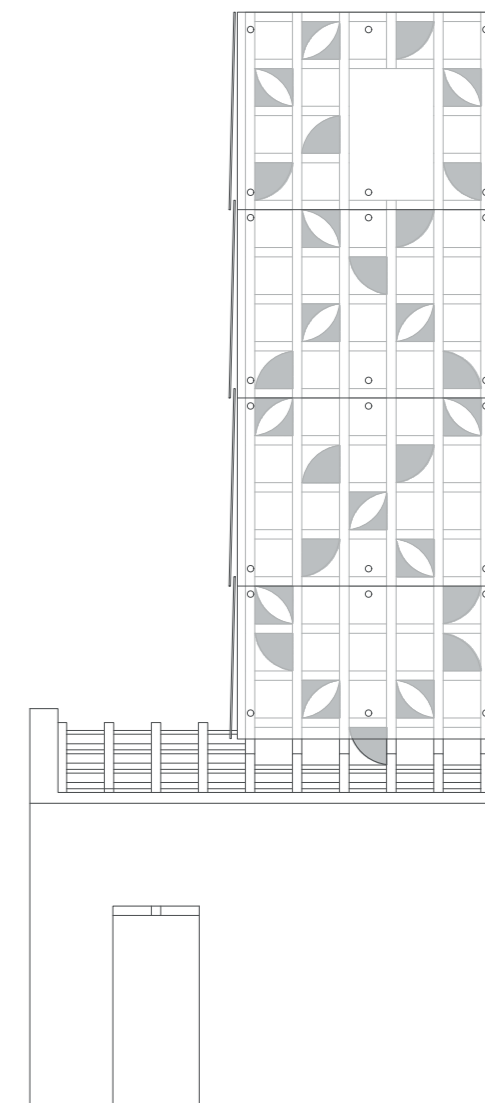


Figura 239\_Prospetto frontale con rivestimento in lastre di vetro

### 6.1.5.2 SISTEMA DI FISSAGGIO DELLE LASTRE VETRATE

Il faro panoramico è stato progettato con una scatola vetrata esterna al fine di proteggere la struttura dagli agenti atmosferici. La lastra di vetro impiegata ha dimensioni 2,10x2,70 m per uno spessore di 1,5 cm. Essa viene fissata alla struttura a graticcio mediante dispositivi di aggancio puntuale rappresentati nella figura sottostante.

In particolar modo si nota come essi non sono elementi "da catalogo" ma, data la natura dell'oggetto esaminato, devono essere leggermente inclinati in modo da favorire il posizionamento delle lastre di vetro di facciata. Ogni lastra vetrata presenta sei fissaggi adeguatamente disposti sul perimetro. Essi presentano due bracci uniti in un perno centrale saldato alla piastra fissata al graticcio.

Questo particolare sistema di aggancio permette alle lastre di vetro di rimanere leggermente sovrapposte e distanziate tra loro in modo tale da permettere l'ingresso dell'aria. Non si verificano dunque ristagni d'aria e la ventilazione è assicurata in tutto l'ambiente panoramico.

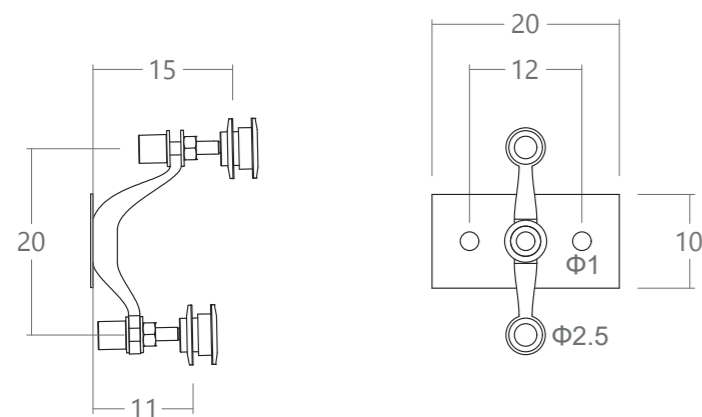


Figura 240\_Tipologia di agganci metallici per la parete vetrata

La differenza di temperatura tra esterno e interno e soprattutto la presenza di un serramento zenitale apribile posta in copertura permette l'attivazione del processo di ricambio d'aria interna.

Le lastre risultano essere leggermente inclinate rispetto il piano di sviluppo della struttura lignea, il problema d'angolo viene dunque risolto ponendo una scossalina metallica lungo tutta la sua altezza per evitare il contatto del legno con l'acqua in caso di pioggia.

Nel dettaglio posto in basso si spiegano le modalità di fissaggio del sistema appena illustrato. La piastra ancorata ai travetti di legno è stata introdotta al fine di rendere più sicuro il fissaggio e distribuire il carico della lastra di vetro su tre punti e non sollecitare la sezione lignea in un'unica connessione.

Le lastre di vetro presentano un foro in corrispondenza di ogni fissaggio in modo tale da lasciar passare il sistema di aggancio. Gli elementi metallici sono in acciaio inossidabile AISI 316 realizzata con il procedimento di microfusione a cera persa, lucidate a spazzola per ottenere una finitura lucida. (finitura satinata su richiesta).

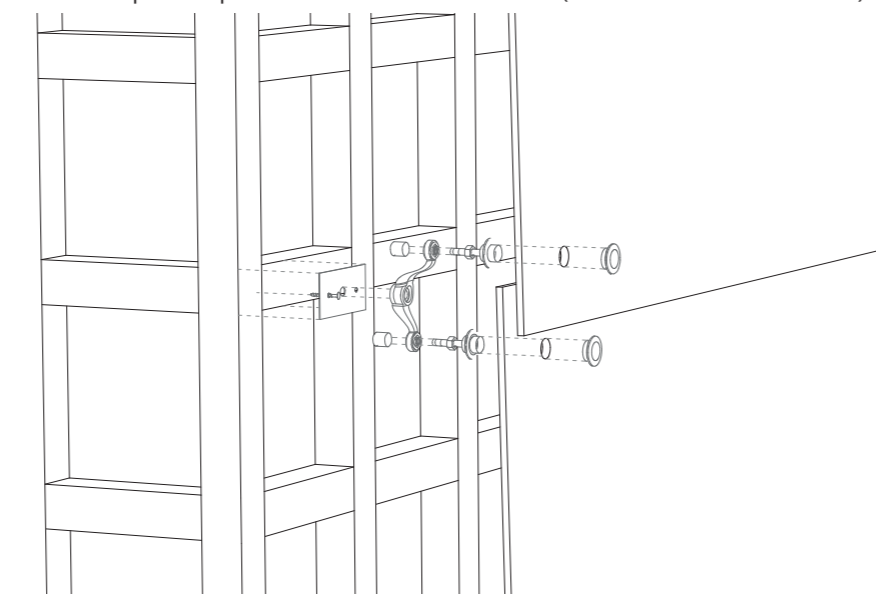


Figura 241\_Esploro esplicativo del sistema di fissaggio

## 6.2 ANALISI STRUTTURALE

Dopo aver descritto dal punto di vista architettonico la struttura a torre, si è condotta un'analisi strutturale per verificare la stabilità dell'elemento di progetto.

Si sono sviluppati due differenti modelli: il primo prevede soltanto la presenza della struttura a graticcio, mentre il secondo ospita all'interno la scala a chiocciola in acciaio e i piani rigidi in corrispondenza dei pianerottoli della stessa.

### 6.2.1 CONDIZIONI AL CONTORNO

Si illustrano ora le condizioni al contorno imposte alla struttura analizzata, specificando dapprima le proprietà dei materiali utilizzati per gli elementi che la compongono.

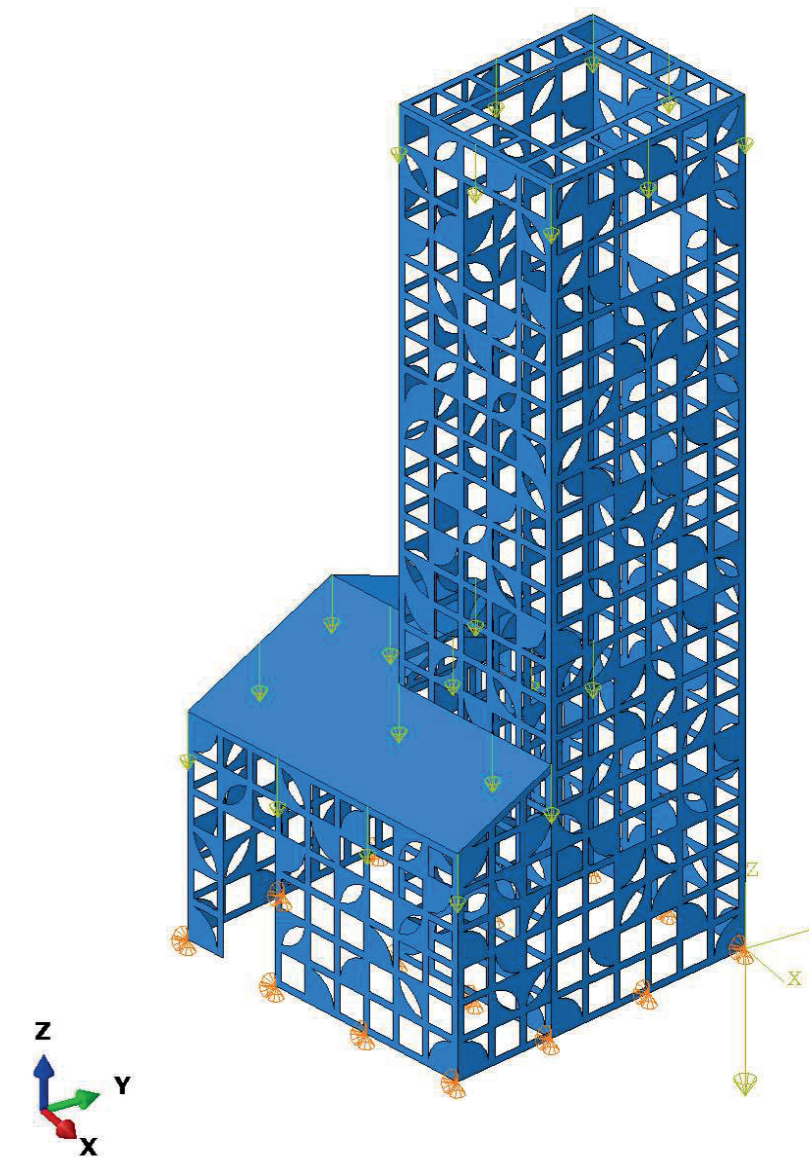
#### ELEMENTI A GRATICCIO

Sono costituiti da legno di larice, caratterizzato da una densità pari a  $550 \text{ kg/m}^3$ , un modulo di elasticità pari a  $14 \text{ GPa}$  e un coefficiente di Poisson pari a  $0,4$ .

#### SCALA E PIANEROTTOLI

Questi elementi sono in acciaio, materiale caratterizzato da una densità pari a  $7500 \text{ kg/m}^3$ , un modulo di elasticità pari a  $220 \text{ GPa}$  e un coefficiente di Poisson pari a  $0,3$ .

Per quanto riguarda i vincoli imposti alla struttura vengono bloccati gli spostamenti nelle tre direzioni, mentre la rotazione è libera. Il volume analizzato è sottoposto principalmente al peso proprio. Tuttavia soltanto sulle coperture dell'edificio (freccie gialle in figura) viene applicato il carico da neve sotto-forma di accelerazione pari a  $8,3 \text{ m/s}^2$ .





### 6.2.2 MODELLO SENZA SCALA

Nelle rappresentazioni seguenti si possono visualizzare i valori di spostamento ottenuti lungo l'asse z. In particolare a sinistra è riportata la configurazione indeformata dei risultati ottenuti, mentre a destra si ha una raffigurazione della deformata qualitativa della torre.

Dai valori risultanti in legenda è facilmente intuibile che l'edificio sostanzialmente non si deforma, in quanto il valore massimo di spostamento è pari a 0,1384 mm.

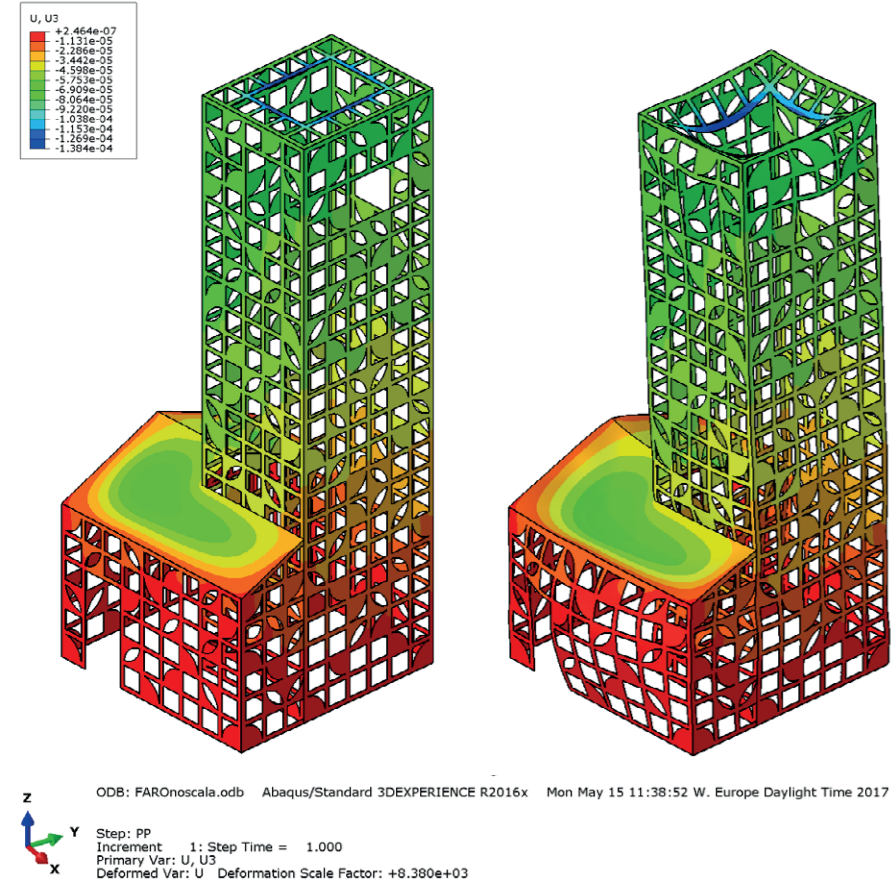


Figura 242\_Spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve

Nelle immagini sottostanti sono rappresentati i valori di sforzo principali agenti sull'edificio a graticcio. Anche in questo caso si riportano due raffigurazioni: a sinistra si visualizza la configurazione indeformata mentre nell'immagine di destra si osserva la deformata qualitativa della struttura.

Gli sforzi massimi registrati si localizzano sia sulla copertura del volume con altezza inferiore, sia sulla chiusura orizzontale della torre, ma risultano essere valori piuttosto limitati in quanto lo sforzo medio è di 9,4 kN.

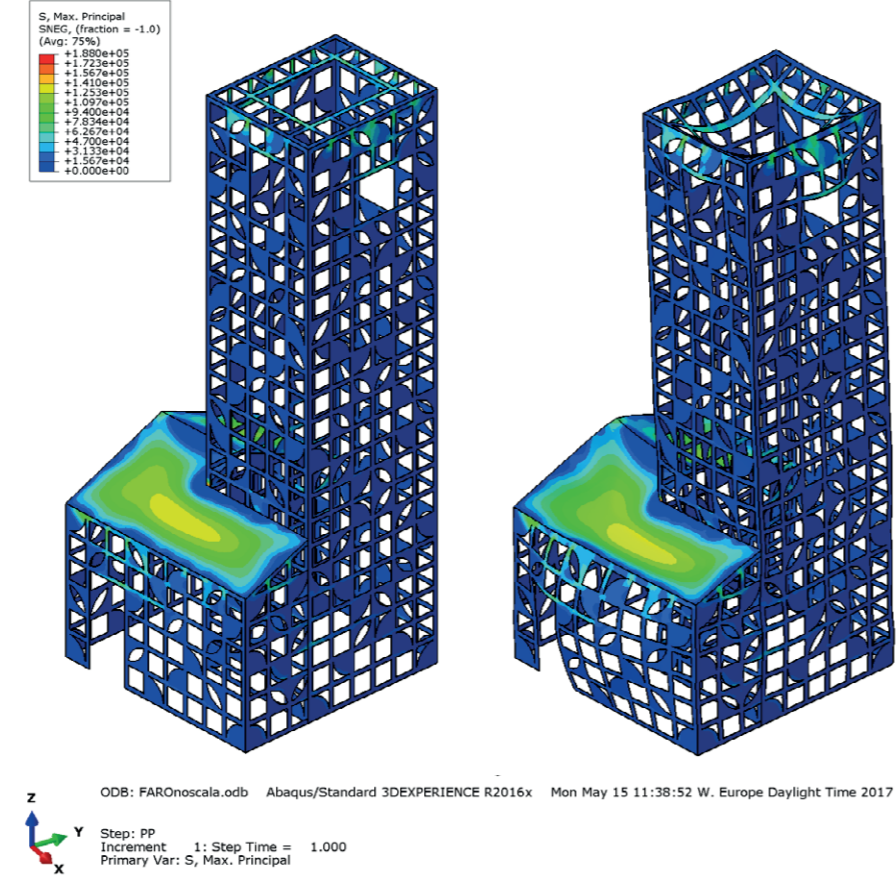


Figura 243\_Sforzi principali sotto il carico di peso proprio e neve

### 6.2.3 MODELLO CON SCALA

Si riportano anche per questo modello i valori di spostamento ottenuti lungo l'asse verticale z. Nell'immagine a sinistra si riporta la configurazione della torre panoramica analizzata. La struttura in legno non subisce deformazioni rilevanti, mentre sulla scala in acciaio essendo questo materiale molto più deformabile si registrano degli spostamenti di valore inferiore a mezzo mm.

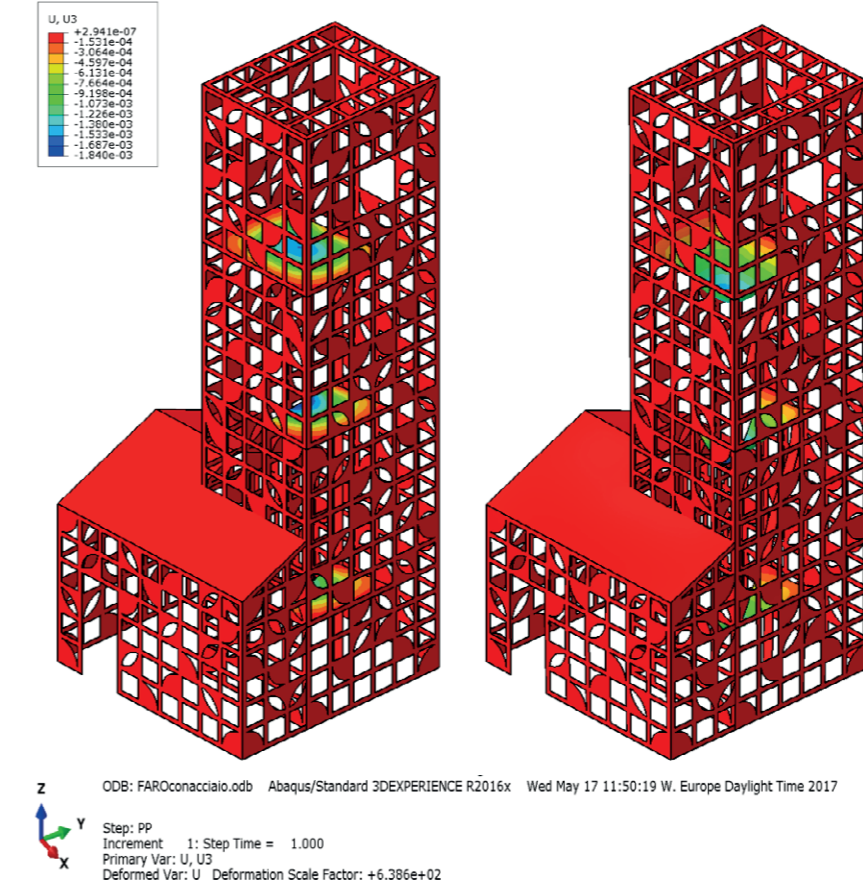


Figura 244\_Spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve

Anche per il modello in cui è presente la scala in acciaio si è condotta l'analisi strutturale per ricavare i valori di sforzo principale agenti sulla struttura. Si visualizza a sinistra la rappresentazione della torre panoramica in configurazione normale, mentre a destra si riporta la deformata qualitativa di essa.

I valori massimi di sforzo si concentrano nei pianerottoli della scala in acciaio, e sono maggiori al centro rispetto che sul perimetro. Sulla restante parte della struttura invece gli sforzi sono nulli.

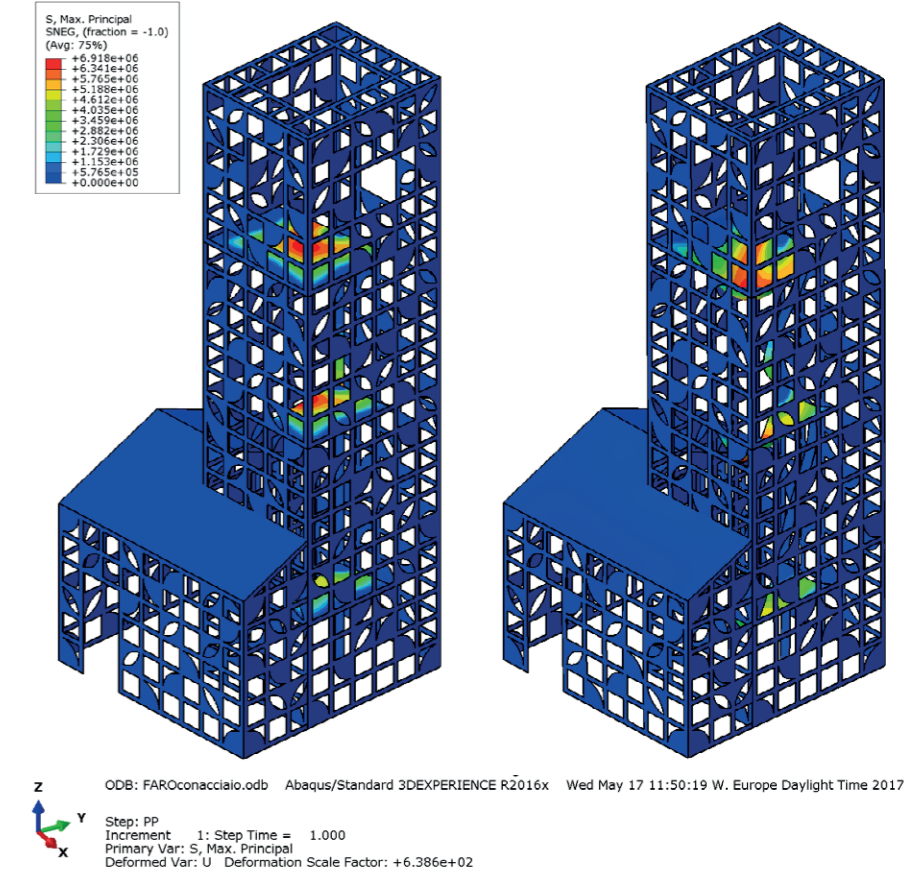


Figura 245\_Sforzi principali sotto il carico di peso proprio e neve

## 6.3 PROTOTIPO

All'interno del progetto, come ampiamente spiegato, sono presenti molti setti a graticcio, alcuni dei quali presentano anche degli irrigidimenti: tutti questi elementi verticali fungono da sostegno per la copertura, insieme ai setti pieni in Cross-Lam. Si è ritenuto opportuno ridurre le dimensioni originali del graticcio di progetto per poter realizzare un esempio che fosse trasportabile, ma che al contempo riportasse una quantità di incastri e di irrigidimenti considerevole, in modo tale da ottenere una maglia che potesse richiamare l'idea iniziale.

Si è concluso quindi che la costruzione del prototipo in scala reale 1:1 non fosse adeguata non solo per le dimensioni, ma soprattutto perché non si sarebbe ricostruito il pattern dato dai cunei di irrigidimento concavi e convessi. Per ottenere un pannello che riproducesse il setto nella sua completezza si sono ridotte le misure anche in accordo con le possibilità di taglio dell'azienda.

È bene specificare che oltre alla costruzione del prototipo si è proceduto in fase preliminare ad approfondire lo studio di esso anche a livello strutturale. Infatti si è eseguita una analisi agli elementi finiti per poter verificare la rigidezza del setto.

### 6.3.1 DIMENSIONI DEL PANNELLO

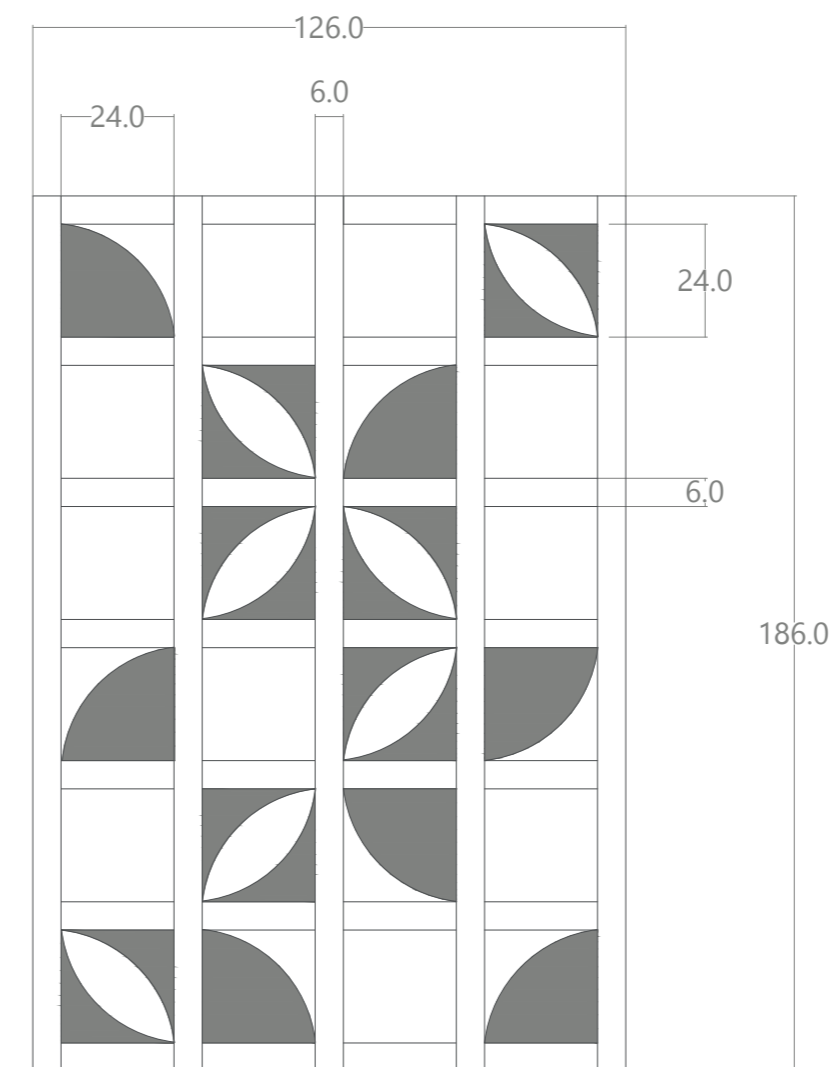
Prima di procedere con la spiegazione delle fasi di costruzione del pannello si riporta a lato un'immagine tridimensionale del prototipo per poter meglio comprendere quali sono i suoi componenti mentre in seguito si riportano le dimensioni a cui far riferimento. Il pannello è composto da elementi verticali e orizzontali costituiti da legno di larice, e presenta degli irrigidimenti in materiale OSB.



Figura 246\_Rappresentazione tridimensionale del pannello da realizzare

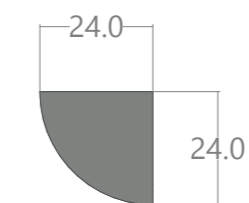
### PROSPETTO

Si riportano nella figura sottostante le dimensioni del pannello da realizzare. Le misure sono espresse in cm.



### IRRIGIDIMENTI

Il pannello è composto da elementi in OSB con forme e dimensioni diverse che vengono illustrate al di sotto. Le misure sono riportate in cm.

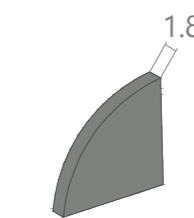


#### ELEMENTI CONVESSI

Dimensioni: 24 x 24 cm

Spessore: 1,8 cm

Numero di elementi: 14

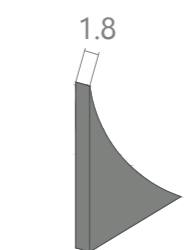
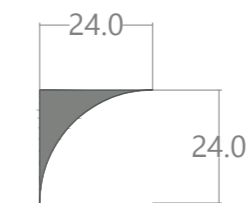


#### ELEMENTI CONCAVI

Dimensioni: 24 x 24 cm

Spessore: 1,8 cm

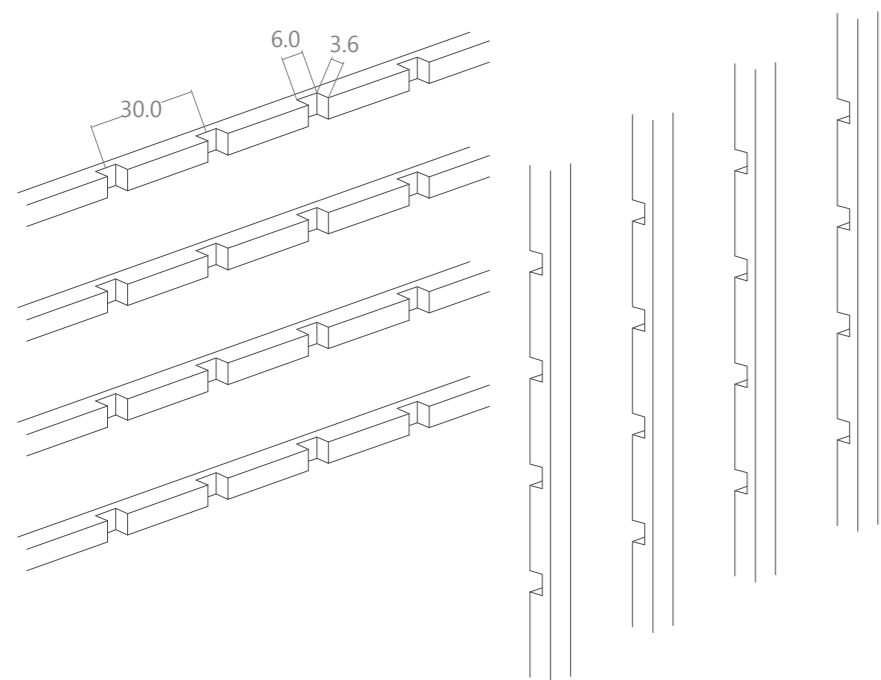
Numero di elementi: 14





## RAPPRESENTAZIONE DEL SISTEMA DI INCASTRO

In seguito si rappresenta il sistema di incastro per l'assemblaggio di travetti orizzontali e verticali.



## CALCOLO DEL PESO TOTALE DEL PROTOTIPO

Di seguito si esegue il calcolo del peso complessivo del prototipo.

## IRRIGIDIMENTI IN OSB

Volume: 0,0145 m<sup>3</sup>

Densità: 550 kg/m<sup>3</sup>

Peso: 7,975kg

PESO TOTALE OSB + LARICE: 50,375 kg

## TRAVETTI IN LEGNO DI LARICE

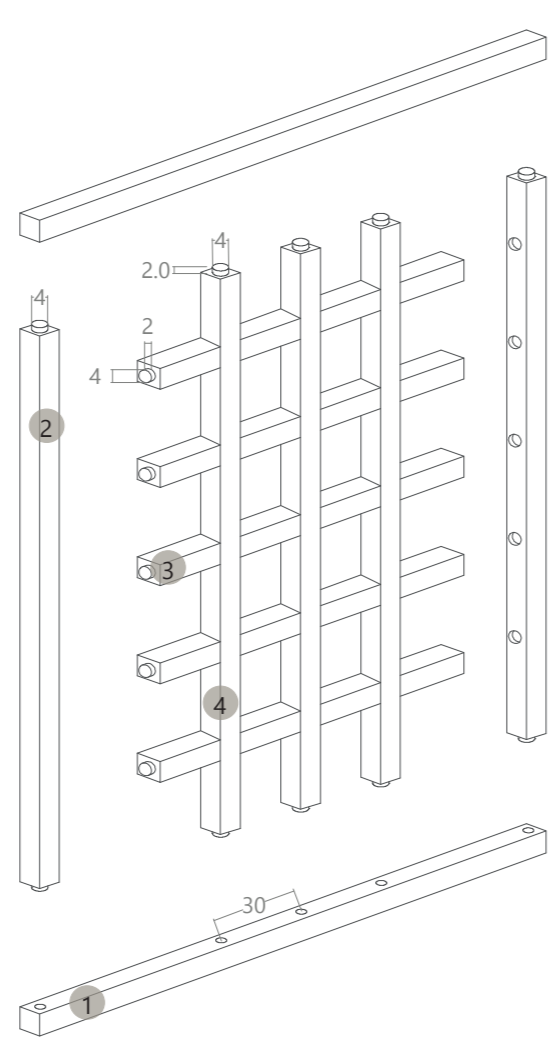
Volume: 0,065 m<sup>3</sup>

Densità: 650 kg/m<sup>3</sup>

Peso: 42,4 kg

## NUMERO DI ELEMENTI PRESENTI NEL PROTOTIPO

Si definiscono ora gli elementi in legno di larice presenti nel prototipo. Si esplicitano sia le forme che le dimensioni che ogni componente dovrà avere.



1 Travi di bordo orizzontali: num. 2

2 Travi di bordo verticali: num. 2

3 Travetti orizzontali: num. 5

4 Travetti verticali: num. 3

## 6.3.2 COSTRUZIONE DEL PANNELLO

Nel paragrafo precedente si sono illustrate le dimensioni dei vari elementi che andranno a comporre il pannello finale.

Il passaggio successivo è stato quello di capire come poter tagliare il materiale necessario per procedere poi con le fasi di montaggio dell'elemento verticale.

Si è visto che il pannello è composto da due principali elementi:

- i travetti verticali ed orizzontali, in legno di larice, che costituiscono la parte strutturale del pannello da realizzare;
- gli elementi concavi e convessi in materiale OSB che hanno l'importante funzione di irrigidire il pannello, fungendo così da controvento.

Trattandosi di materiali differenti, con dimensioni molto diverse, si spiegano ora in modo dettagliato le operazioni svolte per ricavare entrambi i pezzi, per procedere poi con la fase finale di assemblaggio.

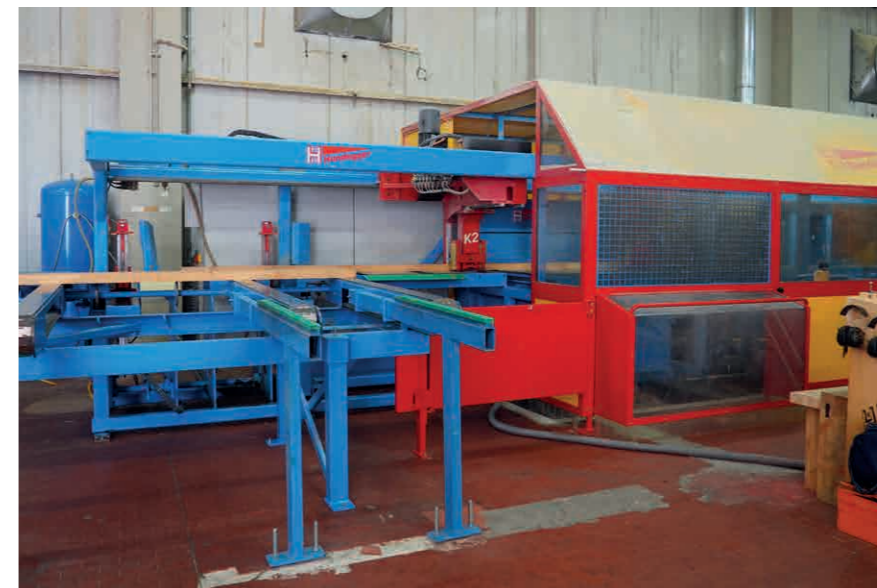


Figura 247\_Macchinario di taglio a controllo numerico

## 6.3.2.1 TRAVETTI IN LEGNO DI LARICE

La griglia portante del pannello è composta da travetti in legno di larice sia verticali che orizzontali. Questi elementi sono stati realizzati grazie al grande supporto fornito dall'azienda Ri-legno di Rovereto che si è occupata dapprima della fornitura del materiale ligneo e in seguito delle operazioni di taglio dei listelli.

In particolare gli Ingegneri Lavinia Sartori e Giulio Franceschini hanno analizzato con cura i disegni tecnici del prototipo e dopo aver verificato le dimensioni ma soprattutto la fattibilità del pannello in legno, si è definita la forma e la geometria finale del prototipo da costruire.

## LE OPERAZIONI DI TAGLIO E DI LEVIGATURA

L'operazione di taglio, è stata condotta a Cavedine, paese in provincia di Trento, presso l'azienda Ferrari Legnami. Il materiale fornito è stato condotto nello stabilimento dove poi si è effettuato anche il taglio stesso degli elementi. Il procedimento è stato reso possibile grazie alla presenza di un macchinario a controllo numerico, utensile dotato di apparecchiature elettroniche informatiche programmabili capaci di automatizzare l'esecuzione e controllare la correttezza di tutte le operazioni richieste. Partendo da un file vettoriale digitale è stata resa possibile quindi la produzione di tutti gli elementi in legno di larice.

Una volta terminata questa fase, i travetti sono stati condotti all'interno di una levigatrice, macchinario indispensabile per rendere liscia la superficie dei listelli per eliminare le eventuali schegge formatesi dal taglio stesso. In seguito si riportano alcune immagini che riprendono le fasi salienti di tutte le operazioni eseguite nel centro di taglio di Cavedine.



Figura 248\_Levigatrice



### TRATTAMENTI DEL MATERIALE LIGNEO

Terminate le operazioni di taglio, gli elementi in legno di larice sono stati sottoposti a un processo di protezione e finitura. Si è infatti ritenuto doveroso proteggere il materiale prima che questo venisse assemblato. Le fasi che hanno seguito il taglio sono le seguenti: impregnazione e finitura.

**IMPREGNAZIONE:** tutti gli elementi in legno di larice sono stati coinvolti nel trattamento di impregnazione a pennello, eseguita in due mani. In particolare l'impregnante consente una protezione indispensabile prima che il pannello sia esposto in ambiente esterno ma ancora difende il materiale da muffe ed insetti, lo rende più impermeabile all'acqua e lo protegge maggiormente dal sole. L'impregnazione poi è utile anche poiché riduce la porosità del legno, conferendo ad esso una superficie omogenea per la successiva finitura.

**FINITURA:** per mantenere vive le venature naturali del materiale si è pensato di tinteggiarlo con una vernice ad acqua trasparente che potesse proteggerlo senza togliere l'effetto naturale del legno.



Figura 249\_Impregnazione e finitura dei travetti in legno di larice

### 6.3.2.2 IRRIGIDIMENTI IN OSB

Gli elementi in OSB utilizzati per creare degli irrigidimenti del prototipo sono stati realizzati autonomamente. Dopo aver fatto tagliare il materiale di spessore 18 mm presso OBI S.r.l in dimensioni pari a 24x24 cm, si è proceduto a ricavare le forme concave e convesse che costituiscono i controventi di progetto.

#### LE OPERAZIONI DI TAGLIO E DI LEVIGATURA

L'operazione di taglio, è stata condotta mediante un seghetto elettrico per legno, dopo aver riportato sull'elemento la forma precisa da tagliare. Per ottenere geometrie più precise, da ogni pannello OSB si è conservata solamente o la parte concava o la parte convessa.

Ricavati gli irrigidimenti, le forme sono state perfezionate utilizzando due tipi di smerigliatrici la prima con la funzione di rendere la curva dello spicchio circolare il più armoniosa possibile, mentre la seconda per eliminare completamente le schegge formatesi su tutte le superfici del pannello, in modo tale che la seguente tinteggiatura del materiale risultasse il più omogenea possibile.



Figura 250\_Taglio e levigatura dei pannelli OSB

### TRATTAMENTI DEL MATERIALE OSB

I pannelli OSB dopo essere stati levigati sono stati sottoposti direttamente al processo di verniciatura. Gli irrigidimenti previsti nel progetto hanno tre colorazioni differenti, ossia il bianco, l'azzurro pastello ed infine il blu. Queste cromie rievocano molto i colori del luogo e richiamano i rivestimenti degli edifici disposti al di sotto della grande copertura in Cross-Lam.

Per la tinteggiatura si è scelto uno smalto per due differenti motivazioni: dapprima per nascondere il più possibile la superficie disarmonica dell'OSB e in secondo luogo per avere una pittura coprente ed opaca che fosse esteticamente piacevole. Per un aspetto invece puramente ecologico si è preferito uno smalto a base d'acqua piuttosto che a base di solvente. Con la finitura scelta non è stato necessario utilizzare l'impregnante. Per ognuna delle tonalità scelte si è dovuto pennellare le superfici dei pannelli più volte ed in particolare per la tinteggiatura bianca ed azzurra sono state sufficienti due mani di colorazione, mentre per quella blu è stato essenziale stendere tre mani per ottenere un effetto coprente ed omogeneo.



Figura 253\_Tinteggiatura dei pannelli OSB

#### PANNELLI OSB BIANCHI

Elementi concavi: 6                      Elementi convessi: 6                      Totale: 12

#### PANNELLI OSB AZZURRI

Elementi concavi: 6                      Elementi convessi: 4                      Totale: 10

#### PANNELLI OSB BLU

Elementi concavi: 2                      Elementi convessi: 4                      Totale: 6

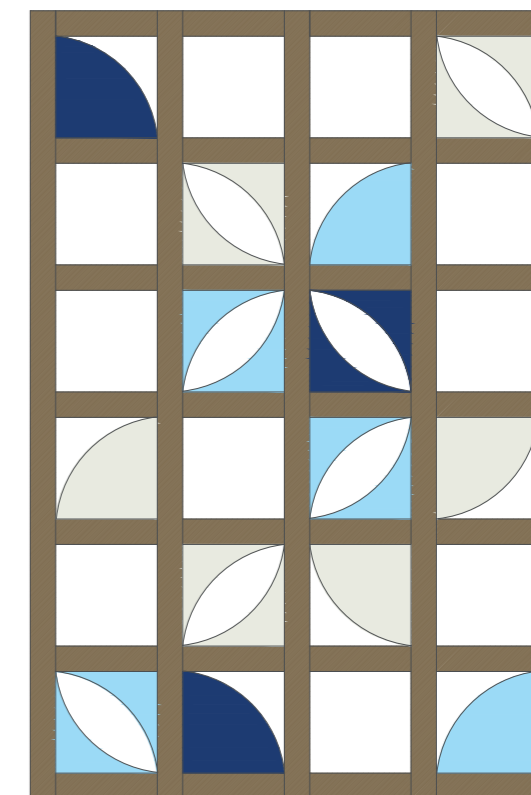


Figura 252\_Disposizione degli elementi colorati nel graticcio





### 6.3.3 ASSEMBLAGGIO DEL PANNELLO GRATICCIATO

La fase più delicata per la realizzazione del prototipo è stata quella finale di assemblaggio dei pezzi, per poter ottenere il pannello graticciato così come pensato in fase progettuale. Le operazioni da svolgere sono state le seguenti:

1. Il fissaggio degli elementi di irrigidimento, concavi e convessi, ai travetti orizzontali in legno di larice;
2. L'operazione di incastro dei vari elementi componenti la maglia per ottenere il risultato finale di un pannello a graticcio.

La soluzione trovata per poter eseguire nel modo più preciso possibile il lavoro, è stata quella di svolgere contemporaneamente le operazioni di avvitamento degli irrigidimenti e incastro dei travetti: si è determinata una sequenza di montaggio precisa per poter eseguire tutte le fasi in modo ordinato. Per le operazioni si è pensato di fissare dapprima il maggior numero di irrigidimenti sui travetti orizzontali, in modo tale da favorire l'operazione di avvitamento: infatti questi elementi in larice, essendo i più corti sono anche i più facili da maneggiare, a causa del loro peso limitato, di circa 2,5 kg hanno reso più rapide e semplici le fasi di fissaggio. In un secondo momento si è dovuto incastrare alcuni elementi verticali agli altri travetti, per poter ultimare l'avvitamento dei pannelli in OSB. Gli unici elementi incastrati solo in fase finale sono stati le travi ed i pilastri di bordo. È bene specificare che per avere una migliore tenuta degli elementi in OSB e per far sì che essi lavorassero come controvento nei confronti delle forze orizzontali, il loro avvitamento è stato eseguito su entrambi i lati di appoggio agli elementi in larice, posizionando la vite sulla mezzaria del pezzo in legno a strati orientati. Dapprima è stato effettuato un preforo sia sul travetto che sull'OSB mediante un trapano per legno, mentre, in un secondo passaggio, tramite l'avvitatore elettrico sono state inserite le viti da legno. Si sono utilizzati due tipi di viti da legno, di lunghezza differente, a causa della geometria diversa dei pezzi da attaccare. Gli elementi convessi hanno richiesto l'uso di una vite per legno di lunghezza pari a 100 mm, mentre quelli concavi, non necessitando di viti così lunghe sono stati fissati con viti di lunghezza pari a 80 mm. La fase di assemblaggio finale ha previsto l'incastro delle travi e dei pilastri di bordo al resto del pannello montato. In questo modo si sono avvitati gli ultimi elementi in OSB che presentavano ancora un solo fissaggio.



Figura 254\_Prototipo ultimato







CAPITOLO 7

STRATEGIE TECNOLOGICHE

7.1 Schematic Design.....	255
7.2 Stratigrafie.....	258
7.2.1 Parametri Analizzati.....	258
7.2.1.1 Apparato Normativo.....	258
7.2.1.2 Trasmittanza Termica.....	258
7.2.1.3 Trasmittanza Termica Periodica.....	259
7.2.1.4 Condensa Superficiale ed Interstiziale.....	260
7.2.1.5 Software Di Riferimento.....	260
7.2.2 Stratigrafie: Elementi Opachi.....	261
7.2.2.1 Pavimentazione Esterna.....	261
7.2.2.2 Chiusura Orizzontale: Solaio Controtterra.....	262
7.2.2.3 Chiusura Orizzontale C.O. 02: Copertura Verde.....	265
7.2.2.4 Chiusura Verticale C.V. 01: Parete Perimetrale.....	268
7.2.2.5 Partizione Verticale: Parete Divisoria Isolata.....	271
7.2.3 Sezione Tecnologica.....	274
7.3 Progetto Impiantistico.....	282
7.3.1 Il Fabbisogno Termico.....	282
7.3.1.1 Comportamento Invernale.....	282
7.3.1.2 Comportamento Estivo.....	284
7.3.2 La Filosofia Impiantistica.....	288
7.3.3 Impianto di Aerazione.....	289
7.3.3.1 Calcolo Portate d’Aria e Fabbisogno Residuo.....	289
7.3.3.2 Dimensionamento dell’Impianto della U.T.A.....	290
7.3.3.3 La Scelta dei Componenti.....	296
7.3.4 Impianto di Riscaldamento e Raffreddamento.....	298
7.3.4.1 Dimensionamento Impianto.....	299
7.3.5 Impianto Fotovoltaico.....	300
7.3.6 Deflusso delle Acque Meteoriche.....	301
7.3.6.1 Dimensionamento.....	302

# 7.1

## SCHEMATIC DESIGN

Le strategie energetiche e le scelte tecnologico-costruttive fanno riferimento sia alla conformazione interna degli edifici, sia al rapporto con il contesto paesaggistico.

### SISTEMA COSTRUTTIVO S/R

Il sistema costruttivo a secco (struttura/rivestimento) consente l’accelerazione dei processi di costruzione, il raggiungimento di un elevato livello di isolamento termico, l’attenuazione e lo sfasamento dell’onda termica, spessori limitati per gli elementi tecnici, oltre che la leggerezza del sistema. La struttura portante è stata progettata in materiale Cross-Lam, particolarmente adeguato per una metodologia di costruzione che non prevede tempi di attesa per quanto riguarda la maturazione.

### STRATIGRAFIE TECNOLOGICHE

La tecnologia costruttiva impiegata nel progetto è Cross-Lam, a cui si abbina l’utilizzo di isolante termico prestazionale al fine di ottenere un ottimo comportamento dal punto di vista energetico dell’edificio. L’isolante impiegato è un pannello naturale composto da granulato di sughero compresso, inodore, inattaccabile dagli insetti e dai roditori, imputrescibile, che mantiene inalterate nel tempo le sue caratteristiche. La trasmittanza termica delle chiusure verticali è di 0,232 W/m²K.

### COPERTURA FILTRANTE

Il progetto è attraversato in senso orizzontale da una strada carrabile. Al fine di non recare danno ai conducenti a causa di eccessiva differenza di illuminazione si è introdotto un telo filtrante che potesse schermare i raggi solari ma allo stesso tempo permettere il passaggio della luce al di sotto di essa.

### SISTEMI IMPIANTISTICI

Per quanto riguarda il sistema di riscaldamento e raffrescamento degli ambienti interni si è utilizzata una modalità radiante a soffitto al fine di fornire alle zone un calore uniforme e garantire il benessere degli utenti. Per sfruttare le risorse rinnovabili, in conformità alla normativa vigente, sono stati introdotti in copertura pannelli fotovoltaici per ricavare guadagno dagli apporti solari. Data la grande superficie disponibile di essa è stato predisposto all’interno del progetto un sistema di raccolta delle acque piovane mediante una cisterna.

### SCHERMATURA NATURALE MEDIANTE VEGETAZIONE

Si è riscontrata la necessità di schermare i patii introdotti nel progetto. Queste aperture infatti, durante i mesi estivi fanno registrare una concentrazione di calore elevata sulla pavimentazione. Al fine di schermare i raggi solari è stato introdotto un sistema vegetativo a foglia caduca in modo tale da poter godere dell’ombreggiamento nel periodo estivo e permettere il passaggio dei raggi solari nel periodo invernale. La presenza di queste piante permette la mitigazione del microclima in corrispondenza degli edifici.

### LA COPERTURA VERDE

Si è progettata una copertura con uno strato vegetale in quota per molteplici funzioni, oltre che per un fattore di mimetismo con l’ambiente circostante. Essa funge da isolamento naturale verso gli ambienti interni: durante la stagione estiva è un filtro per i raggi solari, evitando un eccessivo surriscaldamento della copertura, durante quella invernale si comporta da isolante termico permettendo la mitigazione verso le dispersioni di calore dagli ambienti interni. Il tipo di vegetazione scelto è il Sedum, specie di pianta che necessita di poco terriccio e non di eccessiva manutenzione.

### TIPOLOGIA DI VETRO IMPIEGATA

Gli elementi vetrati del progetto sono stati studiati accuratamente al fine di migliorare le prestazioni energetiche degli edifici. In particolar modo sono stati impiegati tripli vetri che prevedono l’introduzione di Krypton interposto. Questo è molto utile perché contribuisce a migliorare il valore di trasmittanza termica dell’elemento trasparente. Il Krypton prevede un fattore di conduttività pari a  $\lambda=0,00949$  W/mK portando la trasmittanza del vetro a 0,68 W/m²K. I vetri impiegati hanno un fattore di trasmissione luminosa pari al 47%.



STAGIONE INVERNALE

21 Dicembre  
ore 12:00

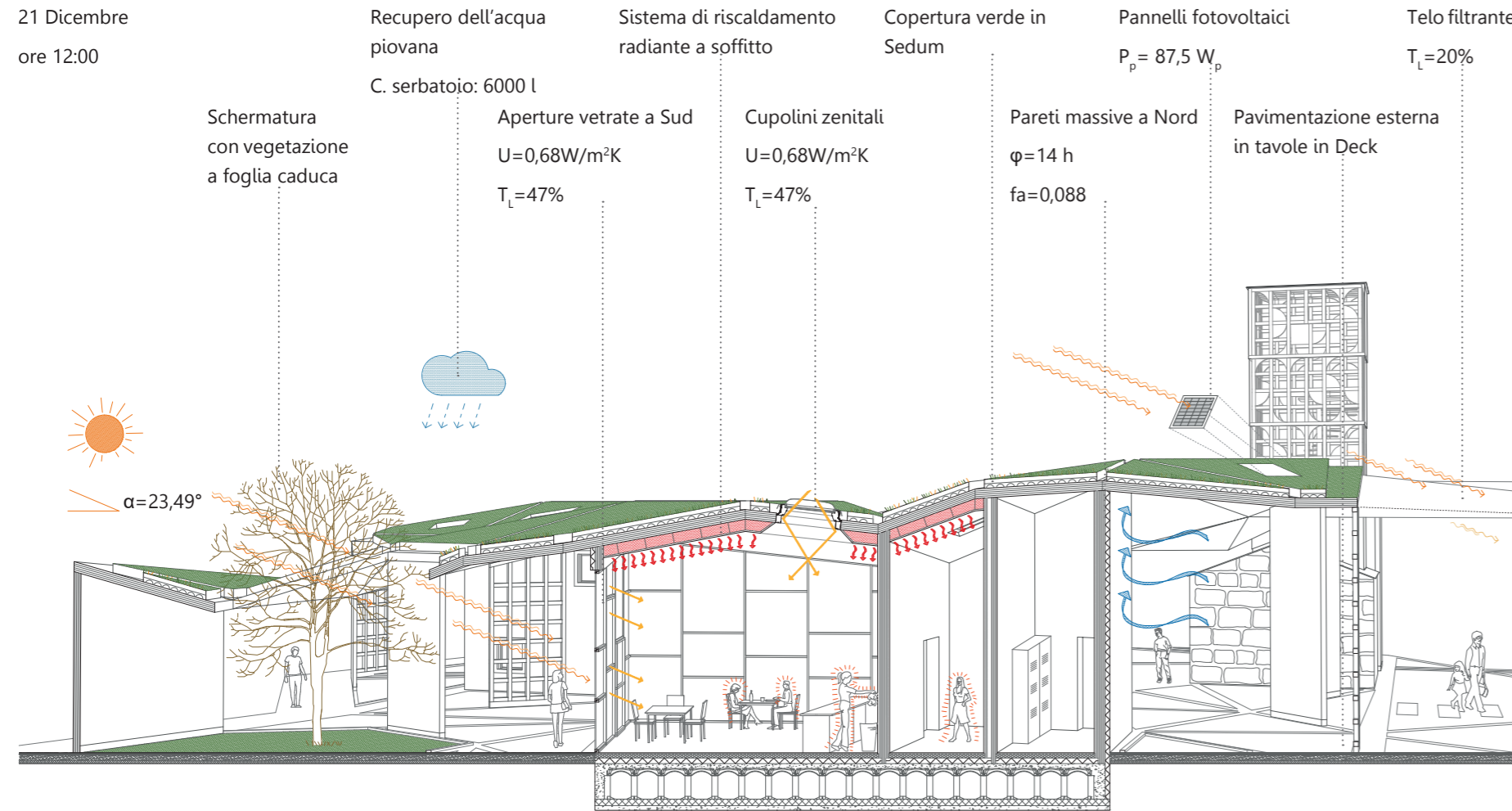


Figura 255\_Schematic design riferito alla stagione invernale

STAGIONE ESTIVA

21 Giugno  
ore 12:00

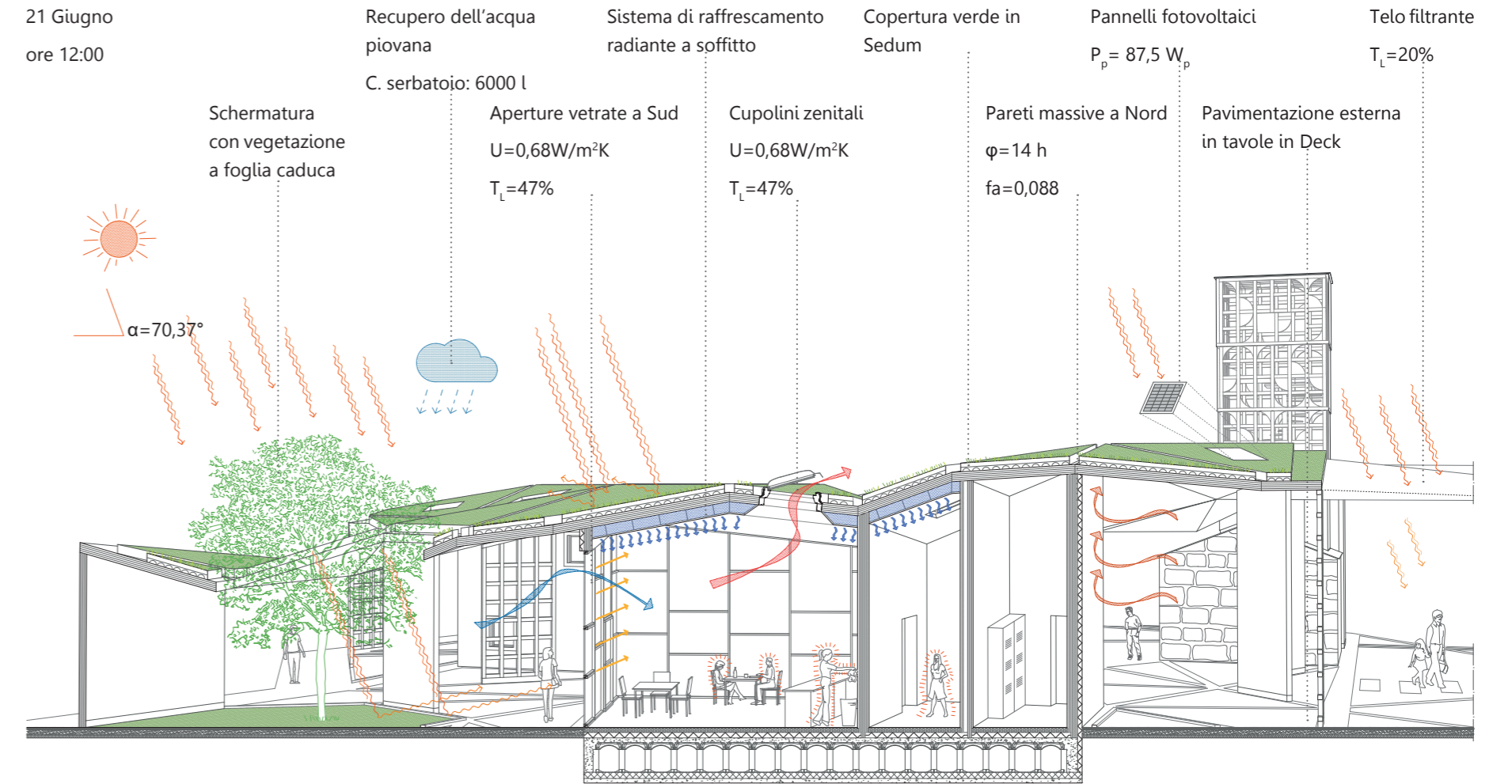


Figura 256\_Schematic design riferito alla stagione estiva

# 7.2

## STRATIGRAFIE

### 7.2.1 PARAMETRI ANALIZZATI

Le stratigrafie di involucro sono state pensate al fine di rendere il progetto più performante possibile: infatti la progettazione di un edificio in generale prevede il raggiungimento del comfort degli utenti e soprattutto il funzionamento di tutte le parti di cui è composto. Di conseguenza, dopo aver definito quali sono gli elementi tecnologici che compongono l'edificio si passerà a verificarli facendo riferimento alle normative vigenti.

La problematica alla quale si va incontro è però relativa al fatto che non è presente una normativa riferita alla località di progetto, motivo per il quale si è deciso di utilizzare le normative UNI italiane. In particolare si sono utilizzate le norme UNI EN ISO: in queste è riportata la modalità di calcolo a cui far riferimento per la definizione delle proprietà dei pacchetti considerati e sono contenuti anche i valori limite da rispettare.

Le stratigrafie analizzate consistono in tre chiusure, di cui due orizzontali ed una verticale e in una partizione verticale a separazione tra ambienti interni. Inoltre si è pensato ad un pacchetto tecnologico per la pavimentazione esterna.

Le prime scelte riguardanti la tipologia di pacchetti da utilizzare sono state prese in riferimento all'effetto architettonico che si voleva ottenere: tuttavia partendo da questa motivazione si è deciso di implementare le prestazioni energetiche dei vari elementi di chiusura, senza però variare l'aspetto di carattere estetico che si desidera mantenere nel progetto.

### 7.2.1.1 APPARATO NORMATIVO

Si presenta ora in modo più approfondito il contenuto delle normative di riferimento utilizzate per lo studio dei pacchetti tecnologici.

- UNI EN ISO 6946:2008: Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodo di calcolo;
- UNI EN ISO 13786: Prestazione termica dei componenti per edilizia - Caratteristiche termiche dinamiche;
- UNI EN ISO 13788: Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale.

### 7.2.1.2 TRASMITTANZA TERMICA

Uno dei parametri fondamentali per descrivere il comportamento degli elementi edilizi, in risposta alla dispersione del calore, è la trasmittanza termica U, misurata in W/m²K. Il parametro di trasmittanza è un valore che fa riferimento a un calcolo effettuato in regime stazionario, dove si prendono in considerazione i dati medi di temperatura interna ed esterna. La norma di riferimento per il calcolo della trasmittanza termica è la UNI EN ISO 6946:2008: minore è il valore riferito al pacchetto di involucro e minore sarà il flusso di calore passante attraverso all'elemento considerato. Parlando di elemento di involucro si richiamano sia le parti opache che compongono gli edifici di progetto, sia la parte del serramento ed infine anche le parti vetrate. La formula per calcolare la trasmittanza è la seguente:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{s_n}{\lambda_n} + R_n + R_a + R_{se}}$$

Dove:

- Rsi: resistenza laminare della superficie interna della struttura [m²K/W];
- Rn: resistenza termica di strati di materiale non omogeneo [m²K/W];
- Rse: resistenza termica di eventuali intercapedini [m²K/W];
- λ: conduttività termica dei materiali [W/mK];
- s: spessore dello strato i-esimo della parete [m].

### 7.2.1.3 TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

Nel caso di progetto esaminato non ci si è limitati al calcolo del valore di trasmittanza, ma si è ritenuto utile prendere in considerazione anche il valore di trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ .

La differenza rispetto alla trasmittanza termica sta nel fatto che quella periodica è calcolata in regime dinamico: in questo caso è possibile comprendere come l'elemento tecnologico si comporti nei confronti del flusso termico in un certo lasso di tempo.

La trasmittanza termica periodica è definita dalla normativa UNI EN ISO 13786 ed è un parametro che esprime la capacità di un componente edilizio di attenuare e sfasare nel tempo il flusso termico, proveniente dall'esterno, da cui è investito nell'arco della giornata.

È una delle proprietà termiche dinamiche che caratterizza inoltre la capacità termica dell'involucro edilizio e ricopre un ruolo importante anche sul comfort interno e sui consumi energetici. Il calcolo della trasmittanza termica periodica si effettua con la formula seguente

$$Y_{ie} = U \cdot fa$$

Dove:

- U: trasmittanza termica [W/m²K];
- fa: fattore di attenuazione riferito ad una sollecitazione armonica con periodo pari a 24 ore [adm].

La normativa italiana riporta dei valori limite che il progettista è tenuto a rispettare al fine di limitare i fabbisogni energetici per il raffrescamento durante la stagione estiva e per contenere le temperature interne degli ambienti in range che garantiscano il benessere degli utenti.

In particolare, in zone climatiche dove il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, sia maggiore o uguale a 290 W/m², si devono valutare due particolari situazioni.

1. Relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante Nord-Ovest/Nord/Nord-Est, almeno una delle seguenti verifiche:

- Che il valore della massa superficiale  $M_s$ , di cui al comma 22 dell'Allegato A, sia superiore a 230 kg/m²;
- Che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{ie}$ , di cui al comma 4, dell'articolo 2, sia inferiore a 0,12 W/m²K.

2. Relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate che il valore del modulo della trasmittanza periodica  $Y_{ie}$  sia inferiore a 0,20 W/m²K.

Per tutte le stratigrafie analizzate, facenti parte del progetto architettonico si è poi deciso di mettere in evidenza il valore del fattore di attenuazione "fa" e quello di sfasamento termico "φ". In riferimento a questi parametri la norma tecnica UNI EN ISO 13786 riporta la definizione di essi:

FATTORE DI ATTENUAZIONE (fa): è il rapporto tra modulo della trasmittanza termica dinamica e trasmittanza termica in condizioni stazionarie.

SFASAMENTO (φ): è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.

Sulla base dei valori assunti viene definita una classificazione, valida per tutte le destinazioni d'uso. Questa è riportata nella tabella sottostante. Maggiore è il valore di sfasamento, e migliore sarà la prestazione della stratigrafia considerata in termini di trasmittanza termica periodica. Al contrario per avere ottimi risultati il fattore di attenuazione deve essere basso.

Sfasamento [h]	Fattore di attenuazione [adm]	Prestazioni	Qualità prestazionale
$\varphi > 12$	$fa < 0,15$	Ottime	I
$12 \geq \varphi > 10$	$0,15 \leq fa < 0,30$	Buone	II
$10 \geq \varphi > 8$	$0,30 \leq fa < 0,40$	Medie	III
$8 \geq \varphi > 6$	$0,40 \leq fa < 0,60$	Sufficienti	IV
$6 \geq \varphi$	$0,60 \leq fa$	Mediocri	V

Figura 257\_Tabella di qualità prestazionale presa da normativa



### 7.2.1.4 CONDENZA SUPERFICIALE ED INTERSTIZIALE

Il sito di progetto è un luogo particolare in quanto si tratta di una penisola sul mare. Per questo motivo l'umidità è un parametro fondamentale da considerare in quanto si potrebbero verificare dei fenomeni di condensa del vapore acqueo sia all'interno del pacchetto tecnologico, sia all'interno dell'edificio. In particolare si analizzeranno due tipologie di condensa: quella superficiale e quella interstiziale.

La condensa consiste in un fenomeno naturale che avviene a causa dell'evaporazione dell'acqua presente nell'aria. Quando si verifica un innalzamento della temperatura, l'aria assorbe il vapore acqueo fino al punto di saturazione, aumentando via via il suo volume: quando però si registra una diminuzione di temperatura, l'aria espelle il vapore che, a contatto con una superficie più fredda, si condensa, passando così allo stato liquido.

#### CONDENZA SUPERFICIALE

Si parla di condensa superficiale quando questa interessa la superficie interna delle pareti, a causa del raggiungimento di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna, che creano in prossimità dei muri, la comparsa di condensa.

#### CONDENZA INTERSTIZIALE

Si parla di condensa interstiziale quando, all'interno della parete, si creano delle condizioni di temperatura e pressione tali da raggiungere le condizioni di rugiada.

### 7.2.1.5 SOFTWARE DI RIFERIMENTO

Dopo aver elencato quali sono i vari parametri che si prendono in considerazione per lo studio delle tecnologie, è bene capire come si sono ricavati i grafici che si mostreranno in seguito. Sono stati utilizzati dei programmi di nome J vap e JTempEst forniti dall'azienda CELENIT, appositi per il calcolo della condensa e dei parametri di sfasamento termico e di attenuazione. In particolare J vap si occupa del calcolo dei fenomeni di condensazione superficiale e interstiziale, mentre JTempEst è utile per il calcolo dello sfasamento e dell'attenuazione dell'onda termica.

Ognuno di questi programmi fornisce dei risultati sia in forma grafica che in forma di dati che possono quindi essere analizzati per poter trarre delle conclusioni sulle performance dei pacchetti studiati.

Si spiega ora brevemente il funzionamento dei due programmi utilizzati.

Per entrambi il primo passo consiste nel definire il pacchetto tecnologico come composizione di differenti strati. I programmi contengono delle librerie preimpostate che possono essere utilizzate dagli utenti: nel caso in esame tuttavia, per la maggior parte degli strati è stato necessario creare dei nuovi materiali all'interno della libreria, in modo tale da formare delle stratigrafie il più possibile simili a quelle reali analizzate. Il programma, una volta inserito il tipo di materiale, permette di scegliere lo spessore di ognuno di essi per poi rappresentare il pacchetto tecnologico in modo schematico.

#### J VAP

Nel programma J vap qualora si vogliono inserire dei nuovi materiali, sono richiesti i parametri di conduttività termica e di resistenza al vapore acqueo. Creando una nuova struttura si deve individuare il tipo di pacchetto da analizzare potendo scegliere tra parete, copertura o solaio. In seguito è opportuno inserire la località in cui si intende valutare i parametri: non potendo scegliere la località di Vis, si è utilizzata quella di Ancona, poiché ha simili caratteristiche di temperatura e umidità esterna.

I calcoli vengono eseguiti sulla base delle condizioni standard del Decreto Legislativo n° 311 e le condizioni iniziali di riferimento sono le seguenti:

- Temperatura interna: 20°C;
- Umidità relativa interna: 65%.

#### J TEMP EST

Nel programma JTempEst qualora si vogliono inserire dei nuovi materiali, sono richiesti i parametri di densità e calore specifico di ognuno di essi. Anche in questo caso, creando una nuova struttura si deve individuare il tipo di stratigrafia da analizzare potendo scegliere tra parete, copertura o solaio.

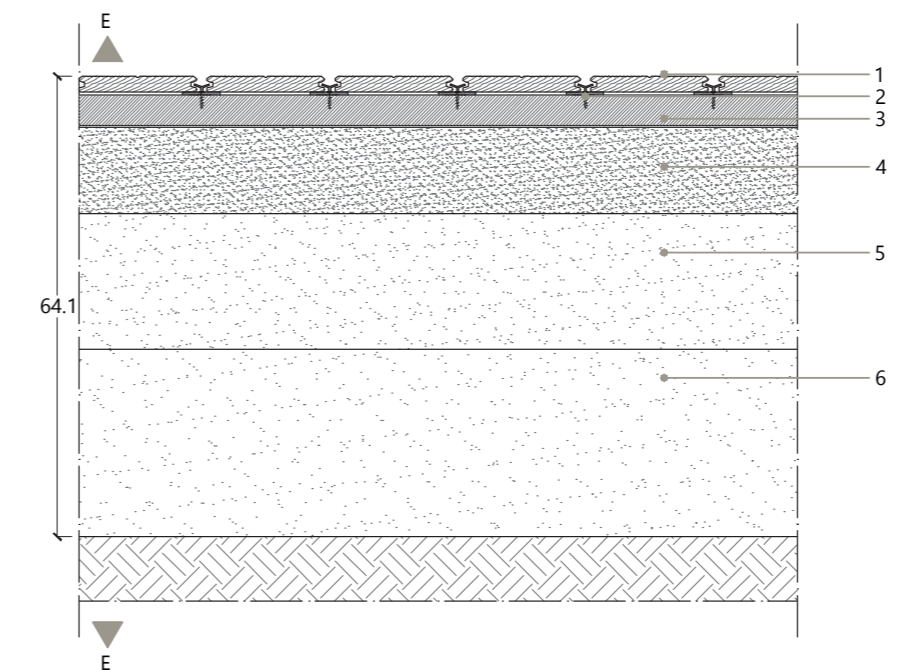
In seguito è richiesto di assegnare un colore alla superficie esterna, scegliendo semplicemente tra chiaro, medio e scuro.

Come ultima cosa viene richiesto di inserire il tipo di orientamento della struttura, scegliendo l'esposizione all'interno di un quadrante. Fatto ciò è possibile procedere con le varie analisi.

## 7.2.2 STRATIGRAFIE: ELEMENTI OPACHI

Si riportano ora tutti i pacchetti tecnologici utilizzati all'interno del progetto. Per ognuno di essi, con eccezione della pavimentazione esterna, si riportano i parametri termofisici, con rispettivi grafici.

### 7.2.2.1 PAVIMENTAZIONE ESTERNA



### DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

Questo pacchetto tecnologico è rappresentativo del tipo di pavimentazione che si è scelto di porre all'esterno degli edifici. Il progetto, infatti, si pone da subito l'obiettivo di studiare in modo dettagliato non solo gli ambienti interni, ma anche lo spazio calpestabile al di sotto della copertura.

Si è pensato di utilizzare un tipo di pavimentazione che fosse adatta per essere installata in piazze esterne ma che allo stesso tempo desse un effetto omogeneo a livello estetico per non perdere la caratteristica vera e propria del rivestimento esterno data dal disegno della pavimentazione che richiama i triangoli presenti in copertura.

Per la scelta del materiale si è preso in considerazione il fatto che la pavimentazione dovesse essere facilmente rimovibile se necessario. Per questa ragione la soluzione per cui si è optato è un rivestimento in Deck, ossia un sistema di pavimentazione costituito da un modulo completo di tavole di legno composito dal design raffinato, tenute insieme da accessori con alta valenza qualitativa funzionale ed estetica.

Il vantaggio è inoltre legato al fatto che la modalità di installazione e fissaggio è semplice grazie ad un sistema di clips in acciaio invisibili. Inoltre il modulo in Deck viene tagliato a misura e forato con la tradizionale attrezzatura utilizzata per il legno.

### COMPOSIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

1. Strato di rivestimento esterno in deck di legno in due tonalità differenti del colore tortora, fissato con clip metalliche di spessore pari a 22 mm;
2. Fissaggio del rivestimento esterno mediante clip metalliche;
3. Strato di livellamento in OSB di spessore pari a 4,2 cm;
4. Strato drenante composto da aggregati a fine granulometria di spessore pari a 12 cm;
5. Strato drenante composto da aggregati a media granulometria di spessore pari a 19 cm;
6. Strato drenante composto da aggregati a media granulometria di spessore pari a 26 cm.

### 7.2.2.2 CHIUSURA ORIZZONTALE: SOLAIO CONTROTERRA

#### DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

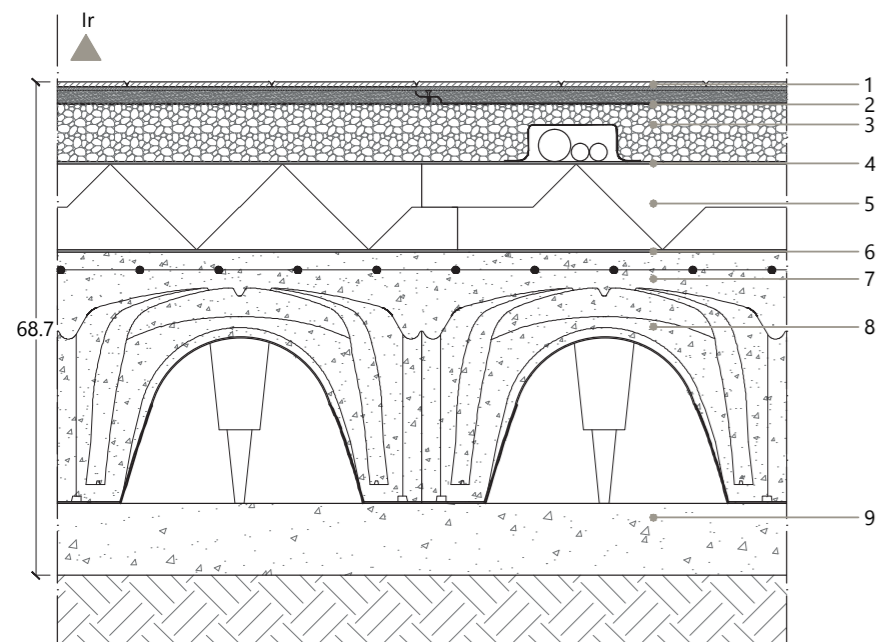
Questo pacchetto tecnologico è l'unica tipologia di solaio controterra presente all'interno del progetto. Si è scelto in questo caso di utilizzare un sistema di casseri a perdere per fondazioni.

Per quanto riguarda la finitura interna si è pensato di utilizzare un rivestimento in piastrelle per quanto riguarda l'edificio ospitante il bar e quello ospitante l'infopoint. Differente scelta è stata adottata per il pavimento dell'edificio ospitante la palestra, che è composto da una tipologia di piastrelle in gres adatta per la destinazione d'uso scelta.

In riferimento all'edificio del museo, e al faro, si è pensato invece di utilizzare una pavimentazione sempre in piastrelle in gres apposita per ambienti esterni, in quanto entrambi gli edifici non possono essere considerati ambienti totalmente chiusi.

#### COMPOSIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

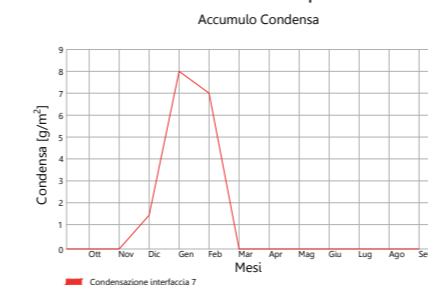
1. Strato di rivestimento in:
  - a. Piastrelle in gres, di spessore 0,7 cm;
  - b. Piastrelle in gres per esterni di spessore 0,7 cm;
 Strato di collante per rivestimento interno di spessore 0,5 cm;
2. Strato di regolazione in gessofibra, dimensioni 120x60 cm, di spessore 1,8 cm;
3. Strato di regolazione attrezzabile in granulare in perlite, gettato a secco, di spessore 8 cm;
4. Strato di protezione e di separazione in carta KRAFT di spessore 0,1 mm;
5. Strato di coibentazione termico in isolante in sughero tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, di spessore 10 cm;
6. Strato di protezione e di separazione in carta KRAFT di spessore 0,1 mm;
7. Strato portante in calcestruzzo armato con rete elettro-saldata  $\Phi=10$  mm di maglia 10x10 cm, di spessore 5 cm;
8. Strato di casseri a perdere per fondazioni, dimensioni 55x55x30 cm;
9. Strato di livellazione in magrone in calcestruzzo, di spessore 10 cm.



#### IL FENOMENO DELLA CONDENZA

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduttività $\lambda$ [W/mK]	Fattore resistenza al vapore $\mu$ [adm]	Spessore eq. aria [m]	Resistenza termica $R_t$ [m <sup>2</sup> K/W]
1. Rivestimento in piastrelle	0,015	1	200	3,000	0,015
2. Collante	0,5	/	/	/	/
3. Regolazione in gessofibra	0,018	0,32	13	0,234	0,056
4. Granulare in perlite	0,080	0,23	80	6,400	0,348
5. Carta Kraft	0,001	0,0033	1	0,001	0,303
6. Isolante in sughero	0,100	0,05	9	0,900	2,000
7. Carta Kraft	0,001	0,0033	1	0,001	0,303
8. Getto collaborante in CLS	0,050	0,46	100	5,000	0,109
9. Vespaio aerato	0,300	2,60	1	0,300	0,115
10. Magrone in calcestruzzo	0,100	/	/	/	/
<b>PARAMETRI</b>	<b>VALORI</b>	<b>UNITA' DI MISURA</b>			
SPESORE TOTALE		1,165 m			
TRASMITTANZA		0,273 W/m <sup>2</sup> K			

Sono schematizzati nella tabella sovrastante i dati relativi ai singoli strati del pacchetto tecnologico. In particolare si sono riportati tutti i dati utilizzati per il calcolo della condensa superficiale e interstiziale. Inoltre viene riportato il valore della trasmittanza termica, che è pari a 0,273 W/m<sup>2</sup>K, valore che indica buone prestazioni del pacchetto tecnologico. La condensa superficiale non è presente, mentre quella interstiziale è presente ma inferiore al valore limite previsto da normativa pari a 500 g/m<sup>2</sup>. Al di sotto si riporta dunque il grafico della condensa accumulata all'interno del pacchetto tecnologico.



#### ACCUMULO DI CONDENZA

Si verifica un accumulo di condensa in prossimità dell'interfaccia n°7 ossia tra lo strato di getto collaborante in calcestruzzo e lo strato di separazione costituito da carta KRAFT, durante i mesi invernali.

Si riporta nei grafici sottostanti l'andamento di temperatura e pressione nei mesi di gennaio e luglio all'interno del pacchetto tecnologico.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A GENNAIO

Osservando il grafico relativo alla temperatura si registra un andamento crescente di solo un paio di gradi per i primi 45cm di spessore, mentre in seguito si ha un rapido innalzamento di temperatura da 10 a 18°C.

Analizzando le curve di pressione e pressione di saturazione si nota come queste abbiano un andamento crescente all'interno del pacchetto tecnologico. In particolare si registrano delle analogie tra il comportamento di pressione e temperatura, in quanto le curve presentano un andamento molto simile.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A LUGLIO

Osservando il grafico relativo alla temperatura si osserva che la curva decresce da 25°C fino a 20°C all'interno del pacchetto tecnologico analizzato.

Il grafico delle pressioni mostra ancora una volta un andamento delle pressioni simile a quello delle temperature.

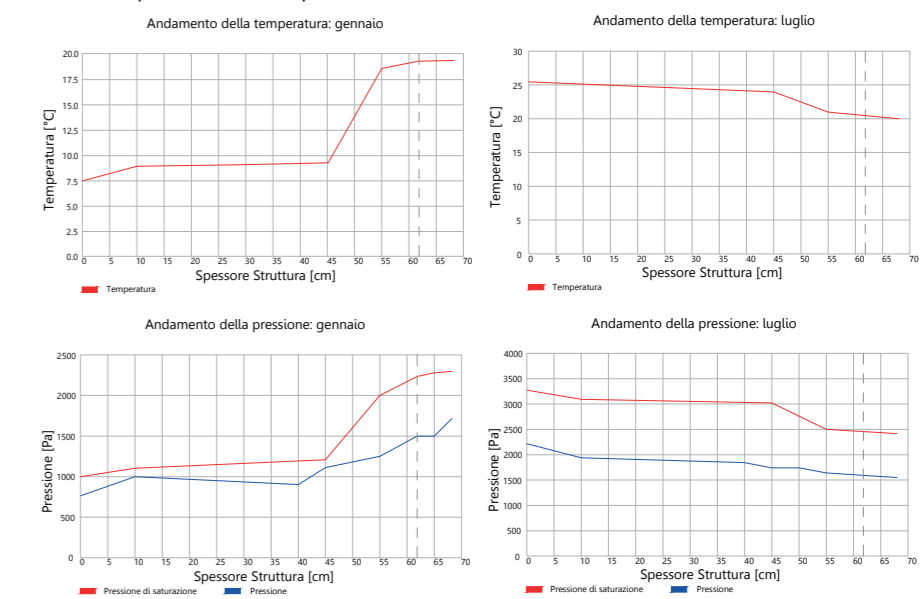


Figura 258\_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.



## SFASAMENTO TERMICO E FATTORE DI ATTENUAZIONE

Nella tabella sottostante si riportano i dati relativi al pacchetto analizzato.

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduktività $\lambda$ [W/mK]	Fattore resistenza al vapore $\mu$ [adm]	Spessore eq. aria [m]	Resistenza termica $R_t$ [m <sup>2</sup> K/W]
1. Rivestimento in piastrelle	0,015	1	200	3,000	0,015
2. Collante	0,5	/	/	/	/
3. Regolazione in gessofibra	0,018	0,32	13	0,234	0,056
4. Granulare in perlite	0,080	0,23	80	6,400	0,348
5. Carta Kraft	0,001	0,0033	1	0,001	0,303
6. Isolante in sughero	0,100	0,05	9	0,900	2,000
7. Carta Kraft	0,001	0,0033	1	0,001	0,303
8. Getto collaborante in CLS	0,050	0,46	100	5,000	0,109
9. Vespaio aerato	0,300	2,60	1	0,300	0,115
10. Magrone in calcestruzzo	0,100	/	/	/	/
PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA			
SPESSORE TOTALE	1,165	m			
TRASMITTANZA	0,273	W/m <sup>2</sup> K			

## VERIFICHE

In seguito vengono riportate le verifiche effettuate secondo i limiti imposti dalla normativa prima citata.

- MASSA SUPERFICIALE

$$M_{S-CO01} = 176,55 \text{ kg/m}^2$$

- TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

$$Y_{ie-CO01} = U \cdot fa = 0,040 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,20 \text{ W/m}^2\text{K} = Y_{ie-Norma}$$

Il valore di trasmittanza termica periodica richiesto da normativa risulta essere rispettato.

- SFASAMENTO

$$\varphi_{CO01} = 15 \text{ h} > 12 \text{ h}$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

- FATTORE DI ATTENUAZIONE

$$fa_{CO01} = 0,148 < 0,15$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

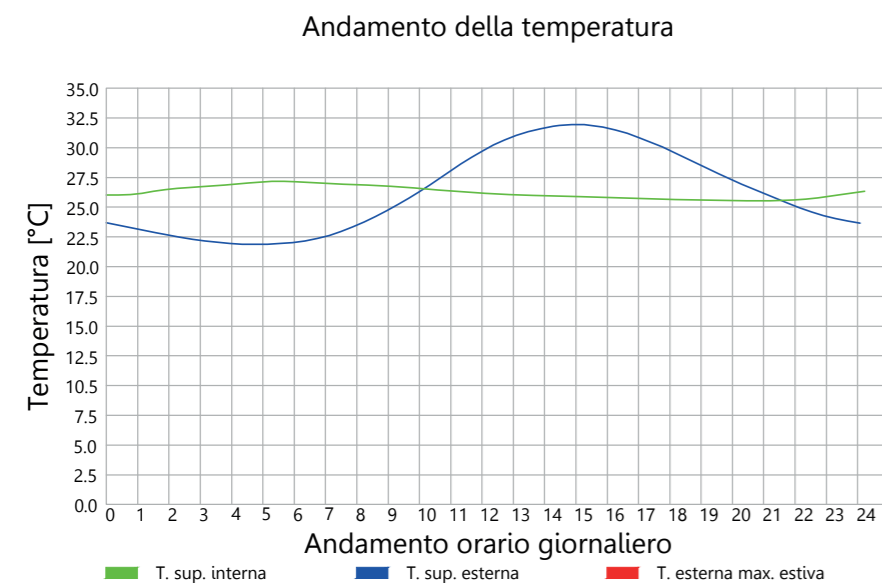


Figura 259\_Andamento della temperatura durante il giorno

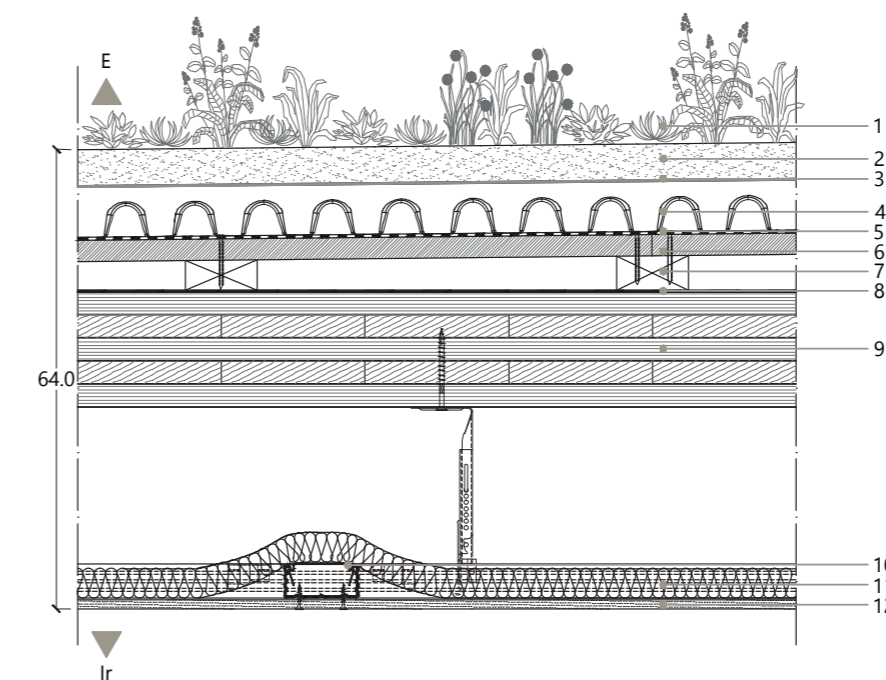
## 7.2.2.3 CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 02: COPERTURA VERDE

### DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

La chiusura orizzontale utilizzata è costituita da una parte portante in Cross-Lam ed è caratterizzata dal fatto che presenta un rivestimento verde. Si tratta infatti di una copertura verde non praticabile, in cui la vegetazione è costituita da differenti tipologie di piante grasse che non necessitano ingenti quantitativi d'acqua per sopravvivere, di conseguenza risulta essere molto adatta in un luogo come quello di progetto, che non risulta essere caratterizzato da piogge ne frequenti ne abbondanti.

### COMPOSIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

1. Strato di vegetazione composto da differenti varietà di talle di sedum;
2. Substrato di terreno composto da materiale principalmente vulcanico posto per consentire la crescita del sedum, di spessore 0,5 cm;
3. Strato di geotessile che funge da filtro per le acque provenienti dal substrato, da stabilizzazione per l'apparato radicale e da diffusione capillare dell'umidità, di spessore 0,13 cm;
4. Elemento prefabbricato in polistirene espanso sinterizzato che svolge la triplice funzione di protezione, drenaggio ed accumulo idrico di spessore 8 cm. Permette un accumulo di 24 l/m<sup>2</sup>;
5. Strato impermeabilizzante e antiradice di spessore 0,4 cm;
6. Strato divisorio costituito da pannelli OSB di dimensione 250x70x3 cm;
7. Strato di regolazione in cunei di legno, con pendenza pari all'1%, di spessore 4,5 cm;
8. Strato protettivo in membrana traspirante antivento, di spessore 0,2 cm;
9. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a strati incrociati, di spessore 16 cm;
10. Sistema di controsoffitto a fettucce metalliche con doppia orditura metallica
11. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,038 \text{ W/mK}$ , densità  $\rho=50 \text{ kg/m}^3$ , di spessore 4 cm;
12. Strato di rivestimento interno in lastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 1,25 cm.



### IL FENOMENO DELLA CONDENSA

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduktività λ [W/mK]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Spessore eq. aria [m]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
1. Sedum	0,050	0,025	1	0,050	2,000
2. Terreno	0,070	2,36	1	0,070	0,030
3. Geotessile	0,0013	/	/	/	/
4. Vasche di accumolo	0,08	/	/	/	/
5. Impermeabilizzante	0,004	/	34	/	/
6. Pannello OSB	0,03	0,13	30	/	0,231
7. Strato di regolazione	0,045	/	/	/	/
8. Freno al vapore	0,0003	0,20	16667	5,000	0,002
9. Cross-Lam	0,160	0,13	50	9,000	1,231
10. Controsoffitto	/	/	/	/	/
11. Fibra di Legno	0,040	0,038	2	0,080	1,053
12. Cartongesso	0,013	0,21	8	0,100	0,060

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
SPESSORE TOTALE	0,493	m
TRASMITTANZA	0,219	W/m²K

Sono schematizzati nella tabella sovrastante i dati relativi ai singoli strati del pacchetto tecnologico. In particolare si sono riportati tutti i dati utilizzati per il calcolo della condensa superficiale e interstiziale. Inoltre viene riportato il valore della trasmittanza termica, che è pari a 0,219 W/m²K, dato che indica buone prestazioni del pacchetto tecnologico. Inoltre il livello di trasmittanza risulta essere ancora migliore rispetto all'altra chiusura orizzontale analizzata.

Analizzando la condensa in questo caso si hanno ottime prestazioni sia in termini di condensa superficiale che interstiziale in quanto nessuna delle due risulta essere presente.

Si riporta nei grafici sottostanti l'andamento di temperatura e pressione nei mesi di Gennaio e Luglio all'interno del pacchetto tecnologico.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A GENNAIO

Si osserva nel grafico che riporta l'andamento della temperatura, come questa cresca mano a mano che il flusso di calore incontra i vari strati. L'andamento è sempre crescente eccetto che nello strato di terreno in cui risulta essere costante.

Nel grafico delle pressioni si nota invece un improvviso aumento di pressione in corrispondenza del geotessile.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A LUGLIO

Si analizza dapprima il grafico inerente alla temperatura: questa cresce partendo da 27°C e arrivando a 20°C in prossimità degli strati interni del pacchetto tecnologico.

Analizzando il grafico successivo si evince che sia la curva di pressione di saturazione che quella di pressione risultano essere decrescenti, seguendo l'andamento della temperatura. Inoltre sempre in corrispondenza del geotessile si verifica una diminuzione improvvisa del valore di pressione.

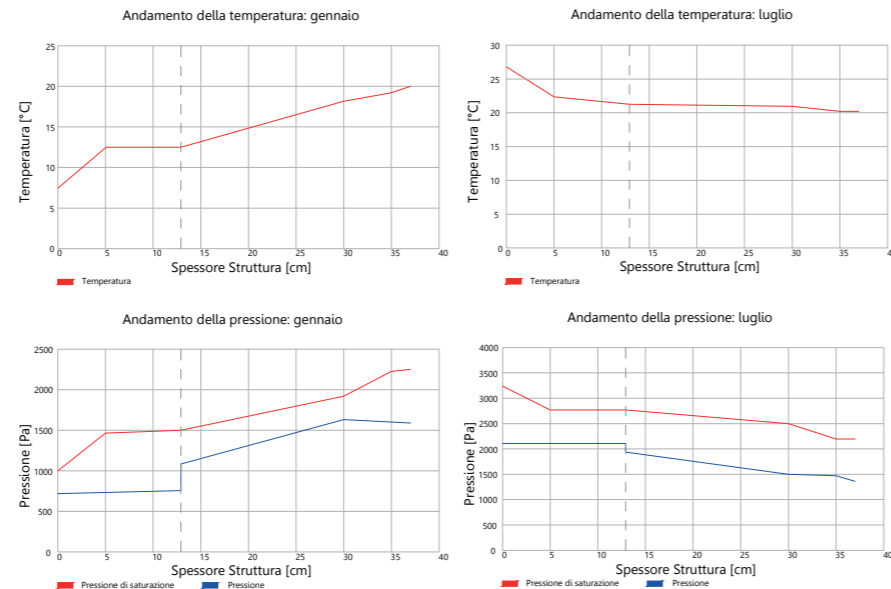


Figura 260\_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.

### SFASAMENTO TERMICO E FATTORE DI ATTENUAZIONE

Nella tabella sottostante si riportano i dati relativi al pacchetto analizzato.

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
1. Sedum	0,050	866,088	2600	2,000
2. Terreno	0,070	866,088	2600	0,030
3. Geotessile	0,0013	/	/	/
4. Vasche di accumolo	0,08	/	/	/
5. Impermeabilizzante	0,004	/	329	/
6. Pannello OSB	0,03	1700	600	0,231
7. Strato di regolazione	0,045	/	/	/
8. Freno al vapore	0,0003	2099,9496	360	0,002
9. Cross-Lam	0,160	1600	500	1,231
10. Viti autofilettanti	/	/	/	/
11. Controsoffitto	0,040	2100	50	1,053
12. Cartongesso	0,013	840	900	0,060

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
SPESSORE TOTALE	0,493	m
SFASAMENTO TERMICO	24,367	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,005	adm

#### Andamento della temperatura

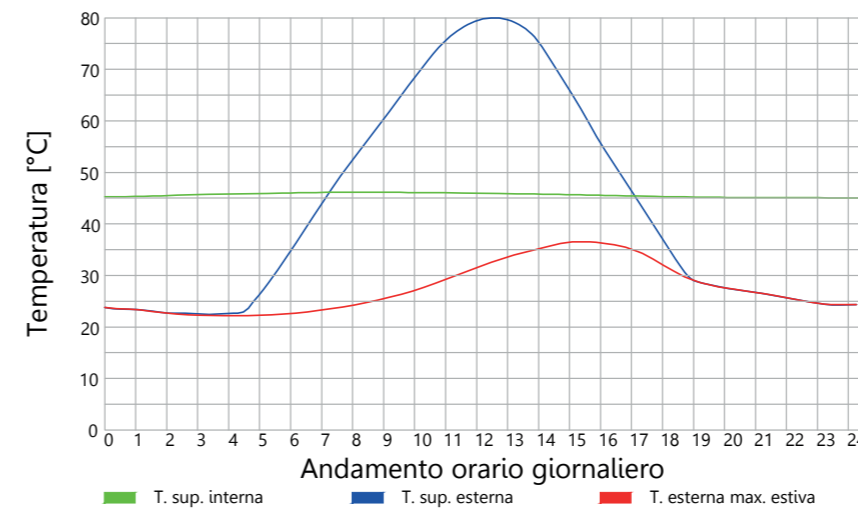


Figura 261\_Andamento della temperatura durante il giorno

### VERIFICHE

In seguito vengono riportate le verifiche effettuate secondo i limiti imposti dalla normativa prima citata.

- MASSA SUPERFICIALE

$$M_{s-CO2} = 424,67 \text{ kg/m}^2$$

- TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

$$Y_{ie-CO2} = U \cdot f_a = 0,0011 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,20 \text{ W/m}^2\text{K} = Y_{ie-Norma}$$

Il valore di trasmittanza termica periodica richiesto da normativa risulta essere rispettato.

- SFASAMENTO

$$\varphi_{CO2} = 24,36 \text{ h} > 12 \text{ h}$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

- FATTORE DI ATTENUAZIONE

$$f_{aCO2} = 0,005 < 0,15$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.



## 7.2.2.4 CHIUSURA VERTICALE C.V. 01: PARETE PERIMETRALE

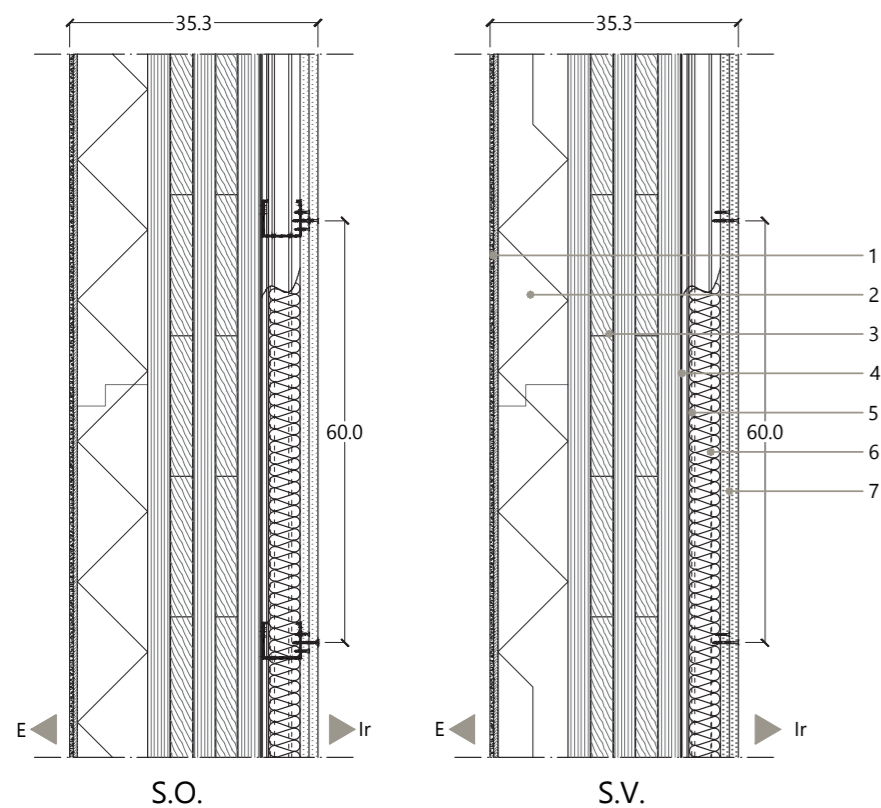
## DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

La chiusura verticale utilizzata all'interno del progetto è di una sola tipologia: si tratta di una parete perimetrale ben isolata che presenta un sistema a cappotto esterno.

Nel progetto sono state considerate due varianti della parete: la prima riguarda l'aspetto estetico e architettonico in quanto si è scelto di utilizzare differenti colorazioni per la finitura che richiamassero le cromie del contesto marino; la seconda è relativa alla tipologia di lastre in cartongesso utilizzata poiché nei locali umidi come i bagni e la cucina si sono utilizzate delle idrolastre, apposite per ambienti molto umidi.

## COMPOSIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

1. Strato di rivestimento esterno in armatura di origine minerale combinato con una finitura colorata superficiale legata organicamente, di spessore totale di 1 cm;
2. Strato di coibentazione termico in isolante in sughero tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, di spessore 10 cm;
3. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a strati incrociati, di spessore 16 cm;
4. Membrana di freno al vapore tipo RIWEGA composta da tre strati di PP termosaldati, in lastre di 150x500 cm, conduttività  $\lambda=0,22$  W/mK, di spessore 0,65 cm;
5. Orditura metallica in profili guida a "U" in acciaio zincato, tipo KNAUF U 40/50/40, dimensioni 40x50 mm, di spessore 0,6 mm e profili montanti a "C" in acciaio zincato tipo KNAUF C 50/50/50, dimensioni 50x50 mm, di spessore 0,6 mm, con interasse di 60 cm;
6. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,038$  W/mK, densità  $\rho=50$  kg/m<sup>3</sup>, di spessore 4 cm;
7. Strato di rivestimento interno in:
  - a. Doppia lastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 2x1,25 cm;
  - b. Doppia idrolastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 2x1,25 cm.



## IL FENOMENO DELLA CONDENZA

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduttività $\lambda$ [W/mK]	Fattore resistenza al vapore $\mu$ [adm]	Spessore eq. aria [m]	Resistenza termica $R_t$ [m <sup>2</sup> K/W]
1. Intonaco	0,010	0,80	10	0,11	0,013
2. Isolante in sughero	0,100	0,05	9	0,90	2,000
3. Cross-Lam	0,160	0,13	50	6,00	1,231
4. Freno al vapore	0,00065	0,22	16667	5,00	0,003
5. Fibra di Legno	0,040	0,038	2	0,08	1,053
6. Orditura metallica	/	/	/	/	/
7. Cartongesso	0,025	0,21	8	0,02	0,119
<b>PARAMETRI</b>	<b>VALORI</b>		<b>UNITA' DI MISURA</b>		
SPESSORE TOTALE			0,336	m	
TRASMITTANZA			0,216	W/m <sup>2</sup> K	

Sono schematizzati nella tabella sovrastante i dati relativi ai singoli strati del pacchetto tecnologico. In particolare si sono riportati tutti i dati utilizzati per il calcolo della condensa superficiale e interstiziale. Inoltre viene riportato il valore della trasmittanza termica, che è pari a 0,216 W/m<sup>2</sup>K, valore che indica buone prestazioni del pacchetto tecnologico.

Non si verificano fenomeni né di condensa superficiale, né di condensa interstiziale tra i vari strati che formano l'elemento opaco considerato.

Si riporta nei grafici sottostanti l'andamento di temperatura e pressione nei mesi di Gennaio e Luglio all'interno del pacchetto tecnologico.

## ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A GENNAIO

Nel grafico relativo all'andamento della temperatura all'interno del pacchetto si osserva come ci sia un aumento di essa progressivo: partendo dai 6°C si arriva ad un massimo di 20°C. Per quanto riguarda il grafico delle pressioni si ha un andamento crescente con un aumento improvviso di pressione in corrispondenza del freno al vapore.

## ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A LUGLIO

La temperatura all'interno del pacchetto diminuisce di 5°C partendo da 25°C in corrispondenza dello strato più esterno ed arrivando a 20°C in quello più interno.

Analizzando il grafico relativo alla pressione si ha un andamento di pressione decrescente, così come quello della pressione di saturazione. Anche in questo caso si nota una diminuzione improvvisa di pressione in corrispondenza del freno al vapore.

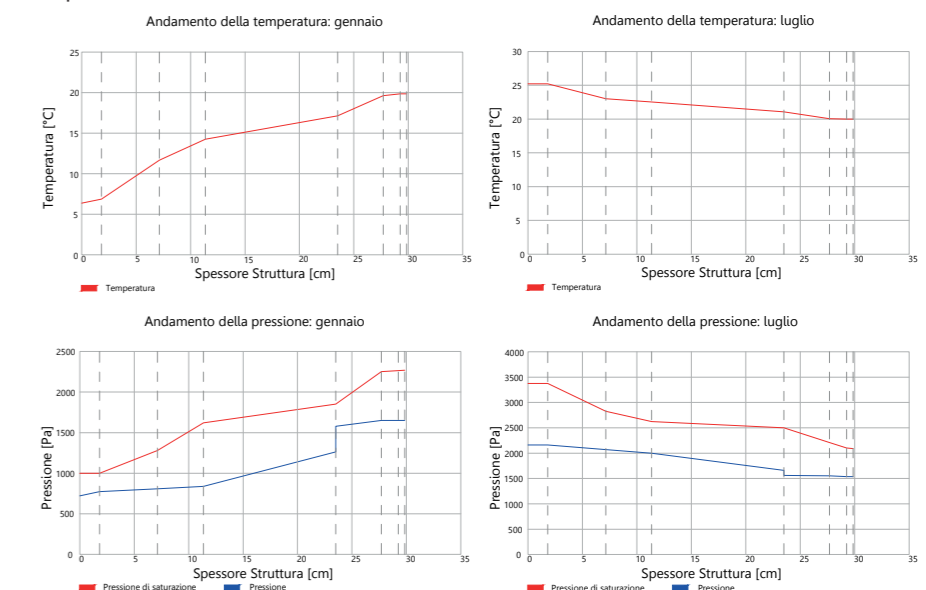


Figura 262\_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.

## SFASAMENTO TERMICO E FATTORE DI ATTENUAZIONE

Nella tabella sottostante si riportano i dati specifici di ogni strato che sono risultati utili per la determinazione dei valori di sfasamento termico e fattore di attenuazione.

Si sono poi riportati anche i valori globali del pacchetto nel suo complesso.

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
1. Intonaco	0,010	840	1200	0,013
2. Isolante in sughero	0,100	1500	170	2,000
3. Cross-Lam	0,160	1600	500	1,231
4. Freno al vapore	0,00065	2100	360	0,003
5. Fibr di Legno	0,040	2100	50	1,053
6. Orditura metallica	/	/	/	/
7. Cartongesso	0,025	840	900	0,119

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
SPESORE TOTALE	0,336	m
SFASAMENTO TERMICO	13,883	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,088	adm

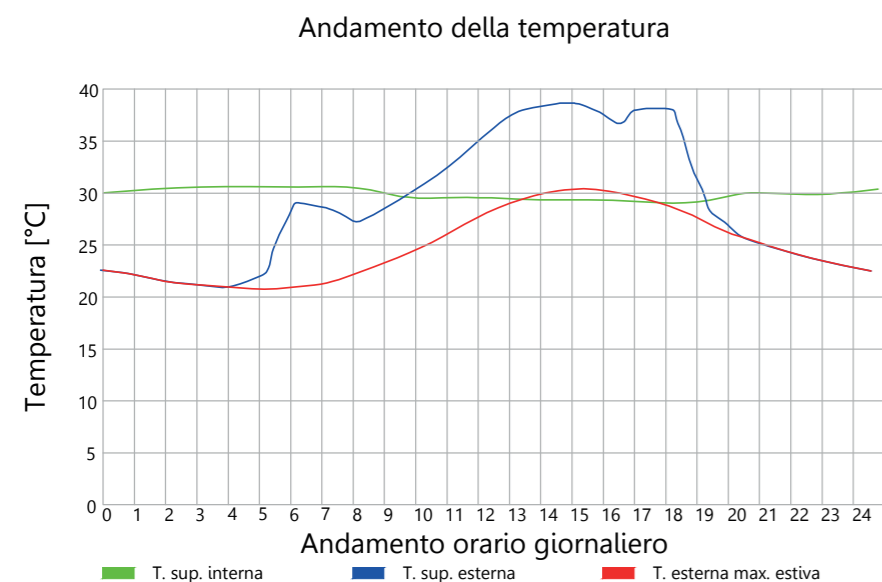


Figura 263\_Andamento della temperatura durante il giorno

## VERIFICHE

In seguito vengono riportate le verifiche effettuate secondo i limiti imposti dalla normativa prima citata.

- MASSA SUPERFICIALE

$$M_{S-CV01} = 133,73 \text{ kg/m}^2 < 230 \text{ kg/m}^2 = M_{S-Norma}$$

Il valore di massa superficiale della chiusura verticale non risulta essere rispettato.

- TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

$$Y_{te-CV01} = U \cdot fa = 0,020 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,12 \text{ W/m}^2\text{K} = Y_{te-Norma}$$

Il valore di trasmittanza termica periodica richiesto da normativa risulta essere rispettato. Essendo che la norma prescrive che debba essere rispettato almeno uno dei due parametri di massa superficiale e trasmittanza termica periodica, la chiusura risulta essere globalmente soddisfatta.

- SFASAMENTO

$$\varphi_{CV01} = 13,88 \text{ h} > 12 \text{ h}$$

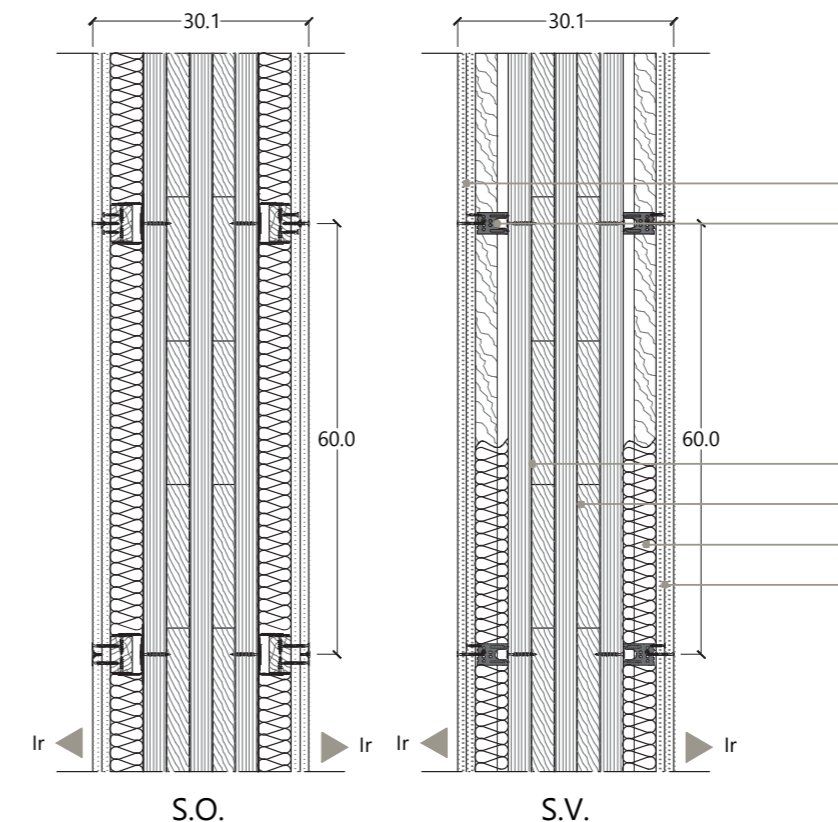
Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

- FATTORE DI ATTENUAZIONE

$$fa_{CV01} = 0,088 < 0,15$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

## 7.2.2.5 PARTIZIONE VERTICALE: PARETE DIVISORIA ISOLATA



## DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

Gli edifici di progetto sono costituiti da ambienti molto semplici, nella maggior parte dei casi individuati solo da chiusure verticali. L'unica eccezione è rappresentata dall'edificio ospitante il bar, in quanto questo è suddiviso in tre altri ambienti: la zona della cucina, l'area ospitante i servizi igienici e gli spogliatoi ed infine la sala del bar vera e propria, in cui sostano i clienti e dove si svolge l'attività di ristorazione vera e propria.

Per questo motivo solo all'interno di questo edificio si fa uso delle pareti divisorie le quali devono essere ben isolate sia acusticamente, per evitare che si sentano nella sala i rumori provenienti da servizi igienici e cucina, sia contro gli odori, per garantire il benessere dei clienti.

Così come per la chiusura verticale, anche in questo caso l'unica variante della parete riguarda il rivestimento in cartongesso, in quanto si utilizzano o lastre in cartongesso standard oppure idrolastre, con elevate prestazioni nei confronti dell'umidità presente nell'ambiente.

## COMPOSIZIONE DELLA STRATIGRAFIA

1. Strato di rivestimento interno in doppia lastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 2x1,25 cm;
2. Distanziatore in acciaio zincato per controparete in gessofibra tipo KNAUF, dimensione profili di 40x50x30 mm, di spessore 1 mm, con listelli di legno di dimensione 50x30 mm;
3. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,038 \text{ W/mK}$ , densità  $\rho=50 \text{ kg/m}^3$ , di spessore 4 cm;
4. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a strati incrociati, di spessore 16 cm;
5. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, tipo CELENIT conduttività  $\lambda=0,038 \text{ W/mK}$ , densità  $\rho=50 \text{ kg/m}^3$ , di spessore 4 cm;
6. Strato di rivestimento interno in:
  - a. Doppia lastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 2x1,25 cm;
  - b. Doppia idrolastra di gesso-fibra rivestita tipo KNAUF, di spessore 2x1,25 cm.



### IL FENOMENO DELLA CONDENSA

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Spessore eq. aria [m]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
1. Cartongesso	0,025	0,21	8	0,200	0,119
2. Distanziatori in acciaio	/	/	/	/	/
3. Fibra di Legno	0,040	0,038	2	0,080	1,053
4. Cross-Lam	0,160	0,13	50	6,000	1,231
5. Fibra di Legno	0,040	0,038	2	0,080	1,053
6. Cartongesso	0,025	0,21	8	0,200	0,119

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
SPESSORE TOTALE	0,290	m
TRASMITTANZA	0,288	W/m²K

Sono schematizzati nella tabella sovrastante i dati relativi ai singoli strati del pacchetto tecnologico. In particolare si sono riportati tutti i dati utilizzati per il calcolo della condensa superficiale e interstiziale. Inoltre viene riportato il valore della trasmittanza termica, che è pari a 0,288 W/m²K, valore che indica buone prestazioni del pacchetto tecnologico.

Anche in questo caso non si verifica alcun fenomeno di accumulo di condensa, ne superficiale ne interstiziale.

Si riporta nei grafici sottostanti l'andamento di temperatura e pressione nei mesi di Gennaio e Luglio all'interno del pacchetto tecnologico.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A GENNAIO

Nel mese di gennaio osservando il grafico in cui è riportato l'andamento della temperatura, si nota come all'interno del pacchetto tecnologico analizzato si verifichi un innalzamento progressivo della temperatura.

Analizzando il grafico relativo alle pressioni si nota come entrambe le curve di pressione e pressione di saturazione abbiano un andamento crescente che segue quello della curva della temperatura.

#### ANDAMENTO DI TEMPERATURA E PRESSIONE A LUGLIO

Osservando l'andamento della temperatura nel mese di luglio si ha una curva decrescente all'interno del pacchetto tecnologico.

Se si osservano le pressioni, le curve di pressione e pressione di saturazione risultano avere un andamento molto simile, sempre decrescente, così come si verifica con la curva della temperatura.

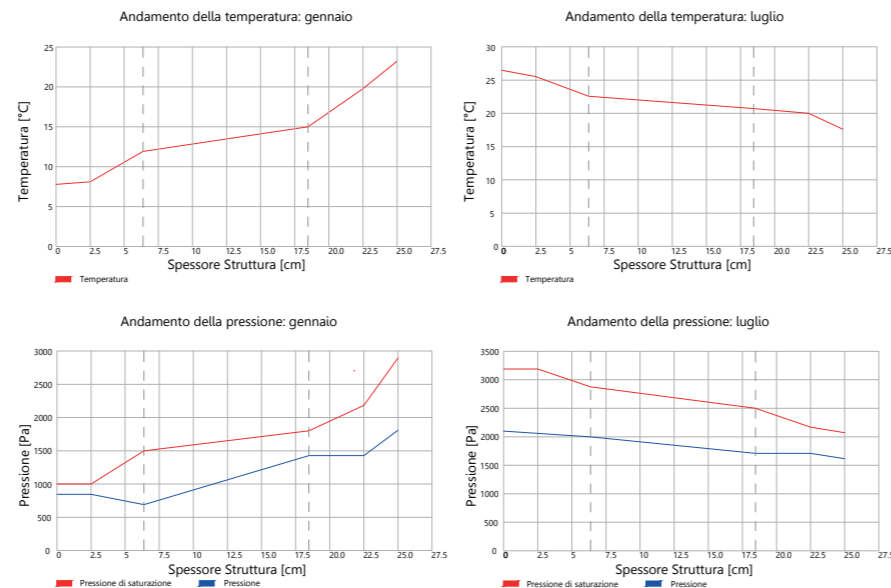


Figura 264\_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.

### SFASAMENTO TERMICO E FATTORE DI ATTENUAZIONE

Nella tabella sottostante si riportano i dati specifici di ogni strato che sono risultati utili per la determinazione dei valori di sfasamento termico e fattore di attenuazione.

Inoltre nella stessa sono anche riassunti i valori globali del pacchetto nel suo complesso.

STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
1. Cartongesso	0,025	840	900	0,119
2. Distanziatori in acciaio	/	/	/	/
3. Fibra di Legno	0,040	2100	50	1,053
4. Cross-Lam	0,160	1600	500	1,231
5. Fibra di Legno	0,040	2100	50	1,053
6. Cartongesso	0,025	840	900	0,119

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
SPESSORE TOTALE	0,290	m
SFASAMENTO TERMICO	11,183	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,145	adm

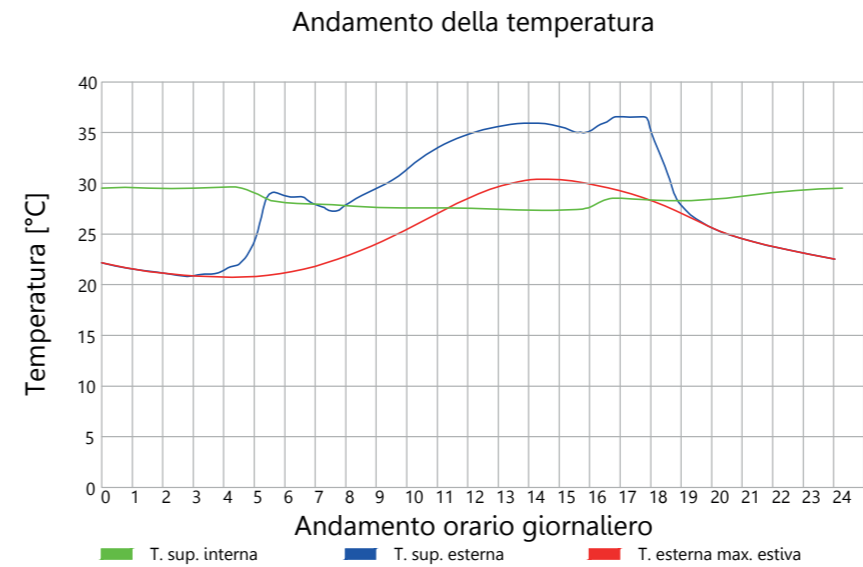


Figura 265\_Andamento della temperatura durante il giorno

### VERIFICHE

In seguito vengono riportate le verifiche effettuate secondo i limiti imposti dalla normativa prima citata.

- MASSA SUPERFICIALE

$$M_{S-PV01} = 129 \text{ kg/m}^2 < 230 \text{ kg/m}^2 = M_{S-Norma}$$

Il valore di massa superficiale imposto da normativa non risulta essere rispettato.

- TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA

$$Y_{ie-PV01} = U \cdot fa = 0,041 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,12 \text{ W/m}^2\text{K} = Y_{ie-Norma}$$

Il valore di trasmittanza termica periodica richiesto da normativa risulta essere rispettato. Il pacchetto tecnologico nel suo complesso può essere considerato idoneo in quanto la norma impone che sia sufficiente il rispetto di almeno uno dei parametri di massa superficiale e trasmittanza termica periodica

- SFASAMENTO

$$10 \text{ h} < \varphi_{PV01} = 11,18 \text{ h} < 12 \text{ h}$$

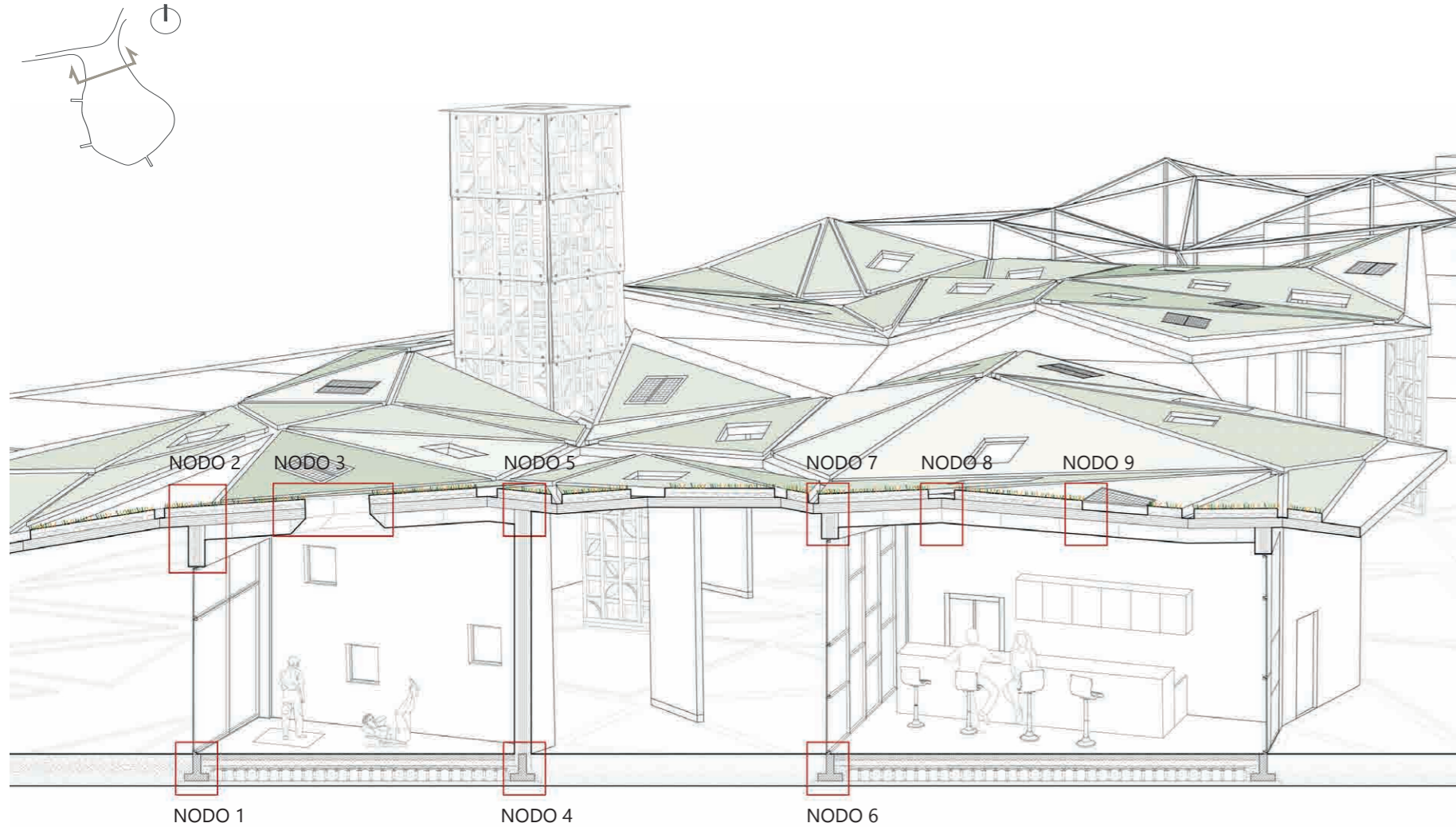
Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono buone e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la II.

- FATTORE DI ATTENUAZIONE

$$fa_{PV01} = 0,145 < 0,15$$

Dalla tabella riportata in precedenza si deduce che le prestazioni sono ottime e la classe di qualità prestazionale corrispondente è la I.

## 7.2.3 SEZIONE TECNOLOGICA



## DESCRIZIONE DEI DETTAGLI COSTRUTTIVI

## NODO 1

Connessione a terra mediante plinto prefabbricato in calcestruzzo armato con innesto di serramento verticale apribile in PVC. Peculiarità della vetrata è la presenza di una tripla camera con all'interno gas kripton. Pavimentazione esterna in deck, interna in piastrelle gres.

## NODO 2

Connessione mediante viti da legno tra parete perimetrale verticale in tecnologia Cross-Lam e copertura con tetto verde con specie grasse (sedum), le quali non presentano elevato fabbisogno idrico e quindi particolarmente adatte alla natura mediterranea del luogo di progetto.

## NODO 3

Installazione di aperture zenitali mediante cupolini piani e controsoffitto inclinato al fine di permettere maggior ingresso di luce naturale nell'edificio, favorendo dunque lo svolgimento delle attività al suo interno. Il serramento risulta essere apribile a vasistas.

## NODO 4

Connessione a terra mediante plinto prefabbricato in calcestruzzo armato con innesto parete perimetrale verticale in tecnologia Cross-Lam e isolamento a cappotto, caratterizzato dall'impiego di elementi naturali come il sughero.

## NODO 5

Connessione tra parete perimetrale verticale in tecnologia Cross-Lam e doppia falda di copertura mediante piastre metalliche e resine epossidiche e viti da legno.

Controsoffitto interno a doppia orditura metallica installato mediante pendini verticali.

## NODO 6

Connessione a terra mediante plinto prefabbricato in calcestruzzo armato con innesto di serramento verticale apribile in PVC. Peculiarità della vetrata è la presenza di una tripla camera con all'interno gas kripton. Pavimentazione esterna in deck, interna in piastrelle gres.

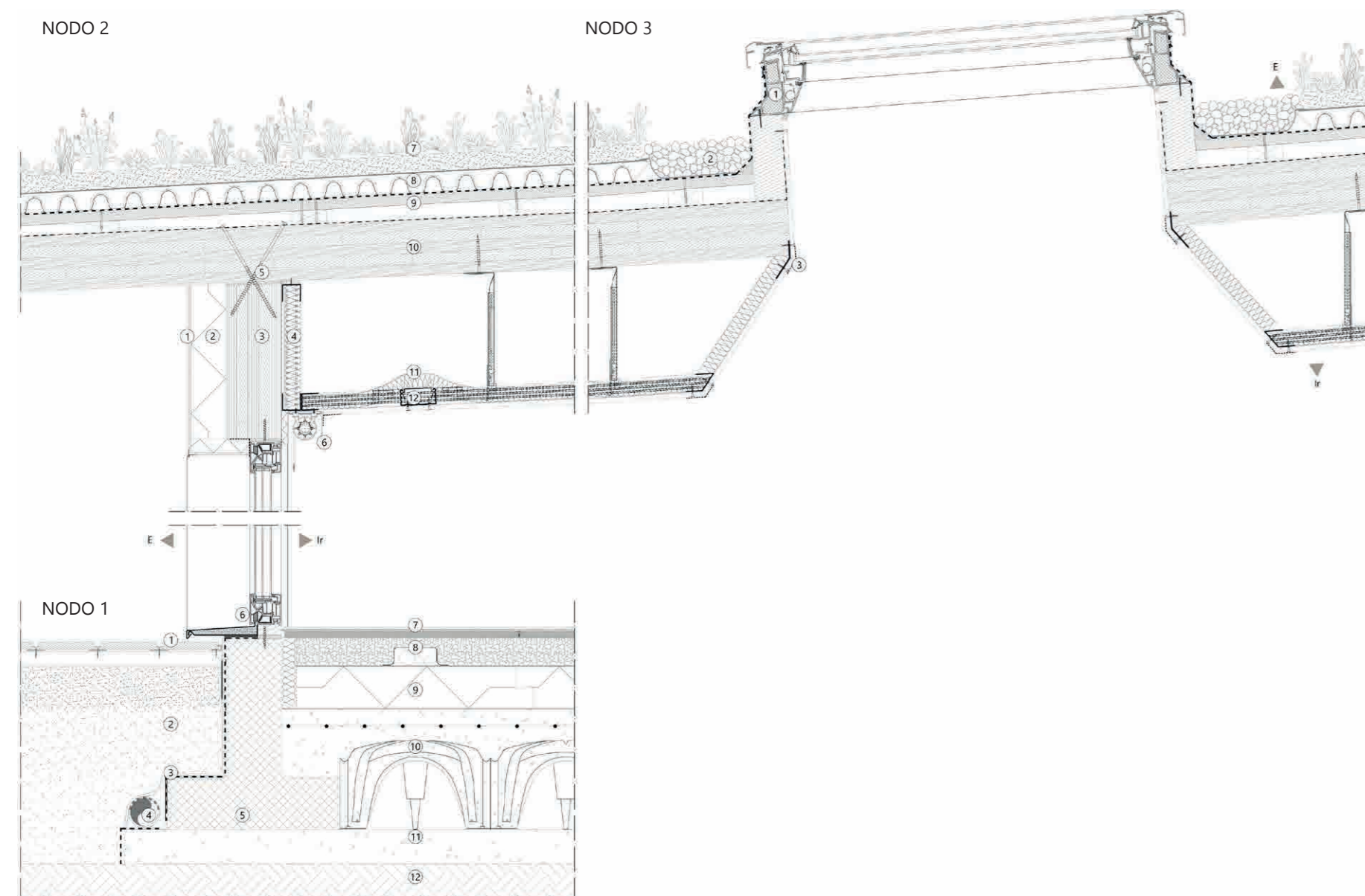
## NODO 7

Connessione mediante viti da legno tra parete perimetrale verticale in tecnologia Cross-Lam e copertura con tetto verde con specie grasse (sedum), le quali non presentano elevato fabbisogno idrico e quindi particolarmente adatte alla natura mediterranea del luogo di progetto.

## NODO 8-9

Sistema di deflusso delle acque piovane mediante gronda progettata tra le diverse falde del tetto. Innesto di un sistema fotovoltaico per l'acquisizione di energia solare, presente in copertura a moduli rettangolari accoppiati a due a due.





## DETTAGLI TECNOLOGICI

### NODO 1

1. Rivestimento esterno in lastre Deck, sp. 2,2 cm, fissato mediante sottostruttura metallica
2. Terreno di reinterro
3. Strato di protezione drenante e filtrante in guaina bugnata con struttura alveolare ad alta densità accoppiata a TNT in polipropilene, sp. 1 cm, accoppiata ad uno strato di impermeabilizzazione in membrana di base autotermodesiva, in bitume distillato polimero elastoplastomerico, sp. 0,5 mm
4. Tubo di drenaggio in materiale termoplastico,  $\Phi$  8 cm
5. Plinto di fondazione prefabbricato in calcestruzzo armato
6. Serramento altamente prestazionale in PVC con vetro triplo con gas Krypton interposto, isolamento termico  $U_w=0,62$  W/m<sup>2</sup>K, isolamento acustico 35 dB
7. Strato di finitura interna in piastrelle in gres, sp. 0,7 cm, incollate su strato di regolazione in gessofibra, dimensioni 120x60 cm, sp. 1,8 cm
8. Strato di regolazione attrezzabile in granulare in perlite, gettato a secco, sp. 8 cm
9. Strato di coibentazione termico con isolante in sughero naturale, conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 10 cm, protetto e separato dagli strati adiacenti da separazione in carta KRAFT sp. 0,1 mm
10. Strato di casseri a perdere per fondazioni, dim. 45x45x25 cm
11. Strato di livellazione in magrone in calcestruzzo, sp. 10 cm
12. Terreno

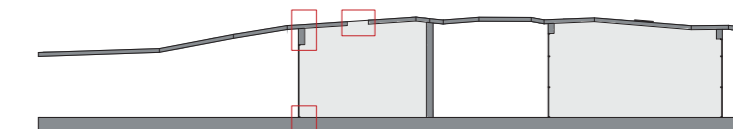
### NODO 2

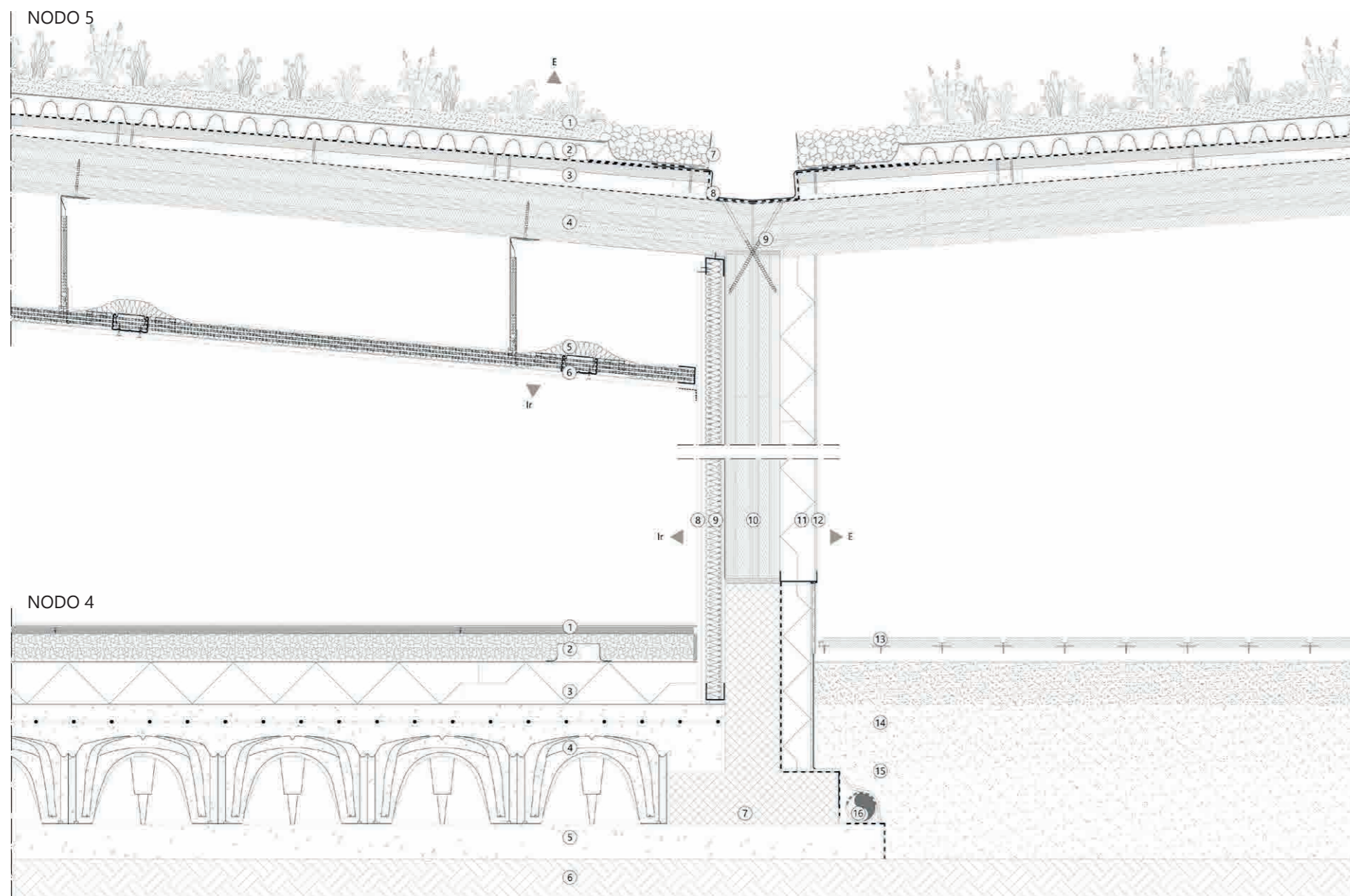
1. Strato di rivestimento esterno in armatura di origine minerale combinato con una finitura colorata superficiale legata organicamente, sp. 1 cm
2. Strato di coibentazione termico con isolante in sughero naturale, conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 10 cm
3. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a cinque strati incrociati, sp. 16 cm

4. Contro parete interna isolata con orditura metallica in profili guida a "U" in acciaio zincato, dim. 40x50 mm e sp. 0,6 mm, e profili montanti a "C" in acciaio zincato, dim. 50x50 mm e sp. 0,6 mm, aventi interasse 60 cm
5. Sistema di fissaggio dei pannelli Cross-Lam di copertura e parete mediante due viti da legno incrociate e con guarnizione in EPDM per tenuta all'acqua, all'aria e al vapore, sp. 0,5 mm
6. Sistema di oscuramento interno in tenda avvolgibile
7. Strato di vegetazione composto da sedum su substrato di terreno composto da materiale principalmente vulcanico, sp. 0,5 cm
8. Elemento prefabbricato in polistirene espanso sinterizzato con triplice funzione di protezione, drenaggio ed accumulo idrico, sp. 8 cm, separato dal terreno con geotessile, sp. 0,13 cm
9. Strato divisorio costituito da pannelli OSB di dimensione 250x70x3 cm, posto al di sopra di cunei di legno, con pendenza pari all'1%, sp. 4,5 cm
10. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a cinque strati incrociati, sp. 16 cm
11. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, di conduttività  $\lambda=0,038$  W/mK, densità  $\rho=50$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 4 cm
12. Sistema di controsoffitto a fettucce metalliche e doppia orditura metallica per favorire il passaggio di sistema impiantistico

### NODO 3

1. Serramento apribile a vasistas con vetro piano per tetto tipo VELUX
2. Ghiaia di drenaggio per l'acqua piovana
3. Nastro coprispigo per rivestimento interno in lastre di gessofibra





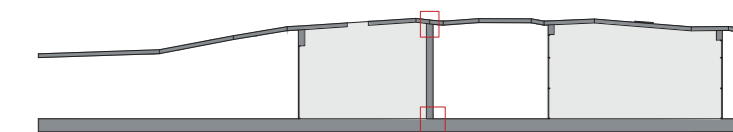
## DETTAGLI TECNOLOGICI

### NODO 4

1. Strato di finitura interna in piastrelle in gres, sp. 0,7 cm, incollate su strato di regolazione in gessofibra, dimensioni 120x60 cm, sp. 1,8 cm
2. Strato di regolazione attrezzabile in granulare in perlite, gettato a secco, sp. 8 cm
3. Strato di coibentazione termico in isolante in sughero di conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 10 cm, protetto e separato dagli strati adiacenti da separazione in carta KRAFT sp. 0,1 mm
4. Strato di casseri a perdere per fondazioni, dim. 45x45x25 cm
5. Strato di livellazione in magrone in calcestruzzo, sp. 10 cm
6. Terreno
7. Plinto di fondazione prefabbricato in calcestruzzo armato
8. Strato di rivestimento interno in doppie lastre di gessofibra rivestite con interposta barriera al vapore in lamina di alluminio, sp. 2x1.25 cm, fissato con viti autopercoranti
9. Contro parete interna isolata con orditura metallica in profili guida a "U" in acciaio zincato, dim. 40x50 mm e sp. 0,6 mm, e profili montanti a "C" in acciaio zincato, dim. 50x50 mm e sp. 0,6 mm, aventi interasse 60 cm
10. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a cinque strati incrociati, sp. 16 cm
11. Strato di coibentazione termico in isolante in sughero conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 10 cm
12. Strato di rivestimento esterno in armatura di origine minerale combinato con una finitura colorata superficiale legata organicamente, sp. 1 cm
13. Rivestimento esterno in lastre Deck, sp. 2,2 cm, fissato mediante sottostruttura metallica
14. Terreno di reinterro
15. Strato di protezione drenante e filtrante in guaina bugnata con struttura alveolare ad alta densità accoppiata a TNT in polipropilene, sp. 1 cm, accoppiata ad uno strato di impermeabilizzazione in membrana di base autotermodesiva, in bitume distillato polimero elastoplastomerico, sp. 0,5 mm
16. Tubo di drenaggio in materiale termoplastico,  $\Phi$  8 cm

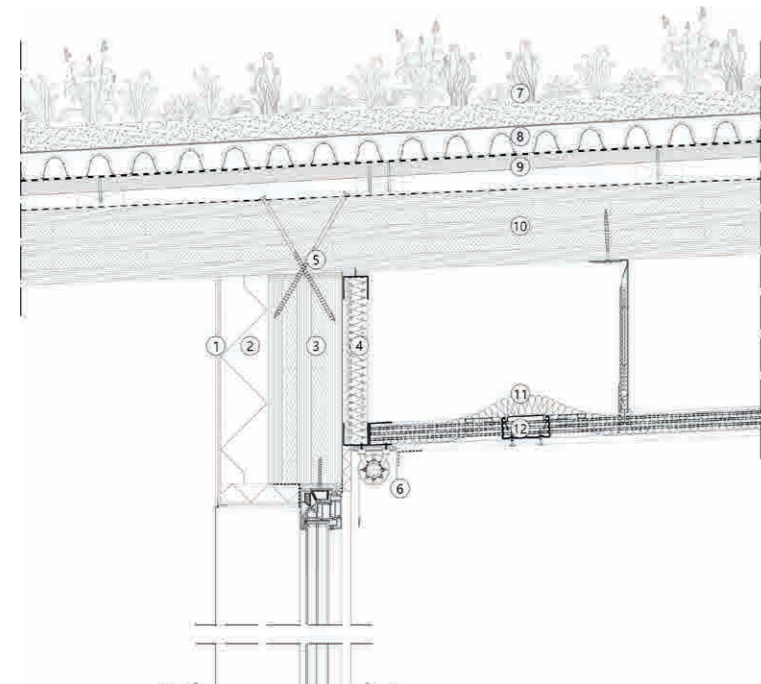
### NODO 5

1. Strato di vegetazione composto da sedum su substrato di terreno composto da materiale principalmente vulcanico, sp. 0,5 cm
2. Elemento prefabbricato in polistirene espanso sinterizzato, sp. 8 cm, con funzione di protezione, drenaggio ed accumulo idrico
3. Strato divisorio costituito da pannelli OSB di dimensione 250x70x3 cm, posto al di sopra di cunei di legno, con pendenza pari all'1%, sp. 4,5 cm
4. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a cinque strati incrociati, sp. 16 cm
5. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, di conduttività  $\lambda=0,038$  W/mK, densità  $\rho=50$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 4 cm
6. Sistema di controsoffitto a fettucce metalliche e doppia orditura metallica per favorire il passaggio di sistema impiantistico
7. Elemento metallico forato per il contenimento della ghiaia di drenaggio
8. Gronda di scolo in acciaio
9. Sistema di fissaggio dei pannelli Cross-Lam di copertura e parete mediante due viti da legno incrociate e con guarnizione in EPDM per tenuta all'acqua, all'aria e al vapore, sp. 0,5 mm

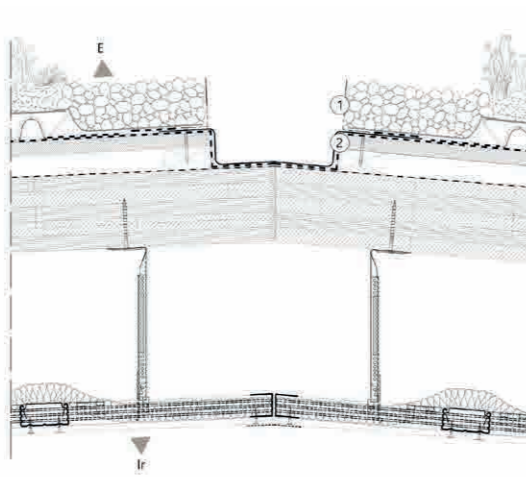




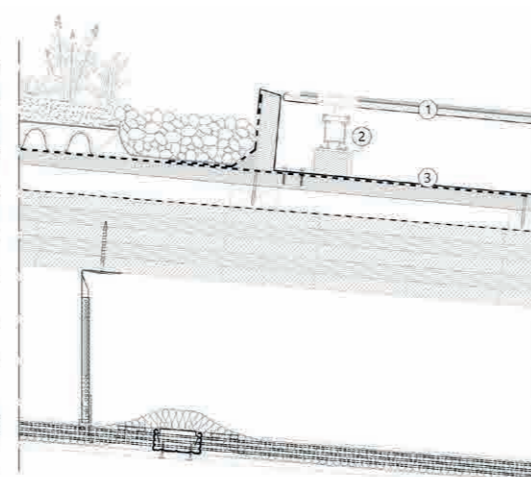
NODO 7



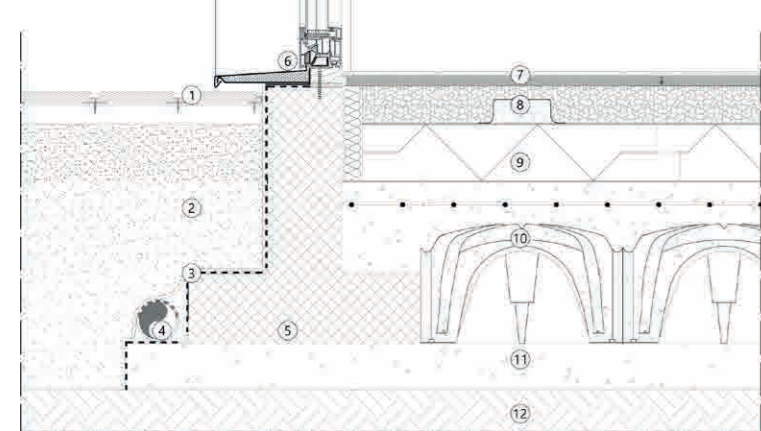
NODO 8



NODO 9



NODO 6



## DETTAGLI TECNOLOGICI

### NODO 6

1. Rivestimento esterno in lastre Deck, sp. 2,2 cm, fissato con sottostruttura metallica
2. Terreno di reinterro
3. Strato di protezione drenante e filtrante in guaina bugnata con struttura alveolare ad alta densità accoppiata a TNT in polipropilene, sp. 1 cm, accoppiata ad uno strato di impermeabilizzazione in membrana di base autotermodesiva, in bitume distillato polimero elastoplastomerico, sp. 0,5 mm
4. Tubo di drenaggio in materiale termoplastico,  $\Phi$  8 cm
5. Plinto di fondazione prefabbricato in calcestruzzo armato
6. Serramento altamente prestazionale in PVC con vetro triplo con gas Krypton interposto, isolamento termico  $U_w=0,62$  W/m<sup>2</sup>K, isolamento acustico 35 dB
7. Strato di finitura interna in piastrelle in gres di sp. 0,7 cm, incollate su strato di regolazione in gessofibra, dimensioni 120x60 cm, di sp. 1,8 cm
8. Strato di regolazione attrezzabile in granulare in perlite, gettato a secco, di sp. 8 cm
9. Strato di coibentazione termico in isolante in sughero di conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, di sp. 10 cm, protetto e separato dagli strati adiacenti da separazione in carta KRAFT di sp. 0,1 mm
10. Strato di casseri a perdere per fondazioni, dimensioni 45x45x25 cm
11. Strato di livellazione in magrone in calcestruzzo, di sp. 10 cm
12. Terreno

### NODO 7

1. Strato di rivestimento esterno in armatura di origine minerale combinato con una finitura colorata superficiale legata organicamente, sp. 1 cm;
2. Strato di coibentazione termico con isolante in sughero naturale, conduttività  $\lambda=0,05$  W/mK, densità  $\rho=170$  kg/m<sup>3</sup>, di sp. 10 cm
3. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam a cinque strati, sp. 16 cm
4. Contro parete interna isolata con orditura metallica in profili guida a "U" in acciaio zincato, dim. 40x50 mm e sp. 0,6 mm, e profili montanti a "C" in acciaio zincato, dim. 50x50 mm e sp. 0,6 mm, aventi interasse 60 cm

5. Sistema di fissaggio dei pannelli Cross-Lam di copertura e parete mediante due viti da legno incrociate e con guarnizione in EPDM per tenuta all'acqua, all'aria e al vapore, sp. 0,5 mm

6. Sistema di oscuramento interno in tenda avvolgibile

7. Strato di vegetazione composto da sedum su substrato di terreno composto da materiale principalmente vulcanico, di sp. 0,5 cm

8. Elemento prefabbricato in polistirene espanso sinterizzato che svolge la triplice funzione di protezione, drenaggio ed accumulo idrico, sp. 8 cm, separato dal terreno con strato di geotessile, filtro per le acque provenienti dal substrato, stabilizzazione per l'apparato radicale e da diffusione capillare dell'umidità, sp. 0,13 cm

9. Strato divisorio costituito da pannelli OSB di dimensione 250x70x3 cm, posto al di sopra di cunei di legno, con pendenza pari all'1%, sp. 4,5 cm

10. Strato portante in pannelli autoportanti Cross-Lam in legno lamellare a cinque strati incrociati, sp. 16 cm

11. Strato di coibentazione termo-acustico in isolante in fibra di legno, di conduttività  $\lambda=0,038$  W/mK, densità  $\rho=50$  kg/m<sup>3</sup>, sp. 4 cm

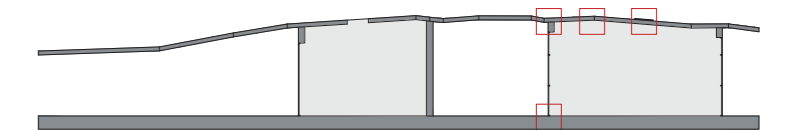
12. Sistema di controsoffitto a fettucce metalliche e doppia orditura metallica per favorire il passaggio di sistema impiantistico

### NODO 8

1. Elemento metallico forato per il contenimento della ghiaia di drenaggio
2. Gronda di scolo in acciaio

### NODO 9

1. Pannello fotovoltaico integrato
2. Sistema di fissaggio del pannello fotovoltaico in clip metalliche ancorate al substrato di sostegno in pannello OSB
3. Lastra di lamiera per pannelli fotovoltaici integrati



# 7.3

## PROGETTO IMPIANTISTICO

Avendo svolto le analisi illuminotecniche e prestazionali delle stratigrafie inserite all'interno del progetto, si è desunto come l'edificio non possa sopperire a tutte le necessità di comfort, basandosi esclusivamente su strategie passive ed attraverso una progettazione consapevole. Si rende quindi necessario lo sviluppo e il dimensionamento di un sistema impiantistico che provveda a garantire un corretto comfort termo-igrometrico interno.

Per questa motivazione, negli schematic design illustrati in precedenza, oltre ad aver inserito le tecniche progettuali di tecnologia passiva, sono state introdotte soluzioni impiantistiche come il sistema di raffrescamento e riscaldamento a soffitto, quello fotovoltaico, quello di ventilazione meccanica controllata e il recupero delle acque piovane.

I successivi paragrafi mostrano infatti come, partendo dal calcolo del fabbisogno, siano stati dimensionati e successivamente verificati in regime dinamico i diversi sistemi di impianti inseriti nel progetto

Per procedere al dimensionamento dell'apparato impiantistico indispensabile per garantire un corretto funzionamento degli edifici di progetto è necessario prima di tutto calcolare il fabbisogno massimo suddividendolo nelle tre componenti, che sono le seguenti:

- Fabbisogno termico per il riscaldamento  $Q_i$  espresso in  $W/m^2$ ;
- Fabbisogno termico per il raffrescamento  $Q_e$  espresso in  $W/m^2$ ;
- Portata minima per il ricambio dell'aria  $Q_v$  espressa in  $m^3/h$ .

### 7.3.1 IL FABBISOGNO TERMICO

Il progetto impiantistico, sviluppato a partire dall'analisi preliminare svolta sulle prestazioni dell'involucro, nasce studiando separatamente e in regime stazionario il comportamento e le esigenze dell'edificio sia durante il periodo invernale che quello estivo. L'obiettivo è infatti quello di ricavare il fabbisogno necessario per il riscaldamento nei mesi invernali e il raffrescamento nei mesi estivi indispensabile per il corretto dimensionamento dell'impianto, al fine di garantire una situazione di massimo comfort all'interno di ogni ambiente.

Ai fini del calcolo del fabbisogno si definiscono le condizioni igrotermiche che si vogliono raggiungere nel periodo di riscaldamento e nel periodo di raffrescamento. Esse sono rispettivamente:  $T_i = 20$  °C,  $UR_i = 45\%$  e  $T_e = 26$  °C,  $UR_e = 50\%$ .

#### 7.3.1.1 COMPORTAMENTO INVERNALE

Il dimensionamento degli impianti viene fatto in funzione del massimo fabbisogno prevedibile ovvero per condizioni di temperatura e umidità relativa rispettivamente pari a 2°C e 80%, tipiche del periodo invernale.

È quindi fondamentale, per determinare il fabbisogno in questo periodo, il calcolo delle dispersioni termiche che viene di norma eseguito in regime stazionario, ossia con temperature costanti sia degli ambienti da riscaldare sia dell'aria esterna, data la modesta entità dell'escursione termica giornaliera invernale.

In tale calcolo si possono inoltre ritenere trascurabili gli apporti del sole dovuti all'irraggiamento, nonché il ritardo con cui il flusso termico si propaga nella struttura. Non vengono poi prese in considerazione, per semplificazione di calcolo, col fine di dimensionare l'impianto con un certo margine di sicurezza, eventuali sorgenti di calore saltuarie come, ad esempio, impianti di illuminazione artificiale e presenza di persone.

Si rivelano inoltre di notevole importanza, come detto in precedenza, sia le condizioni interne di progetto, fissate generalmente a 20°C e 45% di umidità relativa, che le caratteristiche relative allo sviluppo planimetrico ed altimetrico, rapporto tra superfici opache e vetrate, capacità termica della struttura e le diverse soluzioni tecnologiche inserite all'interno del progetto.

Nel calcolo del comportamento invernale si sono trascurati, poiché ritenuti poco significativi, i seguenti apporti:

- Apporti del sole dovuti all'irraggiamento. Nella stagione invernale, questo è un fattore positivo, ma poco attivo nell'arco della giornata e soprattutto non è possibile garantire una sua presenza costante. Con queste considerazioni, si è tralasciato tale contributo per assicurare il comfort soprattutto nelle giornate più fredde nuvolose o piovose;
- Apporti gratuiti interni. Si sono trascurati gli apporti di calore dovuti alle persone, alle macchine motrici e all'illuminazione in quanto poco significativi per la stagione invernale.

Questi accorgimenti, sono stati adottati a favore di sicurezza, al fine di determinare e dimensionare l'impianto nelle condizioni più gravose.

Facendo riferimento alla norma UNI EN 12831 del 2003 si è calcolato il flusso uscente disperso attraverso l'involucro tramite la seguente formula:

$$Q_i = \sum (S \cdot U \cdot \Delta T \cdot \alpha)$$

Dove:

- S è la superficie disperdente a contatto con l'esterno  $[m^2]$ ;
- U è la trasmittanza termica del pacchetto costruttivo  $[W/m^2K]$ ;
- $\Delta T$  è la differenza di temperatura fra esterno e interno, pari a 18 °C, supposto costante in quanto il dimensionamento dell'impianto avviene in regime stazionario;
- $\alpha$  è il coefficiente di esposizione il cui valore varia in funzione dell'orientamento.

Inoltre, bisogna specificare che il coefficiente  $\alpha$  è in funzione dell'esposizione di ogni superficie disperdente, ma tale valore correttivo tiene conto di altri dati relativi all'incidenza della radiazione, al grado di umidità, alla velocità del vento e alla temperatura dell'aria.

Va poi posta particolare attenzione durante il calcolo delle dispersioni dei solai controterra in quanto queste superfici scambiano calore direttamente con il terreno che si trova ad un temperatura diversa da quella dell'aria esterna.

I valori del coefficiente moltiplicativo  $\alpha$  sono presi in considerazione secondo la seguente tabella.

Nord	Est	Ovest	Sud	Nord-Est	Nord-Ovest	Sud-Est	Sud-Ovest
1,20	1,15	1,10	1,00	1,20	1,15	1,10	1,05

Il calcolo delle dispersioni invernali è stato eseguito locale per locale per tutti gli edifici di progetto in modo da tenere conto dell'orientamento di ognuno per poter ricavare la condizione interna più critica con la quale dimensionare l'impianto. Sommando tutti i contributi si ottiene il valore del calore uscente totale, pari a:

$$Q_{tot} = 3909,9 \text{ [W]}$$

Seguono le tabelle, suddivise per spazi analizzati, che evidenziano i carichi invernali per dispersione calcolati relativamente ad ogni edificio. In particolare, ad ogni stratigrafia sono stati assegnati i parametri corrispondenti di orientamento, i coefficienti moltiplicativi relativi e la superficie considerata, per poi procedere al calcolo del carico totale invernale.

BAR	Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S $[m^2]$	U $[W/m^2K]$	$\Delta T$ $[^\circ C]$	$Q_i$ $[W/m^2]$
	Soletta	/	1	53,2	0,273	18	261,4
	Parete SE	Sud-Est	1,1	8,5	0,232	18	39,0
	Finestre SE	Sud-Est	1,1	33,2	0,68	18	447,0
	Parete NE	Nord-Est	1,2	5,3	0,232	18	26,6
	Finestre NE	Nord-Est	1,2	16,8	0,68	18	246,8
	Parete NO	Nord-Ovest	1,15	38,7	0,232	18	185,9
	Finestre NO	Nord-Ovest	1,15	0	0,68	18	0,0
	Parete SO	Sud-Ovest	1,05	5,3	0,232	18	23,2
	Finestre SO	Sud-Ovest	1,05	28,8	0,68	18	370,1
	Copertura	/	1	57	0,211	18	216,5
	Finestre copertura	/	1	2,3	0,68	18	28,2
						<b>Q<sub>i</sub> totale</b>	1844,7

SALA YOGA	Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S $[m^2]$	U $[W/m^2K]$	$\Delta T$ $[^\circ C]$	$Q_i$ $[W/m^2]$
	Soletta	/	1	43,2	0,273	18	212,3
	Parete S	Sud	1	21,8	0,232	18	91,0
	Finestre S	Sud	1	1,6	0,68	18	19,6
	Parete E	Est	1,15	29	0,232	18	139,3
	Finestre E	Est	1,15	1,6	0,68	18	22,5
	Parete N	Nord	1,2	31,6	0,232	18	158,4
	Finestre N	Nord	1,2	1,6	0,68	18	23,5
	Parete O	Ovest	1,1	8,2	0,232	18	37,7
	Finestre O	Ovest	1,1	23,5	0,68	18	316,4
	Copertura	/	1	45,9	0,211	18	174,3
	Finestre copertura	/	1	3,1	0,68	18	37,9
						<b>Q<sub>i</sub> totale</b>	1232,9



INFOPOINT						
Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	ΔT [°C]	Q <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Soletta	/	1	30,3	0,273	18	148,9
Parete S	Sud	1	38	0,232	18	158,7
Finestre S	Sud	1	4,1	0,68	18	50,2
Parete E	Est	1,15	20,3	0,232	18	97,5
Finestre E	Est	1,15	2,7	0,68	18	38,0
Parete N	Nord	1,2	31,7	0,232	18	158,9
Finestre N	Nord	1,2	2,7	0,68	18	39,7
Parete O	Ovest	1,1	23,8	0,232	18	109,3
Finestre O	Ovest	1,1	0	0,68	18	0,0
Copertura	/	1	32,4	0,211	18	123,1
Finestre copertura	/	1	2,3	0,68	18	28,2
<b>Q<sub>i</sub> totale</b>						952,3

### 7.3.1.2 COMPORTAMENTO ESTIVO

Il calcolo del fabbisogno estivo, rispetto a quello invernale richiede una più difficile valutazione a causa della molteplicità dei fattori da considerare per la stima dei carichi ambiente. Contrariamente a quanto detto per il calcolo delle dispersioni invernali, per il calcolo delle rientrate di calore estive non si può far riferimento alle condizioni stazionarie previste da normativa. Questo a causa della variabilità dei flussi termici legati in primo luogo alla radiazione solare, in secondo luogo alla destinazione d'uso degli ambienti dell'edificio e al rispettivo calore latente che producono le persone e i macchinari all'interno delle stanze.

La stima dei carichi del locale prevede un'attenta valutazione di tutte le componenti che contribuiscono a definire i carichi sensibili e quelli latenti.

Possiamo, dunque, diversificare i due contributi fornendo una spiegazione più precisa che meglio li descriva.

- **CONTRIBUTI DI CALORE SENSIBILE (Q<sub>s</sub>):** radiazione solare attraverso pareti opache e trasparenti, trasmissione di calore dall'esterno verso l'interno, apporti gratuiti dovuti all'emissione di calore da parte di persone e macchinari utilizzati nell'ambiente considerato;
- **CONTRIBUTI DI CALORE LATENTE (Q<sub>l</sub>):** apporto di vapore prodotto da persone presenti in ambiente, infiltrazioni di aria esterna con un valore di umidità rispetto a quella riscontrata in ambiente, eventuale vapore prodotto da particolari macchinari.

Questi contributi andranno quindi presi in considerazione durante il calcolo del fabbisogno di raffrescamento che è stato svolto per ogni edificio del progetto per il quale sono stati individuati il giorno e l'ora critica, ossia quella in cui è massimo il valore della radiazione solare incidente su ogni singola superficie, per la quale eseguire il calcolo.

Il carico termico estivo è stato determinato considerando più contributi, ciascuno determinabile separatamente secondo precisi conti e procedure. Si riporta in seguito l'espressione completa per il calcolo del fabbisogno totale ricavato sommando tutti i carichi termici coinvolti.

$$Q = Q_i + Q_{top} + Q_{tv} + Q_s + Q_l$$

Dove:

- Q = carico termico totale dell'ambiente dovuto ai contributi sia sensibile che latente;
- Q<sub>i</sub> = carico termico per irraggiamento attraverso le superfici trasparenti. Si considera solo il contributo sensibile;
- Q<sub>top</sub> = carico termico per trasmissione del calore attraverso le superfici opache;
- Q<sub>tv</sub> = carico termico per trasmissione del calore attraverso le superfici trasparenti;
- Q<sub>s</sub> = contributo al carico interno da parte del calore sensibile;
- Q<sub>l</sub> = contributo al carico interno da parte del calore latente.

La somma di questi termini deve essere valutata nelle condizioni statisticamente più sfavorevoli, in modo da garantire il comfort all'interno degli ambienti, anche nei giorni estivi più caldi.

Il calcolo del carico termico totale è stato effettuato locale per locale e per ognuno è stata individuata, attraverso un'opportuna tabella di calcolo elettronico, la condizione più sfavorevole con la quale è opportuno progettare. Per il corretto dimensionamento del sistema impiantistico, tra tutte le condizioni, si è scelta la peggiore.

Nelle pagine seguenti si riporta la descrizione delle singole voci e il modo con cui si è arrivati alla loro definizione.

### IRRAGGIAMENTO ATTRAVERSO SUPERFICI TRASPARENTI

Il carico termico dovuto alla radiazione solare entrante attraverso le superfici vetrate è stato valutato attraverso la formula che si riporta in seguito, in modo tale da ottenere un carico termico espresso in W.

$$Q_i = A \cdot I \cdot C \cdot g$$

Dove:

- A = superficie totale del vetro, misurata a filo esterno del telaio [m<sup>2</sup>];
- I = è la potenza massima incidente che viene valutata in base all'orientamento considerato e anche in relazione all'ora del giorno andando a scegliere il valore più sfavorevole;
- C = fattore di correzione legato alla riflessione del vetro e alla presenza di eventuale schermatura pari a 0,56;
- g = fattore solare relativo al vetro scelto, considerato pari a 0,42.

Si riportano in tabella i carichi termici ottenuti per ciascun ambiente.

BAR						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	I [W/m <sup>2</sup> ]	C	g	Q <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Finestre SE	Sud-Est	33,2	514	0,5	0,407	3472,7
Finestre NE	Nord-Est	16,8	412	0,5	0,407	1408,5
Finestre NO	Nord-Ovest	0	397	0,5	0,407	0,0
Finestre SO	Sud-Ovest	28,8	514	0,5	0,407	3012,5
Finestre copertura	/	2,3	610	0,5	0,407	285,5
<b>Q<sub>i</sub> totale</b>						8179,2

SALA YOGA						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	I [W/m <sup>2</sup> ]	C	g	Q <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Finestre S	Sud	1,6	530	0,5	0,407	172,6
Finestre E	Est	1,6	401	0,5	0,407	130,6
Finestre N	Nord	1,6	350	0,5	0,407	114,0
Finestre O	Ovest	23,5	507	0,5	0,407	2424,6
Finestre copertura	/	3,1	610	0,5	0,407	384,8
<b>Q<sub>i</sub> totale</b>						3226,5

INFOPOINT						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	I [W/m <sup>2</sup> ]	C	g	Q <sub>i</sub> [W/m <sup>2</sup> ]
Finestre S	Sud	4,1	530	0,5	0,407	442,2
Finestre E	Est	2,7	401	0,5	0,407	220,3
Finestre N	Nord	2,7	350	0,5	0,407	192,3
Finestre O	Ovest	0	507	0,5	0,407	0,0
Finestre copertura	/	2,3	610	0,5	0,407	285,5
<b>Q<sub>i</sub> totale</b>						1140,4

### TRASMISSIONE ATTRAVERSO SUPERFICI OPACHE

Si procede ora con il calcolo del flusso termico estivo attraverso le pareti opache, che richiede un'attenta analisi dei contributi dovuta all'effetto congiunto di due fenomeni:

- Differenza di temperatura tra aria esterna e aria interna, come nel calcolo invernale;
- L'irraggiamento solare sulla facciata esterna, in grado di surriscaldare in modo notevole gli elementi opachi, determinando un aumento di temperatura il più delle volte non trascurabile.

La radiazione solare determina un'azione amplificativa dello scambio termico convettivo-conduttivo-convettivo legato al salto termico dovuto alla differenza di temperatura tra aria esterna ed interna. Il sole con i suoi raggi, colpisce le superfici opache esterne, le quali assorbono il calore fornito dalla radiazione producendo un surriscaldamento non trascurabile nel periodo estivo. Per questo, tale effetto è molto importante ai fini di una corretta stima del fabbisogno frigorifero. Per il calcolo del flusso termico, si è utilizzata la seguente formula:

$$Q_{top} = K \cdot S \cdot \Delta T_{equiv}$$

Dove:

- K = trasmittanza termica della superficie opaca. Il valore può essere ricavato dalla normativa o attraverso un corretto calcolo dei coefficienti dei singoli strati che compongono il pacchetto parete o solaio;
- S = superficie dell'elemento opaco a contatto con l'aria esterna;
- ΔT<sub>equiv</sub> = temperatura equivalente che considera l'effetto congiunto di trasmissione termica e radiazione sulla superficie opaca.

Per il valore della trasmittanza termica ci si è basati sui dati forniti dal software di calcolo J vap fornito da CELNIT S.p.A.. Tutti i pacchetti tecnologici utilizzati all'interno del progetto sono stati infatti analizzati e studiati in modo tale da ottenere un'ottimizzazione di essi anche in termini di isolamento termico.

I dettagli relativi a calcolo della trasmittanza sono stati precedentemente riportati in modo ampio nelle pagine precedenti.

Si riporta dunque in seguito solamente un riepilogo dei valori ottenuti per le stratigrafie di progetto.

- Solaio controterra:  $U=0,273 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- Copertura:  $U=0,211 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- Parete perimetrale:  $U=0,232 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

La temperatura equivalente è una mediazione tra la trasmissione del calore attraverso la superficie opaca e l'effetto radiativo solare.

Per quanto riguarda il  $\Delta T_{\text{equiv}}$  esso è un valore tabulato in funzione della latitudine e dell'orientamento della partizione. Esso, infatti, varia a seconda delle ore durante l'arco della giornata, per le quali si è considerato il periodo di tempo in cui è in funzionamento l'edificio.

Nelle tabelle si riportano i dati relativi ad ogni edificio di progetto analizzato.

BAR						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T_{\text{eq}}$ [°C]	$Q_{\text{top}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Parete SE	Sud-Est	8,5	0,232	9,7	19,1	
Parete NE	Nord-Est	5,3	0,232	5,3	6,5	
Parete NO	Nord-Ovest	38,7	0,232	3,0	26,9	
Parete SO	Sud-Ovest	5,3	0,232	7,4	9,1	
Copertura	/	57	0,211	8,5	102,2	
					<b>Q<sub>top</sub> totale</b>	163,9

SALA YOGA						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T_{\text{eq}}$ [°C]	$Q_{\text{top}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Parete S	Sud	21,8	0,232	8,5	43,0	
Parete E	Est	29	0,232	9,7	65,3	
Parete N	Nord	31,6	0,232	1,9	13,9	
Parete O	Ovest	8,2	0,232	6,4	12,2	
Copertura	/	45,9	0,211	8,5	82,3	
					<b>Q<sub>top</sub> totale</b>	216,7

INFOPOINT						
Stratigrafia	Orientamento	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T_{\text{eq}}$ [°C]	$Q_{\text{top}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Parete S	Sud	38	0,232	8,5	74,9	
Parete E	Est	20,3	0,232	9,7	45,7	
Parete N	Nord	31,7	0,232	1,9	14,0	
Parete O	Ovest	23,8	0,232	6,4	35,3	
Copertura	/	32,4	0,211	8,5	58,1	
					<b>Q<sub>top</sub> totale</b>	228,0

## TRASMISSIONE ATTRAVERSO SUPERFICI TRASPARENTI

Il calcolo del flusso di calore, proveniente dall'esterno che attraversa le superfici vetrate, può essere calcolato in maniera analoga a quanto si fa per il calcolo delle dispersioni invernali.

$$Q_{\text{tv}} = K \cdot S \cdot \Delta T$$

Dove:

- K = trasmittanza della superficie trasparente. Tale valore può essere ricavato dalla normativa di riferimento o dalle schede tecniche del prodotto scelto;
- S = superficie finestrata al lordo del telaio;
- $\Delta T$  = differenza di temperatura tra interno ed esterno.

Data la varietà dei flussi termici nella stagione estiva, si è voluto calcolare il calore di trasmissione ora per ora nel corso della giornata, considerando l'orientamento della superficie e applicando il corrispondente  $\Delta T$ . Per quanto riguarda il valore di trasmittanza per le superfici vetrate si è considerato il valore di  $0,68 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

BAR							
Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T$ [°C]	$Q_{\text{tv}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Finestre SE	Sud-Est	1,1	33,2	0,68	10	248,3	
Finestre NE	Nord-Est	1,2	16,8	0,68	10	137,1	
Finestre NO	Nord-Ovest	1,15	0	0,68	10	0,0	
Finestre SO	Sud-Ovest	1,05	28,8	0,68	10	205,6	
Finestre copertura	/	1	2,3	0,68	10	15,6	
						<b>Q<sub>tv</sub> totale</b>	606,7

SALA YOGA							
Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T$ [°C]	$Q_{\text{tv}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Finestre S	Sud	1	1,6	0,68	10	10,9	
Finestre E	Est	1,15	1,6	0,68	10	12,5	
Finestre N	Nord	1,2	1,6	0,68	10	13,1	
Finestre O	Ovest	1,1	23,5	0,68	10	175,8	
Finestre copertura	/	1	3,1	0,68	10	21,1	
						<b>Q<sub>tv</sub> totale</b>	233,3

INFOPOINT							
Stratigrafia	Orientamento	Coeff. Disp.	S [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Delta T$ [°C]	$Q_{\text{tv}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	
Finestre S	Sud	1	4,1	0,68	10	27,9	
Finestre E	Est	1,15	2,7	0,68	10	21,1	
Finestre N	Nord	1,2	2,7	0,68	10	22,0	
Finestre O	Ovest	1,1	0	0,68	10	0,0	
Finestre copertura	/	1	2,3	0,68	10	15,6	
						<b>Q<sub>tv</sub> totale</b>	86,7

## CARICHI INTERNI

Un contributo non trascurabile per la definizione del carico termico totale a carico dell'impianto di raffreddamento, è rappresentato dai contributi di calore sensibile e latente generati all'interno dell'ambiente da parte di persone e macchinari.

È infatti necessario considerare l'affollamento massimo degli ambienti e le attività in essi svolte, dato che l'uomo, nello svolgere le sue funzioni, produce energia sotto forma di calore che scambia con l'ambiente per irraggiamento e convezione e cede vapore acqueo mediante la respirazione e l'evaporazione superficiale. Anche per questi calcoli si fa riferimenti a valori tabellari forniti dalla normativa sulla base dei quali si possono ipotizzare determinati parametri a seconda del tipo di attività svolta all'interno di ciascun locale considerato.

Gli edifici da noi analizzati prevedono diverse destinazioni d'uso. Si è analizzata la sala ristoro del bar, dove si trovano una media di circa 40 persone che svolgono attività sedentarie. Nel luogo adibito a sala yoga si riscontra la presenza di 10 persone in movimento. Infine per quanto riguarda lo spazio infopoint, date le sue piccole dimensioni, si ha la presenza di un unico operatore che svolge lavoro d'ufficio. Nella medesima stanza si può avere la presenza contemporanea di 9 turisti.

La formula utilizzata per il calcolo dei carichi interni è la seguente:

$$Q_c = Q_i + Q_s$$

In particolare, sia per il calcolo di  $Q_s$  che per quello di  $Q_c$  è stato possibile applicare la formula più generale riportata in seguito:

$$Q_c = N^\circ \cdot Q_{\text{el}}$$

dove:

- $Q_c$  = carico interno totale dato dalla somma di calore latente ( $Q_l$ ) e di calore sensibile ( $Q_s$ );
- $N^\circ$  = numero degli elementi presenti all'interno del locale che producono in ambiente calore sensibile o calore latente come persone, macchinari, illuminazione;
- $Q_{\text{el}}$  = stima del calore prodotto da ciascun elemento considerato. Ci si riferisce a valori tabellari.

Di seguito si riportano i valori del calore sensibile calcolato ( $Q_s$ ):

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_s$ [W/m <sup>2</sup> ]
BAR	Persone	40	60	2400,0
margine di sicurezza pari al 5%				120,0

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_s$ [W/m <sup>2</sup> ]
SALA YOGA	Persone	10	90	900,0
margine di sicurezza pari al 5%				45,0

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_s$ [W/m <sup>2</sup> ]
INFOPOINT	Persone	10	60	600,0
margine di sicurezza pari al 5%				30,0

Vengono ora riportati i valori del calore latente calcolato ( $Q_l$ ):

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_l$ [W/m <sup>2</sup> ]
BAR	Persone	40	60	2400,0

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_l$ [W/m <sup>2</sup> ]
SALA YOGA	Persone	10	90	900,0

Edificio	Denominazione	Quantità	Radiazione	$Q_l$ [W/m <sup>2</sup> ]
INFOPOINT	Persone	10	60	600,0

Q <sub>l</sub> TOTALE PROGETTO	
	3900,0

Dopo aver calcolato i valori singoli dei diversi apporti di calore, è possibile calcolare il carico termico estivo. Si riporta ora un riepilogo del fabbisogno invernale ed estivo.

### FABBISOGNO INVERNALE

BAR	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	1844,7
SALA YOGA	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	1232,9
INFOPOINT	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	952,3
<b>Calore totale INVERNALE [W/m<sup>2</sup>]</b>		<b>4029,9</b>

### FABBISOGNO ESTIVO

	$Q_i$ [W/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{top}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{tv}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	$Q_s$ [W/m <sup>2</sup> ]	$Q_{\text{s}} \text{ Totale Zona}$ [W/m <sup>2</sup> ]
BAR	3226,5	163,9	606,7	2520,0	6517,1
SALA YOGA	3226,5	216,7	233,3	945,0	4621,5
INFOPOINT	1140,4	228,0	86,7	630,0	2085,1

Calore Sensibile Q <sub>s</sub> totale [W/m <sup>2</sup> ]		13223,7
BAR	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	2400,0
SALA YOGA	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	900,0
INFOPOINT	$Q_l$ totale [W/m <sup>2</sup> ]	600,0
<b>Calore Latente Q<sub>l</sub> totale [W/m<sup>2</sup>]</b>		<b>3900,0</b>
<b>Calore totale ESTIVO Q<sub>s</sub>+Q<sub>l</sub> [W/m<sup>2</sup>]</b>		<b>17123,7</b>



## 7.3.2 LA FILOSOFIA IMPIANTISTICA

Una volta a conoscenza del fabbisogno necessario per il riscaldamento, per il raffrescamento e delle portate d'aria di ventilazione si possono avanzare delle ipotesi relative al sistema impiantistico.

### POMPA DI CALORE ACQUA-ACQUA

Si demanda parte della generazione di freddo e di caldo ad un pompa di calore reversibile di tipo acqua-acqua, che può attingere direttamente dal mare.

È bene specificare che trattandosi di un ambiente aggressivo, come quello dell'acqua salata marina, sarà necessario ricorrere ad una pompa che sia adeguatamente predisposta con uno scambiatore intermedio a doppio circuito in acciaio inox.

La reversibilità della pompa garantisce il funzionamento dell'impianto sia in inverno che in estate: invertendo il senso di circolazione del fluido intermedio, e quindi il senso del flusso di calore scambiato, si ha la possibilità di generare sia caldo che freddo.

Il senso di circolazione è invertito con l'aiuto dei seguenti componenti:

- Una valvola deviatrice a 4 vie posta a monte del compressore;
- Una valvola deviatrice a 3 vie posta sul tratto di circuito dove viene fatto espandere il fluido;
- Una seconda valvola di espansione.

### SISTEMA DI CLIMATIZZAZIONE

Il sistema di climatizzazione risulta essere misto in quanto in alcuni ambienti è sufficiente il riscaldamento/raffrescamento radiante a soffitto, mentre in altri quest'ultimo è aiutato dall'aria di ventilazione che, immessa con un adeguato delta di temperatura  $\Delta T$ , permette di soddisfare il fabbisogno energetico.

### PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA

Per quanto concerne la produzione di acqua calda sanitaria si prevede un impianto solare termico che viene aiutato dalla pompa di calore; in inverno ciò avviene in modo diretto mentre nella stagione estiva si verifica attraverso un recupero di calore dal fluido termo-vettore di ritorno.

L'acqua calda sanitaria viene stoccata in un apposito serbatoio munito di serpentine.

### VENTILAZIONE DEGLI AMBIENTI

Riguardo alla ventilazione negli ambienti è necessario fare un distinguo:

- Ambienti non soggetti ad affollamento (live-in-studio): per questa tipologia di locale si utilizza una ventilazione meccanica a semplice flusso. Il sistema è costituito da un piccolo elettro-ventilatore di estrazione dell'aria collegato mediante condotti rigidi a griglie di estrazione collocate nei locali di servizio (cucina e bagni). L'afflusso di aria esterna avviene mediante bocchette, disposte sui serramenti posti a Nord-Est, muniti di dispositivi di autoregolazione della portata. L'installazione prevista è di tipo condominiale centralizzata: si installa un unico ventilatore esternamente, sul tetto, da cui si dirama una serie di canali che collega le colonne montanti.
- Ambienti soggetti ad affollamento: per questi ultimi è stata prevista una ventilazione tramite impianto di climatizzazione a tutt'aria, capace di trattare grandi quantitativi di fluido. Si prevede quindi l'installazione di un'unità di trattamento aria (U.T.A.) che serva il bar, la sala Yoga ed infine l'infopoint.

### IMPIANTO FOTOVOLTAICO

La copertura verde è composta da molteplici falde inclinate. Si posizionano su alcune di esse dei pannelli fotovoltaici a film sottile, per sopperire al fabbisogno di energia elettrica per l'edificio.

Si decide di utilizzare il prodotto proposto dall'azienda Sunerg Solar che propone pannelli costituiti da particolari celle solari in silicio amorfo (spessore 1  $\mu\text{m}$ ), incapsulate in un polimero stabilizzato ai raggi ultravioletti. Ciascun modulo fotovoltaico utilizza celle solari a tripla giunzione con silicio a film sottile, in cui la componente blu, verde e rossa dello spettro della luce solare è assorbita dai differenti strati presenti. Il sistema scelto risulta adatto alla bassa pendenza del tetto e alla localizzazione del sito di progetto; inoltre è di facile montaggio in quanto viene incollato al rivestimento metallico che ricopre la copertura. È da sottolineare poi come sia stata posta una particolare attenzione all'aspetto architettonico in quanto i pannelli sono stati accoppiati a due a due in modo da formare dei quadrati di dimensioni simili a quelle delle aperture zenitali già presenti in copertura, in modo tale che si integrassero al meglio con le scelte estetiche ed architettoniche del complesso progettuale.

## 7.3.3 IMPIANTO DI AERAZIONE

### 7.3.3.1 CALCOLO PORTATE D'ARIA E FABBISOGNO RESIDUO

I locali componenti il progetto sono dotati serramenti trasparenti apribili e non, grazie ai quali è possibile sfruttare la ventilazione naturale per il ricambio d'aria. Ciò nonostante, non essendo sufficiente l'utilizzo della ventilazione passiva dell'edificio si è scelto di affidare il ricambio d'aria alle Unità di Trattamento Aria (U.T.A.), da dimensionare in modo che possano servire i locali considerati.

La progettazione delle apparecchiature è stata effettuata a seconda delle esigenze che i determinati locali richiedevano. Tali necessità sono dipendenti dal numero di persone e dall'attività svolta all'interno di ognuno. Generalmente le U.T.A. presentano il medesimo impianto a meno di qualche modifica nel recuperatore (entalpico o sensibile) e nella possibilità di effettuare ricircolo d'aria o meno a seconda dei limiti imposti dalla normativa. Per il calcolo della portata d'aria primaria ci si è avvalsi della UNI 10339 in cui è esplicitato il numero di occupanti dei locali.

L'impianto aeraulico deve consentire di raggiungere e mantenere le condizioni di qualità e di movimento dell'aria e i suoi requisiti termici ed igrometrici specifici delle funzioni assegnate (filtrazione, riscaldamento, raffrescamento, umidificazione, deumidificazione) in accordo con le prescrizioni della normativa UNI10339.

Il vantaggio di utilizzare una unità di trattamento dell'aria risiede nel fatto che risulta così possibile controllare sia la salubrità dell'aria sia le condizioni di comfort all'interno dell'edificio.

Per trovare la portata d'aria ( $P_a$ ) si è utilizzata la seguente formula:

$$P_a = (\text{numero persone}) \cdot (\text{portata aria/numero persone}) \cdot 3,6 \text{ [m}^3/\text{h]}$$

PORTATE D'ARIA: NORMATIVA			
Destinazione d'uso	Persone/m <sup>2</sup>	Q <sub>op</sub> 10 <sup>-3</sup> [m <sup>3</sup> /s persona]	Q <sub>o</sub> 10 <sup>-3</sup> [m <sup>3</sup> /s persona]
Bar	0,8	11	/
Palestre	0,6	10	/
Uffici	0,06	11	/

PORTATE D'ARIA: CALCOLO		
Destinazione d'uso	Numero di persone presenti	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /h]
Bar	40	1584
Sala Yoga	10	360
Infopoint	10	396

Una volta note le portate d'aria immesse all'interno dell'edificio si calcola il calore asportato dall'aria in estate ed inverno da cui è possibile ricavare il fabbisogno residuo per le due stagioni.

Per determinare la quantità di calore asportata si è utilizzata la seguente formula:

$$Q_{\text{asportato}} = P_a \cdot 0,34 \cdot \Delta T \text{ [W]}$$

Dove:

- $P_a$  è la portata di aria primaria immessa nel singolo ambiente [m<sup>3</sup>/h];
- 0,34 Wh/m<sup>3</sup>K è il calore specifico dell'aria;
- $\Delta T$  è la differenza fra la temperatura dell'aria immessa (che come si vedrà in seguito sarà settata pari a 16°C) e la temperatura ambiente (26°C in estate), pari a 10°C.

Per il calcolo del fabbisogno residuo si utilizza la seguente formula:

$$Q_{\text{residuo}} = Q_{i/e} - Q_{\text{asportato } i/e}$$

La tabella sottostante riporta i risultati così ottenuti in cui sono riassunte sia le quantità di calore residuo che asportato..

FABBISOGNO RESIDUO				
Destinazione d'uso	Q <sub>asportato, i</sub> [W]	Q <sub>asportato, e</sub> [W]	Q <sub>residuo, i</sub> [W]	Q <sub>residuo, e</sub> [W]
Bar	5385,60	5385,60	-3540,94	1131,52
Sala Yoga	1224,00	1224,00	8,90	3397,50
Infopoint	1346,40	1346,40	-394,09	738,66

Dalla tabella si nota che asportando una quantità di calore pari a 1224 W, si ottiene un calore residuo nel locale della sala Yoga pari a:

$$Q_{\text{Residuo,SalaYoga}} = Q_{S,SalaYoga} - Q_{\text{Asportato}} = 4621,50 \text{ W} - 1224 \text{ W} = 3397,5 \text{ W}$$

Analizzando il risultato ottenuto si reputa che il calore residuo relativo a questo ambiente sia eccessivo da sopperire con il solo funzionamento del riscaldamento radiante a soffitto che è previsto nel progetto. Pertanto si decide di implementare il funzionamento dell'Unità di Trattamento Aria in questo locale, portando la quantità di calore aspirato ad un valore di 2500 W. Procedendo col calcolo si ottiene:

$$Q_{\text{Residuo,SalaYoga}} = Q_{S,SalaYoga} - Q_{\text{AsportatoAumentato}} = 4621,50 \text{ W} - 2500 \text{ W} = 2121,50 \text{ W}$$

Il fabbisogno residuo calcolato è dunque minore rispetto al precedente e risulta pari a 2121,5 W.

### 7.3.3.2 DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DELLA U.T.A.

L'unità di trattamento aria (U.T.A.) è una apparecchiatura in grado di apportare modifiche all'aria che aspira dall'ambiente esterno, condizionandone in particolare la temperatura e l'umidità. Generalmente è composta da:

- Una serranda di presa;
- Un recuperatore termico;
- Un filtro aria;
- Una batteria di pre-riscaldamento;
- Una batteria di raffreddamento e deumidificazione;
- Una sezione umidificante;
- Una batteria di post-riscaldamento (quando necessaria);
- Un filtro ad alta efficienza;
- Un ventilatore di mandata aria;
- Un ventilatore di aspirazione/espulsione aria.

Relativamente al meccanismo di questo apparecchio è poi importante distinguere tra funzionamento in regime invernale ed estivo. Infatti, durante i mesi freddi ossia quando la batteria di raffreddamento e quella di post riscaldamento non sono operative, l'aria segue il percorso incontrando in ordine:

Serranda > Recuperatore > Filtro > Preriscaldamento > Sezione Umidificante > Ventilatore > Silenziatore.

Per quanto riguarda il periodo estivo invece, ossia quando la batteria di preriscaldamento e la sezione umidificante non sono operative, il percorso è il seguente:

Serranda > Recuperatore > Filtro > Raffreddamento > Post-riscaldamento > Ventilatore.

Infine, in relazione sia agli ambienti che ai volumi di aria da trattare calcolati nei precedenti paragrafi si prevede l'installazione di una sola unità di trattamento dell'aria.

### SCelta DEL MODELLO

Prima di procedere con lo svolgimento dei calcoli e la determinazione del diagramma psicometrico, si è scelto il modello di Unità Trattamento Aria (U.T.A.) da utilizzare nel progetto.

L'U.T.A. è stata dimensionata partendo dal valore della portata di aria che deve essere garantita per la mandata e da un range consigliato di velocità di attraversamento delle batterie compreso tra 2,5 e 2,8 m/s.

Si è poi definito il modello a partire dalle portate massime, facendo riferimento alle schede tecniche fornite da NOVAIR. Si riportano di seguito le caratteristiche principali di essa:

- Nome: CTA 64;
- Portata [m<sup>3</sup>/h]: 3400;
- Velocità batterie [m/s]: 2,5;
- Dimensioni (b-h-l) [mm]: 1100 x 940 x 5750.



Figura 266\_Unità Trattamento Aria utilizzata nel progetto di NOVAIR

### IL DIAGRAMMA PSICROMETRICO

Le trasformazioni dell'aria umida vengono studiate per calcolare il fabbisogno massimo, estivo ed invernale, necessario per determinare la quantità di energia richiesta alla pompa di calore per garantire il funzionamento delle U.T.A.. Tali trasformazioni sono rappresentate sotto forma di un diagramma, noto come diagramma psicometrico. Questo strumento permette di esplicitare tutte le grandezze termo-igrometriche dell'aria da trattare. In seguito si elencano e si descrivono brevemente:

- Temperatura a bulbo secco: è la temperatura misurata da un comune termometro a bulbo che risulta essere totalmente indipendente dall'umidità relativa dell'aria. Sul diagramma essa è rappresentata sull'asse orizzontale;
- Umidità specifica: indica quanti grammi di vapore acqueo sono presenti in ogni chilogrammo di aria secca. Sul diagramma è indicata sull'asse verticale posto sul lato destro;
- Umidità relativa: è la percentuale di vapore contenuta nell'area in rapporto alla massima quantità in essa contenibile alla data temperatura;
- Temperatura a bulbo umido: è la temperatura dell'aria ambiente misurata da un termometro il cui bulbo è mantenuto umido dall'acqua di una garza imbevuta in cui è avvolta. Si tratta quindi della misura dell'aria ambiente quando essa viene resa satura secondo un processo che avviene ad entalpia costante;
- Temperatura di rugiada: è la temperatura alla quale l'aria raggiunge le condizioni di saturazione (U.R. =100%);
- Entalpia: è la grandezza termodinamica che indica il contenuto energetico di una sostanza alle date condizioni di temperatura, pressione ecc.;
- Volume specifico: è il volume occupato dall'aria facendo riferimento al chilogrammo di aria secca. Sul diagramma psicometrico le rette ad inclinazione ripida rappresentano le rette a volume specifico costante.

Vengono di seguito esaminate separatamente tutte le trasformazioni subite dall'aria durante i periodi invernale ed estivo, che interessano il volume d'aria trattato dall'U.T.A. e che permettono a questa apparecchiatura di riscaldare e raffreddare gli ambienti.

#### 1. PERIODO INVERNALE

Si riportano sul diagramma psicometrico le condizioni dell'aria esterna, espresse dal punto (A), e quelle interne di progetto, espresse dal punto di arrivo (D).

	PUNTO A	PUNTO D
	Esterno	Interno
T [°C]	2	20
UR [%]	85	45
X [g/kg a.s.]	2.5	6.5
h [kJ/kg]	11	38

La U.T.A. deve trattare una portata d'aria pari a 3400 m<sup>3</sup>/h, che corrisponde al valore di 0,94 m<sup>3</sup>/s; il volume specifico V, come si legge sul diagramma psicometrico, è pari a 0,78 m<sup>3</sup>/kg.

A partire da questi dati verranno successivamente analizzate le fasi principali del funzionamento della macchina, ossia quella di recupero, di riscaldamento e di umidificazione. Questi passaggi sono riportati nelle pagine seguenti uno per uno, in modo dettagliato.

#### FASE 1: RECUPERO

La prima trasformazione compiuta all'interno dell'U.T.A. corrisponde al recupero entalpico ed avviene esattamente in corrispondenza della prima sezione, ossia all'interno del recuperatore rotativo, che si trova subito dopo la sezione di presa dell'aria esterna. Questa tipologia di apparecchio garantisce un recupero di calore sensibile e di umidità con un'efficienza pari al 70% per entrambi i processi.

Per essere a conoscenza dell'entità del recupero è inoltre necessario sapere sia il valore di  $\Delta T$ , pari a 18 K, e quello del  $\Delta X$ , pari a 4 g/kg, parametri derivanti dalle condizioni iniziali dell'aria. Ognuna di queste due differenze deve poi essere moltiplicata per il rendimento del recuperatore ( $\eta = 0,7$ ) ottenendo così il calore sia sensibile che latente recuperato.

Nella tabella sottostante si riportano i calcoli effettuati:

	$\Delta$ Effettivo	Rendimento $\eta$	$\Delta$ Calcolato
$\Delta T$ [°C]	18	0.7	12.6
$\Delta X$ [g/kg a.s.]	4	0.7	2.8



Il passo successivo è quello di definire il punto (B) sul diagramma psicometrico. A questo fine è necessario svolgere dei calcoli. I valori ottenuti dovranno infatti essere sommati ai valori iniziali dell'aria esterna determinando le caratteristiche del punto (B) del grafico.

In tabella si riportano le caratteristiche del punto (B), specificandone temperatura, umidità relativa, umidità specifica ed entalpia.

	PUNTO B
T [°C]	14.6
UR [%]	58
X [g/kg a.s.]	5.3
h [kJ/kg]	30

Per capire quanto calore è stato recuperato, basta conoscere la differenza di entalpia Δh. Il valore dell'entalpia è pari a 19 kJ/kg, ed è definito dalla distanza tra il punto iniziale (A) e il punto (B).

È necessario poi che questo valore sia moltiplicato per la portata d'aria espressa in kg/s (p/V).

$$(0,94 \text{ m}^3/\text{s}) / (0,78 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 19 \text{ kJ/kg}) = 22,9 \text{ kW}$$

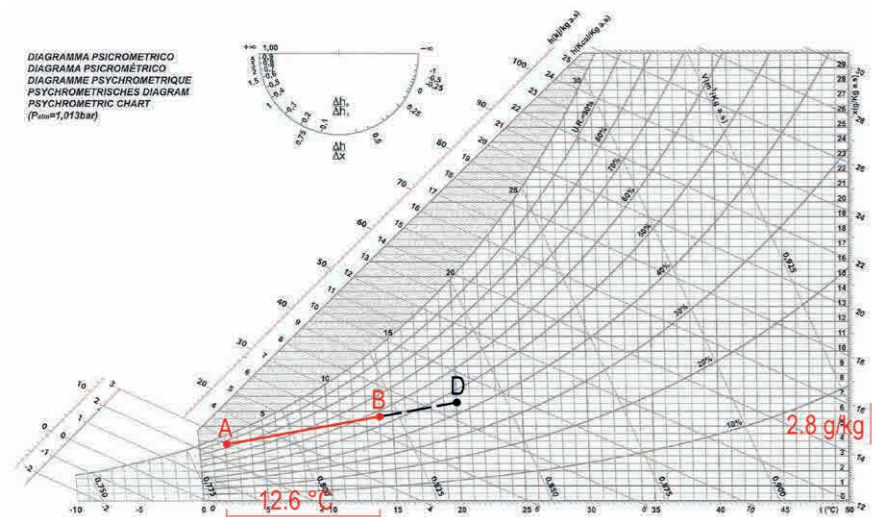


Figura 267\_Diagramma psicometrico del recupero di calore sensibile e di umidità assoluta

FASE 2: RISCALDAMENTO

La seconda fase, relativa al riscaldamento, avviene in corrispondenza della prima batteria e consiste in una trasformazione esclusivamente di tipo sensibile. In altre parole è rappresentata da un segmento orizzontale che congiunge il punto (B) al punto (C) caratterizzato dalla stessa umidità assoluta del punto (B) oltre ad un valore di entalpia pari a quello del punto (D).

	PUNTO C
T [°C]	24
UR [%]	30
X [g/kg a.s.]	5.3
h [kJ/kg]	38

Quindi, per calcolare la potenza che deve essere assegnata alla batteria di preriscaldamento l'operazione da seguire è la seguente:

$$Q_{\text{risc}} = p \text{ [m}^3/\text{h}] \cdot c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta T$$

Ottenendo pertanto un valore di  $Q_{\text{risc}}$  pari a:

$$3400 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K} \cdot (24 - 14,6) \text{ K} = 10,86 \text{ kW}$$

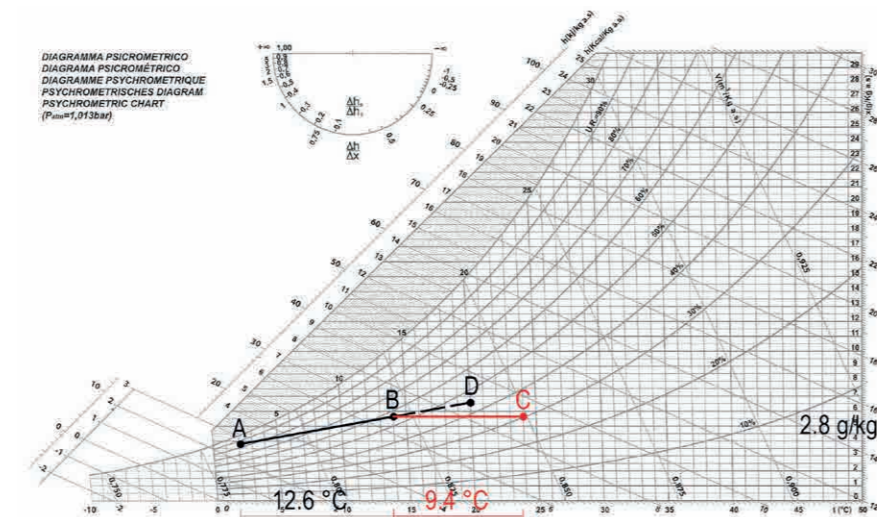


Figura 268\_Diagramma psicometrico del riscaldamento sensibile

FASE 3: UMIDIFICAZIONE

L'ultima trasformazione per quanto riguarda il trattamento invernale è quella di umidificazione a pacco irrorato, uno dei sistemi più utilizzati nelle unità di trattamento aria destinate al servizio di ambienti climatizzati dove non è necessaria un'umidificazione sterile. Il pacco è composto da speciali fogli, sistemati a strati, grazie ai quali è possibile portare a stretto contatto l'aria con un limitato volume di acqua in circolazione :

- Pacco in PVC da 300 mm
- Pompa di ricircolo con efficienza pari all'85/90%

Questa fase segue, sul diagramma psicometrico l'isoentalpica relativa al punto (C) fino a congiungerlo al punto (D), ossia il punto finale del processo di trasformazione invernale. È infine possibile calcolare la portata di acqua da assegnare alla sezione umidificante con la seguente formula:

$$p_{\text{H}_2\text{O}} \text{ [g/s]} = p_{\text{aria}} \text{ [m}^3/\text{s}] / V \text{ [m}^3/\text{kg}] \cdot \Delta X \text{ [g/kg]}$$

Ottenendo pertanto un valore di  $p_{\text{H}_2\text{O}}$  [g/s] pari a:

$$0,94 \text{ m}^3/\text{s} / 0,78 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot (6,5 - 5,3) \text{ g/kg} = 1,45 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{s}$$

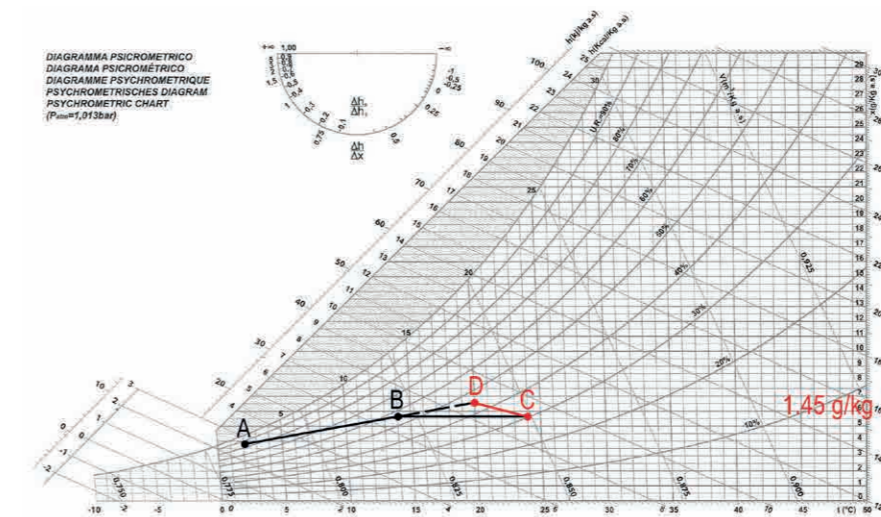


Figura 269\_Diagramma psicometrico di umidificazione

2. PERIODO ESTIVO

Si passa ora ad analizzare il secondo caso di analisi, ovvero il periodo estivo in cui è necessario un raffreddamento dell'aria.

Nel caso estivo le condizioni dell'aria esterna, relativa al punto (A), e quelle interne di progetto, definite dal punto E, sono riassunte nella seguente tabella:

	PUNTO A	PUNTO D
	Esterno	Interno
T [°C]	34	26
UR [%]	40	50
X [g/kg a.s.]	13.5	10.5
h [kJ/kg]	70	54

Come svolto nel periodo invernale, anche nel periodo estivo si hanno dei dati di partenza caratteristici delle U.T.A.

Data la portata di aria da trattare pari a 3400 m³/h, ossia 0,94 m³/s, il volume specifico V, come si legge sul diagramma psicometrico, è pari a 0,78 m³/kg.

A partire da questi dati verranno successivamente analizzate le fasi di recupero, riscaldamento e umidificazione.

FASE 1: RECUPERO

Come nel caso invernale i punti (A) e (D) sono noti e possono essere identificati sul grafico. Come primo passo è opportuno andare a definire il punto (B), così come è rappresentato nel diagramma psicrometrico posto in basso.

Anche per il caso estivo la prima trasformazione che avviene all'interno dell'U.T.A. corrisponde al recupero entalpico e vale:

Recupero sensibile:  $\Delta T = 8 \text{ K}$   $8 \text{ K} \cdot 0,7 = 5,6 \text{ K}$

Recupero latente:  $\Delta X = 3 \text{ g/kg}$   $3 \text{ g/kg} \cdot 0,7 = 2,1 \text{ g/kg}$

Sottraendo quindi i valori ottenuti a quelli relativi alla condizione iniziale si arriva al punto B. Nella tabella sottostante si riportano i valori di temperatura, umidità relativa, umidità specifica ed entalpia relativi al suddetto punto.

PUNTO B	
T [°C]	28,4
UR [%]	58
X [g/kg a.s.]	11,4
h [kJ/kg]	58

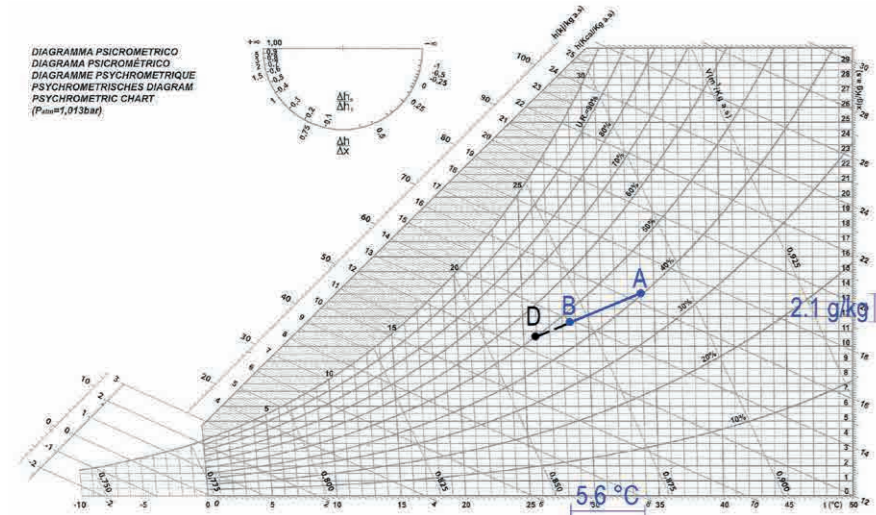


Figura 270\_Diagramma psicrometrico del recupero di calore sensibile e di umidità assoluta

FASE 2: RAFFREDDAMENTO E DEUMIDIFICAZIONE

Questa trasformazione avviene in corrispondenza della batteria di raffreddamento che consente, abbassando la temperatura, di deumidificare l'aria. Per capire quanto raffreddarla è inoltre necessario fare due osservazioni:

- Essa, per essere deumidificata, deve essere portata a saturazione, ossia ad un'umidità relativa del 100%. Sul diagramma questo passaggio corrisponde ad una traslazione orizzontale verso sinistra partendo dal punto (B) fino ad arrivare alla curva dell'umidità relativa del 100%. In questo modo se continua il processo di raffreddamento l'aria condensa, in quanto la temperatura scende al di sotto della temperatura di rugiada.
- Il calore latente viene smaltito grazie all'immissione di una quantità di aria secca nell'ambiente. Dal calore latente prodotto all'interno degli ambienti serviti dall'U.T.A. si ricava quindi il  $\Delta X$  che bisogna vincere grazie al processo di deumidificazione che si verifica sempre all'interno della batteria di raffreddamento.

Riportiamo a questo punto i procedimenti matematici seguiti per ricavare la quantità di vapore deumidificato. Si considera, in primo luogo, il calore latente  $Q_L$  prodotto negli edifici e moltiplicato per un coefficiente di contemporaneità pari a 0,7:

$Q_L = 1680 \text{ W}$

Si passa poi a ricavare la portata di acqua contenuta in questa massa di aria attraverso la seguente formula:

$m_{H_2O} = Q_L / c_v = 2,33 \text{ g/s}$

Dove:

$c_v$  è il calore di vaporizzazione, pari a 720 Wh/kg

Si passa poi al calcolo della differenza di umidità assoluta  $\Delta X$ :

$\Delta X = m_{H_2O} \cdot V / q_{aria}$   
 $2,33 \text{ g/s} \cdot (0,89 \text{ m}^3/\text{kg} / 0,94 \text{ m}^3/\text{s}) = 2,21 \text{ g/kg}$

Tale quantità va infine sottratta al valore relativo al punto B ottenendo:

$(11,4 - 2,21) \text{ g/kg} = 9,19 \text{ g/kg}$

Dunque, per determinare la temperatura fino a cui bisogna raffreddare l'aria al fine della deumidificazione ci si sposta lungo la isoterma corrispondente al punto (C) fino ad arrivare alla curva di saturazione. Unendolo il punto (B) si conclude l'intero processo di raffreddamento-deumidificazione. Infine, il punto (C) non si trova esattamente sulla curva di saturazione, ma leggermente spostato di qualche grado verso destra per il fattore di by-pass. Nel processo di deumidificazione, non tutta l'umidità contenuta nell'aria condensa sulle alette della batteria fredda ma vi è una parte che attraversa la batteria senza lambirne in alcun modo le alette.

PUNTO C	
T [°C]	13
UR [%]	95
X [g/kg a.s.]	9,19
h [kJ/kg]	37

La potenza da fornire alla batteria di raffreddamento è calcolata come segue:

$Q_{raff} = p \text{ [m}^3/\text{s]} / V \text{ [m}^3/\text{kg]} \cdot \Delta h \text{ [kJ/kg]}$

Ottenendo pertanto un valore di  $Q_{raff}$  pari a:

$0,94 \text{ m}^3/\text{s} / 0,89 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot (58 - 37) \text{ [kJ/kg]} = 22,18 \text{ kW}$

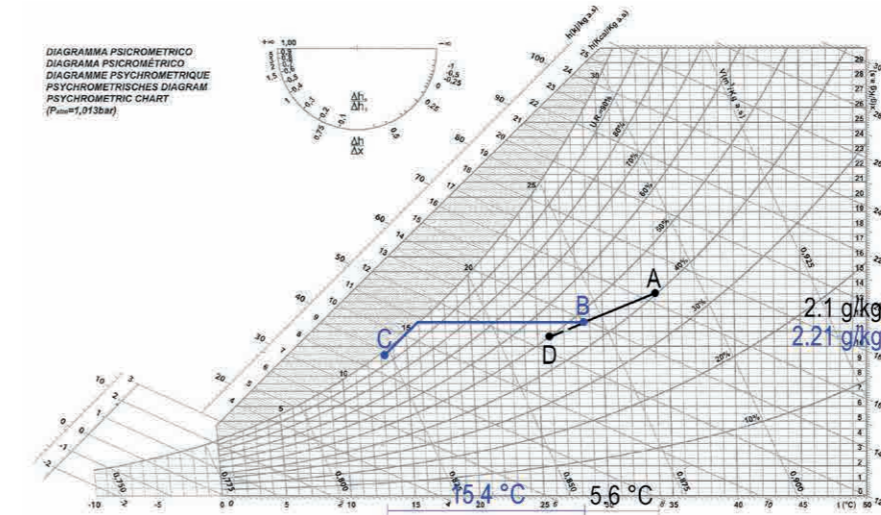


Figura 271\_Diagramma psicrometrico di raffreddamento e deumidificazione

FASE 3: POST RISCALDAMENTO

L'ultima fase del trattamento estivo avviene in corrispondenza della batteria di post-riscaldamento.

Notiamo infatti che l'aria nel punto (C) si trova ad una temperatura troppo bassa per essere immessa nell'ambiente in quanto causerebbe discomfort per gli utenti.

È quindi necessario portare la temperatura a 16 °C, ottenendo un  $\Delta T$  pari a:

$(26 - 16)^\circ\text{C} = 10 \text{ K}$

relativamente al calore asportato dall'aria primaria.

Per portare l'aria a 16 °C è quindi necessario vincere un  $\Delta T$  pari a

$(16 - 13)^\circ\text{C} = 3 \text{ K}$

È infine possibile calcolare, partendo da questi dati, la potenza da fornire alla batteria di post-riscaldamento ottenendo un valore pari a:

$3400 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,34 \text{ Wh/m}^3\text{K} \cdot (16 - 13) \text{ K} = 3,47 \text{ kW}$

A seguito di questa trasformazione l'aria si trova nel punto (E) riportato nel diagramma sottostante.

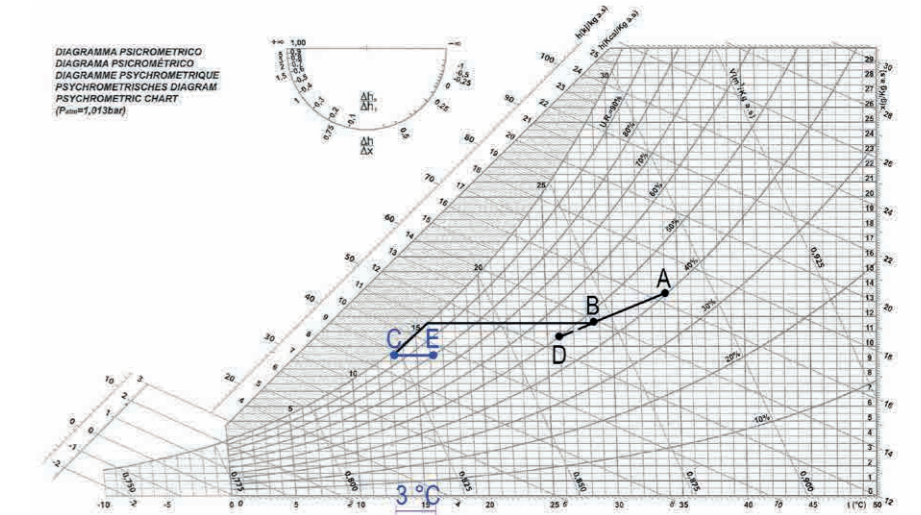


Figura 272\_Diagramma psicrometrico di post-riscaldamento



### 7.3.3.3 LA SCELTA DEI COMPONENTI

A seguito dei dati ottenuti dallo studio dei periodi estivo ed invernale è stato possibile scegliere, partendo dal catalogo fornito da NOVAIR, i componenti necessari per assemblare l'U.T.A..

#### PLENUM DI ASPIRAZIONE CON FILTRO

Tali sezioni, previste sia sul lato di aspirazione dell'aria esterna in ingresso che su quello di aspirazione dell'aria ripresa dall'ambiente interno, sono indispensabili quando l'unità preleva tutto il volume d'aria dall'ambiente esterno o dal locale. La composizione standard prevede il posizionamento su ogni lato della sezione, una portata d'aria pari al 100% di quella nominale e filtri di classe G4.

#### RECUPERATORE ROTATIVO ENTALPICO

Tale sezione, con efficienza del 70% e protetta sia in ingresso che in uscita da due elementi filtranti che ne evitano l'intasamento e si basa sul seguente principio di funzionamento: l'aria di espulsione attraversa metà settore circolare del rotore e cede parte del proprio calore alla massa metallica che, ruotando lentamente, viene investita dall'aria fredda di reintegro che a sua volta attraversa in controcorrente l'altra metà dello scambiatore appropriandosi del calore ceduto dall'aria di espulsione. Inoltre, se il rotore è di tipo igroscopico anche l'umidità contenuta nell'aria di espulsione sarà in parte trasferita all'aria di rinnovo. I termini "aria calda" e "aria fredda" della precedente descrizione sono riferiti al ciclo di funzionamento invernale mentre nel ciclo estivo le funzioni di cessione e assorbimento di calore e umidità vengono evidentemente invertite.

#### FILTRI A TASCHE

Questi filtri, con efficienza di classe F7 e a tasche flosce o rigide, hanno la particolarità, grazie alla loro conformazione a sacco, di avere un'ampia superficie filtrante e quindi di ridurre notevolmente la velocità di attraversamento dell'aria. Le celle vengono posizionate su appositi controtelai di supporto in lamiera zincata o, su richiesta, in acciaio inox e trattenuti da un sistema di chiusura a molla. Infine, per garantire la tenuta ed evitare qualsiasi fenomeno di by-pass di aria non trattata tra filtro e controtelaio, viene posizionata una guarnizione in neoprene.

### BATTERIE DI RISCALDAMENTO/RAFFREDDAMENTO

Queste sezioni modulari sono costruite in modo tale da contenere le batterie destinate allo scambio termico tra l'aria ed il fluido riscaldante/refrigerante e sono inoltre dotate di guide in lamiera zincata che rendono possibile l'introduzione della batteria e lo sfilamento laterale della stessa da entrambi i lati dell'U.T.A.. Per i trattamenti di raffreddamento e deumidificazione sono poi previsti una vasca di raccolta condensa ed un materassino anticondensa. All'interno di questa categoria si distinguono:

1. Batteria di preriscaldamento: il cui scopo è quello di preriscaldare l'aria o, come più spesso accade, di rendere possibile l'umidificazione fino ai valori desiderati;
2. Batterie di raffrescamento e deumidificazione: il cui scopo è quello di sottrarre all'aria trattata il calore sensibile e il calore latente così da renderla idonea ad equilibrare i carichi termici;
3. Batterie di post-riscaldamento: necessarie negli impianti in cui occorre un controllo finale della temperatura e dell'umidità relativa.

### SEZIONE DI UMIDIFICAZIONE

È uno dei sistemi più utilizzati nelle unità di trattamento aria destinate al servizio di ambienti climatizzati ove non vi sia la necessità di ottenere un'umidificazione sterile. Il pacco è composto da speciali fogli, sistemati a strati, grazie ai quali è possibile portare in stretto contatto l'aria con un limitato volume di acqua in circolazione. L'efficienza di questo sistema dipende a parità di parametri come temperatura acqua-aria, spessore pacco, portata acqua solo dalla velocità di attraversamento dell'aria, compresa tra 2,0 e 2,5 m/s, in funzione della quale le tipologie adottabili presentano le seguenti caratteristiche:

1. Pacco in PVC da 300 mm e pompa di ricircolo con efficienza pari a 85/90%;
2. Pannello distributore posto sulla sommità del pacco, per uniformare il getto d'acqua su tutta la sua superficie di scambio;
3. Alloggiamento del pacco su telaio e guide in lamiera zincata, per permettere la facile estrazione laterale;
4. Separatore di gocce in lamiera zincata.

### SEZIONE VENTILANTE

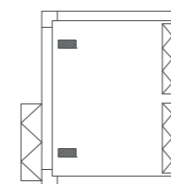
Per ogni U.T.A. sono previste varie possibilità di scelta per quanto riguarda il tipo e la grandezza del ventilatore da installare, nonché della potenza del motore. Ogni sezione ventilante è poi dotata di:

1. Supporto per motore e ventilatore;
2. Ventilatore;
3. Motore elettrico;
4. Trasmissione.

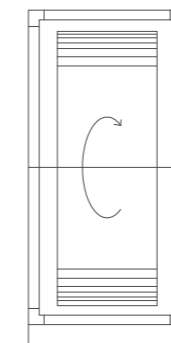
Tali sezioni sono infine previste sia per il canale di mandata che per quello di ripresa.

### SILENZIATORE

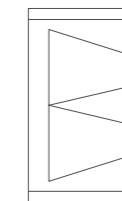
I silenziatori, posizionati subito dopo la sezione ventilante di mandata o prima della sezione ventilante di ripresa, sono formati da un telaio di contenimento in lamiera zincata e da materiale fonoassorbente in lana minerale. La densità minima di tale isolante deve risultare pari a 80 kg/m<sup>3</sup>.



PLENUM DI ASPIRAZIONE CON FILTRO



RECUPERATORE ROTATIVO ENTALPICO



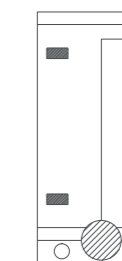
FILTRI A TASCHE



BATTERIE DI RISCALDAMENTO



BATTERIE DI RAFFREDDAMENTO



SEZIONE DI UMIDIFICAZIONE

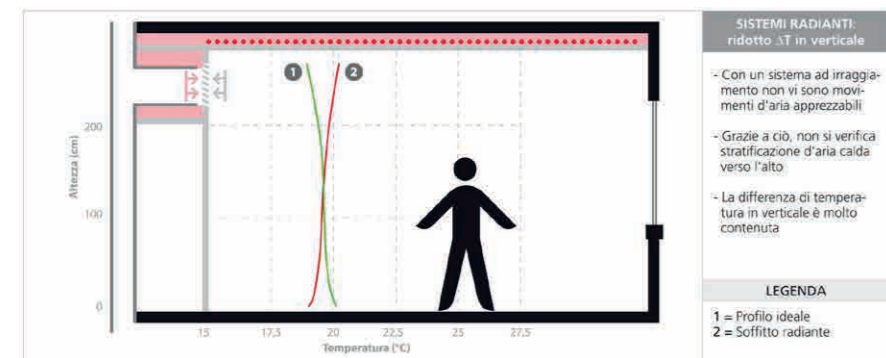
Figura 273\_Componenti facenti parti della U.T.A. di progetto

Figura 274\_Componenti facenti parti della U.T.A. di progetto

### 7.3.4 IMPIANTO DI RISCALDAMENTO E RAFFREDDAMENTO

Una volta calcolato il fabbisogno si è passati alla scelta della tipologia di impianto che, come si vedrà nei seguenti paragrafi, è ricaduta su un sistema misto. Si prevede infatti l'utilizzo di pannelli radianti a soffitto per il calore sensibile e U.T.A. che, oltre a garantire la qualità dell'aria, permettono di asportare sia il calore latente in eccesso generato dagli occupanti che la parte di calore sensibile residuo tramite la portata di aria primaria esterna.

L'utilizzo di un sistema di tipo radiante è in grado di assicurare elevate condizioni di comfort grazie ad un meccanismo di scambio termico più naturale per il corpo umano che elimina le spiacevoli correnti d'aria, la circolazione di polvere e il rumore tipici degli impianti ad aria tradizionali. I sistemi radianti mantengono un benessere omogeneo all'interno del locale minimizzando le differenze di temperatura sia in senso verticale che in senso orizzontale. Andando ad agire inoltre sulla temperatura delle superfici e quindi sulla temperatura operante dell'ambiente, è possibile ottenere la stessa sensazione di benessere mantenendo temperature dell'aria interna più vicine a quella dell'aria esterna rispetto a sistemi tradizionali: ciò permette di conseguire notevoli risparmi energetici. Nell'immagine sottostante si trova uno schema sui sistemi radianti fornito dal manuale tecnico di Giacoklima.



Con i sistemi a soffitto radiante profilo verticale della temperatura ideale con gradiente non avvertibile

Figura 275\_Schema sui sistemi radianti, preso da manuale tecnico di Giacoklima

Ulteriori risparmi si possono ottenere grazie alla possibilità di utilizzare sistemi di produzione dell'energia più efficienti in quanto questo tipo di sistema richiede temperature di mandata decisamente meno estreme rispetto a quelle degli apparecchi tradizionali di condizionamento.

Il sistema a soffitto radiante in raffrescamento deve essere sempre combinato con un impianto di deumidificazione: se questo è utilizzato anche come sistema di ventilazione meccanica per garantire i ricambi d'aria igienici, si ottiene un ambiente nel quale, oltre al comfort termoigrometrico, è garantita anche un'elevata qualità dell'aria interna.

#### VANTAGGI DEL SISTEMA RADIANTE

Si elencano ora quali sono i principali vantaggi forniti dall'installazione del sistema radiante.

#### INTEGRAZIONE CON ALTRA IMPIANTISTICA

È possibile integrare nel soffitto in cartongesso anche la parte impiantistica relativa all'aria di rinnovo e di controllo umidità. Il controsoffitto può ospitare apparecchi di illuminazione, diffusori aria e altri componenti degli impianti dell'edificio come altoparlanti, sensori per rivelazione fumo/incendio, sensori di presenza, ecc. con estrema flessibilità e senza alterare l'aspetto estetico e funzionale.

#### ISOLAMENTO TERMICO E ACUSTICO.

Lo strato di coibentazione disposto sul lato superiore dei pannelli assicura un ottimo isolamento termico e acustico verso l'alto. A seconda della versione, lo strato può essere costituito da poliuretano espanso (esente da CFC) o EPS (polistirene espanso sinterizzato).

#### RISPARMIO ENERGETICO.

La chiara divisione dei compiti di climatizzazione fra l'aria primaria, responsabile del rinnovo e della deumidificazione dell'aria e il soffitto radiante, incaricato di trattare la parte sensibile dei carichi termici estivi, permette di adottare canalizzazioni più compatte e macchine dell'aria di taglia inferiore rispetto ad un sistema ad aria. Grazie all'utilizzo di un sistema a soffitto radiante in combinazione con aria primaria di un impianto a tutta aria, il fabbisogno di energia è molto limitato ed inferiore rispetto ad un impianto tradizionale.

### 7.3.4.1 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO

Per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento e riscaldamento ci si è riferiti al manuale tecnico di progettazione di un sistema specifico tipo Giacoklima fornito dal gruppo Giacomini S.p.a..

Si sono seguite le istruzioni per la determinazione delle rese termiche e il successivo dimensionamento dell'impianto.

Le rese termiche di seguito riportate sono certificate secondo l'apparato normativo. In particolare si sono utilizzate la EN 14240 per il raffrescamento e la EN 14037 per il riscaldamento. Le rese specifiche riportate in questo paragrafo saranno sempre riferite alla superficie reale dei pannelli.

Le equazioni caratteristiche per ottenere le rese in modo analitico sono riportate in seguito:

$$Q_H = C_H \cdot \Delta T_H^n \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{Resa Riscaldamento}$$

$$Q_C = C_C \cdot \Delta T_C^n \text{ [W/m}^2\text{]} \quad \text{Resa Raffrescamento}$$

Dove:

- $\Delta T = |T_a - (T_r + T_m)/2|$
- $T_a$  = temperatura ambiente;
- $T_m$  = temperatura di mandata;
- $T_r$  = temperatura di ritorno;

Calcolo resa riscaldamento	$C_H$	$n_H$	$T_a$ [°C]	$T_r$ [°C]	$T_m$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_H$ [W/m <sup>2</sup> ]
	3,315	1,057	20	35	38	16,5	64,175

Calcolo resa raffrescamento	$C_C$	$n_C$	$T_a$ [°C]	$T_r$ [°C]	$T_m$ [°C]	$\Delta T$ [°C]	$Q_C$ [W/m <sup>2</sup> ]
	3,775	1,064	26	16	14	11,0	48,413

Fattori correttivi della resa	
Fattore di altezza	0,892
Fattore di ventilazione	1,15
Fattore di facciata	1,2

Resa effettiva	Riscaldamento	$Q_H$ [W/m <sup>2</sup> ]	79,00
	Raffrescamento	$Q_C$ [W/m <sup>2</sup> ]	59,59

Scelta di KC120X100	Superficie [m <sup>2</sup> ]	1,2
	Raffrescamento [W/pannello]	64,6
	Riscaldamento [W/pannello]	83,6

Le rese riportate sono state ottenute in camera di prova seguendo le indicazioni fornite dalle varie normative indicate. Per poterle usare in fase di progettazione devono essere considerati i fattori in seguito descritti.

FATTORE DI ALTEZZA: le prove sono effettuate ad una determinata altezza (tra 2,6 e 2,7 m normalmente). Per ottenere la resa con l'altezza di installazione reale si utilizza il fattore di altezza  $f_a$ , calcolato secondo la seguente formula:

$$f_a = a - b \cdot H$$

dove:

- $H$  [m] è l'altezza di installazione reale = 5 m
- $a = 1,117$  costante
- $b = 0,045$  costante

Il valore di  $f_a$  risulta pari a 0,892.

FATTORE DI VENTILAZIONE: le varie normative per le prove di resa impongono limiti massimi alla velocità dell'aria nella camera di prova perché i moti d'aria nei pressi del controsoffitto incrementano la resa dell'impianto radiante. Per un ambiente sottoposto a ventilazione si utilizza  $F_v = 1,15$  (prove sperimentali presso l'Università HLK di Stoccarda), mentre se l'ambiente non è ventilato o la ventilazione non ha interazione con il controsoffitto si pone  $F_v = 1$ . Nel caso di progetto si utilizza quindi un  $F_v$  pari a 1,15.

FATTORE DI FACCIATA: durante le prove anche la temperatura delle pareti della camera deve essere controllata. Nella realtà invece sono proprio le pareti e soprattutto le vetrate a costituire la principale fonte di carico termico sensibile. Per tenere conto di questo si utilizza il fattore di facciata. Si calcola con l'equazione:

$$F_f = (q_{\text{interno}} + q_{\text{rientranze}}) / (q_{\text{interno}} + 0,5 q_{\text{da esterno}})$$

Secondo prove sperimentali da parte di HLK, tale incremento dipende dal rapporto tra superficie delle finestre e la loro altezza rispetto a quella della parete del locale. Dai dati sperimentali esaminati, ci si sente di consigliare un incremento massimo del 20%, quindi si propone di utilizzare  $F_f = 1,1 \div 1,2$ .

Nel calcolo si prende in considerazione un  $F_f$  pari a 1,2.



Il dimensionamento dell'impianto a pannelli radianti a soffitto, prevede che durante il calcolo si prenda in considerazione l'entità del calore sensibile, trascurando quindi la quantità di calore latente. Per restare a favore di sicurezza, si fa riferimento al dimensionamento per il caso peggiore, ossia la situazione estiva.

Il carico termico sensibile di picco da smaltire da parte del sistema radiante, relativo alla stagione estiva risulta pari a 6517,1 W.

Bisogna considerare inoltre, che il pannello radiante a soffitto, non è l'unico impianto che provvedere al raffrescamento degli ambienti interni. Come specificato nel paragrafo precedente relativo all'impianto di Unità Trattamento Aria, quota parte del fabbisogno viene preso a carico da tale impianto.

In particolar modo, relativamente alla zona del bar, il fabbisogno residuo risulta essere pari a 1131,52 W.

La superficie radiante necessaria si ottiene dalla seguente formula:

$$S_R = Q_{S_{max}} / q_c$$

Dove:

- $S_R$  = superficie radiante [m<sup>2</sup>];
- $Q_{S_{max}}$  = carico termico sensibile di picco da smaltire da parte del sistema radiante [W];
- $q_c$  = resa specifica ottenibile [W/m<sup>2</sup>], in funzione delle condizioni di funzionamento previste.

Nella tabella sottostante si mostrano i risultati ottenuti per ognuno degli edifici analizzati.

Calcolo della superficie radiante	$Q_{s_{res_{est}}}$ [W]	$Q_c$ [W/m <sup>2</sup> ]	Sup radiante [m <sup>2</sup> ]	num. pannelli necessari
Bar	1131,52	64,60	17,52	14,60
Sala Yoga	3397,50	64,60	52,59	43,83
Infopoint	738,66	64,60	11,43	9,53

Si trova così il numero di pannelli necessari per il raffrescamento dei locali:

- Bar: 15 pannelli;
- Sala Yoga: 44 pannelli;
- Infopoint: 10 pannelli.

### 7.3.5 IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Si predisporre inoltre l'impianto fotovoltaico, poiché essendo il progetto una nuova costruzione, bisogna sottostare alla normativa vigente. Il DLgs 28/11, ora in vigore, afferma che per edifici nuovi o sottoposti a ristrutturazione rilevante, devono essere installati impianti per produrre energia elettrica da fonti rinnovabili, di potenza:

$$P \geq S/K \text{ [kW]}$$

Dove:

- S rappresenta la superficie in pianta del livello terra dell'edificio [m<sup>2</sup>]
- K [m<sup>2</sup>/kW] è un coefficiente variabile in base alla data di richiesta del titolo edilizio, nello specifico:  
K = 80 dal 31/05/2012 al 31/12/2013  
K = 65 dal 01/01/2014 al 31/12/2016  
K = 50 dal 01/01/2017

Nel caso in esame, si deve quindi utilizzare il coefficiente K=50 riferito al periodo che va dallo 01/01/2017. Di conseguenza ne risulta che la potenza a cui far riferimento per l'installazione del sistema fotovoltaico è pari a:

$$P \geq 126,7/50=2,534 \text{ [kW]}$$

Per motivo architettonico si è cercato un pannello con dimensioni non eccessivamente elevate, una il multiplo dell'altra, in modo tale che possa essere accoppiato ad un altro pannello e formare un quadrato.

Si scelgono dunque dei pannelli di altezza 120 cm e larghezza 60 cm, con spessore di 0,6÷0,7 cm, che accoppiati formano un quadrato di 120 x 120 cm. A livello architettonico si ottiene quindi una omogeneità di linguaggio sulla copertura, che presenta già le aperture zenitali di forma quadrata.

I pannelli a film sottile hanno ognuno una potenza di 87,5 W<sub>p</sub>. Svolgendo i calcoli necessari si arriva a stabilire che sono necessari 30 pannelli per generare la potenza minima richiesta da normativa.

Accoppiando i pannelli a due a due, si ottengono 15 elementi di forma quadrata in copertura, che vengono poi posizionati sulle falde orientate a Sud, Sud-Est e Sud-Ovest.

Al di sotto si riportano i dati relativi alle principali caratteristiche del pannello fotovoltaico scelto.

MODELLO DEL PANNELLO

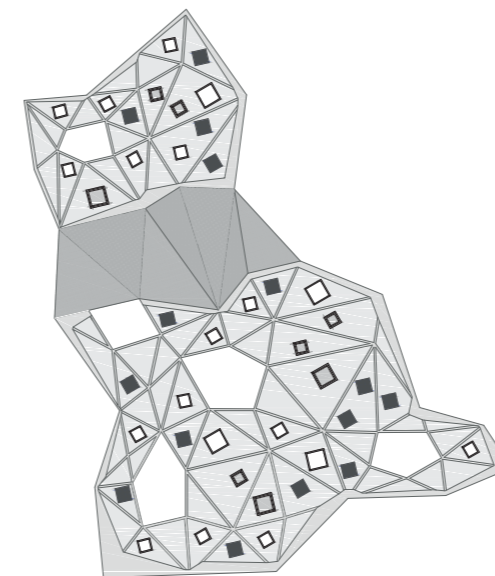


Composizione celle: silicio monocristallino

Potenza di picco: 87,5 Wp

Dimensioni: 60 X 120 cm

Nell'immagine sottostante si rappresenta il posizionamento dei pannelli fotovoltaici al di sopra delle falde inclinate di copertura. Si può così osservare come i pannelli, accoppiati vadano a formare un a figura quadrata che riprende la geometria dei lucernari di copertura e dei fori zenitali.



LEGENDA


 Coppia di pannelli fotovoltaici

Figura 276\_Impianto della copertura con l'impianto fotovoltaico posizionato

### 7.3.6 DEFLUSSO DELLE ACQUE METEORICHE

Per il dimensionamento dell'impianto di scarico delle acque meteoriche, dei pluviali e dei collettori è stato fatto riferimento al manuale di progettazione fornito dalla azienda GEBERIT.

La copertura è sfaccettata, con una pendenza non eccessiva e non costante per tutte le falde, ma sufficiente per il deflusso naturale delle acque. Inoltre i pannelli in Cross-Lam costituenti le falde sono stati progettati con una determinata inclinazione, adeguata e necessaria per convogliare tutta l'acqua nei canali di scolo posti all'interno dei patii o sul perimetro esterno della copertura.

Lo scarico di acque pluviali è normalmente caratterizzato da periodi di captazione lunghi e continui. È quindi molto importante stabilire la quantità massima di acqua scesa durante periodi di piogge intense. Come unità di misura delle acque pluviali si adotta l'intensità pluviometrica, espressa in l/s.m<sup>2</sup>. Questo valore è però variabile da regione a regione e raggiunge il massimo durante piogge brevi ma intense come ad esempio i temporali. Per determinare un buon valore medio dell'intensità della pioggia ci si basa solitamente su un periodo prestabilito Z = 10 anni. L'intensità pluviometrica (i.p.) considerata è la seguente:

$$0,04 \text{ l/s.m}^2 = 2,4 \text{ l/min.m}^2$$

corrispondente ad un'altezza pluviometrica (h.p.) di circa 144 mm/h su proiezione orizzontale.

Il carico pluviale C determinante per il dimensionamento delle condotte pluviali dipende dai seguenti fattori:

- La totalità delle superfici esposte (s.e.) alla pioggia, determinata mediante la proiezione orizzontale in m<sup>2</sup> della copertura stessa sul suolo;
- La pendenza e la natura delle superfici esposte, espressa mediante il coefficiente K che è un coefficiente riduttore dell'intensità pluviometrica effettiva, basato sulla natura (rugosità, potere assorbente) delle superfici esposte alla pioggia. Questo va inoltre interpretato come un coefficiente di ritardo allo scorrimento dell'acqua dalla superficie del tetto alle bocchette di captazione. Nel caso di progetto bisogna considerare il K relativo a tetti piani ricoperti di terra (tetto giardino) che risulta pari a 0,3.

Si riporta infine la formula utilizzata per lo svolgimento dei calcoli.

$$P = i_p \cdot s_e \cdot K [l/s=l/s.m^2 \times m^2]$$

Dove:

- P è la portata da convogliare attraverso i pluviali;
- $i_p$  è il valore di intensità pluviometrica;
- $s_e$  è la superficie esposta orizzontale espresso in  $m^2$ ;
- K è il coefficiente di riduzione.

Di seguito si riporta il disegno della proiezione orizzontale della copertura, ossia i metri quadrati di superficie che vanno considerati nel calcolo della portata. È da precisare che non si è considerata la fascia del tetto in tessuto filtrante, in quanto non accumula acqua di scolo. Sono inoltre stati sottratti all'area di calcolo i patii forati che rappresentano una superficie importante ai fini della determinazione del dimensionamento delle tubature di scolo, mentre non sono state trascurate le aperture zenitali che non sono rilevanti ai fini di calcolo.

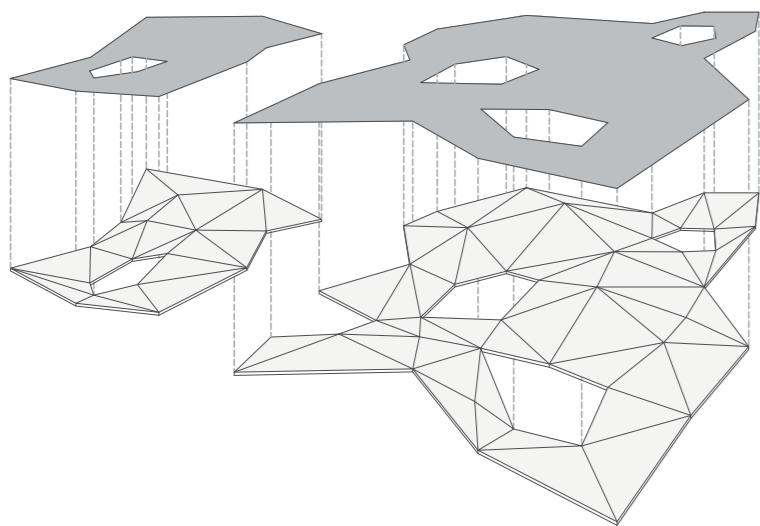


Figura 277\_Proiezione orizzontale della copertura

### 7.3.6.1 DIMENSIONAMENTO

Per il dimensionamento dei pluviali la superficie esposta è stata divisa in quattro aree in base alla possibile disposizione di essi. Si è considerata la fascia a Nord, separata dal resto della copertura dal telo filtrante, come un'unica zona: la sua superficie è pari a 279  $m^2$ . Per quanto riguarda la parte di copertura a sud della carreggiata, questa è stata suddivisa in tre differenti parti che avessero ognuna una superficie e non superiore a 279  $m^2$ . In questo modo si è potuto calcolare un'unica dimensione delle tubature per tutto il progetto, restando a favore di sicurezza.

Si ottiene un valore di portata:

$$P = 3,43 \text{ l/s}$$

Dove:

- $i_p = 0,041 \text{ l/s } m^2$
- $s_e = 279 \text{ } m^2$
- $K = 0,3$

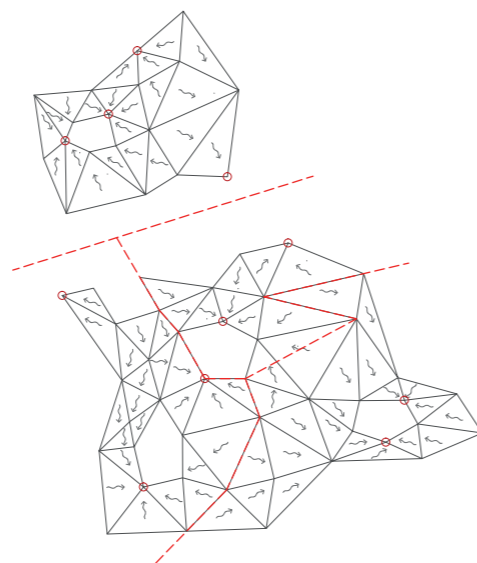


Figura 278\_Superficie orizzontale esposta e disposizione dei pluviali

### DIAMETRO DEL PLUVIALE

In funzione della portata ottenuta è poi possibile determinare il diametro del pluviale seguendo i dati della tabella sottostante.

ø interno esterno mm	portata Q l/s	superficie massima in $m^2$ evacuabile per i.p. = 0,04 l/s/ $m^2$		
		K = 1,0	K = 0,6	K = 0,3
57/63	1,9	47	79	158
69/75	3,6	90	150	300
83/90	5,0	125	208	417
101/110	8,9	222	371	742
115/125	12,5	312	521	1042
147/160	25,0	625	1042	2083
187/200	47,0	1175	1958	3917
234/250	85,0	2125	3542	7083
295/315	157,0	3925	6542	13083

Entrando in tabella con la portata di riferimento si ricava che nel caso in esame risulta necessario adottare un pluviale che abbia diametro di 69/75 mm.

### DIAMETRO DEL COLLETORE

Considerando il medesimo valore di portata si può inoltre ricavare il diametro minimo da assegnare al collettore.

ø mm	pendenze in %							
	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	4,0%	5,0%
	portata Q in l/s							
69/75	1,3	1,8	2,3	2,6	3,0	3,2	3,8	4,2
83/90	2,0	2,8	3,4	4,0	4,5	4,9	5,6	6,3
101/110	3,6	5,0	6,2	7,2	8,0	8,9	10,2	11,5
115/125	5,2	7,4	9,0	10,5	11,7	12,9	14,9	16,7
147/160	10,0	15,0	18,0	21,0	23,5	26,0	30,0	33,0
187/200	19,0	27,0	33,1	38,1	42,8	47,0	54,3	60,8
234/250	34,5	49,0	60,1	69,5	77,7	85,2	98,4	110,1
295/315	62,8	90,6	111,1	128,4	143,6	157,4	181,8	203,3

Anche in questo caso, entrando in tabella con la portata e considerando le pendenze medie delle falde si ottiene che il diametro minimo da poter assegnare al collettore è di 83/90 mm. Infine, per rimanere a favore di sicurezza e per non contrastare la parte architettonica del progetto si è deciso di utilizzare una serie di pluviali, caratterizzati dalla medesima sezione, disponendoli in modo tale che ogni falda componente la copertura abbia il suo scarico.

### RACCOLTA DELLE ACQUE METEORICHE

Si è ritenuto utile per chiudere il quadro inerente al deflusso delle acque meteoriche, pensare ad un sistema di raccoglimento delle stesse in modo tale da non sprecare una fonte così preziosa. Si è così prevista la presenza di un serbatoio interrato di raccolta delle acque piovane con una capienza pari a 6000 litri con tubo di entrata con diametro nominale DN 150. Ad ausilio della scatola di contenimento si prevede un troppopieno che regola l'accumulo e convoglia le acque in eccesso nel collettore di immissione in rete fognaria.

Il serbatoio permette in questo modo di conservare l'acqua piovana, per sfruttarla in seguito per bagnare le piante grasse tipo Sedum poste sulla copertura stessa, mediante una pompa, le vasche contenenti le essenze situate tra i percorsi pavimentati ed infine l'immenso campo di lavanda posto a Sud dell'area di progetto.

Per mimetizzare la presenza delle vasche d'accumulo all'interno del progetto si è pensato di porle al di sotto della pavimentazione in Deck. Tenendo conto che la capienza necessaria è pari a 6000 l è opportuno trovare un volume di 6  $m^3$  che possa ospitare i serbatoi d'accumulo; inoltre essendo che la massima altezza dei serbatoi è pari a 40 cm si necessita di una superficie di 15  $m^2$ .



LEGENDA

■ Area di pavimentazione in Deck occupata dalla cisterna di accumulo





# CAPITOLO 8

## ILLUMINOTECNICA



8.1 Il Comfort Illuminotecnico .....	307
8.1.1 Strategie di Progettazione .....	307
8.2 Studio della Luce .....	308
8.2.1 Il Software Diva.....	308
8.2.1.1 Superficie Uniforme di Base .....	308
8.2.1.2 Introduzione della Griglia di Simulazione.....	308
8.2.2.2 Modello Completo.....	309
8.2.2.1 Assegnazione dei Materiali .....	309
8.2.2 Analisi in Fase di Progettazione .....	309
8.3 Ambienti Interni: Illuminazione.....	314
8.3.1 Influenza delle Scelte Progettuali.....	314
8.3.2 Calcolo della Luminanza .....	314
8.3.2.1 Variabile Progettuale: Il Vetro.....	315
8.3.2.2 Conclusioni.....	328
8.3.3 Calcolo del Fattore di Luce Diurna.....	329
8.3.3.1 Conclusioni.....	333

# 8.1

## IL COMFORT ILLUMINOTECNICO

Il comfort è una sensazione puramente soggettiva percepita dall'utente, nell'ambiente di lavoro o in determinate condizioni di servizio e serve ad indicare il "livello di benessere" percepito.

Non esistono formule in grado di misurare il livello di comfort all'interno di uno spazio chiuso oppure percepito all'aria aperta. La percezione di comfort è individuale ed è influenzata da vari fattori personali e ambientali, come l'indice di ricambio d'aria, l'umidità dell'aria, la temperatura dell'aria, il livello di rumore, il livello di illuminamento naturale e l'esposizione alla radiazione solare.

La volontà di progettare con la luce naturale non si riconduce al mero rispetto di una normativa vigente, quanto al bisogno di creare condizioni di comfort abitativo.

La dimensione e il posizionamento delle finestre, in una situazione di corretta progettazione, devono essere determinati in relazione alla posizione del sole nel cielo, alle stagioni, alla necessità di ottimizzare i consumi e alle esigenze dei residenti. Progettare la luce naturale significa migliorare il comfort e prevenire comportamenti energeticamente inefficienti che provocano eccessivi consumi.

L'illuminazione naturale, a differenza di quella artificiale, ha un'azione fondamentale sulla nostra psiche perché favorisce la produzione di serotonina, un ormone che dà sensazione di benessere e che, allo stesso tempo, riduce la concentrazione nel sangue di ormoni, come noradrenalina e adrenalina, responsabili dello stress. È stato quindi ritenuto parametro essenziale da tenere in considerazione in fase di progettazione.

### 8.1.1 STRATEGIE DI PROGETTAZIONE

Il principale obiettivo è stato quello di dare primaria importanza all'illuminazione naturale nei luoghi in cui si svolgono attività durante il giorno, cercando allo stesso tempo di evitare fenomeni di abbagliamento. Infatti, in relazione a quest'ultimo aspetto, il passaggio da ambienti bui ad altri luminosi ha degli effetti estremamente negativi sulla qualità del comfort illuminotecnico. Oltre a ciò in fase di progettazione si è cercato di evitare l'eventuale sovraccarico termico prodotto dalla radiazione solare entrante, che risulta piuttosto consistente alla latitudine di rifermento.

Il progetto è costituito sia da ambienti interni chiusi, ma anche da una vasta area esterna, collocata al di sotto della copertura. Quest'ultima presenta numerose aperture di differente grandezza che portano luce al di sotto: pertanto anche gli spazi esterni al di sotto della copertura devono essere controllati dal punto di vista illuminotecnico. Parlando di comfort globale all'interno del progetto si è quindi dovuto tenere in considerazione entrambe le parti costituenti il progetto nel suo complesso.

Per gli edifici il problema maggiore riscontrabile è legato alla presenza di ampie superfici vetrate che assorbono un quantitativo di radiazione solare elevato. Si sono così studiate le dinamiche opportune per ridurre la radiazione e per ridurre al massimo il fenomeno dell'abbagliamento. Per quanto riguarda gli ampi spazi al di sotto della grande copertura si è progettato l'edificio in modo tale che anche in questo caso l'illuminazione al di sotto di essa fosse idonea, in modo da garantire un benessere visivo degli utenti.

È da considerare questione delicata, dato il clima in cui il progetto si colloca, la presenza di adeguate schermature. Per evitare che una quantità eccessiva di raggi solari potesse penetrare attraverso i grandi patii presenti in copertura provocando un surriscaldamento della pavimentazione e un conseguente discomfort degli utenti si è introdotto un sistema di vegetazione all'interno dei patii. Questo espediente, oltre a ricoprire il ruolo di schermatura per gli spazi esterni, permette di ridurre la radiazione diretta incidente sulle pareti vetrate degli edifici. Le piante introdotte sono a fusto alto e presentano foglie caduche in modo tale da avere funzione schermante nei mesi più caldi e consentire invece il passaggio della luce nei mesi invernali.

# 8.2

## STUDIO DELLA LUCE

### 8.2.1 IL SOFTWARE DIVA

Lo studio della luce naturale riveste un ruolo fondamentale: la copertura è stata progettata per minimizzare gli aspetti negativi della luce diretta, che provoca abbagliamento, e ricercare luce diffusa. È stata svolta un'analisi, per mezzo del software DIVA-for-Rhino®, plug-in per Rhinoceros, per ricercare la giusta configurazione di schermature per assicurare il comfort visivo agli utenti.

#### LOCATION - LOCALIZZAZIONE

Il programma richiede l'importazione di un file climatico (.epw) scaricato immettendo i dati di latitudine e longitudine dell'isola di Vis all'interno del software Meteonorm, che permette di ottenere un database dell'irradiazione per ogni luogo sulla terra.

#### NODES - NODI

Il secondo step di lavoro è quello di definire la maglia dei nodi con la quale procedere per la simulazione. Il software richiede l'individuazione della superficie di base e la definizione di alcuni parametri come il livello del piano di lavoro, impostato a 0,85 m, sul quale è eseguita la simulazione. La maglia utilizzata è invece di 30cmx30cm.

#### MATERIALS - MATERIALI

Ad ogni layer presente all'interno del modello tridimensionale di Rhino, viene richiesta l'assegnazione del materiale individuato all'interno della libreria proposta.

#### METRICS - METRICA

Consiste nell'apposito comando che avvia le simulazioni.

#### 8.2.1.1 SUPERFICIE UNIFORME DI BASE

La prima fase di lavoro è consistita nella preparazione del modello, il quale doveva presentare una unica superficie piana. Infatti nel modello 3D di Rhino, relativo al progetto Velika, sono presenti elementi triangolari che vanno a comporre la pavimentazione, oltre che il sistema di giardino delle essenze che è composto da vere e proprie vasche rialzate da terra.

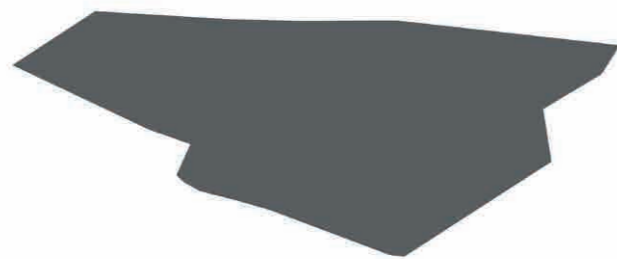


Figura 279\_Creazione di una superficie di base unica

#### 8.2.1.2 INTRODUZIONE DELLA GRIGLIA DI SIMULAZIONE

Il software DIVA per l'analisi dell'illuminamento prevede l'inserimento di una griglia. Essa risulta essere omogenea su tutta la superficie orizzontale. I parametri definibili dall'utente sono l'altezza del piano di lavoro, posta pari a 85 cm dal pavimento e la dimensione della maglia, posta di grandezza pari a 30 cm.



Figura 280\_Introduzione della griglia mediante il software Diva For Rhino

#### 8.2.2.2 MODELLO COMPLETO

Nella figura sottostante si può notare il modello completo utilizzato per le simulazioni condotte. In particolar modo è da sottolineare come il software Diva, al fine di simulare la presenza di elementi vetrati, necessiti di un'unica superficie alla quale assegnare il materiale. Si è dunque proceduto con la semplificazione del modello che invece prevedeva un solido a due superfici.

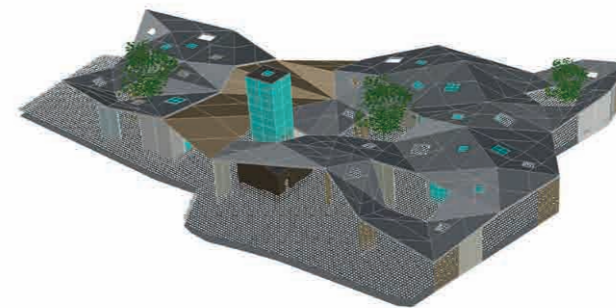


Figura 281\_Rappresentazione del modello completo prima della simulazione

#### 8.2.2.1 ASSEGNAZIONE DEI MATERIALI

Il software permette l'assegnazione dei materiali secondo diverse categorie: muri interni, pavimentazioni, superfici vetrate, elementi oscuranti. Essi vengono associati ai layers presenti all'interno del file Rhino e si distinguono per il parametro di trasmissione luminosa del materiale stesso.

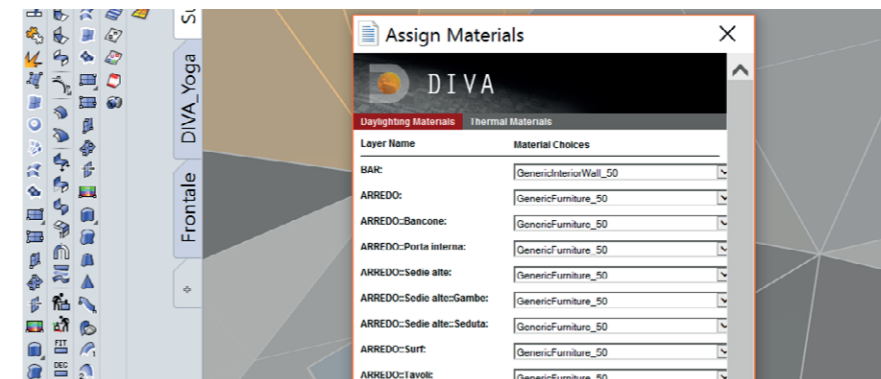


Figura 282\_Assegnazione dei materiali mediante il software Diva

### 8.2.2 ANALISI IN FASE DI PROGETTAZIONE

Il software DIVA è stato utile soprattutto in fase di progettazione in quanto ha permesso di avere un riscontro illuminotecnico nei vari step di delineazione architettonica della grande copertura sfaccettata. Il parametro estrapolato dalle simulazioni è l'illuminamento, che viene misurato in lux. Tutte le simulazioni sono state condotte a cielo sereno con sole, il giorno 15 agosto alle ore 12:15.

#### SIMULAZIONE 1

La prima prova è stata condotta utilizzando il modello con la copertura totalmente opaca, senza fori. Dai risultati ottenuti si riscontra al di sotto di essa la presenza di molte zone buie.

#### SIMULAZIONE 2

In un secondo step di lavoro è stato ritenuto opportuno introdurre dei patii completamente aperti in copertura, ognuno di superficie variabile da 15 a 35 m<sup>2</sup> circa. Questi sono cinque e si trovano in corrispondenza di piazze, giardini e luoghi di incontro.

#### SIMULAZIONE 3

Per avere luce omogenea al di sotto della copertura sono state introdotte poi ulteriori aperture zenitali che in corrispondenza degli edifici si identificano come cupolini vetrate. Questi fori hanno superfici di 1,2 o 2,2 m<sup>2</sup>. Inoltre in corrispondenza della strada carrabile che attraversa il progetto si è pensato di introdurre una tipologia di copertura differente, in materiale tessile, in modo tale da non provocare il brusco cambiamento di luce, pericoloso per chi si trova al volante.

#### SIMULAZIONE 4

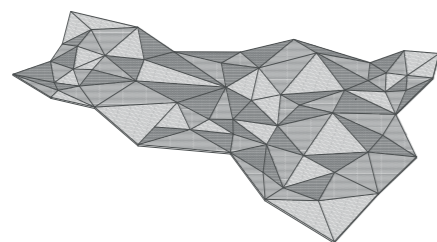
Per contrastare l'eccessivo illuminamento al di sotto della copertura, all'interno dei patii è stato introdotto un sistema di schermatura naturale mediante vegetazione a fusto alto e a chioma folta. Gli alberi introdotti sono stati pensati a foglia caduca in modo da poter godere degli apporti solari gratuiti durante le stagioni più fredde.





## SIMULAZIONE 1

- ✗ Patii
- ✗ Aperture zenitali
- ✗ Copertura filtrante
- ✗ Alberi



In prima analisi è stata simulata la copertura totalmente opaca, per valutare quanto effettivamente sia il riscontro di mancanza di luce al di sotto della stessa. I risultati ottenuti sono in unità di misura "lux". Esso è pari all'illuminamento prodotto da una sorgente puntiforme avente l'intensità di una candela su una superficie posta a 1 m di distanza, perpendicolarmente ai raggi: questo implica che un lux è pari ad un lumen fratto un'unità di superficie. Le analisi sono state condotte il 15 agosto alle ore 12:15 simulando una condizione di cielo sereno con sole. Non trovandosi il progetto alla latitudine dell'equatore, il sole non risulta essere perfettamente perpendicolare al suolo nemmeno durante le ore centrali: ciò è la causa della proiezione di un'ombra della copertura leggermente spostata in alto a destra.

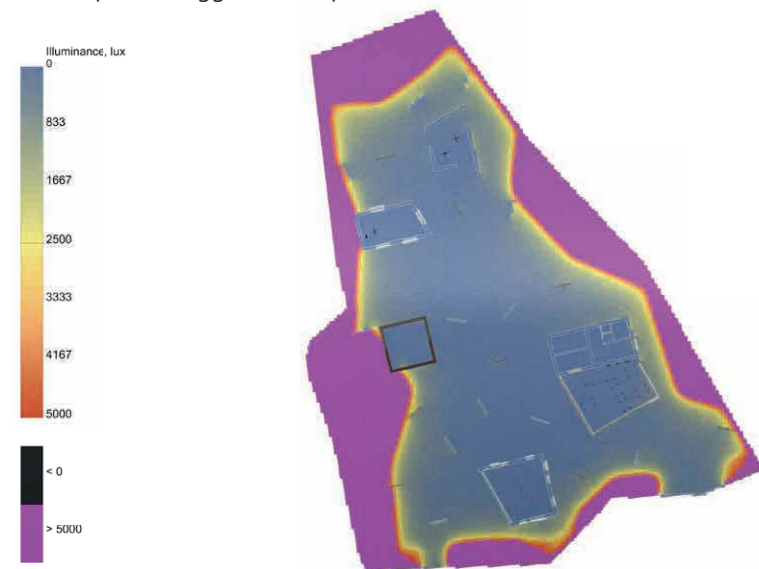
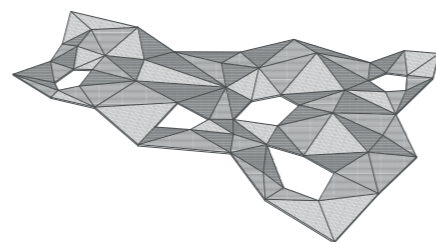


Figura 283\_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura totalmente opaca

## SIMULAZIONE 2

- ✓ Patii
- ✗ Aperture zenitali
- ✗ Copertura filtrante
- ✗ Alberi



Avendo constatato una mancanza di luce al di sotto della copertura, sono stati introdotti dei patii in corrispondenza dei luoghi di ritrovo e dei giardini. Se ne contano quattro al di sotto della strada, uno al di sopra. Tra questi patii, uno ha la mera funzione di permettere l'erigersi del faro panoramico, elemento parallelepipedo che si innalza per una dozzina di metri. L'introduzione di queste aperture tuttavia implica un'eccessiva disomogeneità nella distribuzione della luce al di sotto della copertura, in quanto in corrispondenza dei fori si riscontra il fenomeno di abbagliamento e un eccessivo passaggio dei raggi solari. Laddove invece la copertura è rimasta totalmente opaca si nota un inadeguato ombreggiamento. Particolare attenzione dovrà essere posta alla copertura in corrispondenza della strada carrabile.

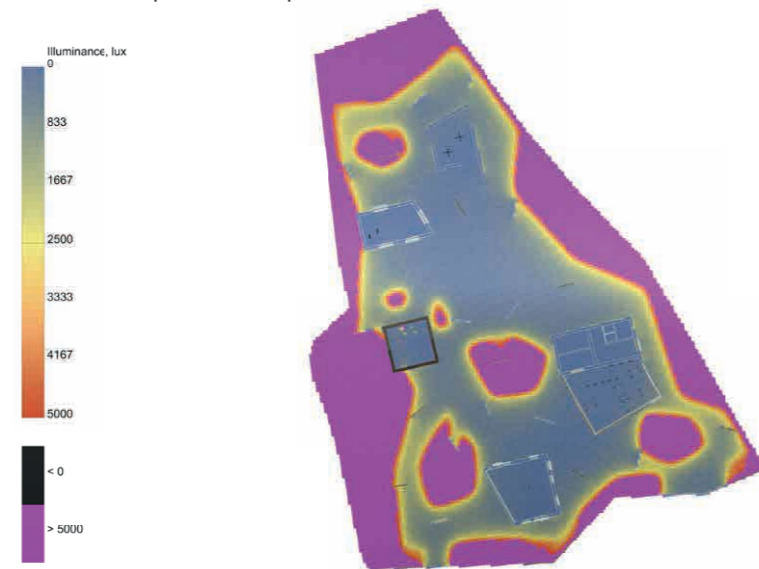
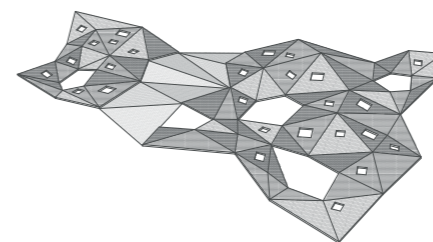


Figura 284\_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con patii

## SIMULAZIONE 3

- ✓ Patii
- ✓ Aperture zenitali
- ✓ Copertura filtrante
- ✗ Alberi



Per rendere omogeneo l'illuminamento si è deciso di introdurre delle aperture quadrate di dimensioni 90x90cm e 150x150cm sulle diverse falde. Particolare attenzione è stata posta nei confronti della strada carrabile che attraversa il progetto, in corrispondenza della quale è stato inserito in copertura un telo filtrante, che potesse evitare il brusco cambiamento di luminosità, particolarmente dannoso per chi si trova al volante. Dai risultati ottenuti si nota come il problema della mancanza di luce al di sotto della copertura sia ora risolto. È bene sottolineare come gli ambienti interni risultino poco illuminati soltanto per una questione di scala, dato che l'illuminamento è tarato secondo la luce diretta esterna che presenta un valore di gran lunga maggiore rispetto alla luce filtrata dai vetri negli ambienti interni.

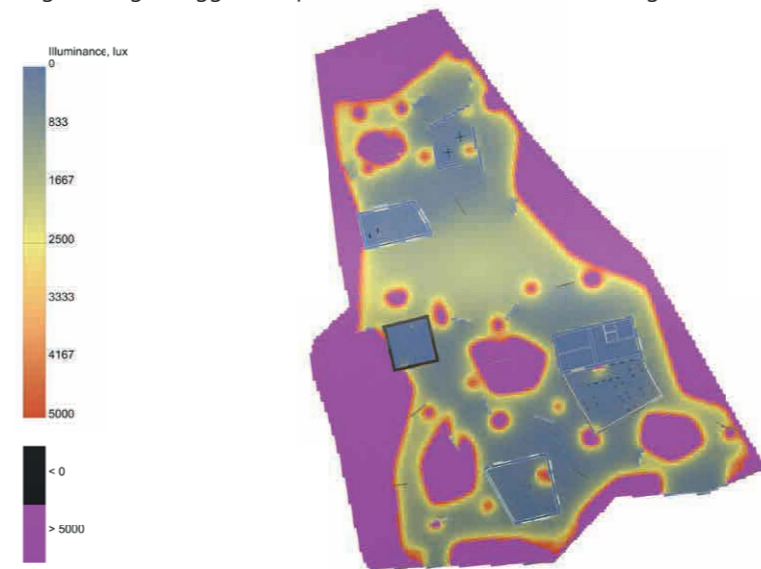
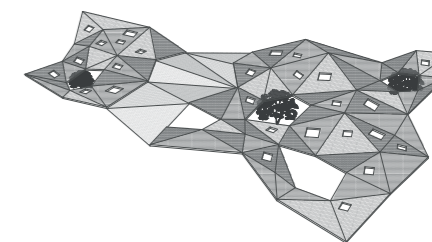


Figura 285\_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con parte filtrante e aperture zenitali

## SIMULAZIONE 4

- ✓ Patii
- ✓ Aperture zenitali
- ✓ Copertura filtrante
- ✓ Alberi



Per rendere vivibili gli ambienti in corrispondenza dei patii ovviando al problema del surplus di illuminamento e passaggio dei raggi solari che creano quindi zone eccessivamente calde nei mesi estivi, si è pensato di introdurre elementi vegetativi schermanti. Essi si identificano in alberi a fusto alto, caratterizzati da una folta chioma a foglia caduca: in questo modo nei mesi più caldi si offre una schermatura anche per gli edifici posti nelle vicinanze dei patii, nelle stagioni invernali è permesso invece il passaggio dei raggi solari. Dalle simulazioni condotte salta subito all'occhio come le zone caratterizzate da illuminamento maggiore di 5000 lux siano limitate mentre si riscontra una prevalenza di aree con illuminamento pari a 2500 lux, valore più idoneo per gli ambienti esterni ad uso pubblico.

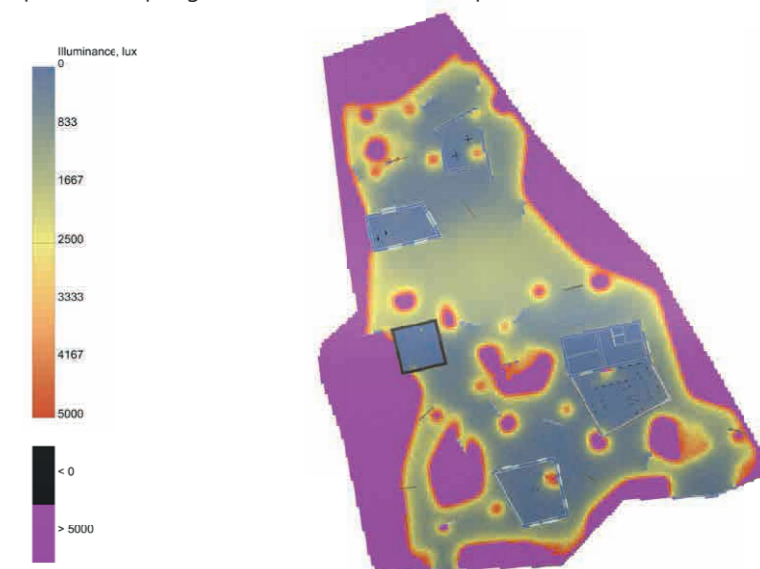
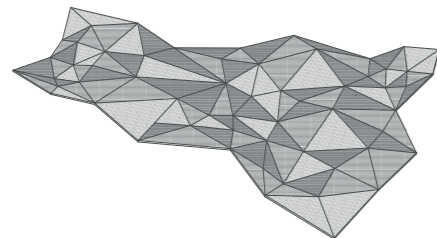


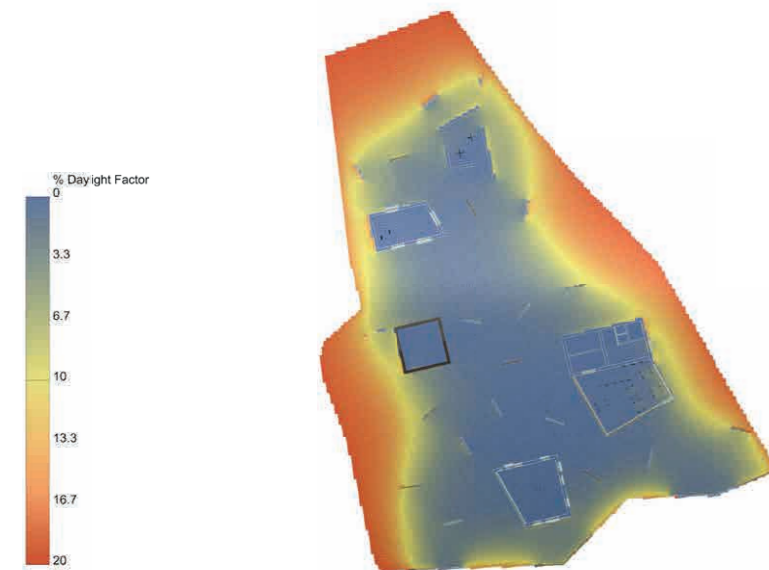
Figura 286\_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con alberi

## SIMULAZIONE 1

- ✗ Patii
- ✗ Aperture zenitali
- ✗ Copertura filtrante
- ✗ Alberi

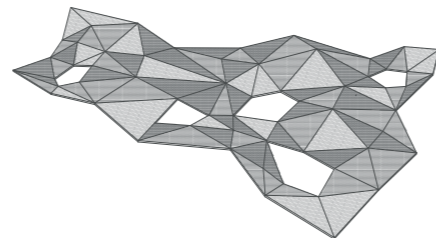


Anche per lo studio del fatto di luce diurna è stata simulata dapprima la copertura totalmente opaca. Analizzando il grafico al di sotto si nota che la luce al di sotto della copertura non raggiunge un livello soddisfacente per il corretto svolgimento delle attività degli utenti. Infatti si può notare come solo le parti di pavimentazione molto prossime alla fine della copertura e quindi quelle non schermate, risultano essere ben illuminate. La piazze centrali delineate dai vari edifici di progetto invece prevedono un'omogeneità di colore blu, indice di uno scarso valore del fattore di luce diurna. Tuttavia è bene precisare che gli ambienti interni in figura sono di colore blu in quanto la scala di riferimento è settata in relazione agli ambienti esterni.

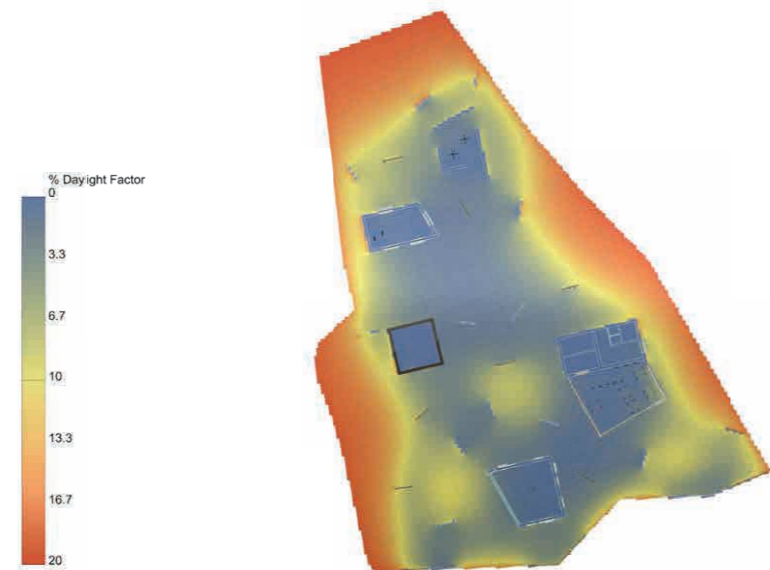
Figura 287\_Raffigurazione dell'FLD<sub>m</sub>: copertura totalmente opaca

## SIMULAZIONE 2

- ✓ Patii
- ✗ Aperture zenitali
- ✗ Copertura filtrante
- ✗ Alberi

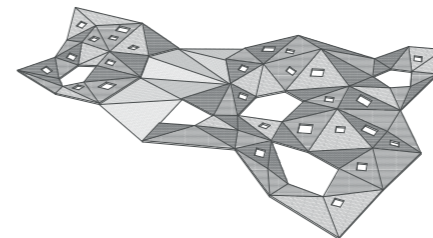


Avendo valutato una mancanza di luce al di sotto della copertura, si è deciso di valutare lo stesso parametro anche nella situazione sopra schematizzata: copertura opaca nella quale sono stati però introdotti dei patii, di superficie variabile in corrispondenza delle piazze, luoghi di incontro e giardini. I patii introdotti sono i medesimi della situazione precedente. La conseguenza dell'introduzione di queste aperture è un'eccessiva concentrazione di luce nelle zone sottostanti ai patii ed una disomogeneità della luce generale al di sotto della copertura di progetto. Inoltre laddove non sono stati aggiunti fori in copertura, l'FLD<sub>m</sub> assume valori ancora troppo bassi. In particolare bisognerà prestare attenzione alla mancanza di luce soprattutto al di sotto della copertura in corrispondenza della strada carrabile.

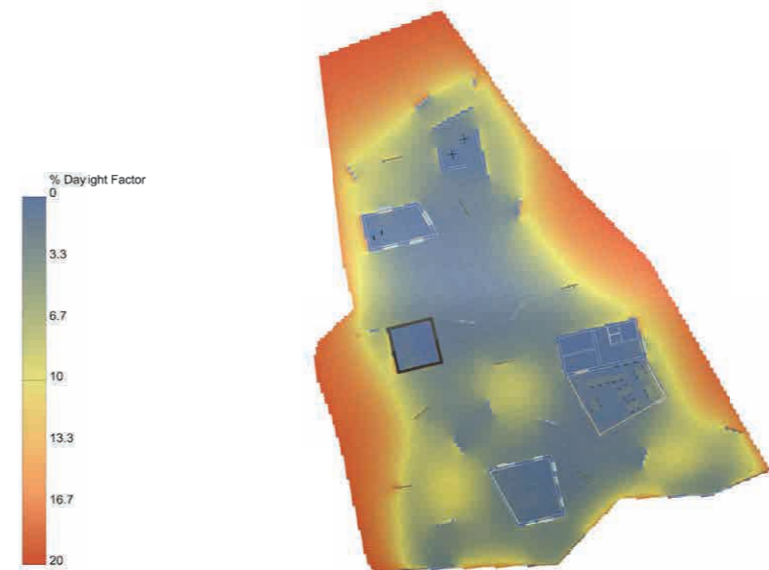
Figura 288\_Raffigurazione dell'FLD<sub>m</sub>: copertura con patii

## SIMULAZIONE 3

- ✓ Patii
- ✓ Aperture zenitali
- ✓ Copertura filtrante
- ✗ Alberi

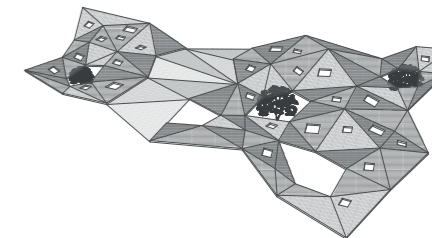


La terza simulazione effettuata è quella che prevede l'introduzione di una copertura tessile in prossimità della carreggiata e l'aggiunta di fori di dimensioni ridotte rispetto ai patii sulla parte di copertura in Cross-Lam. Questa scelta è stata elaborata per rendere più omogenea la distribuzione della luce nelle piazze coperte poiché, nel caso precedente risultava essere disomogenea. Dai risultati ottenuti si nota come l'espedito aggiunto a questa simulazione abbia permesso di risolvere il problema della mancanza di luce al di sotto della copertura. Al di sotto si può osservare il grafico in scala di colori della situazione studiata. Il valore del fattore di luce diurna medio in questo caso è meglio distribuito sulla superficie di base e non si notano dei tratti di elevata disomogeneità di luce.

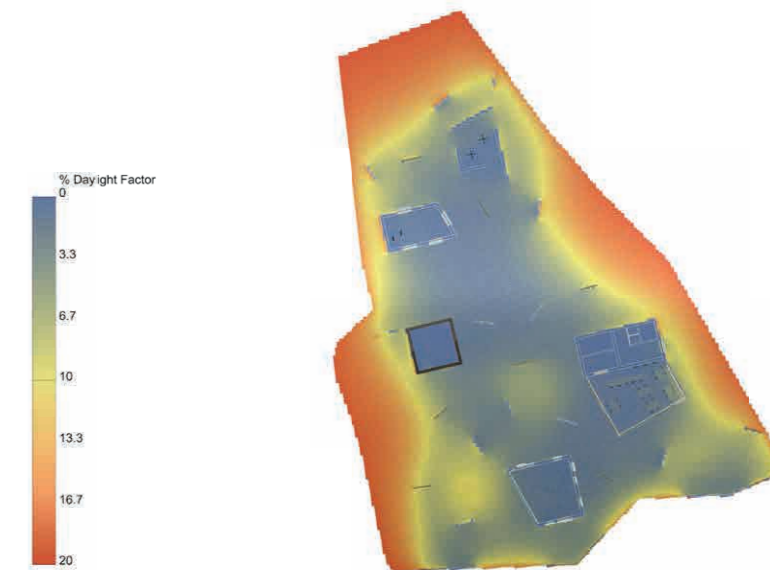
Figura 289\_Raffigurazione dell'FLD<sub>m</sub>: copertura con parte filtrante e aperture zenitali

## SIMULAZIONE 4

- ✓ Patii
- ✓ Aperture zenitali
- ✓ Copertura filtrante
- ✓ Alberi



Dalla simulazione precedente è emerso che la luce al di sotto della copertura risultava essere omogenea con l'introduzione di patii ed altre aperture. Il solo problema emerso è relativo all'eccessiva presenza di luce in prossimità dei patii che avendo una superficie non irrilevante permettono alla luce di passare in modo diretto al di sotto della copertura. Di conseguenza anche in questo caso si è ritenuto necessario mostrare l'ultima simulazione in cui nei patii maggiormente esposti alla luce solare è stato introdotto un sistema di schermatura vegetale, ossia degli alberi a fusto alto. Dalle simulazioni condotte si nota come le zone caratterizzate da fattore di luce diurna maggiore del 10% sono limitate e si ha una prevalenza di aree a 8% di FLD<sub>m</sub> distribuito in modo uniforme sulla superficie al di sotto della copertura.

Figura 290\_Raffigurazione dell'FLD<sub>m</sub>: copertura con alberi



# 8.3

## AMBIENTI INTERNI: ILLUMINAZIONE

### 8.3.1 INFLUENZA DELLE SCELTE PROGETTUALI

La disponibilità di luce naturale varia in funzione della località di progetto, dipendendo in particolare dalla latitudine. Infatti la quantità di luce diffusa presente con condizioni di cielo coperto cambia in funzione della distanza del luogo considerato dalla linea dell'equatore. Altro parametro fondamentale in fase di simulazione è l'orientamento dell'edificio, il rapporto che l'immobile e i suoi fronti sviluppano con i punti cardinali e dunque con il percorso del sole.

L'orientamento dell'edificio influenza la quantità e la qualità della luce naturale. Le finestre orientate a Nord ricevono prevalentemente luce diffusa del cielo e forniscono agli ambienti una luce costante e confortevole. Le finestre orientate a Est e Ovest forniscono una luce solare diretta che varia considerevolmente nell'arco della giornata: luce diretta con bassi angoli solari (mattina o sera) e luce diffusa per molte ore del giorno. È consigliabile limitare il più possibile le aperture orientate a Est e Ovest e qualora fossero presenti è bene dotarle di schermature solari esterne dinamiche in grado di essere efficienti durante l'intero arco della giornata. Quando possibile, è preferibile posizionare ad Est e ad Ovest i locali di servizio (cucine, vani tecnici, bagni, ripostigli, scale ...). Le finestre "zenitali" se posizionate orizzontali o a bassa pendenza forniscono luce diretta anche se orientate a Nord. Tutte le aperture in copertura quindi devono essere dotate di sistemi di oscuramento dinamici. Gli elementi vetrati orientati a Sud sono i più efficienti in quanto forniscono una grande quantità di luce naturale, ma, allo stesso tempo, devono essere dotate di schermi solari fissi o dinamici per il controllo dell'irraggiamento estivo.

### 8.3.2 CALCOLO DELLA LUMINANZA

Mediante il software Diva è stato possibile calcolare il fattore di luminanza riscontrato per il progetto. Esso è definito come la quantità di luce riflessa da una superficie e viene calcolato utilizzando come unità di misura le candele su unità di superficie ( $\text{Cd}/\text{m}^2$ ).

Per le simulazioni eseguite si è dovuta scegliere una fascia di valori di luminanza di partenza e nel caso in esame il range preso in considerazione è un intervallo in cui il valore del fattore di luminanza varia da 0 a  $200 \text{ Cd}/\text{m}^2$ .

La luminanza misura la sensazione di abbagliamento percepita dall'occhio umano. La distribuzione delle luminanze nello spazio può essere descritta in relazione alla posizione di un osservatore e ad una direzione di osservazione.

Importante per il benessere visivo è la "mappatura" delle luminanze all'interno di un ambiente. Il comfort è infatti garantito da una adeguata gradazione dei contrasti nel campo visivo (inteso come campo centrale di visione, sfondo e ambiente).

Qualora le differenze di luminanza all'interno del campo visivo diventino eccessive si verifica il fenomeno dell'abbagliamento, che provoca fastidio o la diminuzione delle capacità visive.

#### RAPPORTI RELATIVI AL CONTRASTO DI LUMINANZE

Nella progettazione di un fabbricato vengono identificati dei rapporti relativi al contrasto di luminanza. Affinché si esegua un buon progetto dal punto di vista del fattore considerato è indispensabile verificare che il contrasto di luminanze resti all'interno dei rapporti in seguito riportati:

- 3:1 fra un oggetto e il suo sfondo (ottimale)
- 10:1 fra un oggetto e le superfici lontane più scure (ottimale);
- 20:1 fra le sorgenti luminose e il loro intorno (accettabile);
- Superiore al rapporto 20:1 (fastidiosa/intollerabile);
- 50:1 fra un oggetto da mettere in evidenza e il suo sfondo.

In seguito con l'esecuzione delle simulazioni rispetto agli edifici di progetto, si potrà stabilire se i rapporti riportati risultano essere verificati.

### 8.3.2.1 VARIABILE PROGETTUALE: IL VETRO

Nelle simulazioni si è ritenuto opportuno verificare la qualità in termini visivi fornita da diverse tipologie di vetro.

Le prestazioni luminose di un vetro sono misurate da :

- La sua trasmissione luminosa  $T_L$ : rapporto percentuale fra la luce trasmessa dal vetro e la luce incidente su di esso;
- La sua riflessione luminosa  $R_L$ : rapporto percentuale fra la luce riflessa dal vetro e quella incidente su di esso;
- Il suo assorbimento luminoso  $A_L$ : percentuale di energia solare assorbita dal vetro.

La somma dei parametri sopra elencati deve portare dunque a un valore pari al 100%, come mostra l'espressione seguente:

$$T_L + R_L + A_L = 100\%$$

In particolar modo si prende in considerazione il parametro di trasmissione luminosa, espressa in percentuale, ossia la quantità di luce che il vetro lascia passare identificabile anche come il suo contributo all'illuminazione naturale del locale.

La trasmissione luminosa di un vetro extra-bianco o extra-chiaro è nettamente migliore di quella di un vetro classico, soprattutto quando si aumenta il suo spessore.

Sono state effettuate quattro simulazioni in cui si è cambiata la tipologia di vetro impiegata e l'eventuale schermatura interna. Si inizia ad utilizzare un vetro poco prestazionale, caratterizzato da una lastra singola e da alti valori di trasmittanza e man mano si incrementano le prestazioni del vetro impiegato utilizzando dapprima una tipologia a doppia lastra e poi uno triplo.

In seguito si riportano i parametri delle simulazioni

- SIMULAZIONE 1: Vetro singolo non prestazionale  $T_L=88\%$ ;
- SIMULAZIONE 2: Vetro doppio basso emissivo  $T_L=65\%$ ;
- SIMULAZIONE 3: Vetro triplo con camera contenente gas Krypton  $T_L=47\%$ ;
- SIMULAZIONE 4: Presenza di schermatura interna (tende)  $T_L=20\%$ .

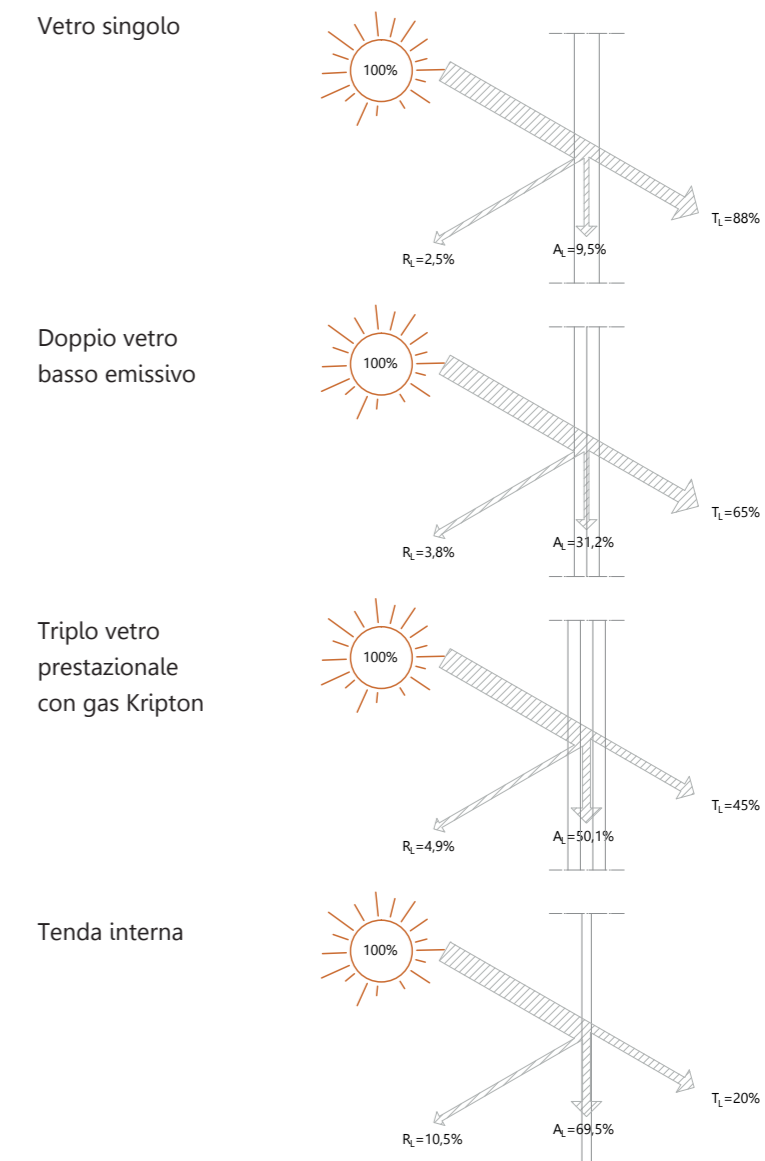


Figura 291\_Rappresentazione del flusso luminoso incidente sulla superficie vetrata

INFOPOINT - 21 GIUGNO



Figura 292\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint

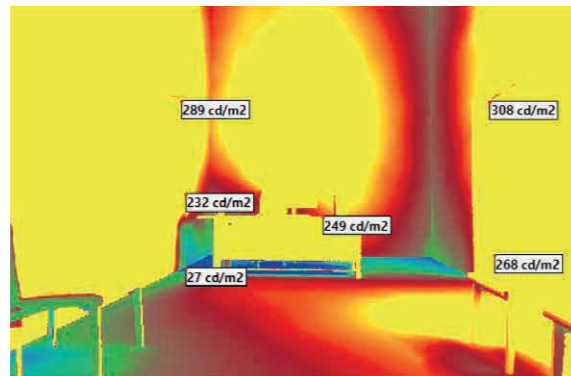


Figura 293\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

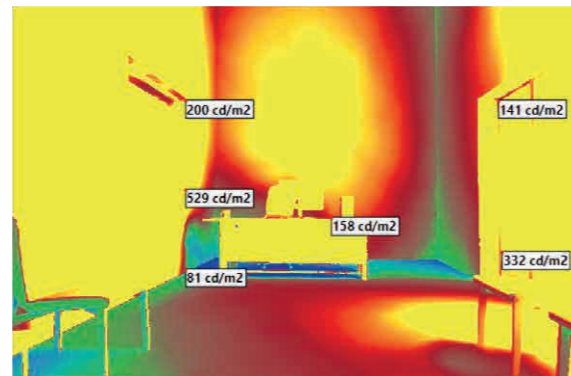


Figura 294\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

INFOPOINT - 21 DICEMBRE



Figura 297\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint

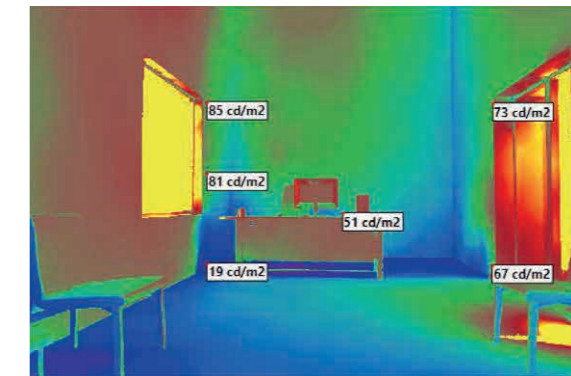


Figura 298\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

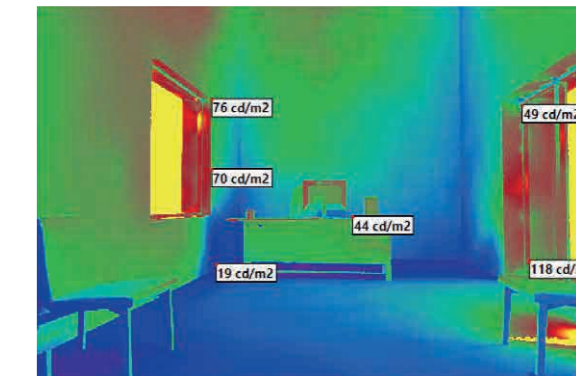


Figura 299\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria nei mesi estivi, in quanto anche con vetro prestazionale la quantità di luce interna risulta eccessiva.

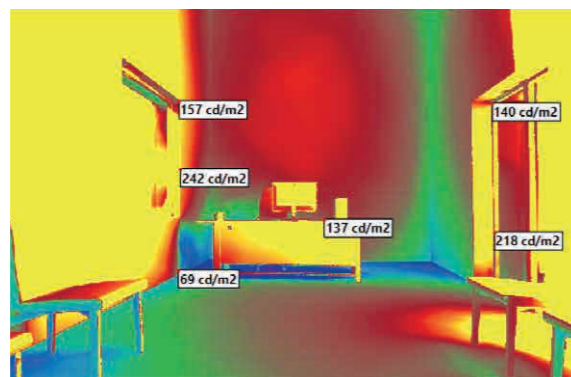
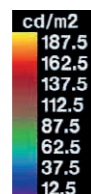


Figura 295\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

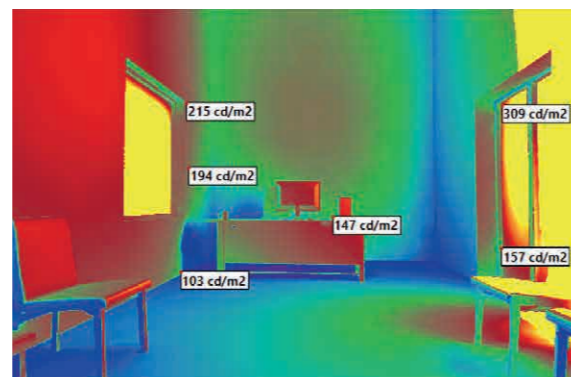


Figura 296\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Dicembre

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come nei mesi invernali la presenza di tendaggio interno non sia necessaria. Si consiglia inoltre una progettazione appropriata dell'illuminazione artificiale.

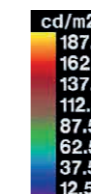


Figura 300\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

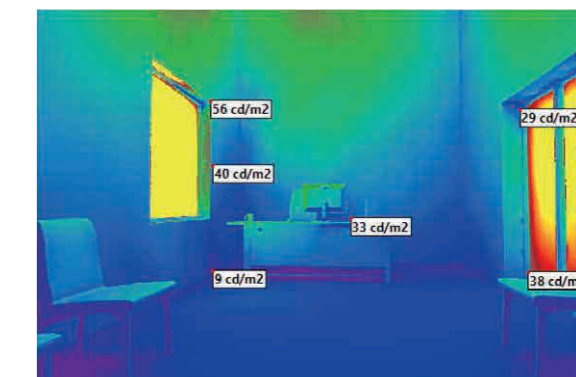


Figura 301\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$



INFOPOINT - 21 GIUGNO

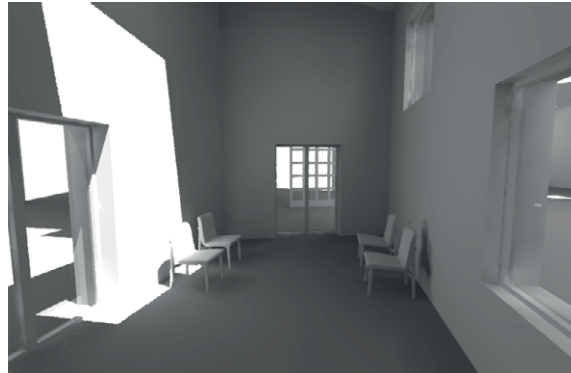


Figura 302\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint

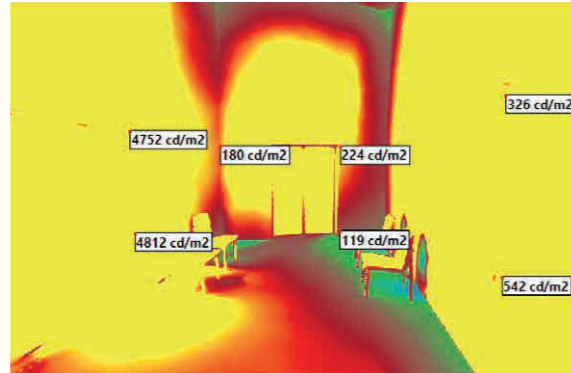


Figura 303\_Vetro singolo -  $T_L=88\%$

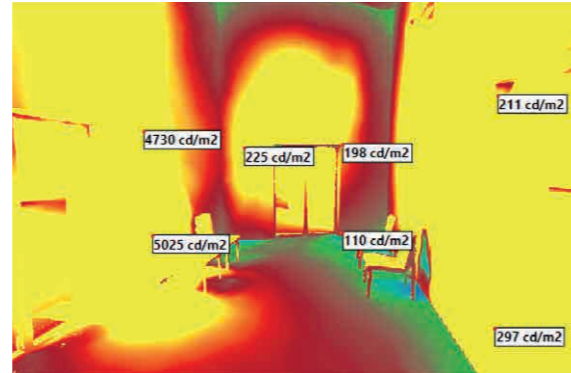


Figura 304\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_L=65\%$

INFOPOINT - 21 DICEMBRE



Figura 307\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint

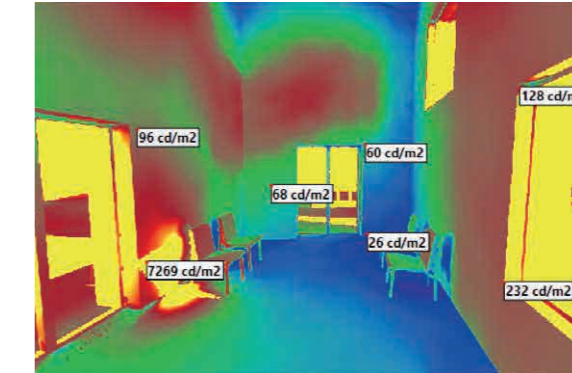


Figura 308\_Vetro singolo -  $T_L=88\%$

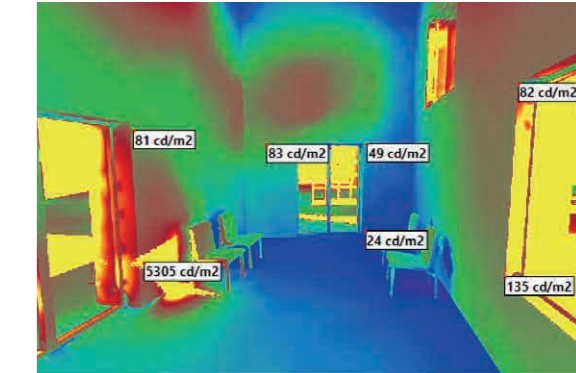


Figura 309\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_L=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria nei mesi estivi, in quanto anche con vetro prestazionale la quantità di luce interna risulta eccessiva.

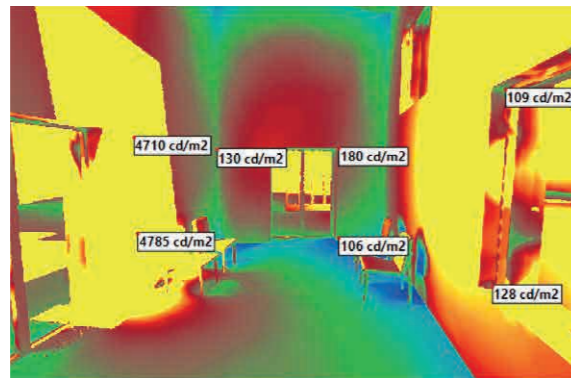
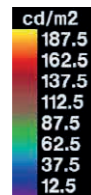


Figura 305\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_L=47\%$

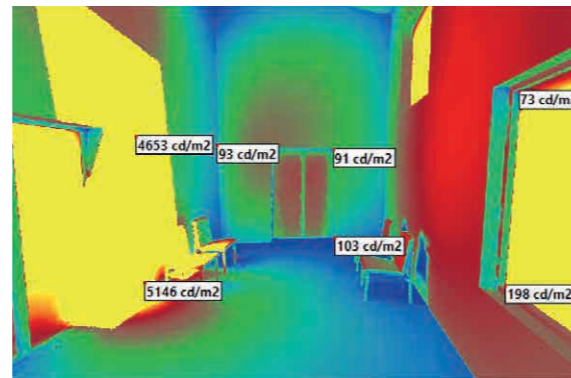


Figura 306\_Presenza di tende oscuranti -  $T_L=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Dicembre

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come nei mesi invernali la presenza di tendaggio interno non sia necessaria. Si consiglia inoltre una progettazione appropriata dell'illuminazione artificiale.

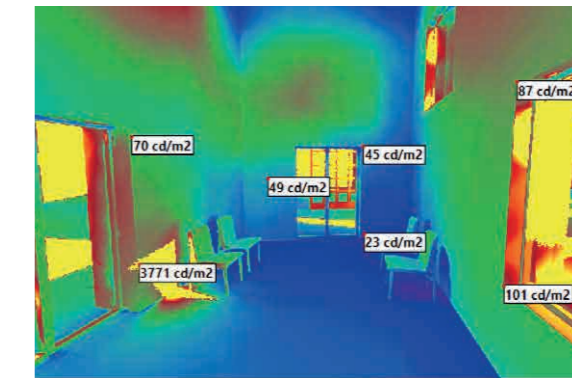
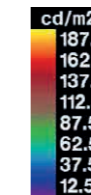


Figura 310\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_L=47\%$

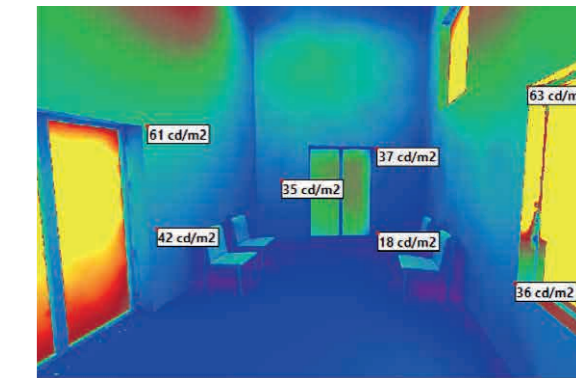


Figura 311\_Presenza di tende oscuranti -  $T_L=20\%$



BAR - 21 GIUGNO



Figura 312\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar

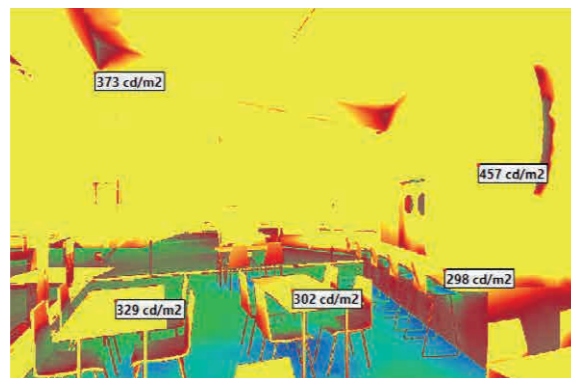


Figura 313\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

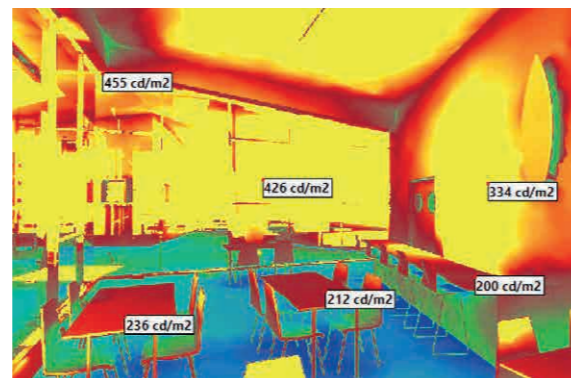


Figura 314\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

BAR - 21 DICEMBRE



Figura 317\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar

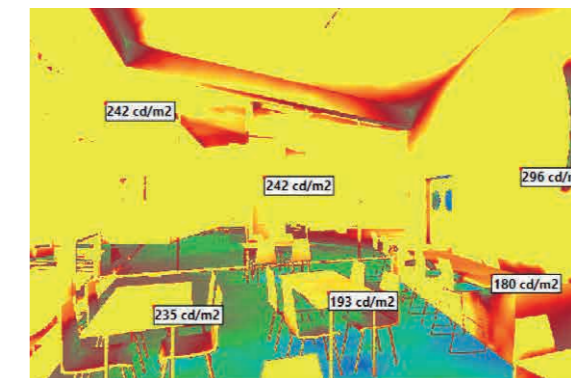


Figura 318\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

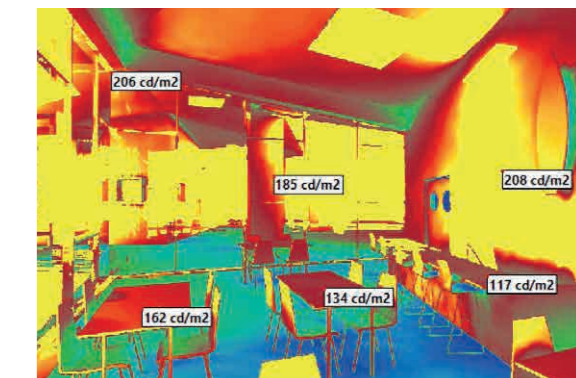


Figura 319\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria nei mesi estivi, in quanto anche con vetro prestazionale la quantità di luce interna risulta eccessiva.

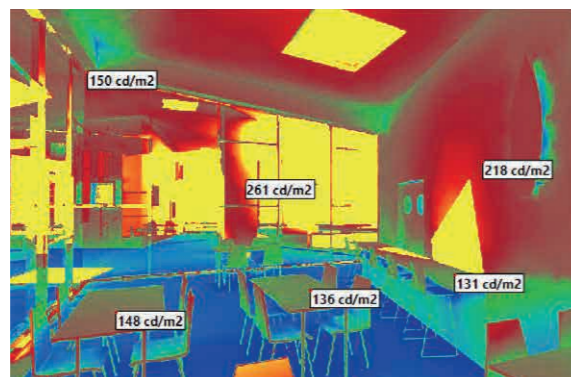
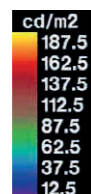


Figura 315\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

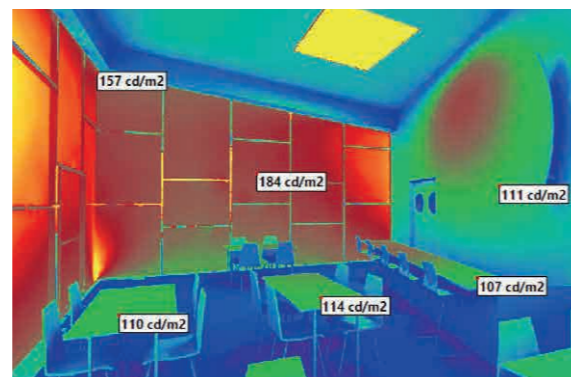


Figura 316\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Dicembre

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Nelle stagioni invernali lo stesso ambiente non necessita di schermature interne in quanto la quantità di luce filtrata dai vetri risulta essere accettabile.

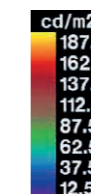


Figura 320\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

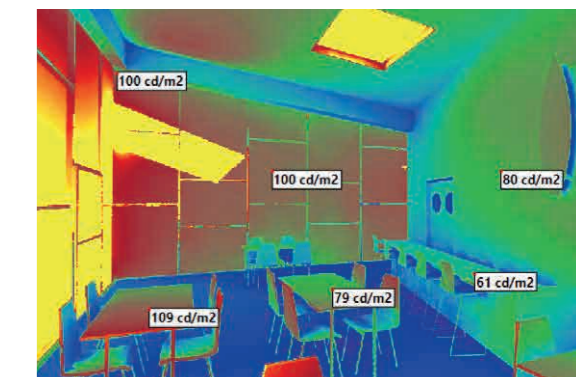


Figura 321\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$



BAR - 21 GIUGNO



Figura 322\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar

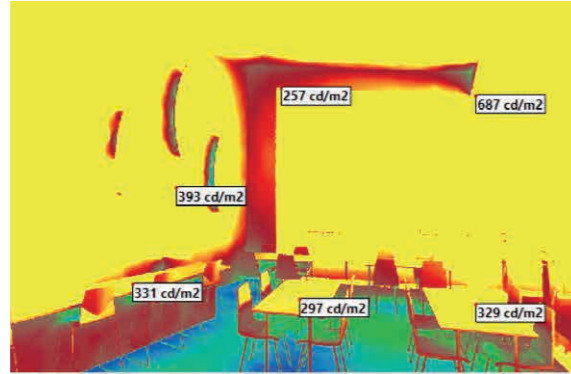


Figura 323\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

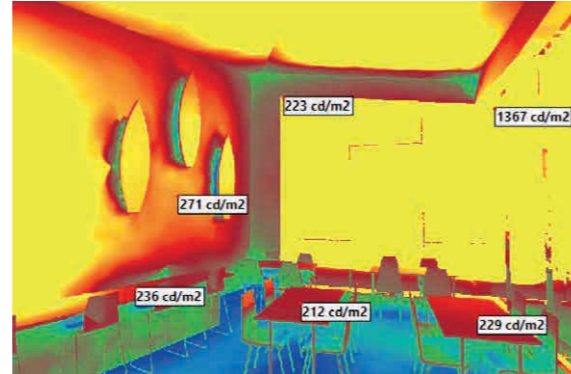


Figura 324\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

BAR - 21 DICEMBRE



Figura 327\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar

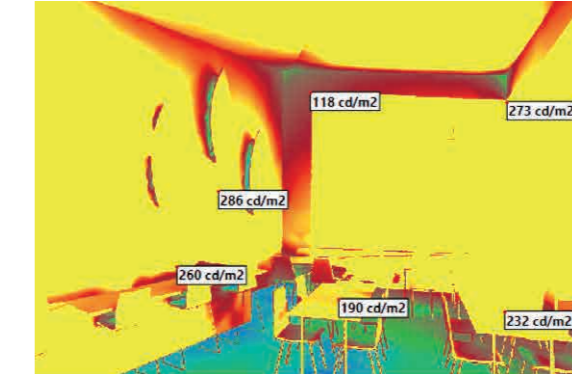


Figura 328\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

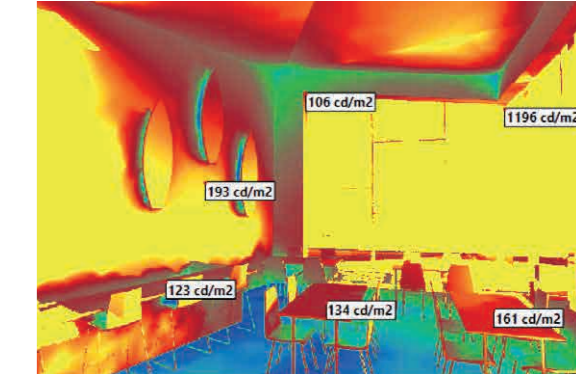


Figura 329\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria nei mesi estivi, in quanto anche con vetro prestazionale la quantità di luce interna risulta eccessiva.

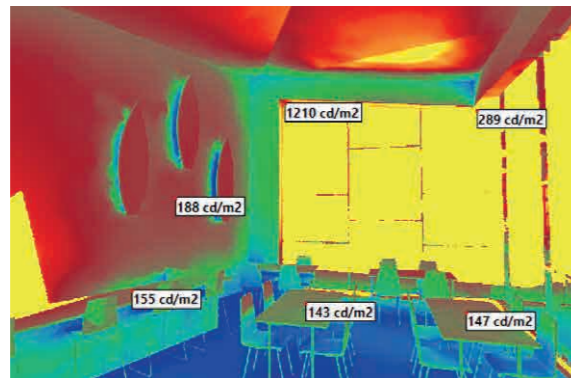
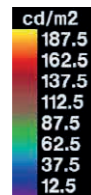


Figura 325\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

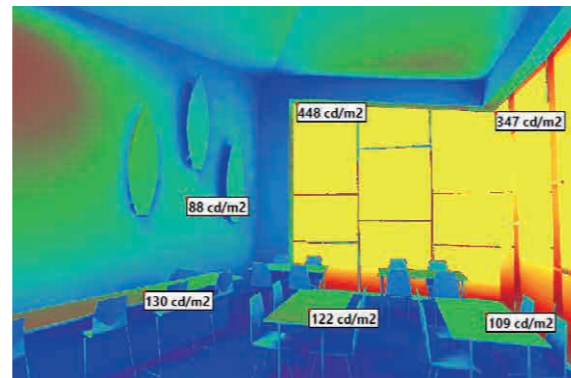


Figura 326\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Dicembre

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Nelle stagioni invernali lo stesso ambiente non necessita di schermature interne in quanto la quantità di luce filtrata dai vetri risulta essere accettabile.

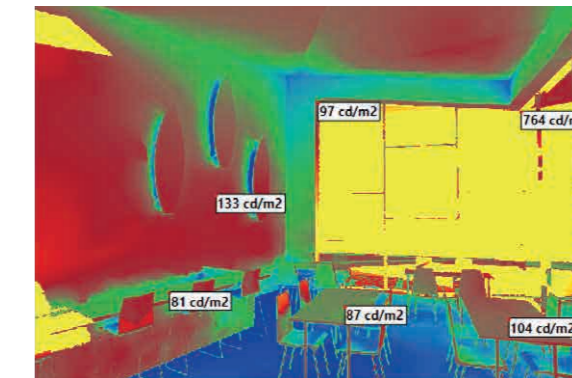
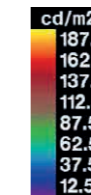


Figura 330\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

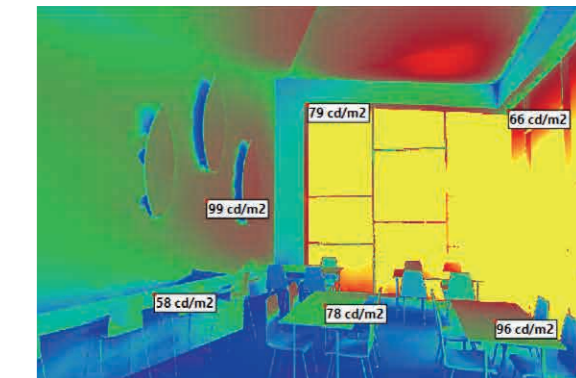


Figura 331\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

SALA YOGA - 21 GIUGNO

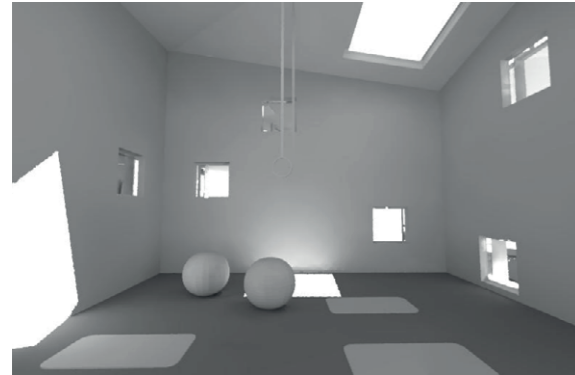


Figura 332\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga

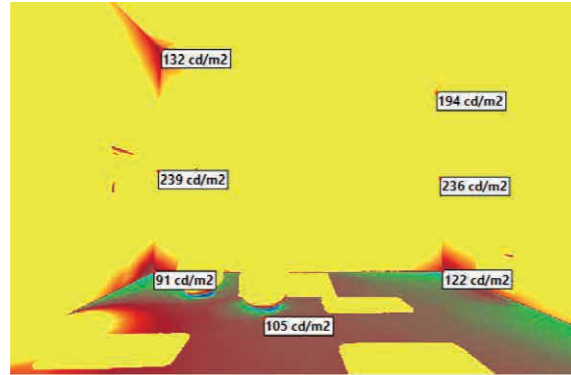


Figura 333\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

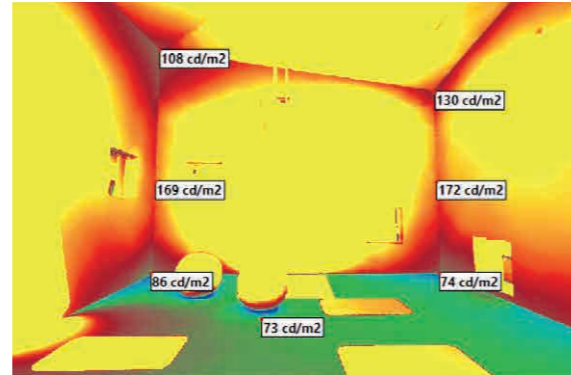


Figura 334\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

SALA YOGA - 21 DICEMBRE

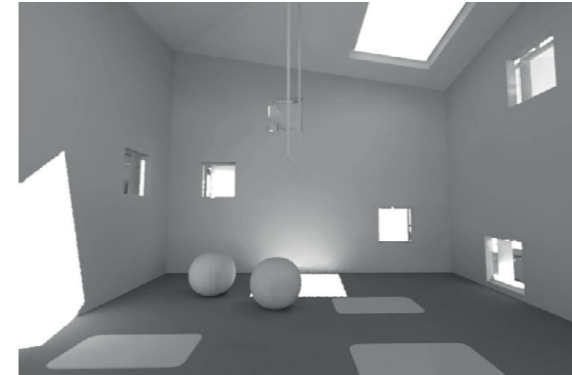


Figura 337\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga

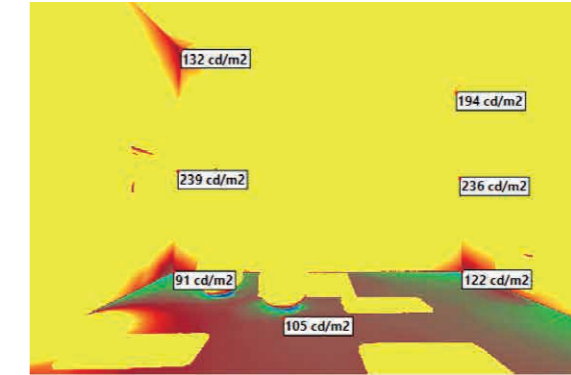


Figura 338\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

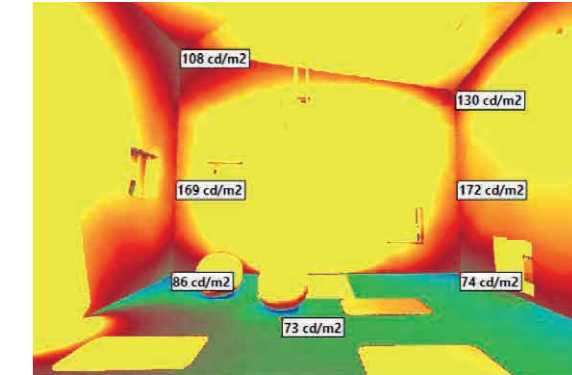


Figura 339\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno non sia necessaria in quanto i parametri migliori si riscontrano nella situazione con triplo vetro.

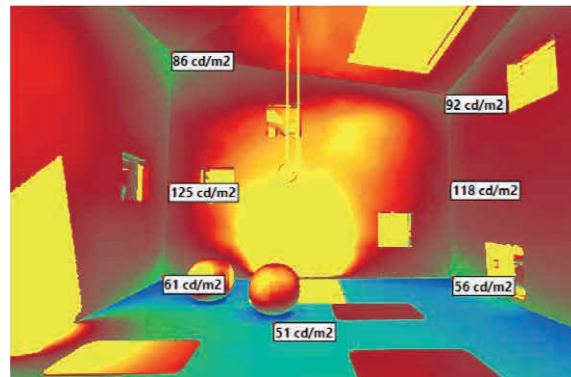
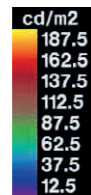


Figura 335\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

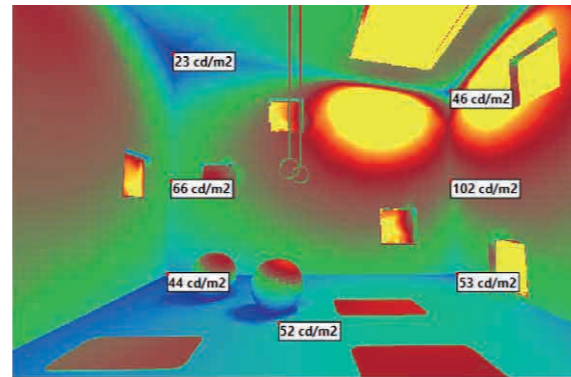


Figura 336\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno non sia necessaria in quanto i parametri migliori si riscontrano nella situazione con triplo vetro.

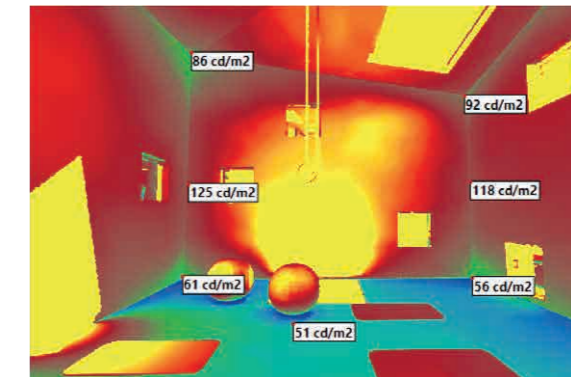
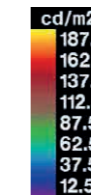


Figura 340\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

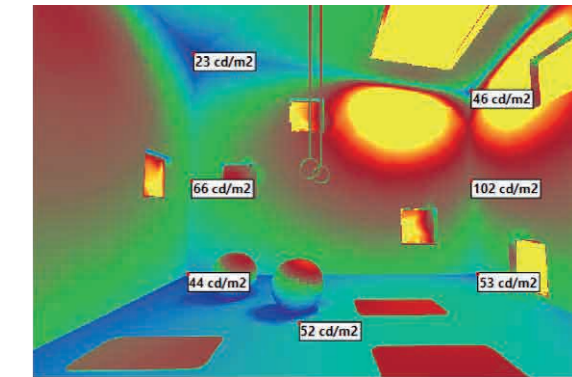


Figura 341\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$



SALA YOGA - 21 GIUGNO



Figura 342\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga

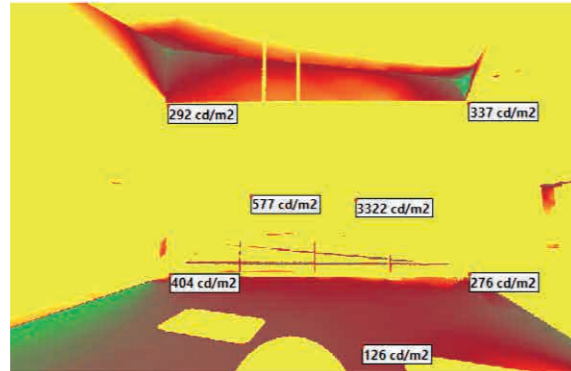


Figura 343\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

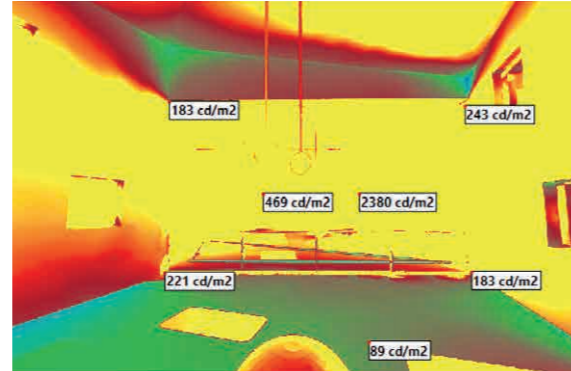


Figura 344\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

SALA YOGA - 21 DICEMBRE



Figura 347\_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga

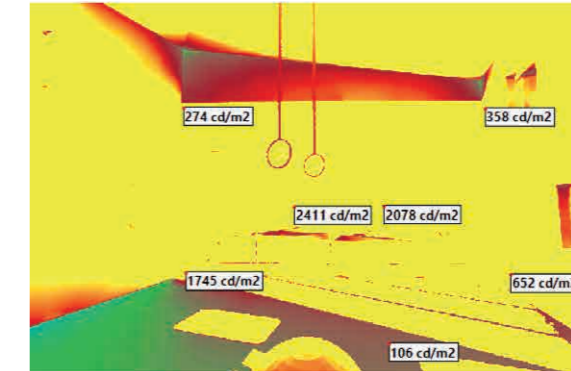


Figura 348\_Vetro singolo -  $T_l=88\%$

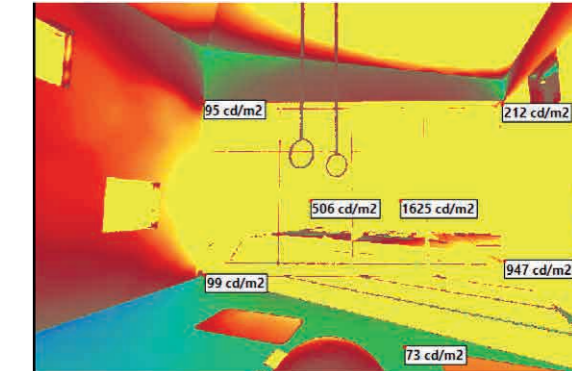


Figura 349\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_l=65\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Giugno

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno non sia necessaria in quanto i parametri migliori si riscontrano nella situazione con triplo vetro.

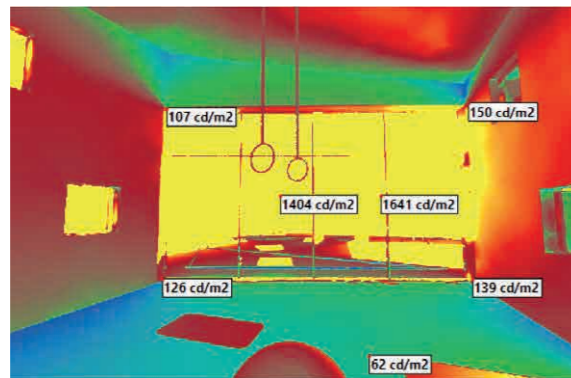
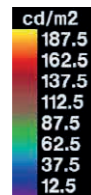


Figura 345\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

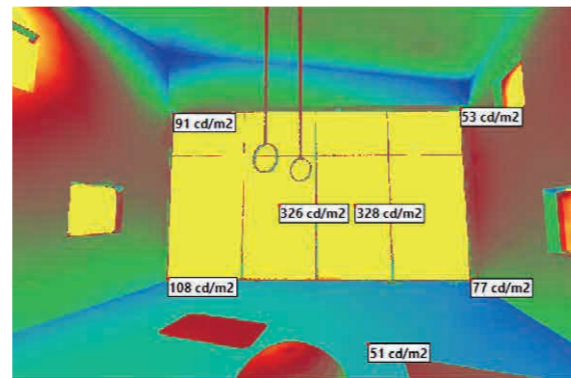


Figura 346\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

DATI DI SIMULAZIONE

21 Dicembre

Ore 12:00

Cielo sereno con sole

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria soltanto nelle ore centrali del giorno, quando il sole è basso e arriva perpendicolarmente al vetro.

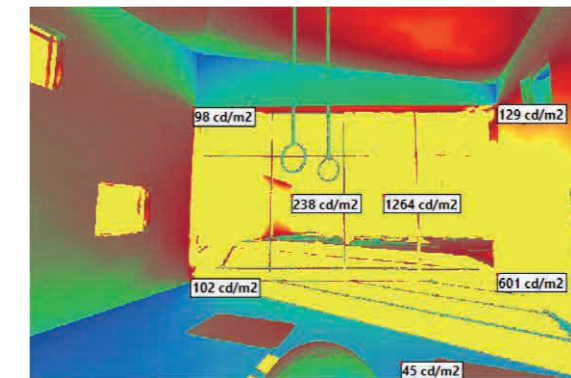
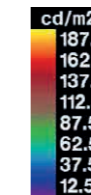


Figura 350\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_l=47\%$

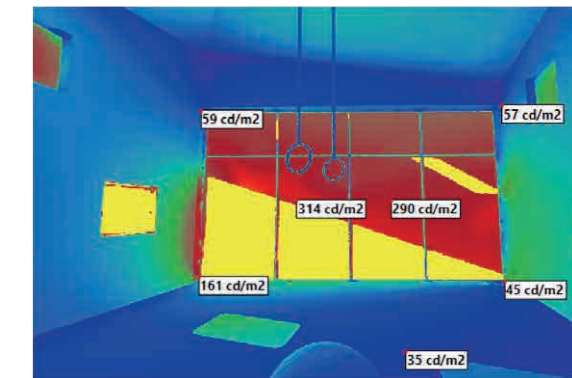


Figura 351\_Presenza di tende oscuranti -  $T_l=20\%$

### 8.3.2.2 CONCLUSIONI

Il progetto Velika è composto da cinque edifici principali, due dei quali però sono concepiti più come ambienti esterni, motivo per il quale non si sono presi in considerazione nello svolgimento delle simulazioni. Gli edifici analizzati sono di conseguenza soltanto tre:

1. L'infopoint;
2. Il bar;
3. La sala yoga.

Per ognuno di essi si è ritenuto opportuno simulare due viste differenti dello spazio interno al fine di fornire una descrizione della luminanza completa e dettagliata. In tal modo si è potuta ottenere una visione globale di ciascun edificio, in quanto con due viste dell'ambiente interno si possono visualizzare tutte e quattro le pareti che vanno a comporre ogni stanza.

Dalle simulazioni ottenute si conclude che la situazione ottimale in generale si ottiene con un triplo vetro prestazionale, connotato da un basso valore di trasmittanza termica e quindi con elevate capacità di isolamento e caratterizzato dalla presenza di gas Krypton al suo interno. Esso, negli input di programma, è caratterizzato da una trasmissione luminosa pari a  $T_L=47\%$ . Tuttavia è consigliato, nelle ore centrali della giornata, ma soprattutto durante i mesi più caldi, l'utilizzo di un sistema di schermatura interno per i vetri come ad esempio delle tende opache. Infatti la radiazione solare incidente, soprattutto sulla vetrata del bar e nella sala yoga, provoca un innalzamento eccessivo delle temperature interne e situazioni di abbagliamento. Infatti gli elementi trasparenti in questione sono caratterizzati da una grande superficie vetrata ed inoltre l'orientamento di essi non è favorevole in termini di radiazione solare, poiché sono esposti a Sud nel caso del bar e ad Ovest nel caso della sala yoga.

Per quanto riguarda la situazione dell'ambiente interno dell'infopoint bisogna prestare particolare attenzione in quanto si svolgono all'interno attività di ufficio nell'arco della giornata. Bisogna quindi prevedere un sistema di schermatura opportuno mediante tendaggio interno per evitare fenomeni di abbagliamento, dannosi per coloro che lavorano nel locale.

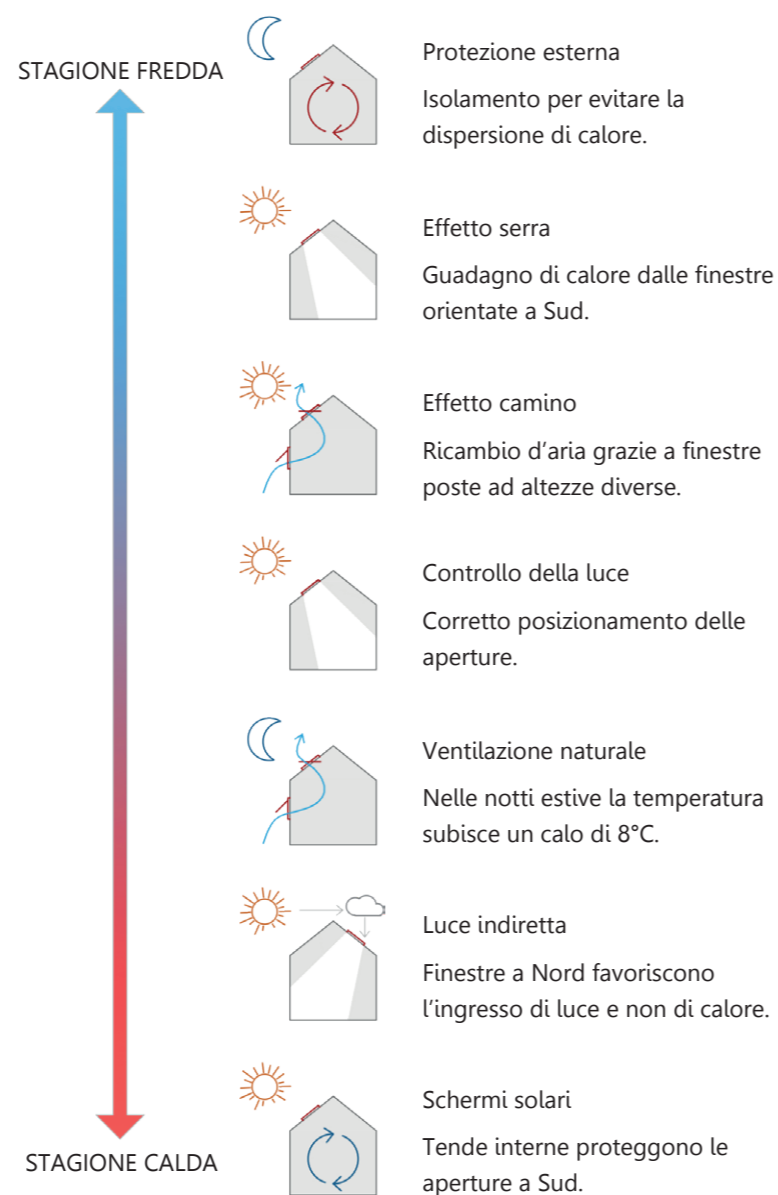


Figura 352\_Strategie progettuali per il monitoraggio del comfort interno

### 8.3.3 CALCOLO DEL FATTORE DI LUCE DIURNA

Il Fattore di Luce Diurna medio esprime il rapporto, espresso in percentuale, tra l'illuminamento medio dell'ambiente ( $E_m$ ) e l'illuminamento  $E_e$  che si ha nello stesso istante su una superficie orizzontale esterna esposta all'intera volta celeste con cielo coperto.

$$\eta_m = E_m / E_e$$

Si riporta di seguito un estratto interessante pubblicato dal responsabile dell'ufficio tecnico dell'azienda Velux Italia, Riccardo Accetti.

“Il Decreto del M.S. del 05/07/75 art.5 dispone che “tutti i locali degli alloggi, tranne vani scala, ripostigli [...], devono fruire di illuminazione naturale diretta adeguata alla destinazione d'uso. L'ampiezza delle finestre deve essere proporzionata in modo da assicurare un fattore medio di luce diurna non inferiore al 2% e comunque la superficie apribile non dovrà essere inferiore a 1/8 della superficie del pavimento”.

In un ambiente chiuso, l'illuminamento naturale nei diversi punti di uno spazio interno è costituito da tre componenti: l'apporto di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne (la volta celeste, il sole), l'apporto di luce dovuto alle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane esterne, l'apporto di luce dovuto alle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente.

Nella valutazione delle condizioni di illuminazione naturale interna si considera il caso più sfavorevole che si verifica in assenza di radiazione solare diretta, caratterizzata invece da una forte direzionalità in funzione della posizione del sole.

Posto il cielo coperto come condizione ottimale di valutazione, il rapporto tra illuminamento interno ed esterno deve essere costante e non deve dipendere né dall'ora del giorno, né dal periodo dell'anno, né dall'orientamento del locale: si introduce quindi il fattore di luce diurna (FLD), grandezza sintetica ed adimensionale espressa in percentuale, definita come il rapporto fra l'illuminamento misurato in un punto specifico dell'ambiente interno e l'illuminamento misurato all'esterno su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzioni in condizioni di cielo coperto.

Per non limitare il calcolo su un unico punto viene utilizzato il fattore medio di luce diurna ( $FLD_m$ ), dove per medio si intende mediato su più punti di misura

dell'ambiente interno in rapporto con l'esterno: in questo modo è possibile valutare meglio l'illuminazione globale nel locale confinato.

I valori richiesti dalle normative possono variare in funzione delle varie destinazioni d'uso dei locali: vi sono tuttavia dei valori di soglia al di sotto dei quali non sono verificate le condizioni di illuminazione naturale sufficienti alle specifiche esigenze.

Uno schema di valutazione indicativo può essere il seguente:

- $FLD_m < 1\%$  = insufficiente
- $1\% < FLD_m < 2\%$  = discreto
- $2\% < FLD_m < 4\%$  = buono
- $FLD_m > 4\%$  = ottimo

Limitarsi a considerare solo le superfici finestrate per i rapporti aeroilluminanti non soddisfa i requisiti igienico-sanitari nei locali: rispettare il fattore medio di luce diurna significa distribuire correttamente le finestre e valutarne la capacità di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli nell'ambiente confinato.” [R. Accetti, 2011]

Si è fatto riferimento alla normativa italiana UNI EN 12464-1, la quale tratta “Illuminazione dei luoghi di lavoro”, e UNI 10380, che si riferisce all'illuminazione degli ambienti interni di spazi con diverse destinazioni d'uso, tra cui palestre.

I requisiti illuminotecnici fanno riferimento a 3 fattori:

- SICUREZZA: associata alla visibilità degli oggetti e alla percezione degli ostacoli;
- COMFORT VISIVO: la sensazione di benessere percepita dai lavoratori o dagli studenti contribuisce indirettamente ad ottenere livelli di produttività e concentrazione alti;
- PRESTAZIONE VISIVA: può essere definita come il rapporto tra un lavoro svolto con un dato illuminamento, ed il lavoro svolto con un livello di illuminamento ideale.

Analogamente all'analisi della luminanza, anche per il fattore di luce diurna sono stati simulate diverse tipologie di vetro ed eventuale presenza di tendaggio interno. Si sono poi studiate le diverse situazioni al variare della trasmissione luminosa.



## BAR

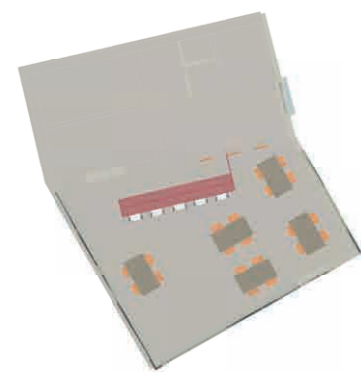
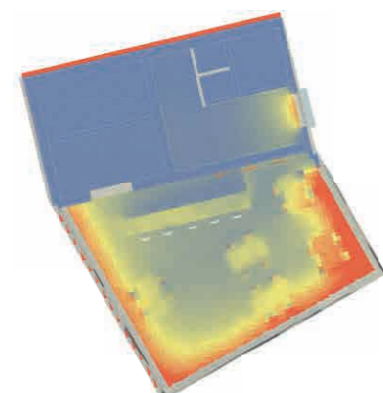
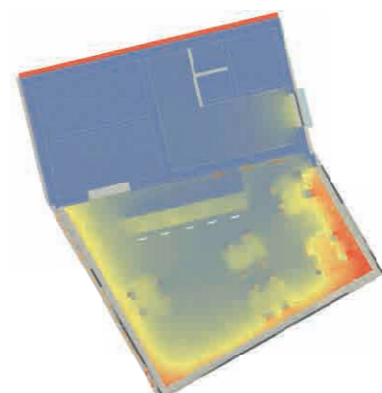


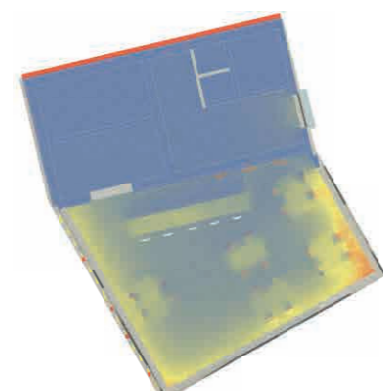
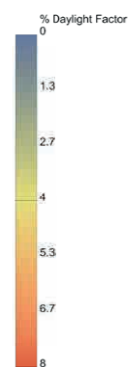
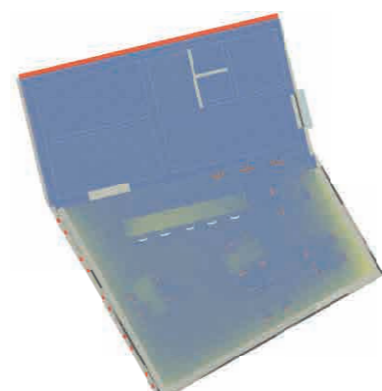
Figura 353\_Renderizzazione dello spazio Bar

Figura 354\_Vetro singolo -  $T_L=88\%$ Figura 355\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_L=65\%$ 

## DATI DI SIMULAZIONE

## Cielo coperto

Si nota come la presenza di tendaggio interno non sia necessaria in quanto i parametri migliori si riscontrano nella situazione con triplo vetro. Infatti questo tipo di elemento trasparente fornisce all'ambiente interno una distribuzione omogenea della luce.

Figura 356\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_L=47\%$ Figura 357\_Presenza di tende oscuranti -  $T_L=20\%$ 

## INFOPOINT

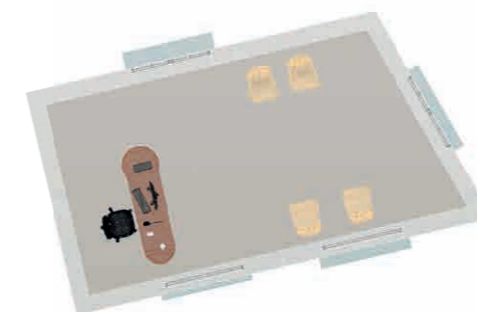
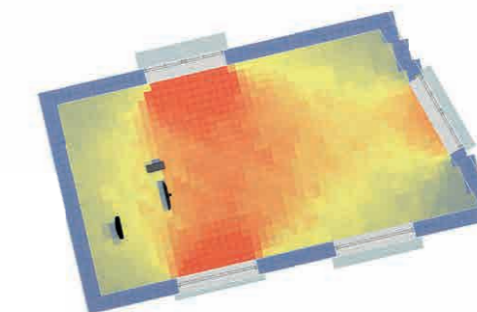
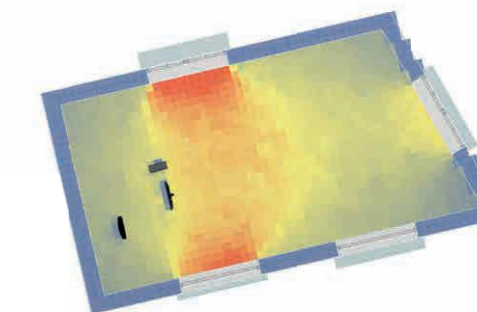


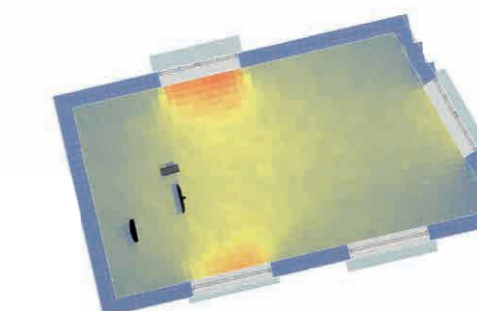
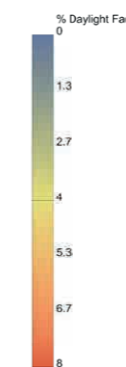
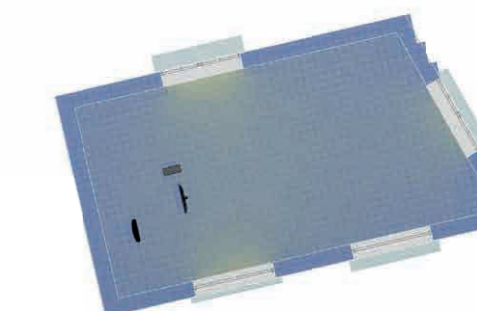
Figura 358\_Renderizzazione dello spazio Infopoint

Figura 359\_Vetro singolo -  $T_L=88\%$ Figura 360\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_L=65\%$ 

## DATI DI SIMULAZIONE

## Cielo coperto

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria durante le ore più calde della giornata, in quanto nella simulazione con triplo vetro si nota un'eccessiva quantità di luce in corrispondenza delle aperture. Ciò potrebbe essere dannoso per chi lavora.

Figura 361\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_L=47\%$ Figura 362\_Presenza di tende oscuranti -  $T_L=20\%$

## SALA YOGA

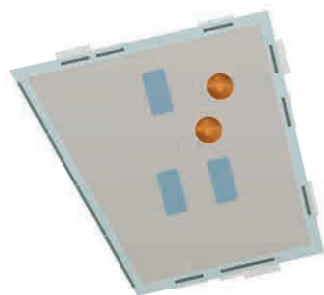
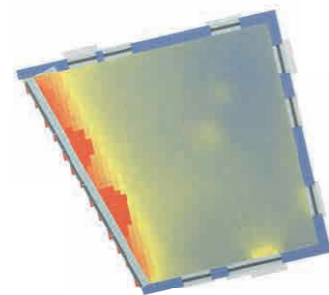
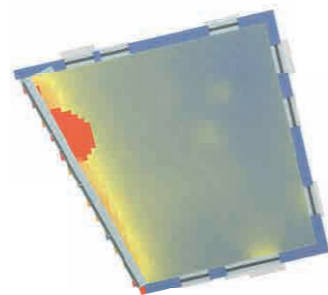


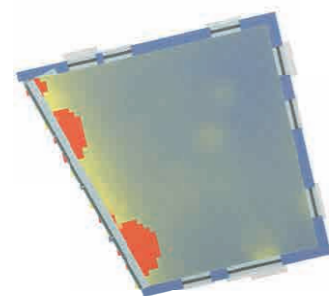
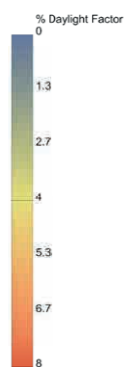
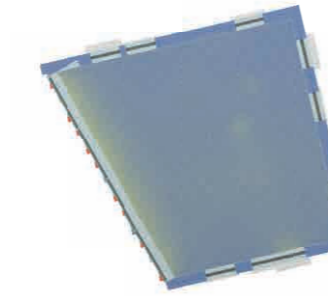
Figura 363\_Renderizzazione dello spazio sala yoga

Figura 364\_Vetro singolo -  $T_L=88\%$ Figura 365\_Vetro doppio basso emissivo -  $T_L=65\%$ 

## DATI DI SIMULAZIONE

## Cielo coperto

Si nota come la presenza di tendaggio interno sia necessaria in corrispondenza della vetrata, in quanto nella simulazione con triplo vetro si nota un'eccessiva quantità di luce in corrispondenza delle aperture. Ciò potrebbe provocare un surriscaldamento interno.

Figura 366\_Vetro triplo prestazionale con Krypton -  $T_L=47\%$ Figura 367\_Presenza di tende oscuranti -  $T_L=20\%$ 

## 8.3.3.1 CONCLUSIONI

Si nota come il fattore di luce diurna sia omogeneo sulla superficie nella simulazione mediante triplo vetro prestazionale con gas Krypton interposto. Si deve specificare che l'omogeneità di tale parametro è un aspetto imprescindibile all'interno della fase di progettazione in quanto in tal modo si evitano bruschi cambiamenti di illuminazione, fastidiosi per gli utenti all'interno della struttura.

Le risposte del programma Diva for Rhino sono delineate su una scala variabile dall'1% all'8%. La situazione ottimale si riscontra per un valore di fattore di luce diurna medio pari a 3-4%.

Dalle analisi effettuate si riscontra che nella zona bar si ha una risposta ottimale senza l'ausilio di tende interne, simulando l'ambiente con un vetro triplo prestazionale con gas Krypton interposto. In particolare modo si nota che il colore uniformemente distribuito è il giallo/azzurro, corrispondente a un valore di fattore di luce diurna pari al 3%, condizione buona dal punto di vista illuminotecnico.

Per quanto riguarda lo spazio infopoint, al suo interno sono svolte attività d'ufficio e quindi si necessita di un tipo di comfort tale da facilitare le mansioni da svolgersi. In particolare modo in corrispondenza della scrivania posta all'interno della stanza, dove l'operatore svolge quotidianamente l'attività lavorativa, si nota un innalzamento dell' $FLD_m$ . Ciò è senz'altro da ritenersi apprezzabile in quanto la condizione illuminotecnica si sposta da buona, come nel caso precedente, a ottima. Durante le ore più calde della giornata e nei mesi estivi, tuttavia, è vivamente consigliato l'utilizzo di tendaggio interno al fine di evitare un'eccessivo innalzamento delle temperature interne ed eventuali situazioni di abbagliamento.

Per quanto riguarda lo spazio adibito a sala yoga, si nota come in corrispondenza della vetrata, posta a tutt'altezza in corrispondenza del giardino delle essenze, vi sia una grande discontinuità di fattore di luce diurna medio. Infatti si vede come ci sia una concentrazione di valori pari a un  $FLD_m$  di 8% in prossimità di tali aperture. Nella superficie rimanente della stanza si registra una situazione buona con  $FLD_m$  pari a 3% uniformemente distribuita grazie alla disposizione delle finestre sulle tre pareti e per la presenza di aperture zenitali con finestre tipo "Velux". Da questa situazione si passa bruscamente ad un picco dell' $FLD_m$  pari all'8% in corrispondenza della vetrata.





# CAPITOLO 9

## ENERGIA



9.1 Approccio al Calcolo .....	337	9.5.3 Consumo Energetico .....	389
9.1.1 Introduzione al Software Trnsys.....	337	9.5.4 Considerazioni .....	392
9.1.2 Il Contesto Climatico .....	341	9.6 Ottimizzazione 2 .....	393
9.1.2.1 Temperatura Ambientale .....	342	9.6.1 Implementazione della Ventilazione.....	393
9.1.2.2 Umidità Relativa .....	343	9.6.2 Comfort .....	394
9.1.2.3 Direzione ed Intensità del Vento .....	345	9.6.3 Consumo Energetico .....	395
9.1.2.4 Radiazione Solare Diretta .....	346	9.7 Ottimizzazione 3 .....	397
9.1.3 Impostazione delle Simulazioni.....	348	9.7.1 Introduzione del Sistema di Schermatura.....	397
9.2 Elementi Opachi.....	350	9.7.1.1 Impianto di Raffrescamento e di Riscaldamento .....	398
9.2.1 Definizione dei Pacchetti Tecnologici.....	350	9.7.2 Comfort .....	399
9.2.2 Parametri Termofisici delle Stratigrafie.....	354	9.7.3 Consumo Energetico .....	400
9.2.3 Confronto Cross-Lam e CLS.....	356	9.7.4 Considerazioni .....	401
9.2.4 Variazione dei Pacchetti Tecnologici .....	361	9.8 Ottimizzazione Finale.....	402
9.2.5 Simulazioni con la Nuova Stratigrafia .....	362	9.8.1 Il Modello Ottimizzato .....	402
9.2.6 Conclusioni.....	363	9.8.2 Comfort .....	403
9.3 Elementi Trasparenti.....	364	9.8.3 Consumo Energetico .....	405
9.3.1 Definizione degli Elementi Trasparenti .....	364	9.9 Consumi Energetici Totali .....	407
9.3.2 Confronto tra Tipologie di Vetro .....	364	9.9.1 Descrizione degli Edifici del Progetto.....	407
9.4 Comfort e Consumo Energetico .....	374	9.9.2 Consumi Energetici Totali.....	409
9.4.1 Il Concetto di Comfort.....	374	9.10 La Ventilazione Naturale .....	410
9.4.2 Il Comfort Termoigrometrico.....	374	9.10.1 Ventilative Cooling Potential Tool .....	410
9.4.2.1 Bilancio Energetico.....	375	9.10.2 ANSYS Workbench: Fluid Flow (Fluent) .....	412
9.4.2.2 Variabili di Influenza del Comfort.....	375	9.10.3 Conclusione.....	415
9.4.3 Apparato Normativo.....	377		
9.4.4 Conclusione.....	380		
9.4.5 I Consumi Energetici.....	380		
9.5 Ottimizzazione 1 .....	382		
9.5.1 Implementazione della Ventilazione .....	382		
9.5.2 Comfort.....	385		

# 9.1

## APPROCCIO AL CALCOLO

### 9.1.1 INTRODUZIONE AL SOFTWARE TRNSYS

Il progetto di tesi è stato analizzato anche dal punto di vista energetico. La verifica energetica si basa sulla costruzione di un modello virtuale che possa rappresentare l'edificio reale nel modo più fedele possibile. Infatti, a causa di una serie di regole alla base del programma, non si è potuto riprodurre un modello identico a quello progettato: si è quindi cercato di introdurre alcune semplificazioni che permettessero comunque di simularne il vero comportamento.

Grazie all'utilizzo di questo tipo di modello è possibile ottenere un completo controllo dell'edificio studiato, valutando inoltre, nel corso della progettazione, quali siano le scelte ottimali da effettuare in fase preliminare. Si riesce così a minimizzare i consumi energetici e al contempo ad ottimizzare il comfort degli utenti.

Per estrapolare i dati energetici si è utilizzato Trnsys, un software che permette di simulare il comportamento dell'edificio in relazione all'ambiente esterno, sia in regime statico che in regime dinamico.

Il programma è composto da due differenti moduli:

- Simulation Studio: si tratta del programma di interfaccia indispensabile per poter condurre le simulazioni.
- TRNBuild: in esso vengono inseriti tutti i dettagli e le informazioni relativi all'edificio. In questo file vengono immessi poi anche gli input e gli output necessari per le analisi che si vogliono effettuare in seguito.

Prima di poter utilizzare il programma per le simulazioni è necessario modellare l'edificio in Sketch-up, utilizzando il Plug-in fornito da Trnsys V.17, denominato Trnsys3D. La modellazione deve suddividere l'edificio in differenti zone climatiche che si contraddistinguono per il fatto che sono costituite da ambienti con caratteristiche termiche e di comfort identiche tra di loro.

L'oggetto di studio è composto da una grande copertura sotto la quale sono presenti cinque edifici: il faro, un infopoint, una piccola palestra di yoga, una sala espositiva ed infine un bar. Nella figura sottostante è possibile visualizzare la posizione degli edifici al di sotto della copertura, in modo tale da aver chiaro l'orientamento di ognuno di essi. Si prosegue poi nel descrivere brevemente le tipologie di edifici presenti, per capire le scelte con cui si sono impostate le simulazioni.

1. Il faro panoramico è situato a Ovest: si tratta di una casetta in pietra che ospita una scocca interna in legno che per una parte si eleva a torre al di sopra della copertura. L'edificio risulta non isolato e tipologicamente differente dagli altri fabbricati, di conseguenza non sarà valutato dal punto di vista energetico.



Figura 368\_Esposizione e collocazione degli edifici al di sotto della copertura

- L'infopoint è situato a Nord-Ovest: è un piccolo locale di 23,7 m<sup>2</sup>, che presenta due finestre verso Sud, schermate dalla copertura e due porte finestre, una a Nord e una ad Est, anche esse completamente schermate dalla copertura.
- La sala espositiva si trova a Nord-Est: consiste in un ambiente particolare in quanto pensato per essere uno spazio esterno-interno delimitato da pareti aperte. Per questo motivo non prevede superfici vetrate né alcun sistema di riscaldamento o raffreddamento.
- La palestra di yoga ha una superficie di 36,5 m<sup>2</sup> ed è un locale adibito ad attività fisica leggera. Presenta una grande superficie vetrata verso Ovest e piccole finestre sulle altre tre pareti che compongono l'edificio.
- Il bar è il locale più ampio in quanto si estende su una superficie di 90 m<sup>2</sup>. L'edificio contiene in particolare tre ambienti differenti: la cucina con un piccolo deposito a Nord-Ovest, il bagno con gli spogliatoi a Nord-Est, e la sala del bar a Sud. Quest'ultima presenta ampie superfici vetrate molto significative in termini di radiazione assorbita dall'edificio.

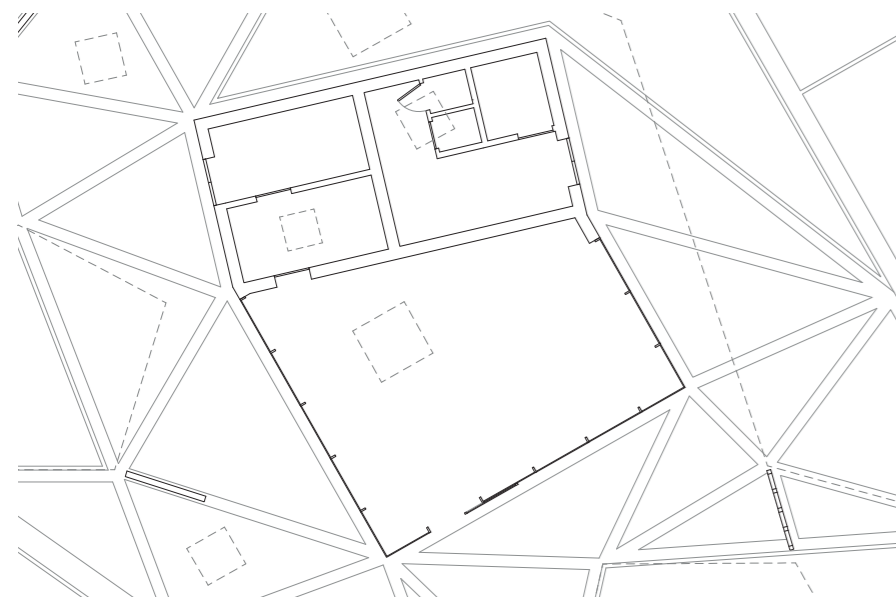


Figura 369\_Sezione orizzontale del Bar

Date le caratteristiche dei cinque edifici al di sotto della copertura si è deciso di studiare soltanto l'edificio ospitante il bar, poiché è il più completo ed il più critico per quanto riguarda l'esposizione. Inoltre è l'unico edificio che presenta all'interno degli ambienti con caratteristiche differenti. In particolare per procedere con le simulazioni si è diviso l'edificio Bar in tre distinte zone termiche:

Zona 1: ambiente dedicato alla cucina e al deposito delle vivande. La superficie in pianta del locale è di 21,02 m<sup>2</sup>. L'altezza interna varia da 4,20 a 6,00 m.

Zona 2: ambiente ospitante i servizi sanitari, gli spogliatoi e le docce a disposizione dei bagnanti. La superficie in pianta del locale è anch'essa di 21,02 m<sup>2</sup>. L'altezza interna varia da 5 a 5,60 m.

Zona 3: ambiente caratterizzato dalla sala del bar in cui sono presenti i tavoli utilizzati dai clienti per il consumo delle vivande. La superficie in pianta del locale è pari a 53,46 m<sup>2</sup>. L'altezza interna varia da 4 a 5 m.

La zona 1 e la zona 2 presentano una doppia esposizione mentre la zona 3 presenta tre differenti esposizioni.

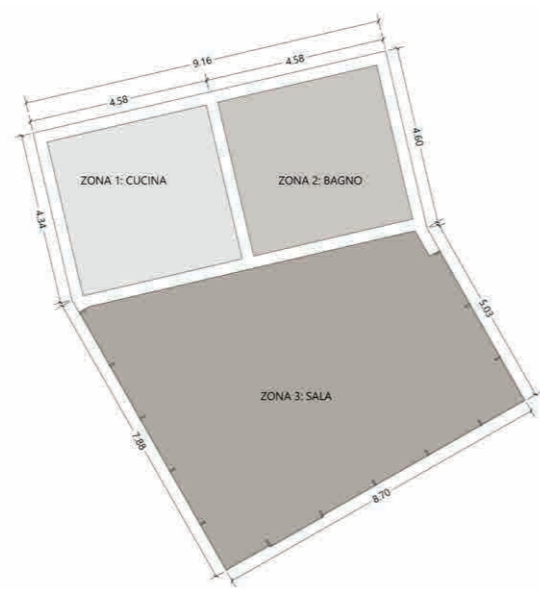


Figura 370\_Divisione dell'edificio Bar in zone climatiche

Nell'immagine sottostante è possibile osservare come è stata costruita la geometria utilizzando il programma Sketch-up. Il modello è stato semplificato rispetto alla realtà in quanto il plug-in di TRnsys individua solo cinque tipologie di elementi assegnabili all'edificio, di cui quattro opachi e uno trasparente.

- EXTERNAL WALLS: consistono in tutti gli elementi di chiusura verticale che si affacciano sull'ambiente esterno
- ROOFS: comprendono le chiusure orizzontali a contatto con l'ambiente esterno
- GROUND FLOORS: includono le chiusure orizzontali a diretto contatto con il terreno
- ADJACENT WALLS: sono le partizioni verticali che dividono due o più zone termiche
- EXTERNAL WINDOWS: consistono in tutte le parti trasparenti che si affacciano sull'ambiente esterno. Non si distingue tra le superfici vetrate verticali e i lucernari poiché le condizioni al contorno che le caratterizzano sono le medesime

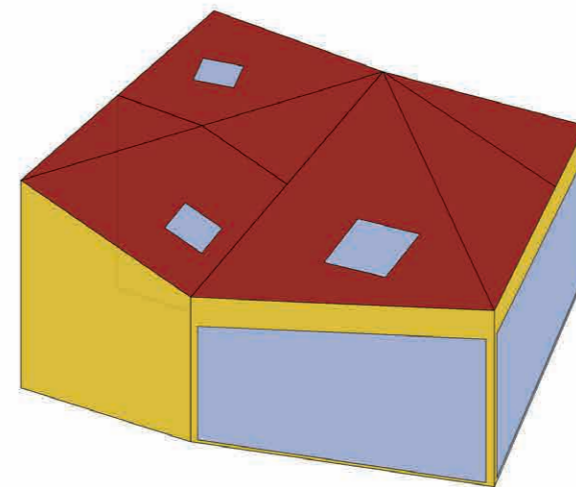


Figura 371\_Modello in Sketch-up per l'edificio Bar

All'edificio si aggiunge inoltre un oggetto di ombreggiamento, che simula la presenza della copertura sovrastante: la semplificazione sta nel fatto che a questo elemento non è possibile assegnare il pacchetto tecnologico di cui è costituito, poiché non fa parte di una zona climatica. L'elemento in questione viene denominato dal programma SHADING OBJECT in quanto ha la sola funzione di creare un ombreggiamento sugli edifici di progetto.

Nell'immagine seguente è possibile osservare come si è deciso di creare la copertura semplificata attorno all'edificio analizzato. Si nota dalla figura come la copertura schermata sia stata modellata con un'ulteriore semplificazione, infatti non sono stati presi in considerazione i fori presenti sulla copertura. Questo perché presentano una superficie limitata, che non influenzerebbe in modo determinante i dati delle simulazioni. Differente discorso si è svolto per i patii, poiché presentano un'estensione non trascurabile: si è così deciso di includerli nella modellazione della copertura ombreggiante.

Si passa ora ad analizzare ogni zona singolarmente.

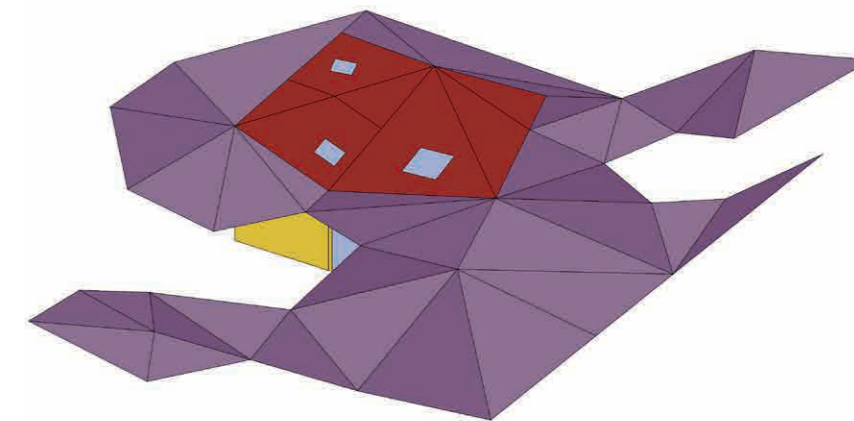


Figura 372\_Modello in Sketch-up del Bar con la copertura schermante



## ZONA 1: CUCINA

Questa zona ha un volume di 109,80 m<sup>3</sup> ed è formata da due chiusure verticali, una esposta a Nord e l'altra ad Ovest e da due partizioni verticali che fungono da pareti di separazione con le zone 2 e 3. La copertura è caratterizzata da due falde di inclinazione differente, una delle quali ospita un lucernario vetrato.

Il locale in esame ospita la cucina del bar, quindi in esso sarà necessario garantire una buona ventilazione per espellere gli odori. Gli impianti di climatizzazione dovranno essere studiati in modo tale da non far surriscaldare l'ambiente che avrà una temperatura elevata rispetto alle condizioni standard a causa della presenza di elettrodomestici e fornelli.

Per quanto riguarda gli apporti interni si prevede la presenza di luce artificiale, in quanto il locale non presenta aperture eccetto quella in copertura.

Dal punto di vista dell'affollamento si prevede invece la presenza di una sola persona all'interno del locale.

La capacità termica della zona in questione è di 131,76 kJ/K.

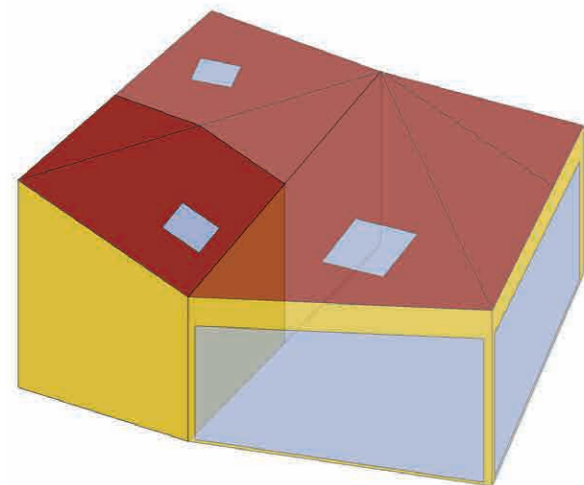


Figura 373\_Zona 1: cucina

## ZONA 2: BAGNO

Questa zona ha un volume di 109,80 m<sup>3</sup> ed è formata da due chiusure verticali, una esposta a Nord ed una a Est e da due partizioni verticali che fungono da pareti di separazione con le zone 1 e 3. La copertura è caratterizzata da due falde di inclinazione differente, una delle quali ospita un lucernario vetrato.

L'ambiente esaminato ospita dei servizi igienici e degli spogliatoi che possono essere sfruttati dai bagnanti che frequentano le due spiagge ad Est e ad Ovest della penisola di Prilovo. Il locale sarà caratterizzato da un elevato tasso di umidità e quindi sarà necessario studiare gli impianti di deumidificazione.

Per quanto riguarda gli apporti interni si prevede la presenza di luce artificiale, in quanto il locale non presenta aperture eccetto quella in copertura.

Dal punto di vista dell'affollamento si presuppone la presenza contemporanea di quattro persone all'interno del locale.

La capacità termica della zona in questione è di 131,76 kJ/K.

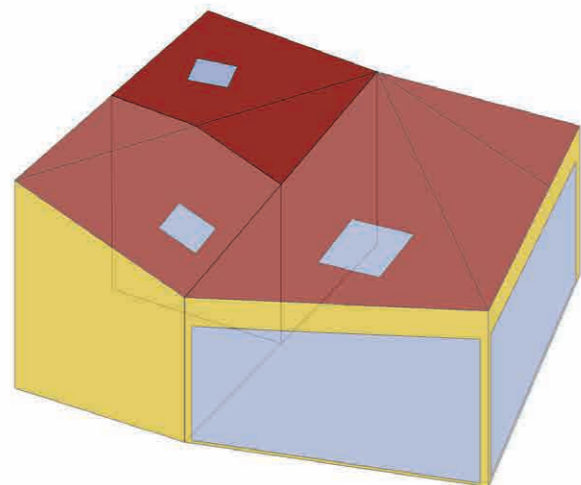


Figura 374\_Zona 2: bagno

## ZONA 3: SALA

Questa zona ha un volume di 252,06 m<sup>3</sup> ed è caratterizzata da pareti quasi completamente vetrate e da una partizione verticale che funge da parete di separazione con le zone 1 e 3. La copertura è caratterizzata da tre falde di inclinazione differente, una delle quali ospita un grande lucernario vetrato.

L'ambiente esaminato ospita la sala del bar, che risulta essere arredata da numerosi tavolini e un lungo bancone con degli sgabelli. Il locale dovrà essere riscaldato nei mesi più freddi e rinfrescato durante la stagione estiva, per garantire il massimo comfort ai clienti che lo frequentano. In particolare sarà opportuno analizzare le facciate vetrate, esposte prevalentemente a Sud, soprattutto perché non prevedono alcuna schermatura oltre all'ombreggiamento creato dalla copertura sovrastante.

Per quanto riguarda gli apporti interni si prevede la presenza di luce artificiale solo per le ore serali. Dal punto di vista dell'affollamento invece si stima la presenza contemporanea di 10 persone all'interno del locale.

La capacità termica della zona in questione è di 302,47 kJ/K.

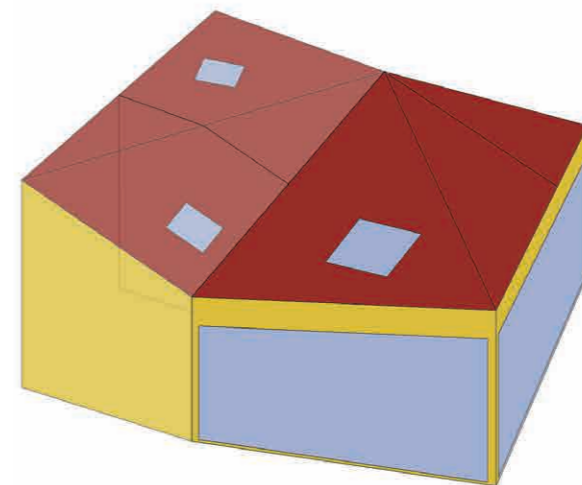


Figura 375\_Zona 3: sala

## 9.1.2 IL CONTESTO CLIMATICO

Il progetto è collocato in Croazia, sull'Isola di Vis, che si trova nel mezzo del Mar Adriatico. Per poter eseguire le simulazioni è stato necessario estrarre un file climatico da inserire poi nel file di Simulation Studio in modo tale che le analisi energetiche potessero basarsi sulle condizioni al contorno reali in cui è inserito l'edificio. Il file climatico è stato estrapolato dal programma Meteonorm, semplicemente impostando le coordinate geografiche del luogo ed una volta inserito nel Software Trnsys è stato possibile poi ricavare i dati numerici riferiti alla località di progetto.

I dati uscenti dal programma sono orari e interessano l'intero anno solare. Tra questi si individuano:

- Temperatura ambientale [°C]
- Intensità del Vento [m/s]
- Direzione del vento [Deg]
- Radiazione diretta [kWh]

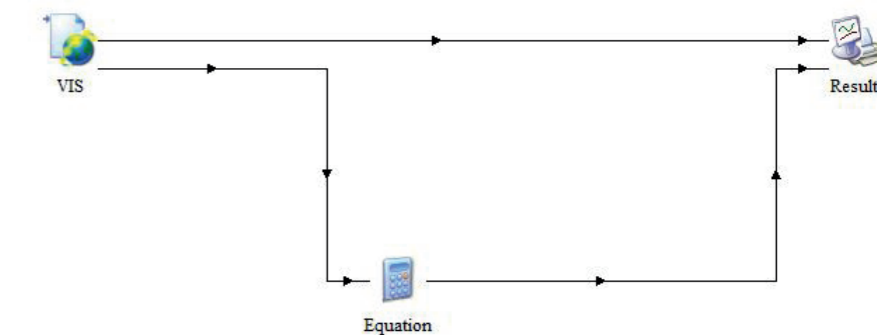


Figura 376\_Simulation Studio: file climatico

### 9.1.2.1 TEMPERATURA AMBIENTALE

Si sono riportati i valori di temperatura ambientale registrati in Croazia.

Nel grafico sottostante è possibile osservare l'andamento della temperatura media mensile durante tutto il corso dell'anno in modo tale da avere un'idea del tipo di clima in cui è inserito l'edificio, per poter procedere poi con la scelta delle caratteristiche di esso.

Dal grafico si nota come il mese più caldo sia il mese di luglio, evidenziato in nero, con una temperatura media mensile pari a 27°C, mentre quello più freddo, segnato in grigio chiaro, risulta essere febbraio con una temperatura media di 10°C. Emerge però che durante la stagione invernale le temperature non siano basse, infatti le temperature medie nel periodo freddo variano tra 10-14°C: è possibile dunque che in certi momenti della giornata le temperature si innalzino di molto.

Nel periodo estivo le temperature medie mensili risultano essere più alte e si aggirano in un range che varia dai 24 ai 27°C.

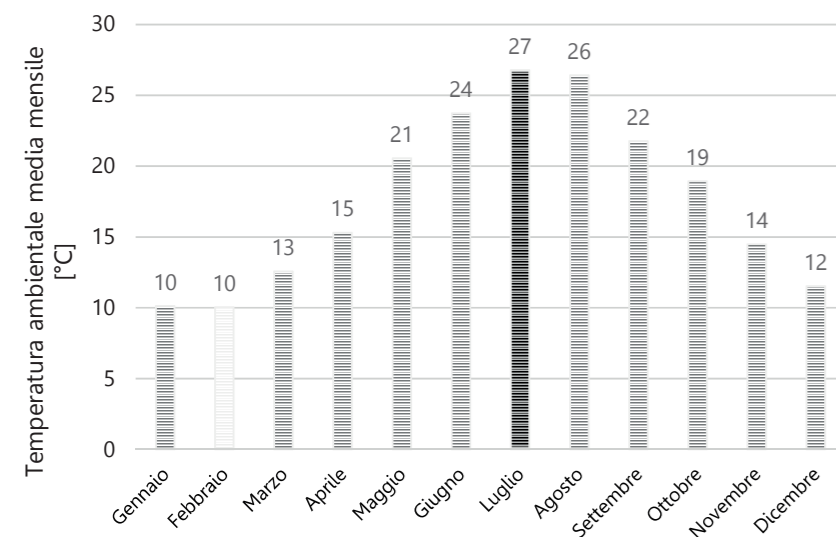


Figura 377\_Temperatura media mensile durante l'anno solare

In seguito si analizzano i dati medi giornalieri, in modo da poter vedere nel dettaglio quali sono i picchi positivi e negativi che vengono registrati durante l'anno.

Si conferma che nella stagione invernale le temperature non sono eccessivamente basse, infatti i valori medi non risultano essere al di sotto degli 0°C e in particolare da 2 a 15°C. Nel periodo estivo le temperature si elevano maggiormente, tanto che si registrano dei picchi di 32°C nei mesi di luglio e agosto. Durante le stagioni primaverile ed autunnale le temperature sono miti e i valori medi si aggirano attorno ai 20-24°C. Osservando i valori orari della temperatura si è potuto individuare la temperatura massima, pari a 36,35°C il giorno 21 luglio alle ore 16.00 e la temperatura minima, pari a 1°C il giorno 15 gennaio alle ore 8.00.

Avendo registrato questi valori durante il corso dell'anno si può prevedere la necessità di un sistema di climatizzazione nelle stagioni intermedie e durante i mesi estivi, mentre si necessiterà un sistema di riscaldamento durante quelli invernali. Si stabilirà solo in seguito il periodo esatto di attivazione di entrambi gli impianti e soprattutto gli orari, anche in relazione alla destinazione d'uso di ogni singola zona.

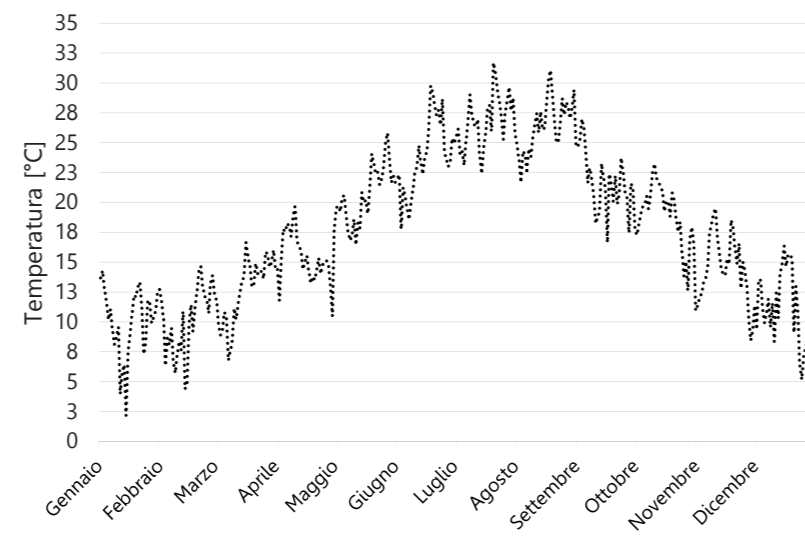


Figura 378\_Temperatura media giornaliera durante l'anno solare

Nei grafici sottostanti si è pensato di riportare i grafici relativi all'andamento della temperatura esterna durante il mese più freddo e più caldo dell'anno. In particolare si pone attenzione all'escursione termica.

#### ESCURSIONE TERMICA: MESE DI FEBBRAIO

A febbraio si evidenzia come durante la notte le temperature si abbassano in modo evidente, con un'escursione termica che si aggira attorno ai 10°C. Si nota come durante la notte, a metà febbraio le temperature si abbassano fino a raggiungere 1°C, senza mai però andare al di sotto degli 0°C.

#### ESCURSIONE TERMICA: MESE DI LUGLIO

Analizzando il mese più caldo dell'anno, ossia luglio, si osserva come l'escursione termica diminuisce rispetto a quella rilevata nella stagione invernale: le temperature dal giorno alla notte variano in media di circa 8°C. Durante l'ultima settimana del mese si registrano valori di temperatura giornalieri piuttosto elevati: i dati registrati arrivano a superare i 36°C, quindi l'aria esterna risulta essere particolarmente calda.

Sulla base di ciò è evidente come si dovrà ricorrere ad un impianto di raffrescamento.

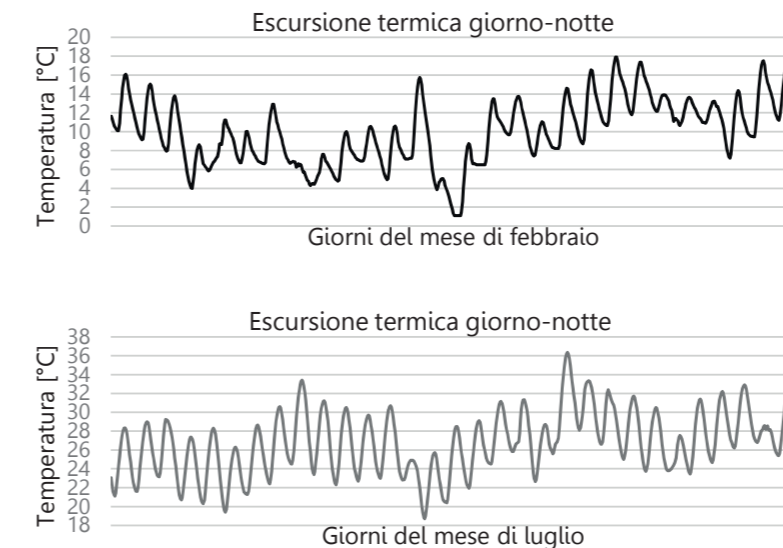


Figura 380\_Escursione termica durante il mese più freddo e più caldo dell'anno

### 9.1.2.2 UMIDITÀ RELATIVA

Il controllo dell'umidità ambientale risulta essere un elemento fondamentale per il progetto analizzato. Questo è dovuto al fatto che l'edificio di progetto è caratterizzato da struttura portante in legno, materiale per cui è importante tenere controllate le condizioni al contorno dettate dal contesto climatico, in quanto il suo comportamento appare molto influenzato dalla presenza dell'acqua: le condizioni di umidità infatti incidono sulla sua variazione volumetrica del legno, che potrebbe avere effetti negativi sia dal punto di vista della durabilità, sia dal punto di vista estetico.

Nel grafico sottostante è rappresentato l'andamento dell'umidità relativa media mensile durante il corso dell'anno. I valori di umidità relativa medi registrati sono quelli tipici di un clima mediterraneo, in quanto l'ambiente non risulta essere ne eccessivamente umido ne particolarmente secco. Si è evidenziato, col colore nero, il mese con il valore di umidità media più elevato, pari al 70%, mentre in grigio chiaro quello con il valore minore, pari al 54%, durante il mese di luglio.

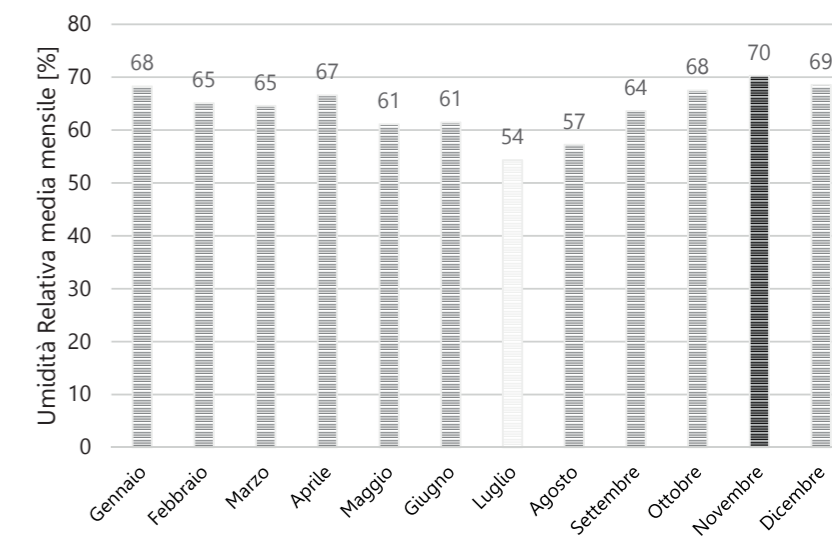


Figura 379\_Umidità relativa media mensile durante l'anno solare



### RELAZIONE TRA TEMPERATURA AMBIENTALE ED UMIDITÀ RELATIVA

Dopo aver mostrato singolarmente i grafici relativi ai dati di temperatura esterna ed umidità relativa ricavati dal file climatico riferito alla località di progetto, si è pensato fosse utile porli in relazione. Si è rappresentato di conseguenza, nel grafico sottostante, l'andamento dell'umidità relativa dipendente dalla temperatura ambientale.

Il grafico a dispersione riportato al di sotto, mostra come la nuvola di punti sia localizzata nella parte in basso a destra. In particolare si osserva che relativamente ai valori di temperatura i punti si localizzano maggiormente nella parte centrale del grafico, corrispondente a valori di temperatura medio-alte, mentre in relazione ai valori di umidità la maggior parte dei punti è concentrata nella parte bassa del grafico, corrispondente a valori medi di umidità.

Questa situazione è tipica di un clima caldo, mentre se si analzasse un clima più freddo si avrebbe una nuvola di punti spostata verso la parte alta del grafico per quanto riguarda l'umidità e verso sinistra per i valori della temperatura.

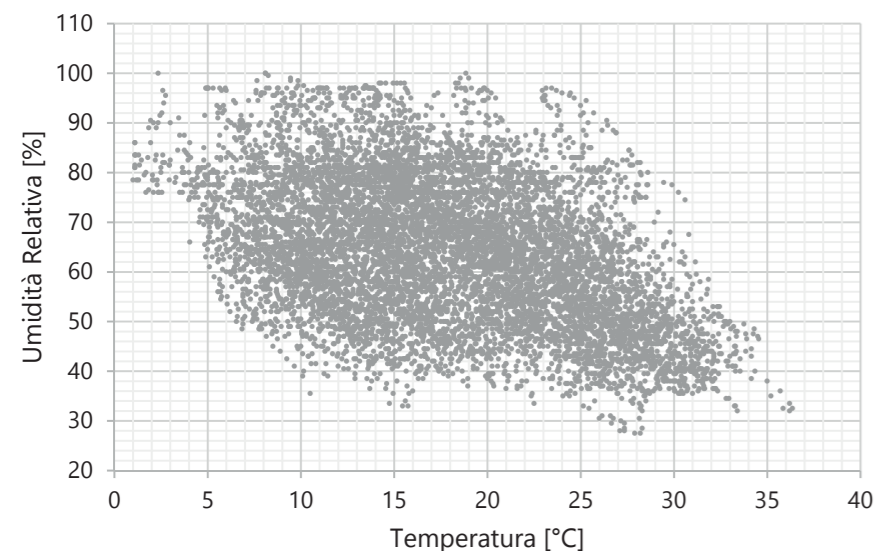


Figura 382\_Relazione tra umidità relativa e temperatura: grafico a dispersione

Oltre alla nuvola di punti, per poter leggere in modo chiaro la relazione tra umidità relativa e temperatura ambientale si è ritenuto necessario riportare un grafico con doppio asse delle ordinate in modo tale da poter visualizzare a destra i valori di umidità relativa orari registrati mentre a sinistra quelli relativi alla temperatura ambientale dell'ambiente circostante.

Logicamente, all'aumento delle temperature nei mesi estivi è associata una diminuzione dei valori di umidità relativa, in quanto il calore della temperatura dell'aria rende il clima più secco: l'andamento medio delle umidità registrate è quello di una curva concava verso l'alto, quello delle temperature rivolge la concavità verso il basso.

Si registrano così dei valori di umidità prossimi al 30-40% associati a soglie di temperatura elevate, variabili da 30 a 35°C, corrispondenti al periodo estivo.

I valori maggiori di umidità invece si hanno sia nei mesi più freddi che in quelli intermedi come per esempio durante i mesi di ottobre e novembre: in questo caso si raggiungono valori vicini al 100%.

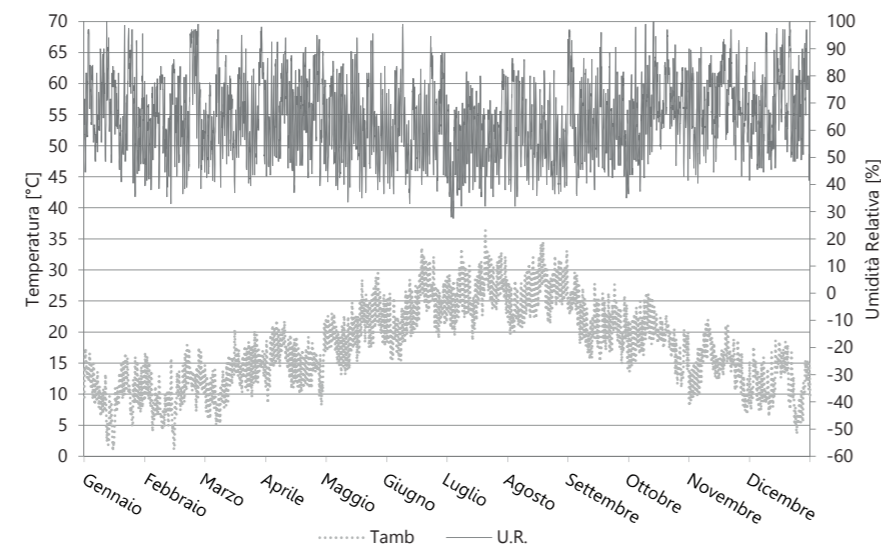


Figura 381\_Relazione tra umidità relativa e temperatura: grafico a linee

### 9.1.2.3 DIREZIONE ED INTENSITÀ DEL VENTO

Dal file climatico di Vis, si sono ottenuti i valori relativi ai venti più o meno forti che investono l'isola, si sono così potuti prendere in considerazione le differenti intensità e direzioni dei venti principali che intervengono nell'ambito energetico del progetto. Come detto, la località di progetto è situata in mare aperto ed è dunque maggiormente esposta alle correnti di vento.

Tra i venti più soventi durante le stagioni invernali si hanno lo Scirocco e la Bora: quest'ultima proviene dalle gelide pianure rosse, motivo per il quale contribuisce a far abbassare la temperatura dell'aria in modo repentino. Nel periodo estivo sull'isola soffia invece il Maestrale.

#### DIREZIONE DEL VENTO

Nel grafico sottostante è possibile vedere la direzione del vento espressa in gradi sessagesimali: in particolare si ha un'inclinazione di esso di circa 165 gradi nei mesi di marzo e settembre e aumenta fino a 200 gradi nei mesi di giugno e agosto.

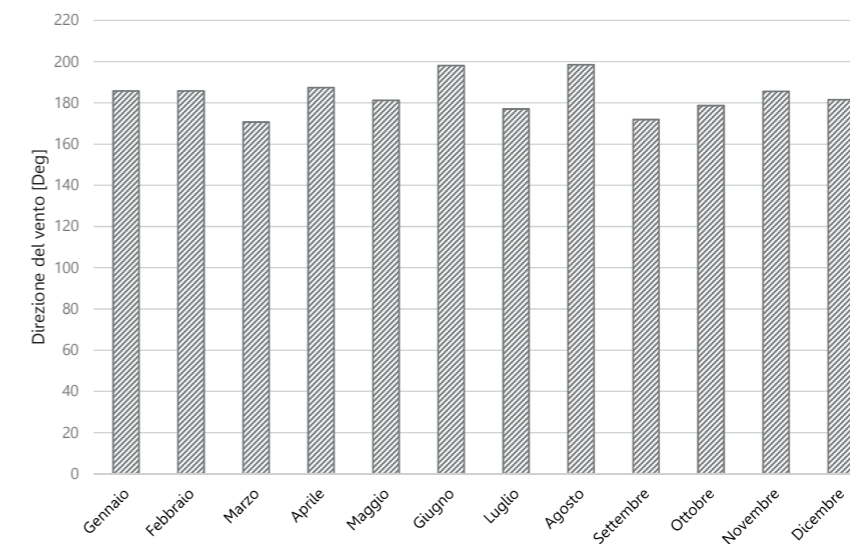


Figura 383\_Direzione del vento

#### INTENSITÀ DEL VENTO

In questo secondo grafico viene invece rappresentata l'intensità del vento: questa viene espressa come una velocità in m/s.

La velocità media dei venti che investono l'isola è di circa 4 m/s. Si registrano dei valori molto alti durante alcune ore nei mesi estivi, tanto da raggiungere un valore di 15 m/s. Infine, durante i mesi invernali più freddi l'intensità del vento si abbassa drasticamente.

Il parametro relativo alla velocità del vento risulta essere di rilevante importanza qualora si tenga in considerazione la ventilazione naturale: è l'intensità del vento infatti che permette di creare delle correnti d'aria all'interno dell'edificio che possono essere sfruttate per diminuire le temperature registrate all'interno degli ambienti. Nel caso di progetto in esame, per esempio, l'apertura delle finestre dell'edificio disposte sulle chiusure verticali, potrebbero essere sfruttate come sorgente di ingresso dell'aria esterna, per poi fuoriuscire dal cupolino collocato in sommità alla copertura.

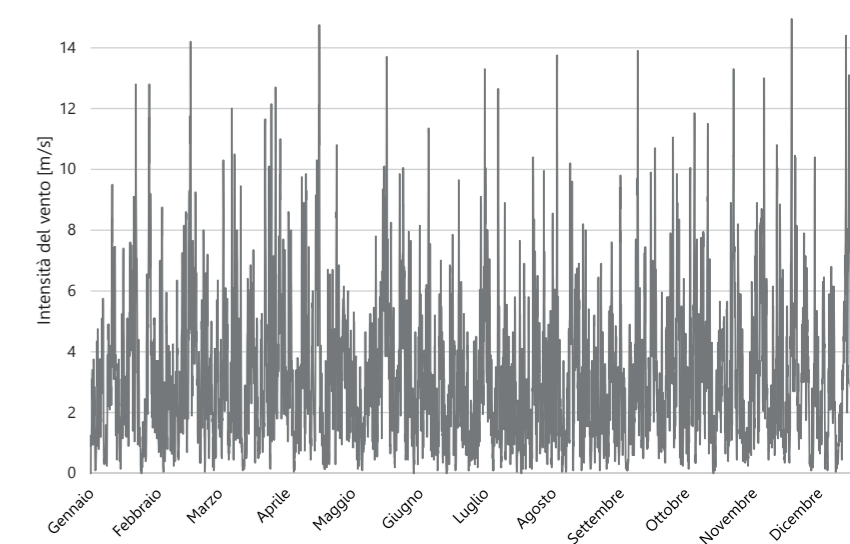


Figura 384\_Intensità del vento

### 9.1.2.4 RADIAZIONE SOLARE DIRETTA

La radiazione solare è la parte di energia radiante che viene emessa dal sole a partire dalle reazioni termonucleari di fusione che avvengono nel nucleo solare e che producono radiazioni elettromagnetiche.

È importante mostrare i dati relativi alla radiazione diretta, espressi in kWh, poiché questa ha degli effetti sulle altre componenti climatiche analizzate: in particolare condiziona in modo diretto i valori di temperatura ambientale, e in modo indiretto quelli dell'umidità relativa.

Il controllo della radiazione solare risulta essere di fondamentale importanza per poter capire quali strategie utilizzare per evitare che questa faccia innalzare le temperature interne dell'edificio tanto da compromettere il benessere degli utenti.

Il mese di dicembre è quello caratterizzato da un valore medio di radiazione piuttosto basso, pari a 90 kWh, mentre la massima radiazione media registrata si ha nel mese di luglio, con un valore medio pari quasi a 300 kWh.

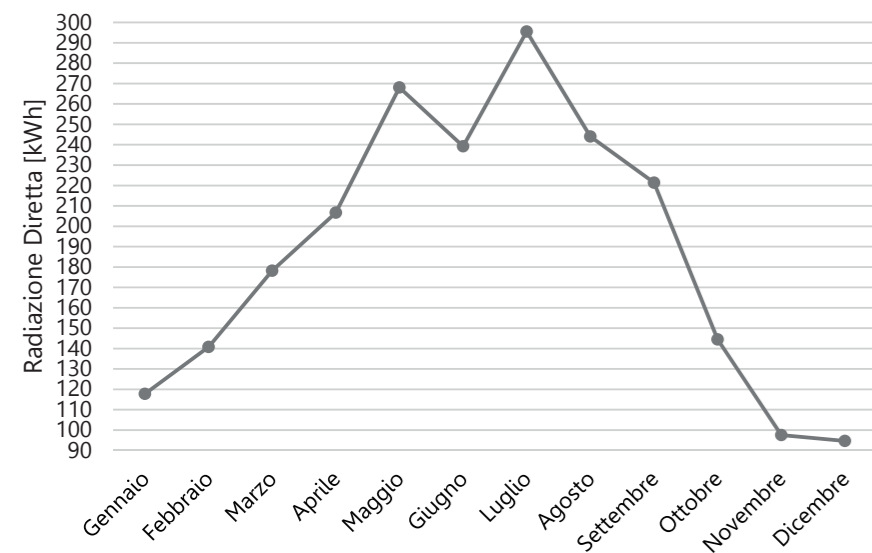


Figura 385\_Radiazione solare diretta media mensile

### RELAZIONE TRA RADIAZIONE SOLARE E TEMPERATURA AMBIENTALE

Come detto in precedenza, la radiazione solare diretta è strettamente legata alla temperatura, in quanto la influenza in modo diretto.

Si è deciso quindi di inserire nel grafico sottostante i dati della radiazione diretta confrontati con quelli della temperatura ambientale. Nella parte alta del grafico sono riportati i dati relativi alla temperatura, mentre nella parte bassa si trovano i dati relativi alla radiazione diretta.

Le temperature massime si raggiungono nei mesi di luglio e agosto durante i quali si registrano logicamente anche dei picchi di radiazione solare che sfiorano frequentemente i 450 kWh. Il massimo valore orario registrato è pari a 995 kWh, il giorno 12 giugno alle ore 10.00.

Nel grafico è anche rappresentata in nero la curva indicante i valori medi della radiazione media giornaliera che viene registrata durante il corso dell'anno solare. Nei mesi invernali si hanno invece degli abbassamenti della radiazione in concomitanza con una diminuzione della temperatura dell'ambiente esterno.

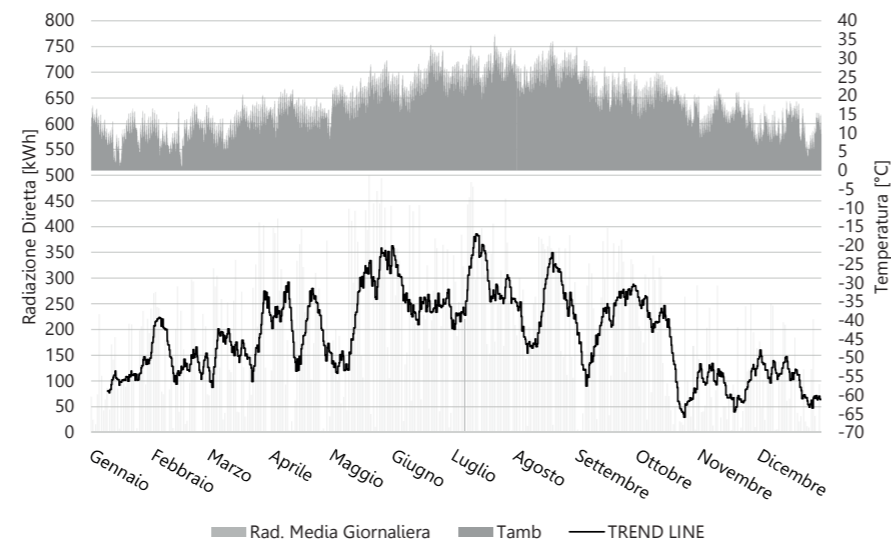


Figura 386\_Relazione tra radiazione diretta oraria e temperatura oraria

### RELAZIONE TRA TEMPERATURA E RADIAZIONE: 29 LUGLIO

Nel grafico si individuano i valori di radiazione e temperatura orari relativi al giorno più caldo ossia il 29 luglio.

Si nota come durante le ore notturne le temperature si mantengano attorno ai 25°C, mentre con il sorgere del sole si elevano raggiungendo dei picchi di 32°C durante il periodo della giornata in cui il sole è più alto: in particolare dalle ore 13:00 alle ore 17:00 le temperature sono oltre i 30°C. A questi valori corrisponde una radiazione piuttosto elevata che si aggira attorno ai 550 kWh.

Facendo un paragone invece con il giorno più freddo si può notare come diminuiscano le ore caratterizzate da una radiazione nulla. Infatti, nel caso precedente l'intervallo orario di radiazione nulla partiva dalle 18:00 del pomeriggio, in questo caso, ovvero nel periodo corrispondente al 29 di luglio, parte dalle 20:00 di sera. Caso contrario invece si registra durante le prime ore del mattino, dove la radiazione risulta essere assente fino alle 5:00, poiché le giornate sono più lunghe rispetto alla stagione invernale.

Si analizza ora la relazione presente tra temperatura esterna e radiazione solare durante il giorno più freddo e più caldo dell'anno per poter comprendere quali siano i valori esatti che caratterizzano il clima dell'isola di Vis.

Si analizza dapprima il giorno più freddo del periodo invernale, ossia il 4 febbraio ed in seguito quello caratterizzato da una temperatura maggiore, corrispondente al 29 luglio.

### RELAZIONE TRA TEMPERATURA E RADIAZIONE: 4 FEBBRAIO

Nel grafico sono rappresentati i valori di radiazione e temperatura orari relativi al giorno più freddo, ossia il 4 febbraio.

Si può osservare come la temperatura ambientale non scenda mai al di sotto dei 0°C, mantenendosi invece leggermente inferiore ai 5°C. Solo nelle ore più calde del giorno, ossia dalle ore 13:00 alle ore 15:00 le temperature si alzano di un paio di gradi. Alle 15:00 in particolare si registra il valore più alto di radiazione solare corrispondente a 800kWh. Dalle 18:00 alle 8:00 del mattino invece, i valori di radiazione solare sono nulli.

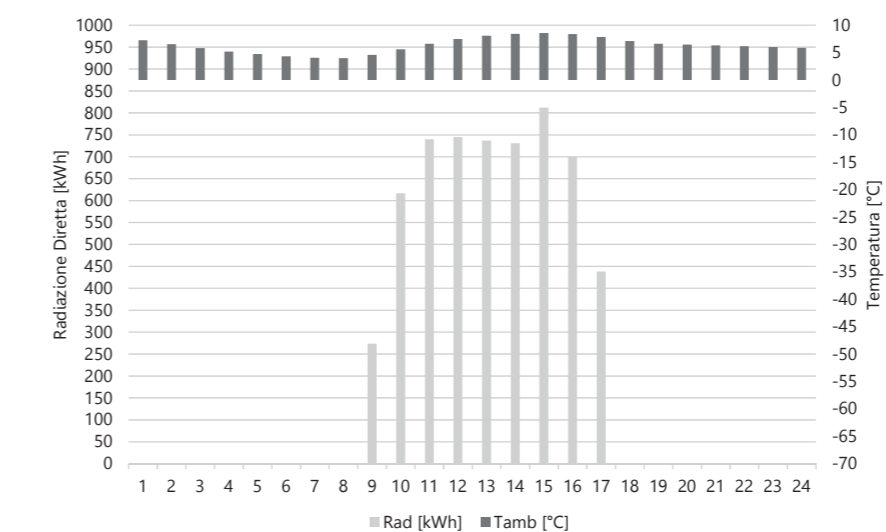


Figura 388\_Relazione tra radiazione diretta e temperatura: giorno 4 febbraio

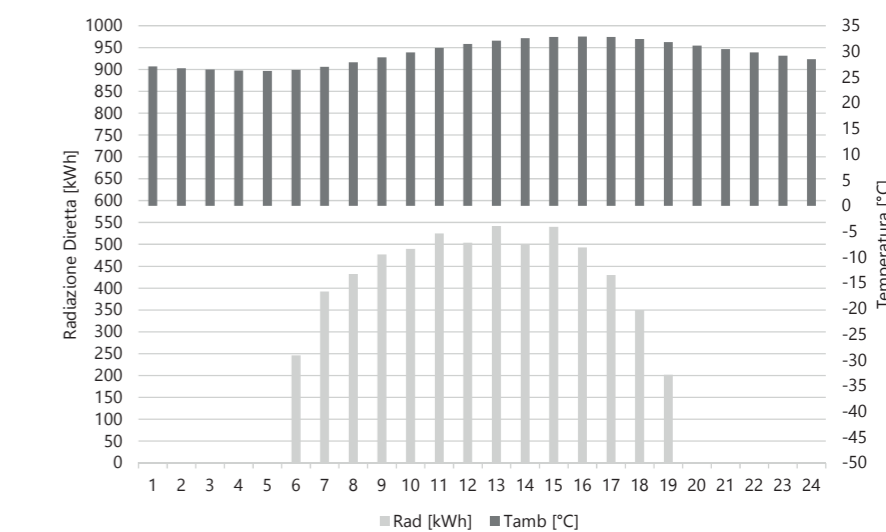


Figura 387\_Relazione tra radiazione diretta e temperatura: giorno 29 luglio



### 9.1.3 IMPOSTAZIONE DELLE SIMULAZIONI

In precedenza si è accennato che il programma Trnsys si basa su due moduli principali che consentono se combinati di eseguire le simulazioni necessarie per l'analisi energetica dell'edificio interessato. Di conseguenza è necessario generare due differenti tipologie di file, uno associato al programma TRNBuild e l'altro al programma Simulation Studio.

L'interazione e il collegamento tra queste due tipologie di file permetterà l'esecuzione delle simulazioni in regime dinamico delle zone termiche in cui l'edificio è suddiviso.

Si mostra ora come è possibile creare i file base per poter poi procedere con le simulazioni energetiche che permettono di estrapolare i dati relativi all'edificio.

#### 9.1.3.1 TRNBUILD

TRNBuild è il programma di interfaccia dedicato alla descrizione completa e dettagliata dell'intero edificio del quale si intende studiare il comportamento energetico.

Dopo aver creato il modello in Sketch-Up tramite il Plug-in di Trnsys questo deve essere importato in TRNBuild, programma dal quale è possibile assegnare tutte le caratteristiche relative all'edificio. Alla prima importazione del file con estensione ".idf" esportato dal programma di modellazione è possibile scegliere da subito il file climatico che si utilizzerà per le simulazioni, che potrà, se necessario, essere modificato in seguito: questo passaggio è fondamentale in quanto le condizioni climatiche esterne sono indispensabili per le analisi da eseguire. Inoltre si imposta l'inclinazione dell'edificio rispetto al Nord ed infine la radiazione relativa all'apertura e alla chiusura delle eventuali schermature presenti.

Il programma prevede la divisione del file in tre differenti parti: la prima è costituita da varie icone (Type Manager) che servono per la gestione delle caratteristiche dell'intero edificio, la seconda è relativa ai parametri più generali di esso (Project) come ad esempio gli input e gli output assegnabili per l'estrapolazione dei dati. Infine la terza è relativa alle singole zone termiche nelle quali è stato suddiviso il modello (Zones). In questo modo è possibile vedere l'edificio scomposto nelle differenti aree climatiche ed ognuna di queste può essere caratterizzata da parametri differenti a seconda delle esigenze.

#### TYPE MANAGER

Tutte le icone presentate sono da prendere in considerazione per creare un modello più simile possibile a quello reale.

#### LAYER, WALL E WINDOW TYPE MANAGER

Consiste in una libreria contenente varie tipologie di materiali predefiniti dal programma: è possibile però aggiungere all'interno di essa i materiali caratterizzanti l'edificio reale, che possono non essere presenti nel database di default. Ad ognuno dei materiali inseriti vanno assegnati i valori di conduttività, capacità termica e densità. Dopo aver creato la libreria personale è necessario creare i pacchetti tecnologici definendo semplicemente lo spessore di ogni strato e la loro posizione all'interno dell'abaco di riferimento. Infine si può poi determinare la tipologia di vetro che si intende utilizzare ed eventuali schermature da applicare alle vetrate desiderate.

#### INFILTRATION, VENTILATION TYPE MANAGER

Con queste icone è possibile definire tutti i tipi di infiltrazione d'aria e di ventilazione meccanica che si vogliono impostare sull'edificio.

#### COOLING, HEATING TYPE MANAGER

Grazie a queste due icone è possibile impostare il funzionamento dei sistemi di riscaldamento e di raffreddamento dell'ambiente interno: si impostano, tramite equazioni personalizzabili, le temperature oltre le quali i due impianti devono attivarsi, in modo da garantire sempre un clima adeguato all'interno dell'edificio.

#### INTERNAL GAINS TYPE MANGER

Racchiudono tutti gli apporti interni che possono essere presenti all'interno dell'edificio: tra questi si hanno l'affollamento, l'uso di luci artificiali e l'eventuale utilizzo di apparecchiature elettriche.

#### SCHEDULE TYPE MANAGER

Le "schedules" risultano determinanti per poter personalizzare il periodo di accensione e spegnimento sia della ventilazione meccanica, sia dei sistemi di riscaldamento e raffreddamento. Inoltre grazie ad esse è possibile anche impostare l'attivazione degli apporti interni a seconda delle necessità.

#### PROJECT

Questo primo elemento contiene tutti i dati che vengono assegnati all'edificio e in particolare gli input e gli output che si vogliono assegnare per poter poi eseguire le simulazioni. Tra gli input si hanno sia quelli standard definiti dal programma e poi quelli definiti dall'utente, personalizzabili. Negli output invece devono essere inseriti tutti gli elementi che si intendono poi ricavare per un confronto numerico.

#### ZONES

È indispensabile per poter assegnare ad ogni zona le proprie caratteristiche, tenendo conto di differenti parametri come ad esempio la destinazione d'uso piuttosto che l'orientamento della zona stessa. Come si può osservare dall'immagine sottostante infatti, al di sotto della voce "Zones" si trovano le tre zone create in fase di modellazione. Si assegnano così ad ogni zona i parametri scelti e personalizzati grazie al Type Manager. In questo modo si ottiene un modello che rappresenta il più possibile quello reale e si può procedere alla sua importazione nel programma Simulation Studio.

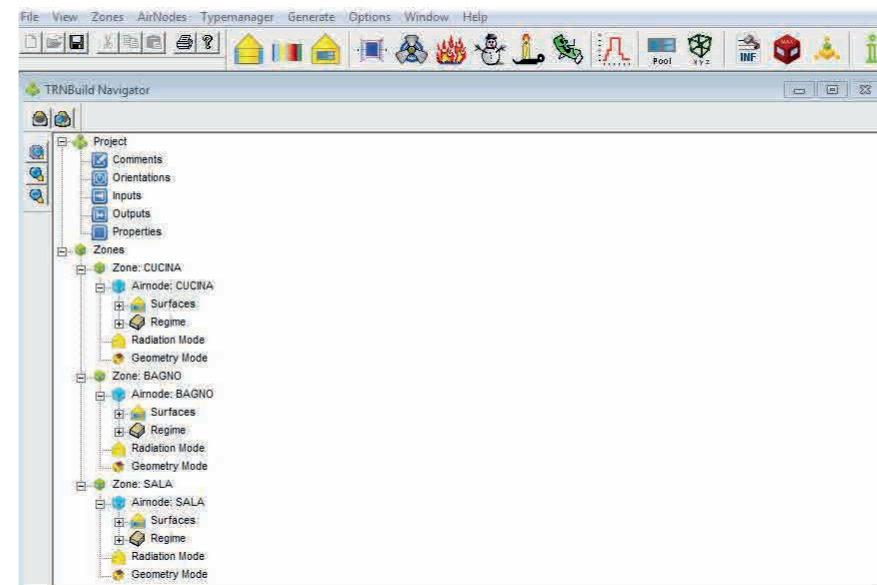


Figura 389\_ Interfaccia del programma TRNBuild

### 9.1.3.2 SIMULATION STUDIO

Si procede con l'importazione del file creato tramite TRNBuild in Simulation Studio. Gli elementi indispensabili per poter condurre le simulazioni sono il file climatico (Weather Data), il file relativo all'edificio (Building) ed infine gli output scelti (Printers). Inoltre sono presenti delle calcolatrici (Calculator) in cui è possibile impostare delle equazioni utili soprattutto per la conversione delle unità di misura. I vari elementi devono essere connessi tra di loro, in modo tale da creare dei legami logici che permettano di eseguire una simulazione che consente di estrapolare dati numerici. Questi dati possono così essere analizzati mediante programmi come Excell. Tutti gli output che vengono stampati sono quelli indicati a destra nell'immagine sottostante ossia radiazione solare passante attraverso i vetri, umidità relativa, temperatura dell'aria interna, temperatura operativa, calore sensibile e latente, funzionamento degli impianti.

Il periodo di tempo in cui si vuole analizzare l'edificio può essere scelto dall'utente a seconda delle necessità.

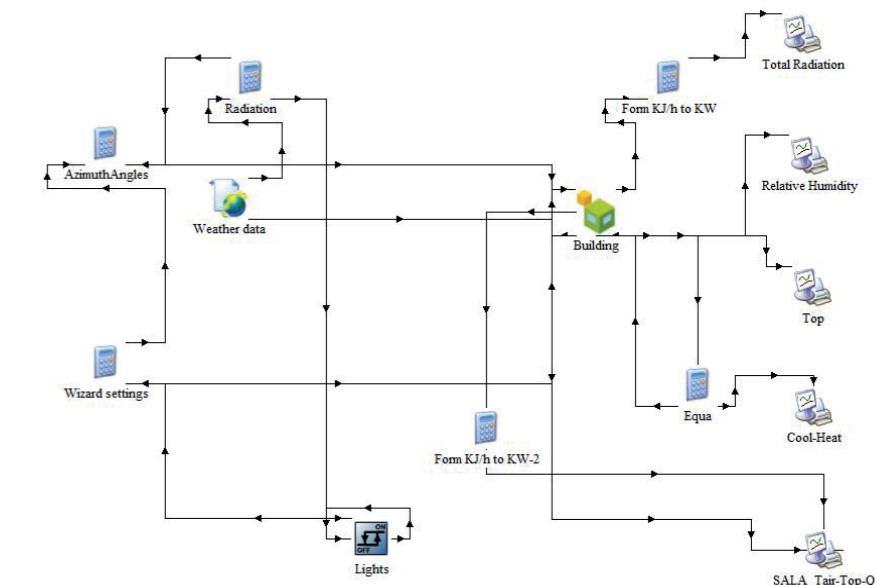


Figura 390\_ Interfaccia del programma Simulation Studio

# 9.2 ELEMENTI OPACHI

## 9.2.1 DEFINIZIONE DEI PACCHETTI TECNOLOGICI

Per poter procedere con le simulazioni è necessario definire i pacchetti tecnologici che costituiscono l'edificio analizzato. Si è deciso di studiare due diversi casi per vedere come differenti materiali influiscano sul cambiamento del comportamento energetico dell'edificio. Si analizzano la tecnologia reale utilizzata nel progetto, con struttura portante in Cross-Lam ed una più massiva con strato portante in calcestruzzo. Si descrivono ora gli elementi opachi utilizzati nel progetto.

**CHIUSURE ORIZZONTALI:** tra queste si trovano il solaio controterra isolato e la copertura verde su spazi riscaldati. Il solaio controterra relativo alle due casistiche sarà il medesimo poiché non è previsto l'utilizzo del Cross-Lam nel progetto reale.

**CHIUSURE VERTICALI:** si analizza l'unica tipologia esistente, caratterizzata dalla presenza dello strato portante ed un cappotto esterno.

**PARTIZIONI VERTICALI:** si studia la sola parete divisoria presente all'interno del bar, caratterizzata dal fatto di essere isolata acusticamente.

Per quanto riguarda gli elementi trasparenti invece le simulazioni saranno condotte con un vetro singolo, con un valore di trasmittanza alto pari a 5.68 W/m²K

Dopo aver illustrato i pacchetti tecnologici si procederà con il confronto grafico dei parametri di trasmittanza, sfasamento termico e fattore di attenuazione. Per utilizzare una nomenclatura abbreviata si è scelto di chiamare diversamente le stratigrafie utilizzate: le sigle seguite dalla lettera "A" fanno riferimento ai pacchetti tecnologici con struttura portante in calcestruzzo.

CHIUSURA ORIZZONTALE: SOLAIO CONTROTERRA ISOLATO

C0 01 : SOLAIO CONTROTERRA ISOLATO						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduktività λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Rivestimento in piastrelle	0,015	1	836,8	2300	200	0,015
2. Regolazione in gessofibra	0,018	0,32	1100	1150	13	0,056
3. Granulare in perlite	0,08	0,23	837	550	80	0,348
4. Carta Kraft	0,001	0,0033	1030	25	1	0,303
5. Isolante in sughero	0,1	0,05	1500	170	9	2,000
6. Carta Kraft	0,001	0,0033	1030	25	1	0,303
7. Getto collaborante in CLS	0,05	0,46	836,8	1200	100	0,109
8. Vespaio aerato	0,3	2,60	1004,16	1	1	0,115
9. Magrone	0,1	0,46	836,8	1200	60	0,217
Coeff. Laminazione esterno			13,00			0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,665</b>					<b>3,669</b>

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
TRASMITTANZA	0,273	W/m²K
SFASAMENTO TERMICO	15,000	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,148	adm

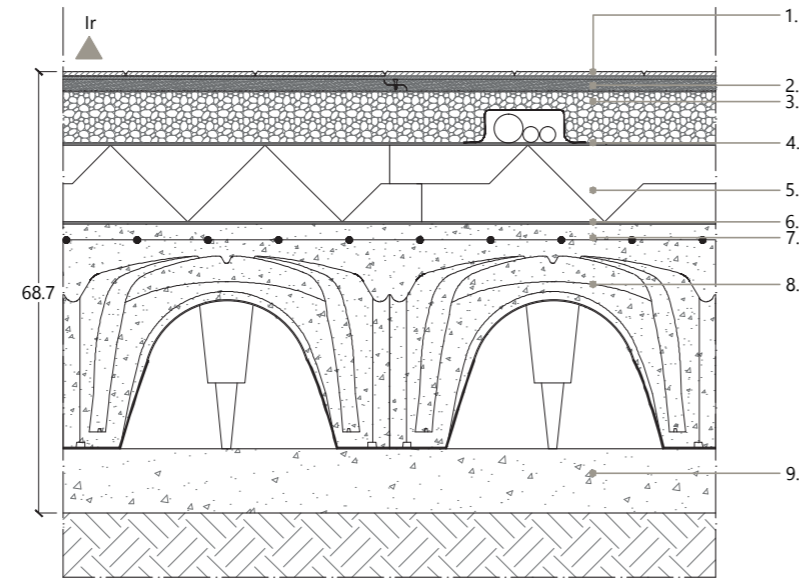


Figura 391\_Stratigrafia C.O. 01

CHIUSURA ORIZZONTALE: COPERTURA VERDE IN CROSS-LAM

C0 02 : COPERTURA VERDE ISOLATA						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduktività λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,0125	0,21	840	900	8	0,060
2. Fibr di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
3. Cross-Lam	0,16	0,13	1600	500	50	1,231
4. Freno al vapore	0,0003	0,2	2099,9496	360	16667	0,002
5. Terreno	0,07	2,36	866,088	2600	1	0,030
6. Sedum	0,05	0,03	866,088	2600	1	2,000
Coeff. Laminazione esterno			13,00			0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,333</b>					<b>4,576</b>

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
TRASMITTANZA	0,219	W/m²K
SFASAMENTO TERMICO	24,367	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,005	adm

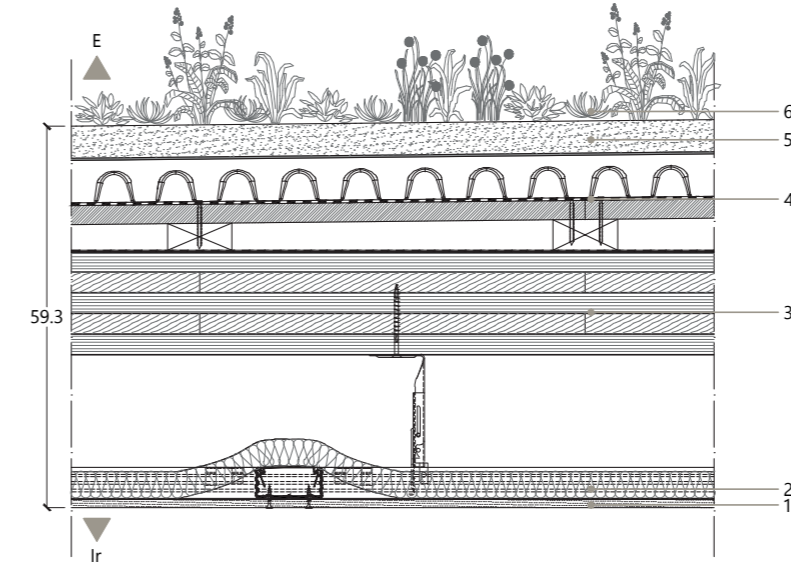


Figura 392\_Stratigrafia C.O. 02

CHIUSURA ORIZZONTALE: COPERTURA VERDE IN CALCESTRUZZO

C0 02 A: COPERTURA VERDE ISOLATA						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conduktività λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,0125	0,21	840	900	8	0,060
2. Fibr di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
3. Calcestruzzo	0,2	1,06	836,8	1900	95	0,189
4. Freno al vapore	0,0003	0,2	2099,9496	360	16667	0,002
5. Terreno	0,07	2,36	866,088	2600	1	0,030
6. Sedum	0,05	0,03	866,088	2600	1	2,000
Coeff. Laminazione esterno			13,00			0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,373</b>					<b>3,534</b>

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
TRASMITTANZA	0,283	W/m²K
SFASAMENTO TERMICO	20,483	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,012	adm

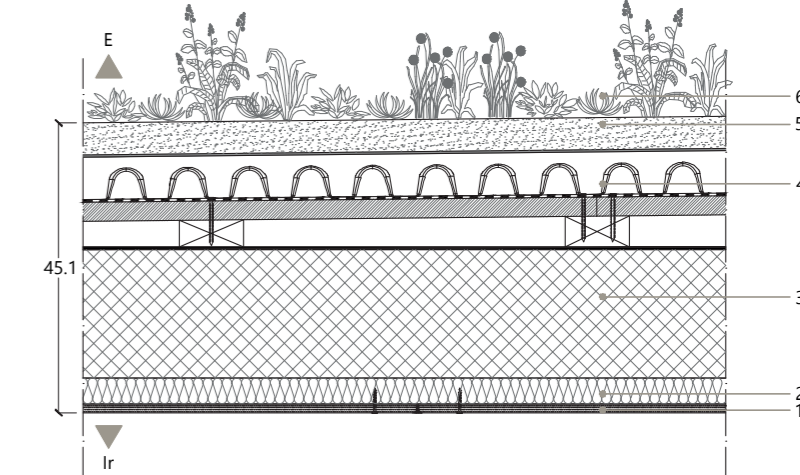


Figura 393\_Stratigrafia C.O. 02 A



CHIUSURA VERTICALE: PARETE PERIMETRALE ESTERNA ISOLATA IN CROSS-LAM

CV 01: PARETE PERIMETRALE ISOLATA						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conducibilità λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
2. Fibra di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
3. Freno al vapore	0,00065	0,22	2100	360	16667	0,003
4. Cross-Lam	0,16	0,13	1600	500	50	1,231
5. Isolante in sughero	0,1	0,05	1500	170	9	2,000
6. Intonaco	0,01	0,80	840	1200	10	0,013
Coeff. Laminazione esterno		13,00				0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,336</b>					<b>4,620</b>
PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA				
TRASMITTANZA	0,216	W/m²K				
SFASAMENTO TERMICO	13,883	h				
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,088	adm				

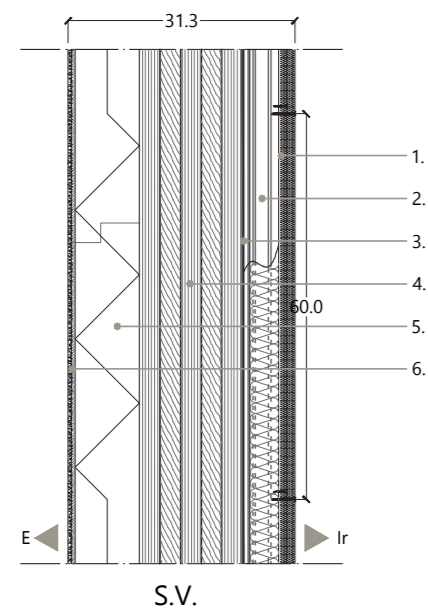


Figura 394\_Stratigrafia C.V. 01

CHIUSURA VERTICALE: PARETE PERIMETRALE ESTERNA ISOLATA IN CALCESTRUZZO

CV 01 A: PARETE PERIMETRALE ISOLATA						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conducibilità λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
2. Calcestruzzo	0,2	1,06	836,8	1900	95	0,189
3. Isolante in sughero	0,1	0,05	1500	170	9	2,000
4. Intonaco	0,01	0,80	840	1200	10	0,013
Coeff. Laminazione esterno		13,00				0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,335</b>					<b>2,522</b>
PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA				
TRASMITTANZA	0,396	W/m²K				
SFASAMENTO TERMICO	13,050	h				
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,035	adm				

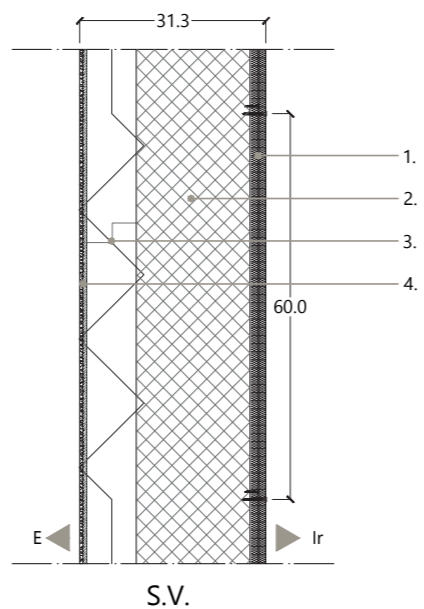


Figura 395\_Stratigrafia C.V. 01 A

PARTIZIONE VERTICALE: PARETE DIVISORIA IN CROSS-LAM

PV 01: PARETE DIVISORIA SEMPLICE						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conducibilità λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
2. Fibra di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
3. Cross-Lam	0,16	0,13	1600	500	50	1,231
4. Fibra di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
5. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
Coeff. Laminazione interno		13,00				0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,290</b>					<b>3,776</b>
PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA				
TRASMITTANZA	0,265	W/m²K				
SFASAMENTO TERMICO	11,183	h				
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,145	adm				

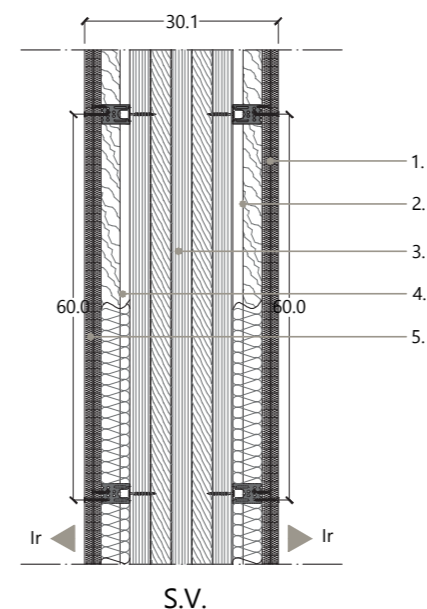


Figura 396\_Stratigrafia P.V. 01

PARTIZIONE VERTICALE: PARETE DIVISORIA IN CALCESTRUZZO

PV 01 A: PARETE DIVISORIA SEMPLICE						
STRATIGRAFIA	Spessore [m]	Conducibilità λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
2. Fibra di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
3. Calcestruzzo	0,15	1,06	836,8	1900	95	0,142
4. Fibra di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
5. Cartongesso	0,025	0,21	840	900	8	0,119
Coeff. Laminazione interno		13,00				0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,280</b>					<b>2,687</b>
PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA				
TRASMITTANZA	0,372	W/m²K				
SFASAMENTO TERMICO	9,533	h				
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,074	adm				

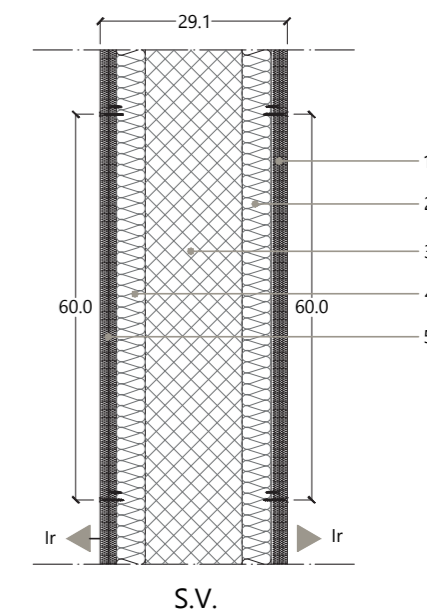


Figura 397\_Stratigrafia P.V. 01 A

## 9.2.2 PARAMETRI TERMOFISICI DELLE STRATIGRAFIE

Dopo aver illustrato le tipologie di elementi tecnici pensati per l'edificio di progetto si sono riportati i dati in forma grafica per poter paragonare direttamente le due soluzioni tecnologiche utilizzate, in modo più rapido, commentando poi le differenze riscontrate.

I parametri confrontati sono:

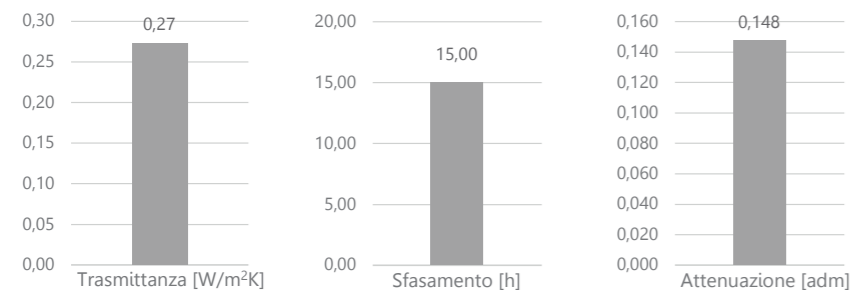
- **Trasmittanza termica:** è la grandezza che misura la quantità di calore che viene scambiato da un elemento per unità di superficie e di temperatura. In questo caso definisce la capacità isolante del pacchetto tecnologico esaminato.
- **Sfasamento termico:** è il tempo in cui il picco massimo della temperatura esterna impiega ad attraversare completamente l'elemento tecnologico di riferimento.
- **Fattore di attenuazione:** è il rapporto tra l'ampiezza del flusso termico uscente e quello entrante nel pacchetto tecnologico.

Si riportano ora i grafici di confronto degli abachi precedentemente illustrati.

### CONFRONTO GRAFICO: CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 01

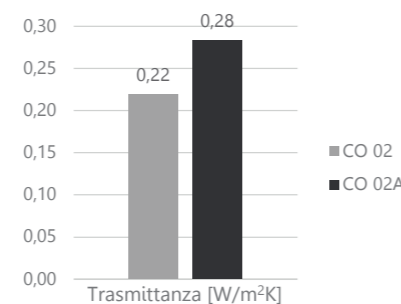
I dati vengono illustrati graficamente per poterli leggere con maggiore comodità. Tuttavia in questo caso non si ha un confronto poiché il pacchetto tecnologico rimane il medesimo per entrambe le tipologie di stratigrafia messe a paragone.

ABACO	TECNOLOGIA	TRASMITTANZA [W/m²K]	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE [adm]
CO 01	Cross-Lam	0,27	15,00	0,148



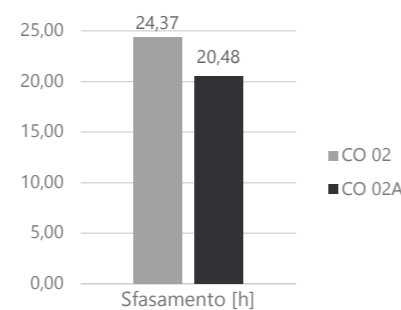
### CONFRONTO GRAFICO: CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 02 - C.O. 02 A

ABACO	TECNOLOGIA	TRASMITTANZA [W/m²K]	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE [adm]
CO 02	Cross-Lam	0,22	24,37	0,005
CO 02A	Calcestruzzo	0,28	20,48	0,012



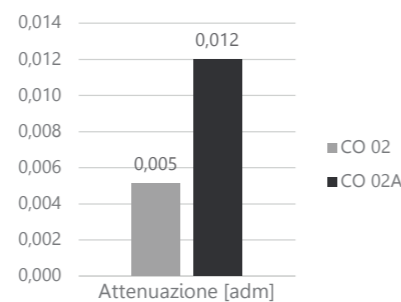
#### TRASMITTANZA TERMICA

Dal grafico si osserva come la chiusura orizzontale con struttura portante in Cross-Lam sia più prestazionale dal punto di vista della trasmittanza. Infatti rispetto a quella con struttura portante in calcestruzzo il valore si dimezza passando da 0,28 W/m²K a 0,22 W/m²K.



#### SFASAMENTO TERMICO

Il pacchetto tecnologico con struttura portante in legno risulta essere migliore per via di uno sfasamento maggiore. Ciò nonostante anche l'altra tecnologia analizzata per la copertura ha un ottimo sfasamento, in quanto supera di gran lunga le 12 ore previste da normativa.

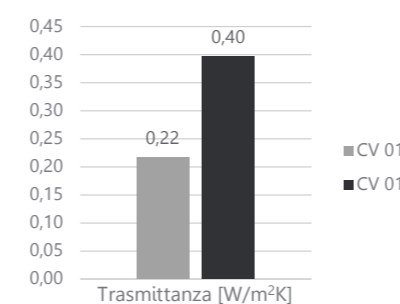


#### FATTORE DI ATTENUAZIONE

Anche in questo caso la copertura in legno risulta essere più prestazionale in quanto il valore del fattore di attenuazione è ridotto a 0,005, rispetto a 0,012 della chiusura in calcestruzzo. Tuttavia, è ottimo anche il valore corrispondente a quest'ultima tecnologia costruttiva.

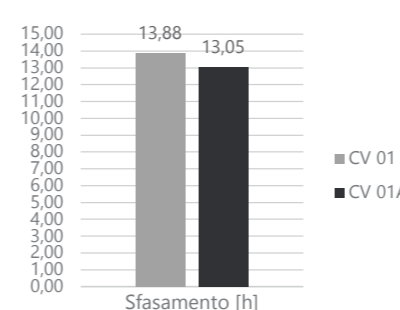
### CONFRONTO GRAFICO: CHIUSURA VERTICALE C.V. 01 - C.V. 01 A

ABACO	TECNOLOGIA	TRASMITTANZA [W/m²K]	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE [adm]
CV 01	Cross-Lam	0,22	13,88	0,088
CV 01A	Calcestruzzo	0,40	13,05	0,035



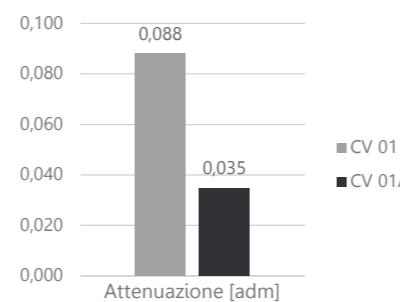
#### TRASMITTANZA TERMICA

La chiusura in legno risulta essere più isolata rispetto a quella in calcestruzzo e di conseguenza è da preferire rispetto all'altra tecnologia. Infatti il valore della trasmittanza si dimezza, passando da 0,40 W/m²K per la struttura in calcestruzzo a 0,22 W/m²K per quella in legno.



#### SFASAMENTO TERMICO

Lo sfasamento termico risulta essere minore rispetto a quello riscontrato in copertura per entrambe le tecnologie, ma entrambi i valori riferiti ai due diversi pacchetti sono ottimali, poiché superiori alle 12 ore. Tuttavia la tecnologia in legno risulta essere migliore.

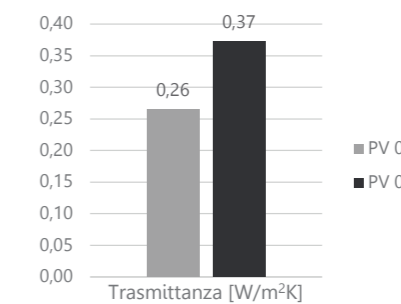


#### FATTORE DI ATTENUAZIONE

In questo caso il valore minore di attenuazione è quello riferito alla parete perimetrale con struttura portante in calcestruzzo, ma entrambi i fattori sono ottimi. Di conseguenza scegliere l'una o l'altra tecnologia non comporterà una minore qualità dell'edificio.

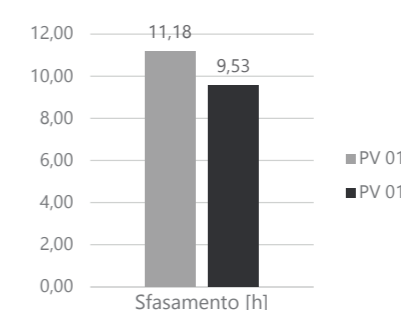
### CONFRONTO GRAFICO: PARTIZIONE VERTICALE P.V. 01 - P.V. 01 A

ABACO	TECNOLOGIA	TRASMITTANZA [W/m²K]	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE [adm]
PV 01	Cross-Lam	0,26	11,18	0,145
PV 01A	Calcestruzzo	0,37	9,53	0,07



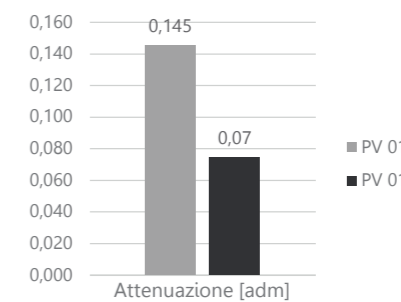
#### TRASMITTANZA TERMICA

Il valore di trasmittanza della parete perimetrale in Cross-Lam è di poco inferiore rispetto all'altra. Tuttavia trattandosi di una parete divisoria l'isolamento termico non risulta avere una fondamentale importanza per la scelta della tecnologia.



#### SFASAMENTO TERMICO

Lo sfasamento è di gran lunga superiore per la parete con struttura in legno, ma anche in questo caso, trattandosi di una partizione interna, il parametro non è determinante per la scelta della soluzione tecnologica ottimale e per cui si è riportato soltanto per un confronto.



#### FATTORE DI ATTENUAZIONE

Il fattore di attenuazione è migliore per la partizione in calcestruzzo: infatti è pari a 0,07. Tuttavia anche quello della parete con struttura portante in legno assume un buon valore, in quanto inferiore a 0,15 anche se di poco.



## 9.2.3 CONFRONTO CROSS-LAM E CLS

### 9.2.3.1 CONDIZIONI INIZIALI

Prima di procedere con le simulazioni vere e proprie è stato necessario definire le caratteristiche dei tre ambienti componenti il bar che si sono analizzati. Sono stati così definiti i parametri da assegnare ad ogni singola zona, che vengono spiegati in modo dettagliato in seguito.

#### PARAMETRI GENERALI

- Temperatura iniziale: si sono scelti i medesimi valori di temperatura iniziale pari a 10°C per tutte le zone.
- Umidità relativa: si è scelta pari al 60% per la zona 1, al 70% per la zona 2 e al 50% per la zona 3, a seconda della destinazione d'uso di ognuna.
- Infiltrazioni: è stato fissato un valore di infiltrazioni d'aria pari a 0,1 vol/h.
- Ventilazione: sono stati scelti tre diversi valori di ventilazione, ossia 3 e 10 vol/h, attivi dalle 20.00 alle 6.00 tutti i giorni. Durante il resto della giornata la ventilazione è costante ad un valore pari a 1 vol/h.
- Sistema di riscaldamento: risulta essere attivo dalle 7.00 del mattino fino alle 23.00 della sera, dal giorno 15 ottobre al 15 aprile.
- Sistema di raffrescamento: si pone attivo dalle 9.00 del mattino fino alle 19.00 della sera, durante tutto l'anno, a causa delle alte temperature esterne.

#### APPORTI INTERNI

- Affollamento: per quanto riguarda la cucina si è pensato di porre il numero delle persone pari ad 1, 4 per il bagno e 10 per la sala, negli orari in cui si prevede aperto il bar.
- Grado di attività: per la cucina e per il bagno si è considerato un livello di attività fisica medio, mentre per quanto riguarda la sala si è optato per un grado di attività fisica basso, in quanto le persone si presuppongono sedute.
- Luce artificiale: per la cucina e per il bagno si è ipotizzato di considerare la presenza della luce artificiale, mentre per la sala non viene considerata, in quanto la zona presenta delle ampie superfici vetrate.

Dopo aver assegnato le caratteristiche si sono poi confrontate le due tecnologie analizzate in precedenza, comparando i pacchetti tecnologici con struttura portante in Cross-Lam e quelli con struttura portante in calcestruzzo, considerando però un vetro uguale per entrambe le tecnologie

### 9.2.3.2 UMIDITÀ RELATIVA

Come prima cosa si è scelto di confrontare il livello di umidità medio presente nell'edificio facendo variare il valore della ventilazione. Questa simulazione è stata eseguita per entrambe le tecnologie studiate. Si nota che la differenza tra le due tecnologie non è evidente in quanto i valori di umidità registrati sono praticamente uguali.

Aumentando il valore di ventilazione l'umidità registrata decresce. Per entrambe le tecnologie notiamo come si registri un notevole distacco tra le curve di umidità riferite alla ventilazione pari a 3 vol/h e quelle con ventilazione pari a 5 e 10 vol/h. La curva caratterizzata dal valore di ventilazione minore è quella che ricalca maggiormente la curva rappresentante l'umidità dell'ambiente esterno.

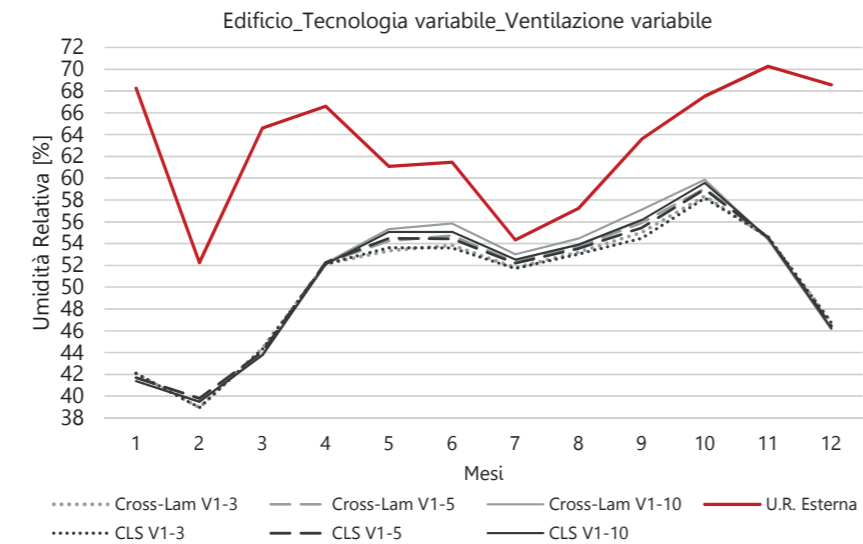


Figura 398\_Umidità relativa media mensile

Si sono confrontate le due tecnologie utilizzate al variare della ventilazione nei mesi più umidi ossia settembre, ottobre e novembre. In particolare si sono analizzati i dati medi mensili relativi ad ogni singola zona, scegliendo poi di mostrare la più caratteristica per quanto riguarda il tasso di umidità: si tratta della zona 2 ospitante i bagni del bar.

Come spiegato in precedenza non si riscontrano differenze notevoli tra le due tecnologie, tuttavia la variazione di umidità è influenzata dai livelli di ventilazione imposti all'interno della zona climatica considerata. Dal grafico si nota come ottobre sia il mese più umido tra i tre considerati e per il caso con ventilazione maggiore, pari a 10 vol/h, si oltrepassa il 62% di umidità. A novembre i valori calano e non si ha una distinzione tra i tre tipi di ventilazione. A settembre l'umidità si abbassa fino al 50% quando la ventilazione è posta pari a 3 vol/h e si innalza fino al 57% quando la ventilazione è la massima tra quelle scelte. Tuttavia si può concludere che all'interno della zona non c'è un tasso di umidità così elevato da poter causare problemi di vivibilità all'interno o peggio ancora danni alla struttura in legno: risulta però importante tenere questo parametro controllato.

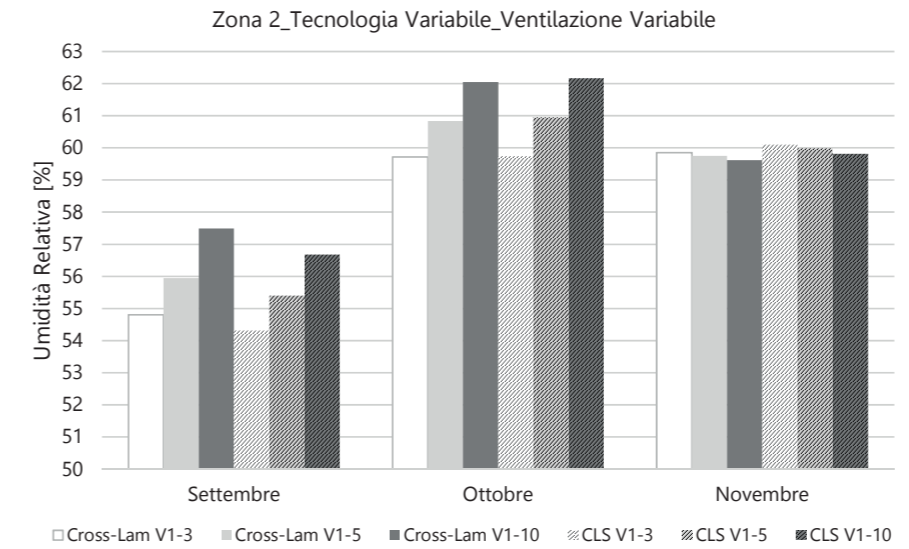


Figura 399\_Umidità relativa: mesi di settembre-ottobre-novembre

### 9.2.3.3 RADIAZIONE SOLARE PASSANTE ATTRAVERSO I VETRI

Per quanto riguarda la radiazione solare si è scelto di riportare in un medesimo grafico entrambe le tecnologie con ventilazione pari a 3 vol/h. Questa scelta è dovuta al fatto che in questo caso la tecnologia non influisce sui valori di radiazione, poiché questa è riferita soltanto alla tipologia di vetro, uguale per tutte le zone e per entrambi gli edifici con differente tecnologia. Per riscontrare differenti valori di radiazione sarebbe opportuno attivare un sistema di schermatura dei vetri.

Si riporta quindi nel grafico l'andamento dei valori di radiazione per conoscerne l'entità. Si nota che i valori aumentano durante i mesi estivi, con un picco di 3.69 kWh. Durante la stagione fredda invece i valori di radiazione ragionevolmente si abbassano, arrivando a dei valori di 1,71 kWh nel mese di dicembre.

Per poter ridurre la radiazione si può pensare sia di aggiungere delle schermature sulle grandi vetrate sia di cambiare la tipologia di vetro: sostituendo il vetro singolo con un altro tipo di vetro maggiormente prestazionale, si limiterebbe il valore di radiazione passante per i vetri.

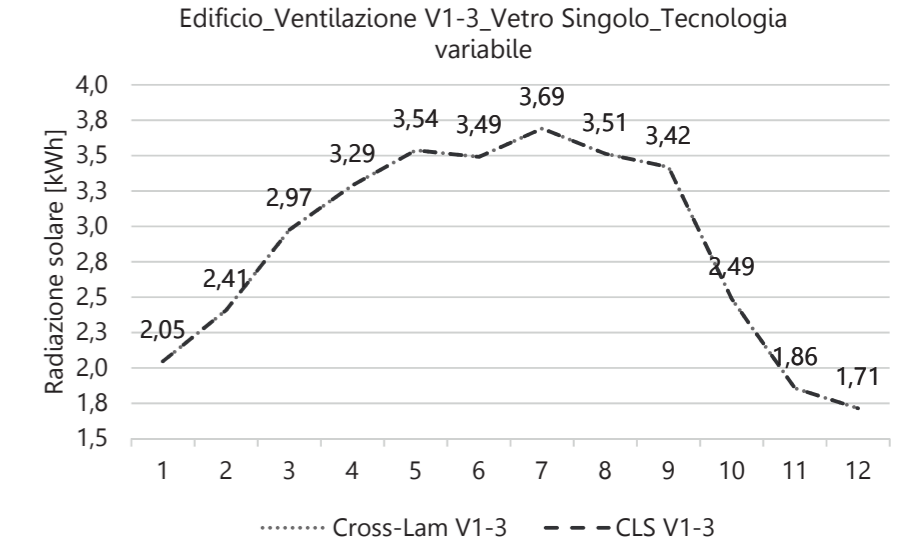


Figura 400\_Radiazione media mensile

### 9.2.3.4 TEMPERATURA DELL'ARIA

Per le simulazioni spesso si è scelto di mostrare dapprima i dati riferiti all'intero edificio, facendo una media delle temperature orari presenti in ogni zona. Questa semplificazione permette di osservare globalmente il comportamento del bar al variare dei parametri che si è deciso di analizzare. Tuttavia per completezza si è ritenuto opportuno mostrare in un secondo momento gli effettivi valori di temperatura nelle singole zone.

Tra le due tecnologie non si riscontrano differenze eclatanti: come si osserva dal grafico infatti le curve risultano essere a due a due sovrapposte. I valori reali infatti pur non essendo identici si discostano di 0,5°C. Variano invece le temperature se relate al tipo di ventilazione assegnato all'edificio. Per la ventilazione minore, pari a 3 vol/h, durante i mesi estivi si registra un picco di temperatura che raggiunge i 27,5°C, mentre per il valore di ventilazione più elevato pari a 10 vol/h le temperature si abbassano fino a 26°C. Tuttavia nel periodo invernale le curve caratterizzate da differenti valori di ventilazione risultano essere comunque sovrapposte.

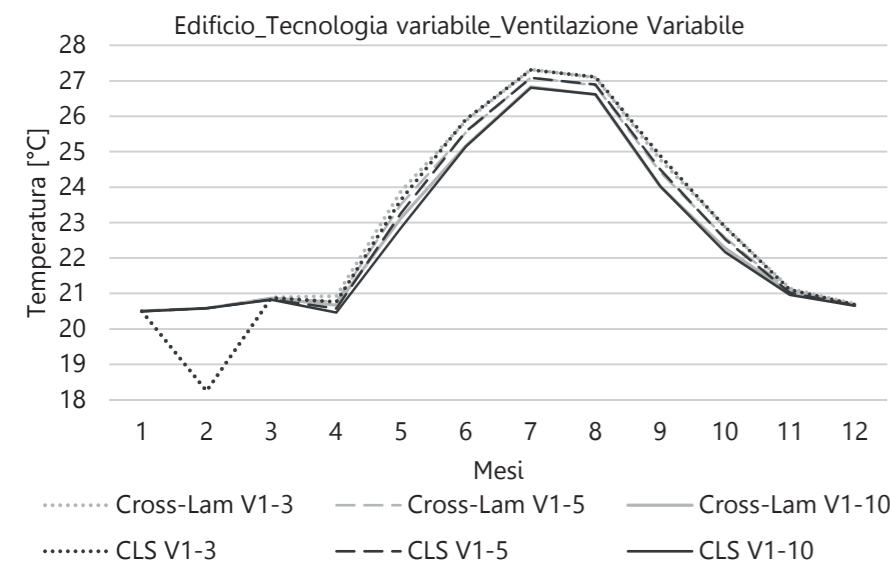


Figura 401\_Temperatura media mensile nell'intero edificio

Si analizza ora il valore di temperatura medio mensile di ogni singola zona, per osservare le diversità dei singoli ambienti. Si è scelto di considerare l'edificio con ventilazione minore, pari a 3, per il confronto tra zone e tecnologie utilizzate.

Prevedibilmente anche in questo caso non si riscontrano differenze notevoli tra pacchetti con strato portante in legno e in calcestruzzo, mentre si riscontrano cambiamenti tra una zona e l'altra. La diversità delle curve dipende soprattutto dalla conformazione delle zone e dalla loro esposizione: le zone 1 e 2 infatti risultano essere totalmente opache a meno della presenza di un lucernario in copertura, mentre la zona 3 risulta essere completamente vetrata su tre lati. Inoltre la cucina (zona1) è esposta a Nord-Ovest, il bagno (zona 2) a Nord-Est, mentre la sala (zona 3) è orientata verso Sud. Per questo motivo le curve verdi, identificanti la zona 3, sono traslate verso l'alto rispetto alle altre due zone: si registrano così valori medi di temperatura che raggiungono i 28°C, a differenza di cucina e bagno in cui le temperature massime sono rispettivamente 27 e 26°C. Nei mesi invernali le curve delle zone 1-2 risultano essere sovrapposte, con devii valori di temperatura che si aggirano attorno ai 20°C.

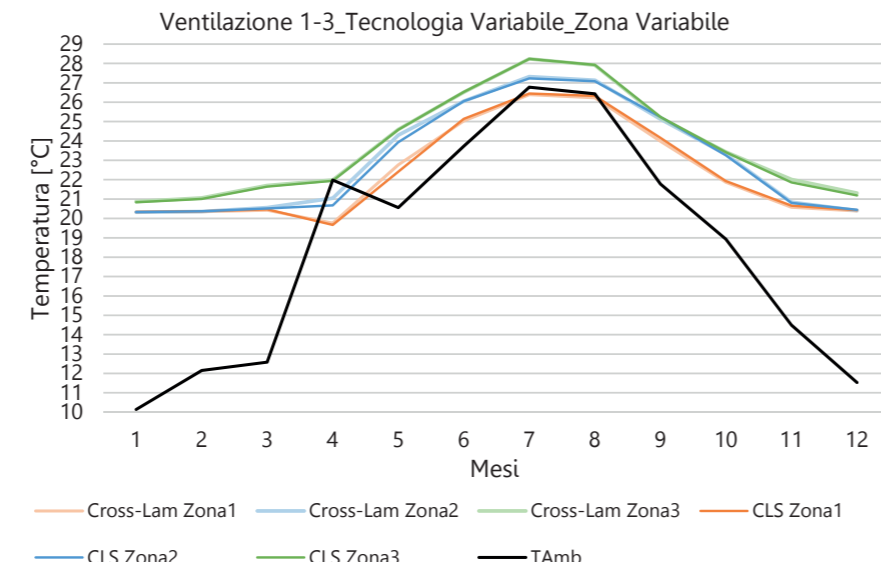


Figura 402\_Temperatura media mensile nelle tre zone

Si è presa in considerazione la zona 3, in quanto risulta essere la più interessante dal punto di vista energetico. Infatti essendo la zona della sala del bar, è anche quella maggiormente frequentata dai turisti, per cui all'interno dell'ambiente deve essere sempre garantita una buona temperatura.

Si pongono a confronto entrambe le tecnologie utilizzate tenendo però un valore di ventilazione piuttosto basso, pari a 3 vol/h.

### TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA: 1-7 FEBBRAIO

Come visto dalle analisi generali sul clima, le temperature in inverno non sono eccessivamente basse poiché non vanno mai al di sotto degli 0°C, tuttavia è obbligatorio avere un sistema di riscaldamento all'interno del locale per alzare la temperatura dell'aria all'interno della zona climatica.

Si nota come l'impianto di riscaldamento faccia in modo che la temperatura rimanga attorno ai 21°C. Le due curve delle diverse tecnologie risultano quasi sovrapposte, ma quella in Cross-Lam permette di avere delle temperature leggermente più elevate.

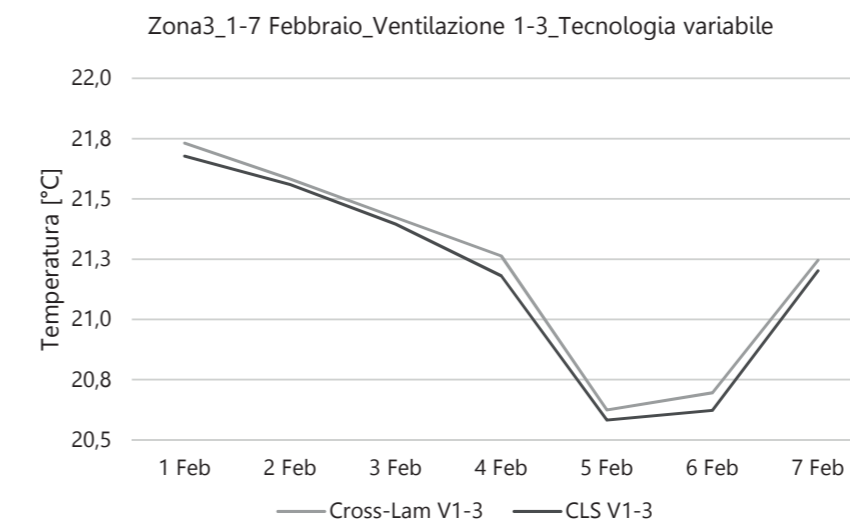


Figura 403\_Temperatura media giornaliera: settimana 1-7 febbraio

### TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA: 25-31 LUGLIO

Si analizzano i dati relativi alla settimana più calda, ossia quella che va dal 25 al 31 luglio, periodo durante il quale la zona 3, essendo esposta direttamente a Sud, può essere esposta ad elevate temperature.

Si deve considerare poi che la zona è completamente vetrata ed il vetro utilizzato oltre che essere singolo, ha anche una bassa trasmittanza, quindi risulta ancora più soggetta a divenire una sorta di serra.

Analizzando il grafico è evidente che anche in questo caso le tecnologie praticamente si equivalgono poiché le curve sono sovrapposte. Solamente nel giorno del 26 di luglio si nota un leggero abbassamento della curva rappresentante la tecnologia in Cross-Lam verso il basso, che indica una quasi impercettibile diminuzione della temperatura interna alla zona.

Le temperature massime registrate all'interno sono al di sotto dei 30°C, temperatura che può essere considerata accettabile se raggiunta nelle ore notturne, quando non è presente nessuna persona nel bar.

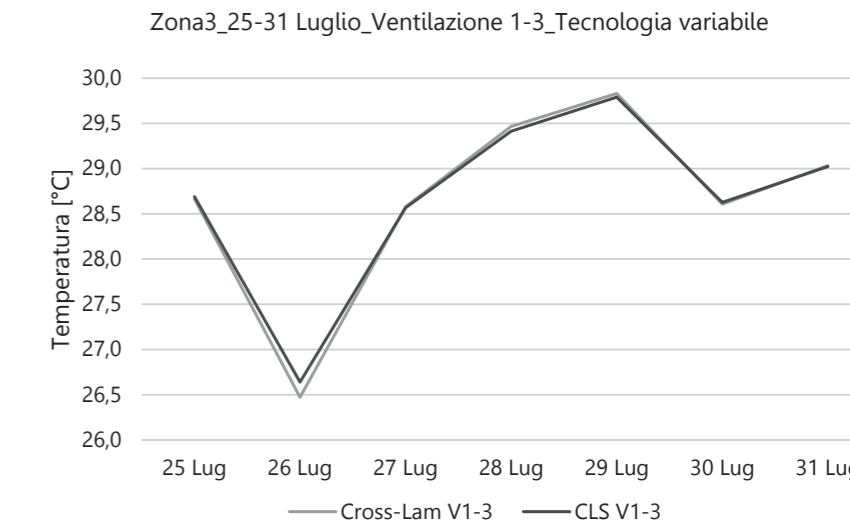


Figura 404\_Temperatura media giornaliera: settimana 25-31 luglio



Si prende ora in considerazione sempre la zona 3 ma si considera un livello di ventilazione maggiore, quello pari a 10 vol/h. Inoltre si considerano in questo caso le temperature orarie rilevate durante i giorni analizzati.

Si esegue ancora un confronto tra le due tecnologie studiate, ponendole in relazione anche con la temperatura oraria dell'ambiente esterno.

### TEMPERATURA ORARIA 1-7 FEBBRAIO

Le curve ancora una volta sono sovrapposte. Si nota come la temperatura dell'ambiente esterno sia molto più bassa rispetto a quella registrata all'interno della zona climatica 3: questo perché nei mesi invernali è attivo il sistema di riscaldamento, che è stato impostato per non far scendere la temperatura al di sotto dei 17°C. Per questo motivo si notano dei tratti costanti delle curve di entrambe le tecnologie. Anche nella parte alta del grafico ci sono dei tratti costanti quando la temperatura arriva a 26°C: questo perché nonostante si stia parlando della stagione invernale si è dovuto attivare il sistema di raffrescamento durante tutto l'anno, poiché all'interno si raggiungevano temperature troppo elevate che compromettevano il comfort.

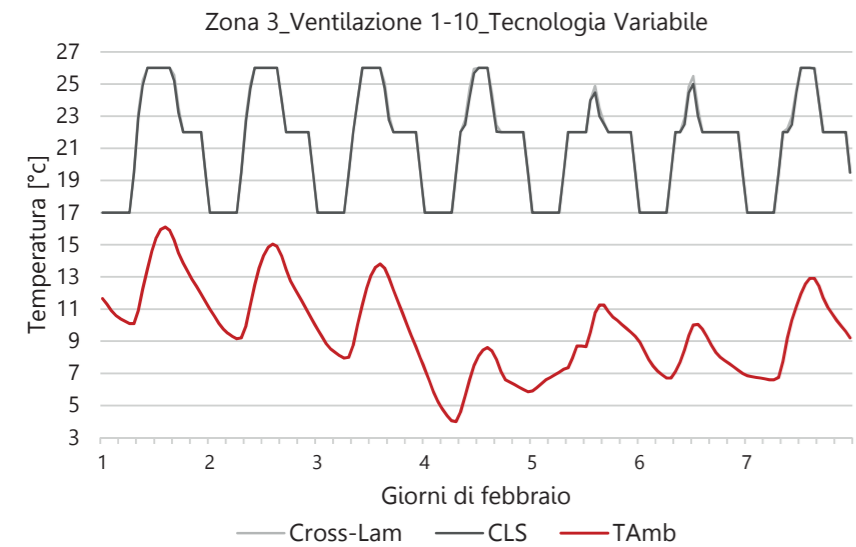


Figura 405\_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio

### TEMPERATURA ORARIA: 25-31 LUGLIO

Si è analizzata la temperatura oraria riferita anche alla settimana più calda dell'anno, ossia l'ultima settimana di luglio. Tra le tecnologie non si notano differenze poiché le curve sono pressoché sovrapposte e qualora le si considerino singolarmente la differenza registrata tra una e l'altra non raggiunge nemmeno 1°C, ed è quindi trascurabile.

Si notano dei picchi di temperatura che non potrebbero essere ammessi e questo è dovuto al fatto che i vetri sono poco prestazionali, poiché sono caratterizzati da un valore di trasmittanza termica basso che impedisce un buon isolamento al calore e la ventilazione non è calibrata in modo ottimale. Tuttavia, quando il calore registrato è quello trattenuto durante la giornata, se viene rilasciato nelle ore in cui il bar non viene utilizzato è ammesso avere un aumento drastico delle temperature.

Nella parte bassa del grafico si registrano dei tratti costanti a livello dei 26°C di temperatura poiché l'impianto di raffrescamento è stato impostato per attivarsi al raggiungimento di quel valore.

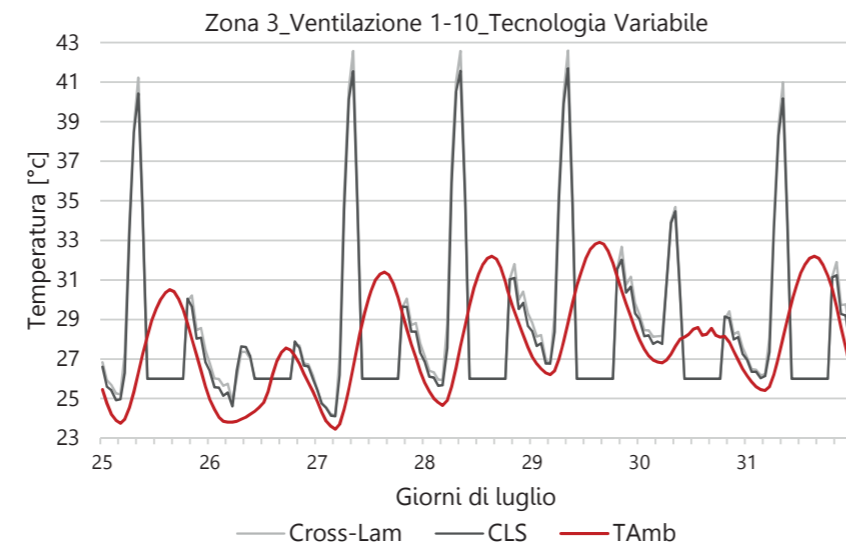


Figura 406\_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio

## 9.2.4 VARIAZIONE DEI PACCHETTI TECNOLOGICI

### 9.2.4.1 LA NUOVA STRATIGRAFIA IN CALCESTRUZZO

I dati ricavati dalle simulazioni si sono rivelati utili per il confronto tra le tecnologie adottate.

Per le tipologie di stratigrafia scelte tuttavia non si sono riscontrate notevoli differenze tra i pacchetti con strato portante in Cross-Lam e quelli con strato portante in calcestruzzo: di conseguenza si è deciso di introdurre un'ulteriore tipologia di pacchetto tecnologico per quanto riguarda l'elemento di copertura.

Si è scelto di utilizzare lo stesso pacchetto precedentemente usato apportando una modifica: il cambiamento della posizione dello strato di coibentazione termica del pacchetto tecnologico. Nell'abaco precedentemente considerato, lo strato isolante era posto al di sotto dello strato portante in calcestruzzo: questa scelta è stata dettata dal fatto che oltre alla copertura in corrispondenza degli edifici è presente la copertura ombreggiante per lo spazio esterno. Per quest'ultima che presenta la medesima stratigrafia, non è necessario lo strato di coibentazione: per garantire quindi la continuità del pacchetto tecnologico in corrispondenza dell'edificio, si è posto l'isolante al di sotto dello strato portante. Nel caso in analisi si sceglie invece di porre lo strato di coibentazione al di sopra, in modo da sfruttare le proprietà del calcestruzzo.

Tutti gli altri pacchetti tecnologici che costituiscono il nuovo modello, tra cui solaio controterra, chiusura verticale, partizione verticale, sono identici a quelli riportati precedentemente con la struttura sempre in calcestruzzo. Per quanto riguarda gli elementi trasparenti si sono utilizzati i medesimi vetri singoli ad elevata trasmittanza termica.

Anche per questa tipologia di chiusura orizzontale si procederà con un confronto grafico dei parametri di trasmittanza, sfasamento termico e fattore di attenuazione.

Per utilizzare una nomenclatura abbreviata si è scelto di chiamare diversamente la stratigrafia introdotta: la sigla per quest'ultima sarà seguita dalla lettera "B".

A lato si riportano i dati relativi alla nuova stratigrafia inserita nel modello per effettuare il confronto con quelle precedentemente utilizzate.

CHIUSURA ORIZZONTALE: COPERTURA VERDE IN CALCESTRUZZO CON STRATO DI COIBENTAZIONE SOPRA ALLO STRATO PORTANTE

C.O. 02 B: COPERTURA VERDE ISOLATA CON ISOLAMENTO AL DI SOPRA						
STRATIGRAFIA	Spessore (m)	Conduktività λ [W/mK]	Calore specifico c [J/kgK]	Densità ρ [kg/m³]	Fattore resistenza al vapore μ [adm]	Resistenza termica Rt [m²K/W]
Coeff. Laminazione interno			8			0,125
1. Cartongesso	0,0125	0,21	840	900	8	0,060
2. Calcestruzzo	0,2	1,06	836,8	1900	95	0,189
4. Freno al vapore	0,0003	0,2	2099,9496	360	16667	0,002
3. Fibrà di Legno	0,04	0,038	2100	50	2	1,053
5. Terreno	0,07	2,36	866,088	2600	1	0,030
6. Sedum	0,05	0,03	866,088	2600	1	2,000
Coeff. Laminazione esterno		13,00				0,077
<b>TOTALE</b>	<b>0,373</b>					<b>3,534</b>

PARAMETRI	VALORI	UNITA' DI MISURA
TRASMITTANZA	0,283	W/m²K
SFASAMENTO TERMICO	21,617	h
FATTORE DI ATTENUAZIONE	0,018	adm

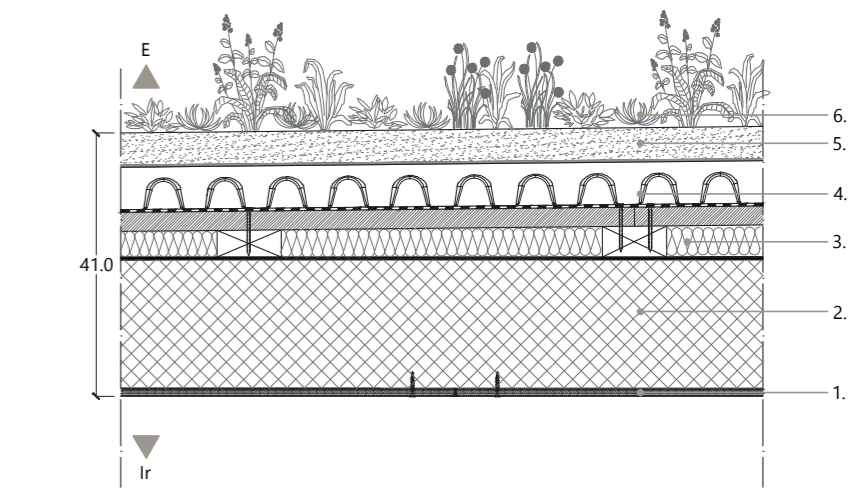
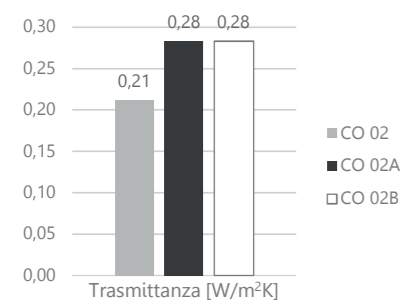


Figura 407\_Stratigrafia C.O. 02 B

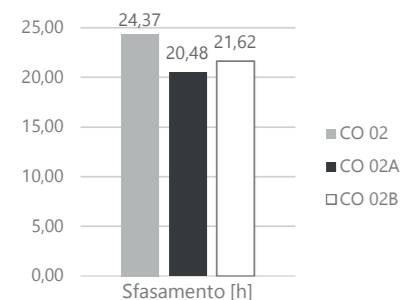
CONFRONTO GRAFICO: CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 02 - C.O. 02 A - C.O. 02 B

ABACO	TECNOLOGIA	TRASMITTANZA [W/m²K]	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE [adm]
CO 02	Cross-Lam	0,21	24,37	0,01
CO 02A	Calcestruzzo	0,28	20,48	0,01
CO 02B	Calcestruzzo IsolanteSopra	0,28	21,62	0,02



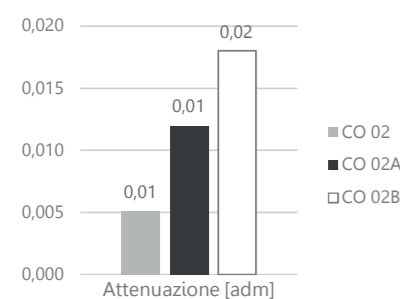
TRASMITTANZA TERMICA

Gli strati del pacchetto tecnologico sono i medesimi della copertura precedentemente studiata. Essendo variata soltanto la posizione dell'isolante il valore della trasmittanza risulta essere identico a quello della chiusura precedente, ossia pari a 0,28 W/m²K.



SFASAMENTO TERMICO

In questo caso per la nuova tecnologia analizzata si ha un miglioramento prestazionale in termini di sfasamento termico: infatti questo aumenta di circa 1 h rispetto all'altra tecnologia in calcestruzzo. Tuttavia la tecnologia in legno risulta essere ancora la migliore.



FATTORE DI ATTENUAZIONE

Per la nuova tecnologia in calcestruzzo il fattore di attenuazione aumenta del doppio rispetto alla precedente. Tuttavia risulta ancora ottimale poiché al di sotto di quello imposto da normativa, pari a 0,15. La tecnologia in legno ha il fattore di attenuazione migliore.

9.2.5 SIMULAZIONI CON LA NUOVA STRATIGRAFIA

Sono state reinserite tutte le simulazioni svolte precedentemente con la nuova tecnologia descritta. Si riportano solamente i risultati più salienti per poter valutare le prestazioni della nuova stratigrafia e per confrontarla con le precedenti.

9.2.5.1 UMIDITÀ RELATIVA

Al di sotto si è riportato un grafico in cui sono presenti le tre tecnologie analizzate poste a confronto: la nuova stratigrafia è individuata dalla curva di colore blu. Questa curva ha lo stesso andamento della curva con struttura in Cross-Lam, ma risulta essere traslata leggermente verso il basso durante le mezze stagioni e soprattutto durante quella estiva, in particolare da aprile ad ottobre. Durante la piena stagione estiva però si nota una differenza rispetto all'altra tecnologia in calcestruzzo, poiché quest'ultima individua una condizione peggiore in quanto si registrano livelli di umidità maggiori rispetto alla tecnologia in cui l'isolante è posto al di sopra del calcestruzzo.

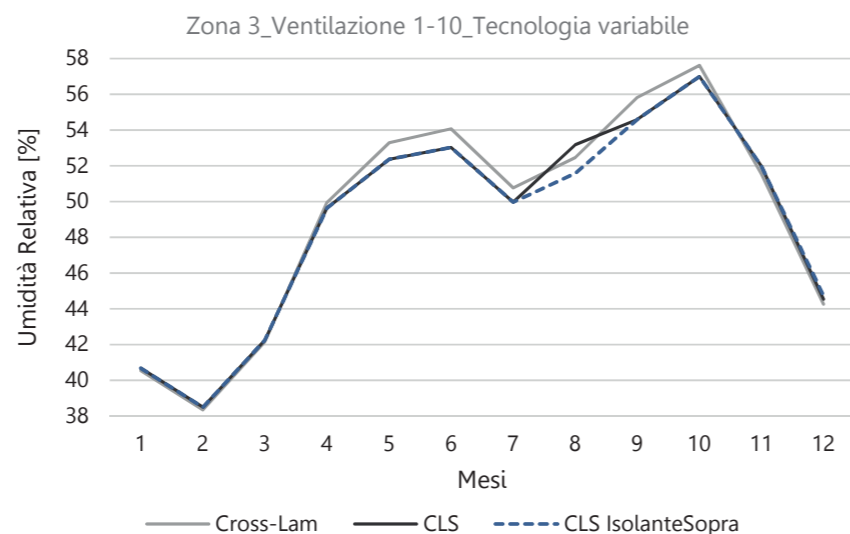


Figura 408\_Umidità relativa media mensile

9.2.5.2 TEMPERATURA DELL'ARIA

Anche in questo caso si è scelto di analizzare la zona 3, ponendo un livello di ventilazione meccanica pari a 10 vol/h e facendo variare solamente le tecnologie analizzate.

Confrontando la temperatura presente all'interno della zona 3 si nota come la nuova tecnologia sia la peggiore rispetto alle altre analizzate. Infatti la curva relativa a questo tipo di pacchetto tecnologico è quella spostata maggiormente verso l'alto, ossia quella in cui la temperatura aumenta. Nella stagione invernale le tre curve sono sostanzialmente sovrapposte e le temperature registrate si aggirano intorno ai 20°C. Si ha un aumento evidente di temperatura a partire da aprile e si raggiunge il picco a luglio, dove le temperature sono sui 28°C. Arrivati a questo valore per due mesi la temperatura registrata all'interno della zona si mantiene costante, per poi avere una discesa con l'arrivo della stagione intermedia. Si deve comunque tenere conto del fatto che per avere dei valori precisi di temperature registrate bisognerebbe considerare i dati orari, e non quelli medi mensili.

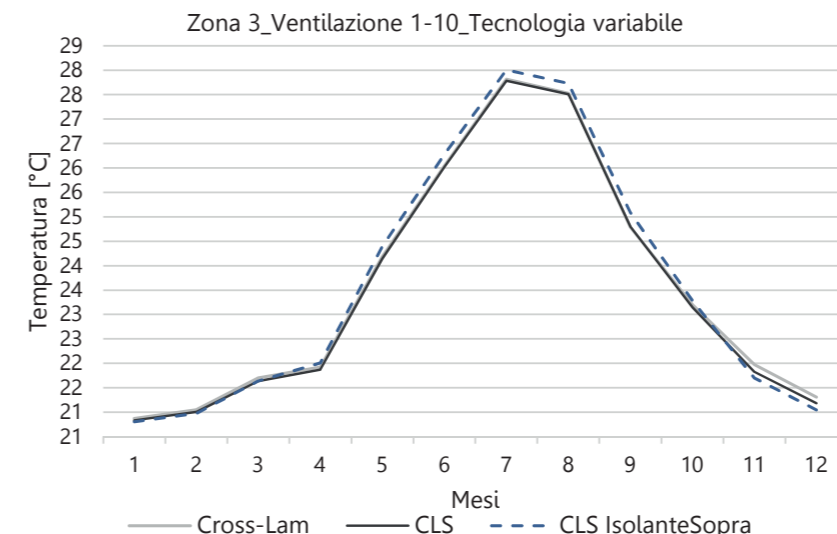


Figura 409\_Temperatura media mensile

9.2.6 CONCLUSIONI

Dopo aver eseguito queste prime simulazioni è possibile trarre alcune conclusioni sulla scelta della tecnologia da utilizzare. Si è notato come entrambe le stratigrafie risultino essere ugualmente valide se si tengono in considerazione i grafici mostrati provenienti dai dati estrapolati dalle simulazioni.

Tuttavia analizzando le stratigrafie singolarmente senza inserirle nel modello che poi è stato simulato con Trnsys, le tecnologie con struttura portante costituita da Cross-Lam avevano i parametri di trasmittanza, sfasamento termico e fattore di attenuazione migliori rispetto alle tecnologie in calcestruzzo. È da puntualizzare però che anche queste ultime hanno valori comunque buoni così come si è illustrato precedente sia mediante tabelle che mediante grafici di confronto.

La tecnologia scelta per il progetto è dunque quella delle tecnologie con struttura portante in Cross-Lam, per diversi motivi. Infatti il luogo in cui è sito il progetto è un ambiente di mare, in cui il legno risulta essere piacevole soprattutto dal punto di vista estetico.

Un'ulteriore motivazione per la scelta del legno è stata la facilità di montaggio che la rappresenta. Infatti una costruzione a secco risulta essere migliore rispetto a quella che si dovrebbe adottare con l'utilizzo del calcestruzzo, soprattutto in termini di rapidità e semplicità di assemblaggio.

Altra ragione che ha portato alla scelta di questo tipo di materiale è il fatto che il legno è un materiale ecologico, quindi in questo modo si tiene in considerazione anche dell'impatto ambientale del progetto.

Il problema delle alte temperature, che possono danneggiare il legno, sarà risolto prevedendo dei trattamenti speciali di protezione del legno, che risulta essere l'elemento strutturale dominante.

Anche il problema relativo all'umidità verrà considerato: infatti il legno è un materiale che a causa dell'umidità subisce rilevanti variazioni volumetriche, che se non sono controllate possono causare dei danni sia a livello estetico ma soprattutto qualitativo: infatti il legno assorbendo acqua nella direzione longitudinale rischia di marcire. Di conseguenza anche il problema dell'umidità obbliga a trattare il legno con degli impermeabilizzanti che lo proteggano.



# 9.3 ELEMENTI TRASPARENTI

Dopo aver confrontato le tecnologie costruttive, si è scelto di utilizzare quella con elemento strutturale in legno per i motivi precedentemente descritti: infatti le stratigrafie con strato portante in Cross-Lam si sono distinte per avere i migliori parametri di sfasamento termico, fattore di attenuazione e trasmittanza termica.

Si è poi ritenuto opportuno prendere in considerazione anche gli elementi trasparenti, in quanto risultano essere determinanti per la scelta del modello finale.

## 9.3.1 DEFINIZIONE DEGLI ELEMENTI TRASPARENTI

Dopo aver scelto la tecnologia da adottare, si è ipotizzato di scegliere due tipologie di vetri differenti per poter confrontare le prestazioni dell'edificio nei due casi. I vetri scelti sono quello singolo, utilizzato anche per le simulazioni precedenti, e un vetro triplo più prestazionale.

### VETRO SINGOLO

Il vetro utilizzato anche nelle precedenti simulazioni ha un valore di trasmittanza pari a 5,68 W/m<sup>2</sup>K quindi risulta poco prestazionale in termini di isolamento. Il fattore di assorbimento ad esso associato è pari a 0,855.

### VETRO TRIPLO

È un triplo vetro con camera d'aria interposta nella quale è inserito del gas Krypton, che contribuisce a diminuire il valore di trasmittanza dell'elemento trasparente. Il valore di trasmittanza del vetro è di 0,68 W/m<sup>2</sup>K, valore di molto inferiore rispetto al precedente. Il fattore di assorbimento ad esso associato è pari a 0,407 metà rispetto a quello del vetro singolo.

## 9.3.2 CONFRONTO TRA TIPOLOGIE DI VETRO

### 9.3.2.1 CONDIZIONI INIZIALI

Per procedere con le simulazioni è stato di nuovo necessario definire le caratteristiche di ciascuna zona climatica componente l'edificio studiato, riportate in seguito. La maggior parte dei parametri risulta essere uguale a quella precedentemente usata, quindi si riporterà in modo più sintetico.

#### PARAMETRI GENERALI

- Temperatura iniziale: è pari a 10°C per tutte le zone.
- Umidità relativa: si è mantenuta pari al 60% per la zona 1, al 70% per la zona 2 e al 50% per la zona 3.
- Infiltrazioni: il valore di infiltrazione è ancora pari a 0,1 vol/h.
- Ventilazione: sono stati utilizzati gli stessi tre valori di ventilazione usati nelle simulazioni di confronto con gli elementi opachi pari quindi a 3, 5 e 10 vol/h, attivi dalle 20.00 alle 6.00 tutti i giorni. Durante il resto della giornata la ventilazione è costante ad un valore pari ad 1 vol/h.
- Sistema di riscaldamento: è invariato rispetto al modello precedente e risulta essere attivo dalle 7.00 del mattino fino alle 23.00 della sera, dal giorno 15 ottobre al 15 aprile.
- Sistema di raffrescamento: rimane attivo dalle 6.00 del mattino fino alle 21.00 della sera, durante tutto l'anno. Rispetto alla situazione precedente si è ampliato l'intervallo di tempo di attivazione dell'impianto poiché si sono registrati valori elevati di temperatura anche durante la stagione invernale.

#### APPORTI INTERNI

- Affollamento: nella zona 1 si è considerata la presenza di 1 persona, nella 2 di 4 e nella 3 di 10 persone.
- Grado di attività: per la zona 1 e 2 si è posto un livello di attività fisica medio, mentre per la 3 un livello basso.
- Luce artificiale: la presenza di luci artificiali è stata considerata solo per la zona della cucina e del bagno.

### 9.3.2.2 UMIDITÀ RELATIVA

Si è confrontato il valore di umidità registrata all'interno dell'edificio nel suo complesso facendo variare la ventilazione e la tipologia di vetro utilizzata: si vuole valutare come il nuovo vetro scelto influisce sulle condizioni di umidità dell'edificio.

L'umidità dell'edificio, calcolata con una media mensile, è anche rapportata a quella dell'ambiente esterno. Si nota come le curve siano molto vicine l'una all'altra, ma tutte risultano al di sotto della curva di umidità relativa esterna.

Si osserva poi che nelle stagioni invernali, considerando la minore tra le ventilazioni utilizzate, il vetro triplo fa diminuire il livello dell'umidità all'interno dell'ambiente, mentre nei mesi più caldi lo innalza.

Se si considera invece la simulazione eseguita con il tasso di ventilazione meccanica maggiore, durante il periodo invernale non si riscontrano differenze di valori rispetto a prima, ma nel periodo estivo si ha un abbassamento dell'umidità che raggiunge il 52%, a differenza del 54% precedente.

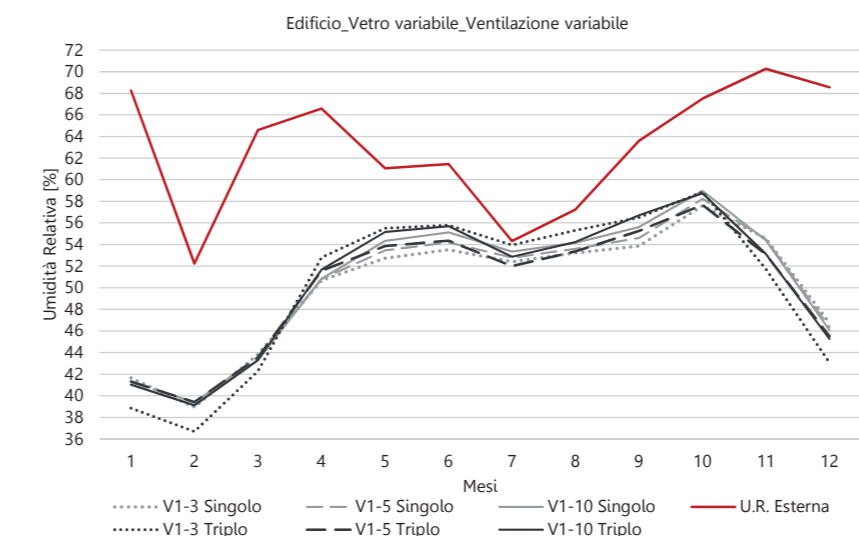


Figura 410\_Umidità relativa con ventilazione e vetri variabili

Si analizza ora la zona più umida presente all'interno del modello considerato, ossia la zona 2, quella ospitante il bagno. Si è condotta l'analisi durante i mesi che sono risultati mediamente più umidi, che corrispondono a quelli della stagione autunnale. In nero è riportata la curva dell'umidità relativa esterna che si rapporta con le curve di umidità rilevate all'interno dell'edificio. Si prende in considerazione solo il livello di ventilazione medio e si procede al confronto delle due tipologie di vetro descritte.

Le simulazioni condotte col vetro triplo fanno registrare risultati maggiori di umidità che variano dal 58% nel mese di settembre, raggiungono il massimo valore ad ottobre col 62,5% per poi assestarsi a novembre al 60%. La curva riferita alle simulazioni eseguite col vetro singolo è traslata verso il basso se si analizza il mese di settembre ma a novembre torna a raggiungere il 60%.

In conclusione se si prende in considerazione questo livello di ventilazione, il caso migliore risulta essere quello rappresentato dall'edificio in cui sono stati scelti dei vetri singoli.

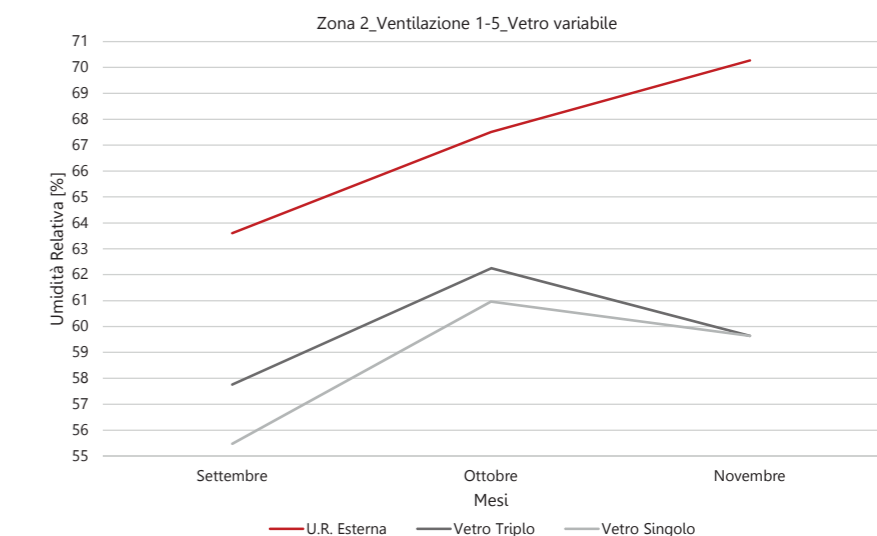


Figura 411\_Umidità relativa: mesi di settembre-ottobre-novembre

### 9.3.2.3 RADIAZIONE SOLARE PASSANTE PER I VETRI

Avendo analizzato due tipologie differenti di vetro, risulta interessante confrontare la quota parte di radiazione solare passante per i vetri, poiché questo è l'unico parametro che varia in maniera eclatante: infatti gli elementi trasparenti hanno valori di trasmittanza termica molto differenti l'uno dall'altro.

Si analizzano nel grafico sottostante i dati medi mensili di radiazione solare, prendendo in considerazione solo il caso in cui la ventilazione assume il valore minimo, pari a 3 vol/h. Si riscontra che la curva rappresentante il vetro singolo raggiunge valori più elevati di quelli registrati dalla curva identificativa del vetro triplo: nel mese di gennaio la differenza con la curva del vetro triplo è di mezzo kWh, mentre nei mesi caldi le curve si distanziano di quasi 2 kWh. È quindi preferibile, durante tutto l'anno, l'utilizzo di un vetro triplo, che risulta essere sicuramente più prestazionale soprattutto nei mesi caldi: questo è dovuto sicuramente al fatto che la trasmittanza termica utilizzata è molto bassa, e quindi il vetro è molto prestazionale in termini di isolamento termico.

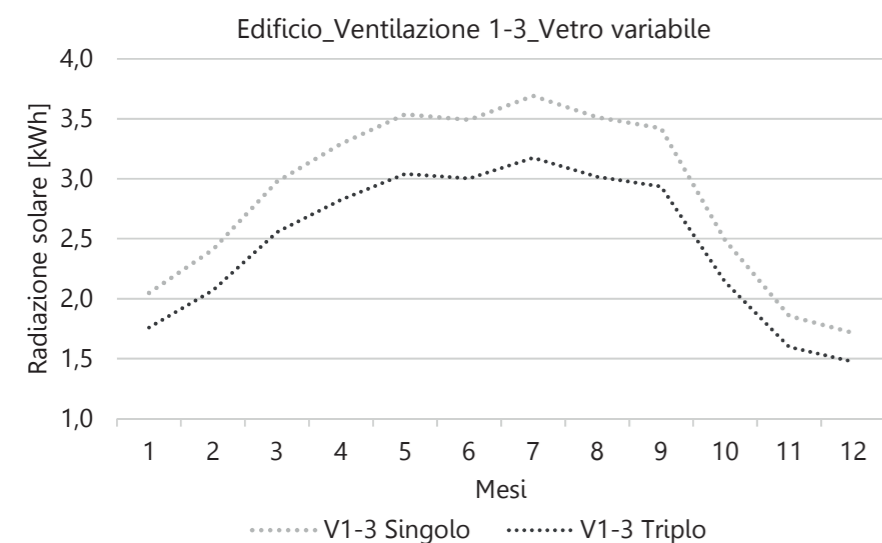


Figura 412\_Radiazione solare media mensile nell'intero edificio

Dopo aver condotto un'analisi sui valori medi estrapolati dall'edificio si prosegue studiando la sola zona 3, considerando soltanto il modello con ventilazione minore: questo perché il cambiamento di ventilazione non influisce sul valore di radiazione solare passante per i vetri e quindi è indifferente utilizzare il livello di ventilazione basso, medio oppure alto. Tra le zone da analizzare si è scelta quella ospitante la sala del bar perché risulta essere caratterizzata da ampie vetrate su tutti e tre i lati confinanti con l'ambiente esterno: in particolare le grandi vetrate sono esposte a Est, a Ovest e a Sud, quindi l'orientamento risulta essere critico. L'analisi della radiazione solare per le altre due zone invece sarebbe ininfluente poiché esse presentano una piccola superficie vetrata solo in copertura quindi i valori di radiazione ricavati sono bassissimi.

Dal grafico si nota come le due curve abbiano un andamento molto simile, ma anche analizzando i dati relativi alla singola zona, è evidente come l'utilizzo del vetro triplo sia da preferire all'altro, durante tutto il corso dell'anno. In particolare nel mese di luglio, ossia il più caldo, il vetro triplo permette di avere una radiazione di 9 kWh rispetto ai 10,5 kWh che si registrano col vetro singolo.

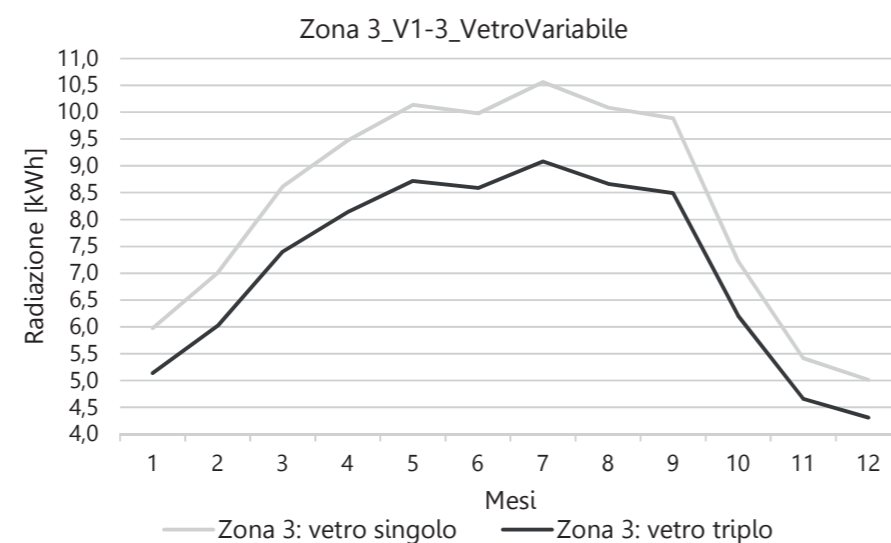


Figura 413\_Radiazione solare nella zona 3

Si analizza ancora la zona 3, essendo quella più caratteristica in termini di radiazione. Si esegue ora un confronto sulla settimana più fredda e poi quella più calda dell'anno.

Come valore di ventilazione si considera questa volta il massimo possibile, anche se come detto, non influisce sul valore di radiazione registrata.

#### RADIAZIONE SOLARE MEDIA GIORNALIERA: 1-7 FEBBRAIO

La curva rappresentante il modello con vetri costituiti da vetrata tripla con kripton interposto ancora una volta è preferibile rispetto all'altra, poiché per la sua conformazione è in grado di isolare termicamente l'edificio. Nei primi giorni di febbraio si registrano valori di radiazione pari a 9 kWh, mentre da metà settimana in poi, quando la temperatura si abbassa, i valori scendono fino ai 3,5 kWh.

Se si considera invece la curva riferita al vetro singolo i valori aumentano di circa 1,5 kWh durante tutta la settimana. Il divario maggiore tra le curve si ha durante i primi giorni della settimana, mentre le curve risultano essere vicine solo nella giornata del 5 febbraio.

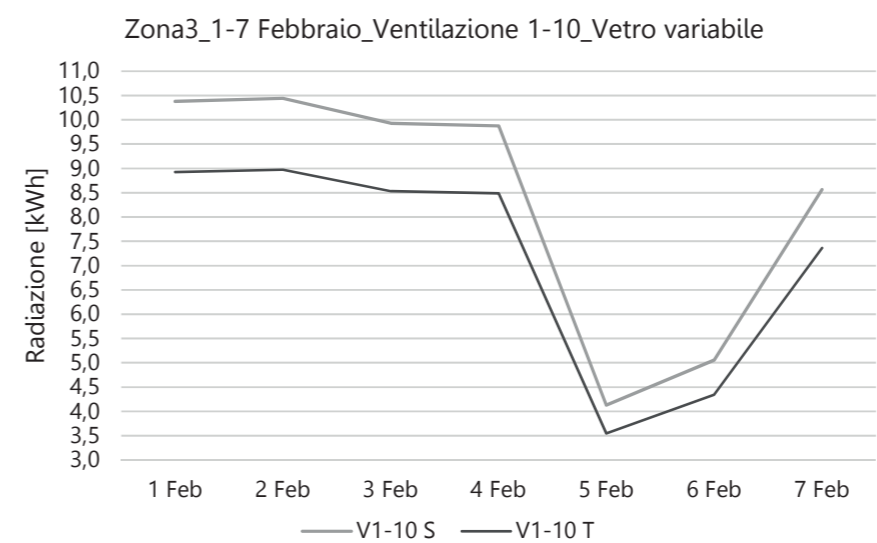


Figura 414\_Radiazione solare media giornaliera: settimana 1-7 febbraio

#### RADIAZIONE SOLARE MEDIA GIORNALIERA: 25-31 LUGLIO

Dopo aver valutato la settimana più fredda dell'anno si riportano nel grafico i dati relativi alla settimana più calda, che risulta essere quella più interessante per lo studio della radiazione: infatti quando le temperature sono elevate, i valori di radiazione solare aumentano e raggiungere il benessere all'interno della zona termica considerata risulta più complesso.

In questo caso le curve non sono soltanto traslate, poiché ad un certo punto si incrociano, precisamente attorno al 30 di luglio. Infatti se nei primi giorni della settimana la curva rappresentante il modello con vetro triplo registra sempre valori minori rispetto all'altra eccetto nel periodo dal 29 al 31 luglio in cui assume valori maggiori.

Il massimo valore di radiazione solare registrata si ha il 27 luglio con 12,5 kWh per il modello con vetro singolo, e 11 kWh per quello con vetro triplo. Tuttavia fatta eccezione di un giorno, è consigliabile ed energeticamente più conveniente l'utilizzo di un vetro più prestazionale.

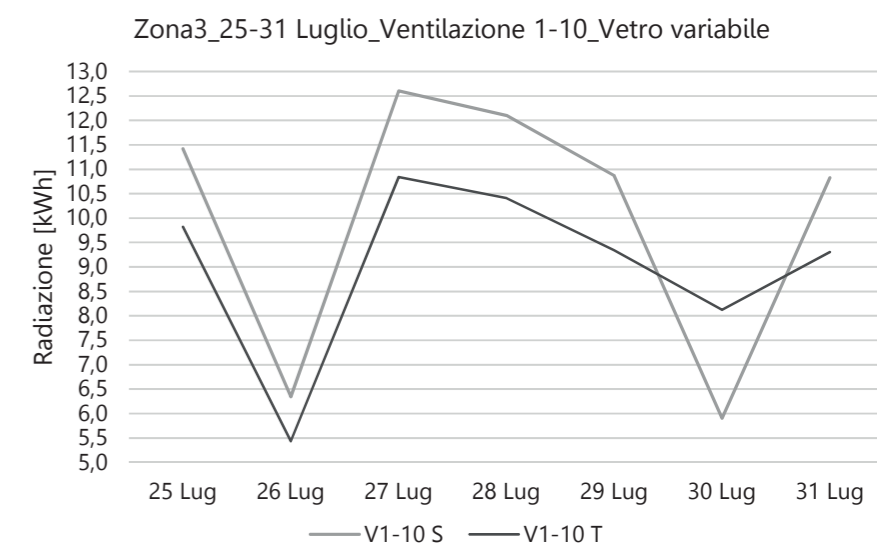


Figura 415\_Radiazione solare media giornaliera: settimana 25-31 luglio



Dopo aver analizzato le settimane con temperatura ambientale rispettivamente più fredda e più alta, si è deciso di studiare i valori orari del giorno più freddo e più caldo all'interno di queste due settimane scelte, per capire come le condizioni climatiche esterne e le caratteristiche del modello, possano influire sull'andamento della radiazione all'interno della zona 3 studiata.

### RADIAZIONE SOLARE ORARIA: 4 FEBBRAIO

Si osserva nel grafico l'andamento della radiazione oraria durante la giornata più fredda dell'anno. Fino alle ore 9.00 del mattino i valori registrati sono pressoché nulli e le due curve rappresentanti tipologie di vetro differente sono sovrapposte. Col passare della giornata i valori aumentano progressivamente arrivando a 22 kWh. Tra le 14.00 e le 15.00 le curve si discostano l'una dall'altra ed entrambe raggiungono un picco di radiazione: l'uso dei vetri singoli porta ad una radiazione di circa 33 kWh, mentre l'utilizzo di quelli tripli ad una di 28 kWh, e quindi inferiore rispetto al caso precedente. Alle ore 19.00 le curve discendono e i valori di radiazione solare registrata tornano ad essere pari a zero. L'utilizzo del vetro triplo in ogni caso risulta essere più idoneo perché abbassa il livello di radiazione all'interno della zona 3.

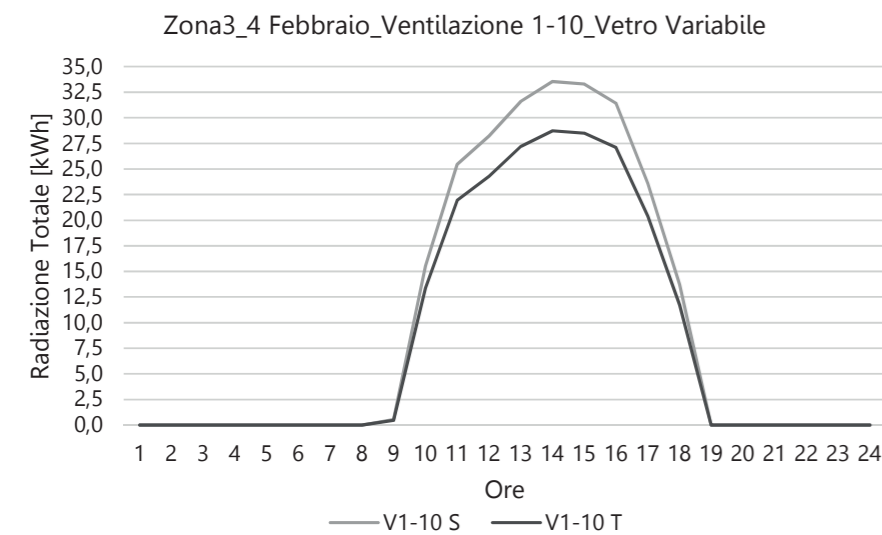


Figura 416\_Radiazione solare: giorno 4 febbraio

### RADIAZIONE SOLARE ORARIA: 29 LUGLIO

Analizziamo ora il giorno del 29 luglio, ossia il più caldo all'interno della settimana individuata. Nel grafico si osserva come fino alle ore 6.00 del mattino i valori di radiazione registrata siano prevedibilmente nulli, così come dalle 21.00 di sera in poi.

Durante l'arco della giornata invece la radiazione solare passante attraverso i vetri aumenta progressivamente e dalle 9.00 alle 18.00 si mantiene su valori non minori di 17,5 kWh per quanto riguarda il modello con vetro triplo, e di 21 kWh per quello col vetro singolo. Il picco di radiazione si ha intorno alle ore 10:30 e raggiunge i 25 kWh per il modello con vetrate singole poco prestazionali ed i 21 kWh per quello con i vetri tripli.

Si conclude quindi che il vetro triplo si comporta in modo migliore rispetto all'altro e quindi la tecnologia ottimale dovrà prevedere questa tipologia di elemento trasparente in termini di radiazione. Infatti con l'abbassamento della radiazione all'interno della zona si possono avere dei vantaggi in termini di comfort.

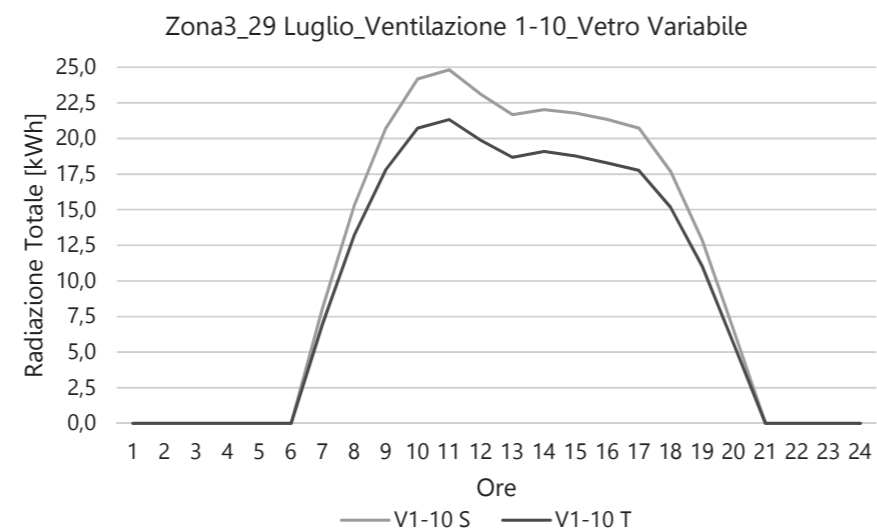


Figura 417\_Radiazione solare: giorno 29 luglio

### 9.3.2.4 TEMPERATURA DELL'ARIA

Si pongono ora a confronto le temperature dell'aria registrate all'interno delle varie zone tenendo conto però del risultato totale che interessa l'intero edificio, considerando tre tipologie di ventilazione differente: basso medio ed alto. Inoltre vengono considerate anche le due tipologie di vetro utilizzate nel modello, ossia quello singolo e quello triplo, per vedere come la diversa tecnologia utilizzata influisca sul valore della temperatura. Queste curve sono poste a confronto poi con la curva della temperatura dell'ambiente esterno, segnata in rosso nel grafico. I differenti livelli di ventilazione meccanica non influiscono in modo determinante sulla temperatura, ma generano comunque delle variazioni dei valori registrati. La curva riferita alla ventilazione con valore maggiore è quella che permette di abbassare maggiormente la temperatura media dell'edificio raggiungendo i 25°C. Tuttavia le curve rappresentanti gli altri valori di ventilazione non assumono dei valori molto diversi da quella migliore, quindi si può affermare che in termini di temperatura media mensile non ci sono grosse differenze.

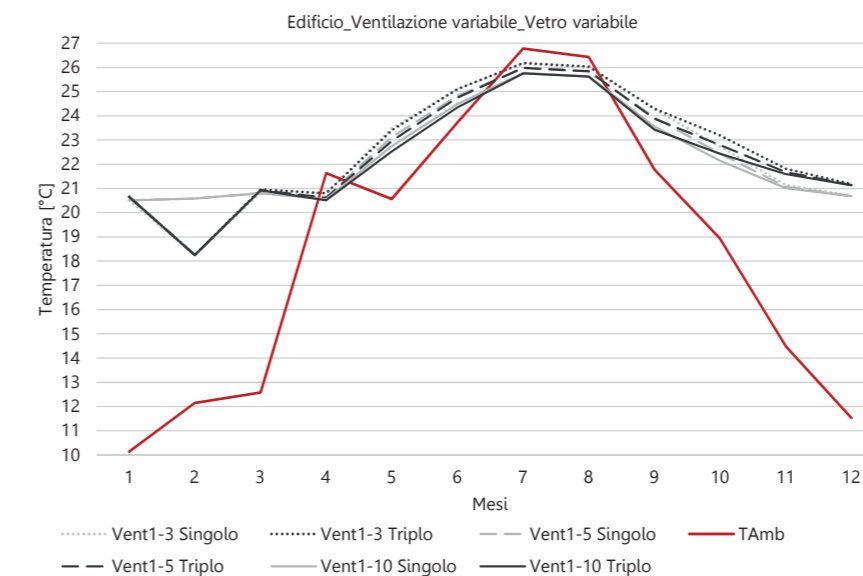


Figura 418\_Relazione tra temperatura media mensile e temperatura media ambientale

Si è ritenuto interessante confrontare i valori medi di temperatura interni all'edificio con i valori medi di radiazione solare. Ancora una volta si prendono in analisi le diverse tipologie di vetro.

È necessario tenere in considerazione il fatto che i dati riportati non sono precisi poiché rappresentano una media tra i valori delle tre zone: in realtà la zona 3 che influisce notevolmente, rispetto alle altre due, sull'andamento della temperatura. Infatti questa è caratterizzata dalla presenza di ampie vetrate, orientate ad Est, ad Ovest e a Sud e quindi maggiormente esposte alla radiazione solare. Le altre due zone invece, oltre a presentare una superficie vetrata solo in copertura, sono esposte sostanzialmente a Nord, perciò sono più protette dalla radiazione solare. Osservando il grafico si nota come la tecnologia con vetro triplo sia caratterizzata da un minore valore di radiazione rispetto a quella riferita al modello con vetri singoli. Per quanto riguarda le temperature invece non si riscontrano notevoli differenze tra un vetro e l'altro analizzando i valori medi: in seguito si analizzeranno le zone nello specifico.

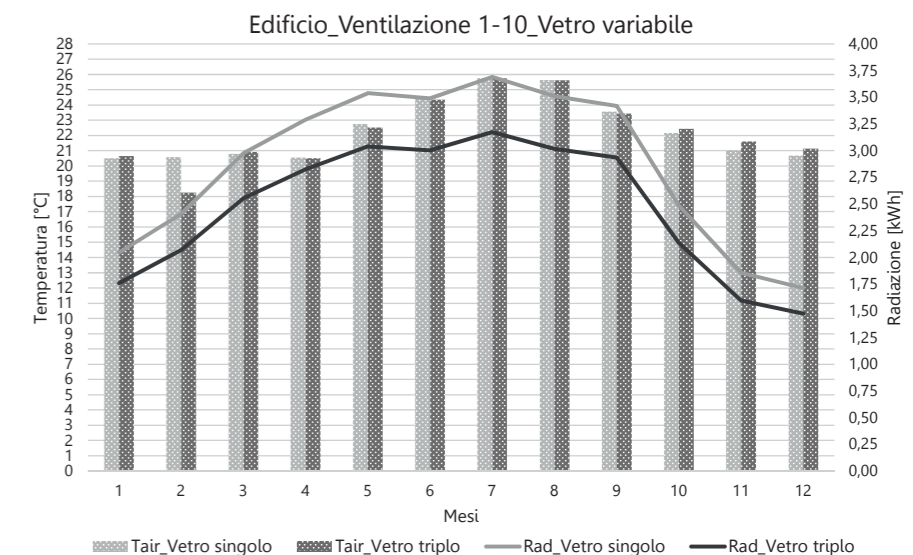


Figura 419\_Relazione tra temperatura media mensile e radiazione solare media mensile

Si pongono a confronto entrambe le tecnologie di elementi trasparenti utilizzati nel modello, analizzando però le temperature orarie durante i primi giorni di febbraio, poiché sono quelli più freddi individuati all'interno dall'anno solare. Si analizza in particolare la zona numero 3 che è quella soggetta a maggiori variazioni di clima interno, sia a causa della particolarità della zona in termini di esposizione, sia per gli apporti interni.

Il livello di ventilazione scelto per l'analisi del confronto è quello medio, pari a 5 vol/h. Si nota come le due curve siano praticamente sovrapposte, traslate verso l'alto rispetto a quella che indica la temperatura esterna. Infatti le temperature esterne sono sempre al di sotto dei 16°C durante il giorno e si abbassano la notte di qualche grado. Si osserva come le temperature si mantengono in un range che varia da 17 a 26°C e questo è dovuto al fatto che l'impianto di riscaldamento è stato impostato per attivarsi se la temperatura scende al di sotto dei 5°C, portandola in tal caso a 17°C per garantire il comfort interno all'ambiente analizzato. L'impianto di condizionamento invece fa sì che la temperatura non salga al di sopra dei 26°C. Il sistema globale quindi fa sì che le temperature varino in quell'intervallo.

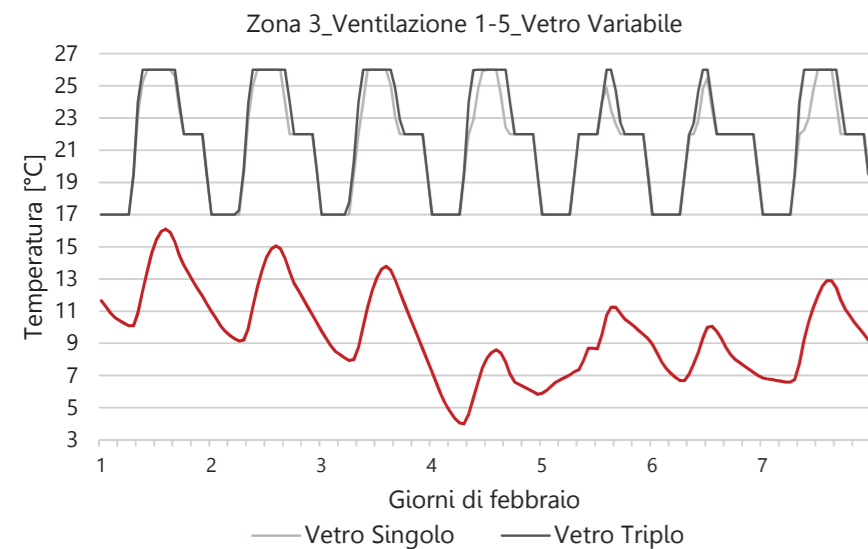


Figura 420\_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio

Si analizza anche in questo caso la zona 3, prendendo in considerazione un valore di ventilazione medio. I giorni analizzati sono quelli dell'ultima settimana di luglio che risulta essere la più calda individuata durante l'anno.

Si nota come la curva relativa alle temperature dell'ambiente esterno raggiunga valori abbastanza elevati soprattutto durante il giorno del 29 luglio, il più caldo, in cui si registra una temperatura di 33°C durante la giornata.

Le curve riferite all'edificio con vetro singolo e triplo invece sono ancora una volta sovrapposte, ma le temperature registrate rimangono in un range stabilito: si è impostato che l'impianto di raffrescamento non facesse aumentare, quando attivo, le temperature al di sopra dei 26°C per poter garantire un livello di benessere ideale tra gli utenti, motivo per il quale a questo livello si hanno dei tratti costanti delle curve.

Durante la notte quando non sono presenti persone all'interno del bar, le curve indicano che le temperature salgono anche in maniera preponderante, raggiungendo i 33°C tra il giorno 20 e 30 luglio.

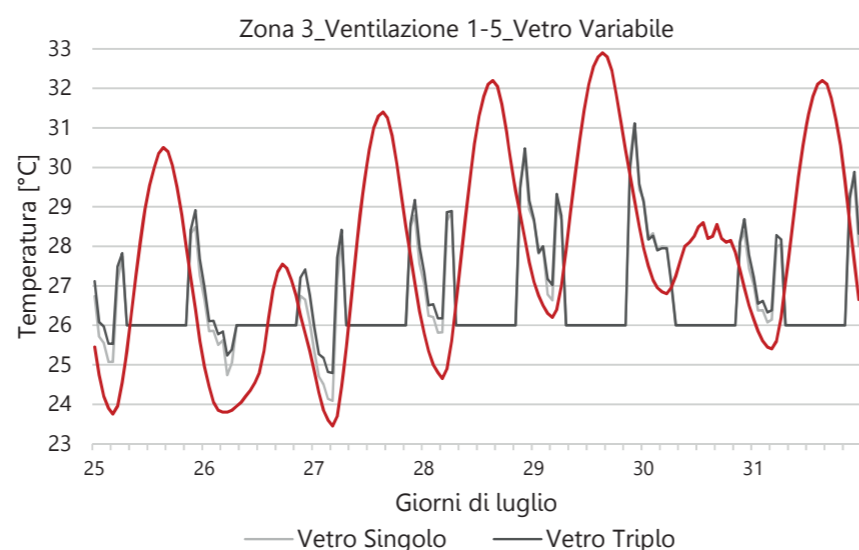


Figura 421\_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio

Si confrontano ora le temperature registrate nelle varie zone, considerando il valore di ventilazione maggiore, pari a 10 vol/h. L'ulteriore confronto si esegue tra le due tipologie di vetro analizzate: quello singolo e quello triplo. In questo modo è possibile avere una visione globale di quello che è il comportamento in ogni ambiente dell'edificio.

La zona 1 risulta essere quella entro la quale si registrano le temperature medie più basse durante il corso dell'anno e questo è dovuto al fatto che la zona è esposta a Nord-Est e non presenta superfici vetrate se non un lucernario in copertura.

La zona 2, quella ospitante i bagni, è quella in cui si registrano temperature medie, poiché è esposta a Nord-Ovest e anch'essa non ospita elementi vetrate al di fuori della vetrata posta in copertura.

La zona nella quale si registrano temperature più elevate è la 3, poiché oltre che essere esposta a Sud, presenta tre lati completamente vetrate ed un grande lucernario in copertura, elementi che ovviamente assorbono maggiormente il calore esterno e provocano un aumento delle temperature all'interno dell'ambiente.

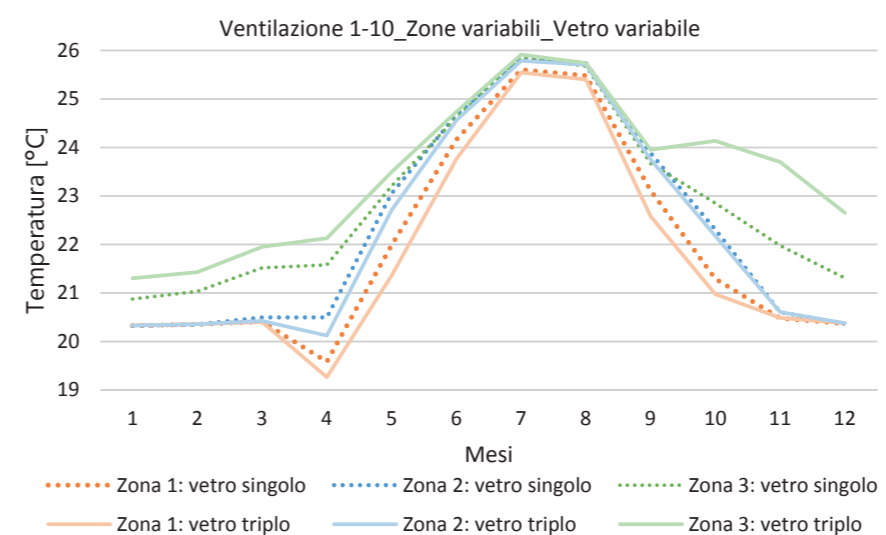


Figura 422\_Temperatura media mensile nelle tre zone

Avendo abbondantemente confrontato il tipo di tecnologia utilizzata, si sceglie ora di confrontare il livello di ventilazione utilizzato per le simulazioni effettuate. Ancora una volta si prende in considerazione solamente la zona della sala del bar, ossia la zona 3 e, al contrario di come fatto fino ad ora, si considera solamente una tipologia di vetro. Si prende in analisi solo l'elemento trasparente costituito da vetro triplo caratterizzato da un valore di trasmittanza molto basso e quindi con grosse capacità di isolamento termico.

Aumentando la ventilazione meccanica da 1 a 10 le temperature registrate all'interno dell'ambiente decrescono seppure di un paio di gradi. In particolare questo accade a partire dalla stagione primaverile sino ad arrivare a quella autunnale, mentre durante il resto dell'anno non si nota assolutamente un distacco tra una curva e l'altra. Tuttavia si ritiene che un livello di ventilazione elevato non può sempre essere utilizzato all'interno dell'edificio qualora sia prevista la presenza di persone all'interno. Nonostante quindi questo valore di ventilazione porti ad avere temperature interne migliori si dovrà valutare la scelta del tipo di ventilazione più idoneo.

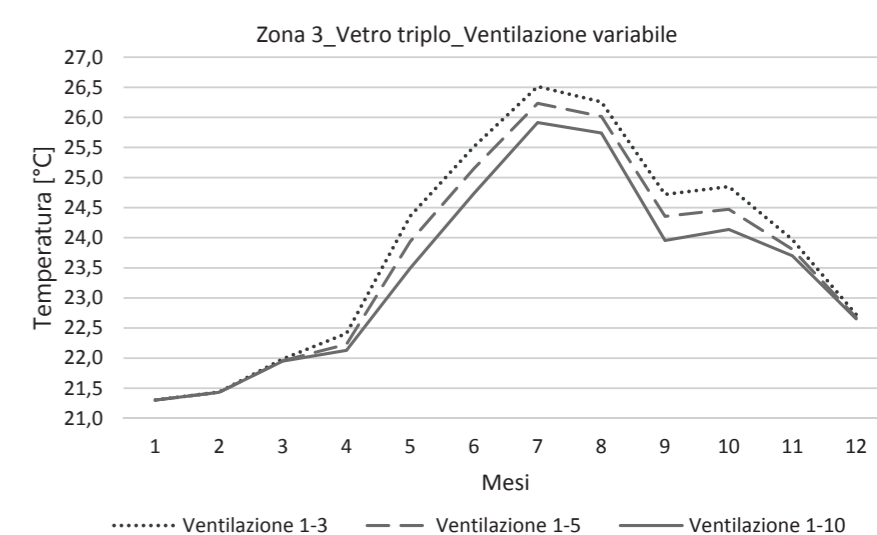


Figura 423\_Temperatura media mensile con ventilazione variabile



### TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA: 1-7 FEBBRAIO

Si considera la zona 3 con ventilazione massima nella settimana che va dal giorno 1 al 7 febbraio.

Si osserva una differenza tra la tecnologia con vetro singolo e quella con vetro triplo, in quanto il vetro triplo porta ad avere temperature maggiori rispetto a quello singolo: questo fatto è dovuto al fatto che essendo molto isolante per la sua conformazione una volta assorbito il calore riesce a mantenerlo nella zona, senza che fuoriesca dall'ambiente interno. Si genera così un surriscaldamento del locale che può essere controproducente per il raggiungimento del comfort termico se non viene controllato.

Nel caso di tecnologia a vetro triplo si ha una temperatura massima di 22 °C e minima di 21°C, nel caso dell'altra tecnologia invece si ha un massimo di temperatura di 21,7°C e un minimo giornaliero di 20,5 °C. In realtà non si ha un comportamento inaccettabile in nessuno dei due casi, quindi questo confronto non è influente per la scelta della strategia migliore da adottare relativamente al caso analizzato.

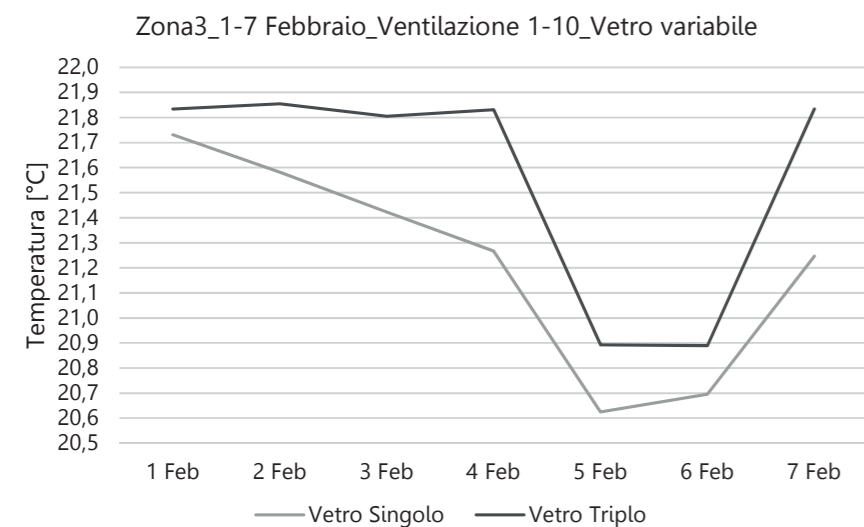


Figura 424\_Temperatura media giornaliera: settimana 1-7 febbraio

### TEMPERATURA MEDIA GIORNALIERA: 25-31 LUGLIO

Nel grafico sottostante sono riportate le curve di temperatura media giornaliera interna durante la settimana più calda di luglio riferite alla tecnologia con vetro singolo e quella con vetro triplo per poter confrontare le due situazioni.

Entrambe le curve nei primi tre giorni della settimana assumono valori di 26°C per poi scendere leggermente il giorno seguente. Si ha una crescita di temperatura a partire dal 26 luglio, mentre il 29 luglio, che è il giorno più caldo della settimana è caratterizzato da temperature che raggiungono i 27°C. In seguito si ha un calo della curva fino a 26,5°C nei giorni finali della settimana analizzata.

Le due tecnologie a vetri singoli e a vetri tripli con gas Krypton interposto, in questo caso risultano essere praticamente equivalenti e il leggero divario che si riscontra tra le due risulta ininfluente per decidere quale delle due tipologie di elementi trasparenti utilizzare all'interno del modello analizzato. Se quindi nel caso precedente c'era un lieve distacco tra le curve, anche esso non rilevante, in questa situazione il divario tende a zero.

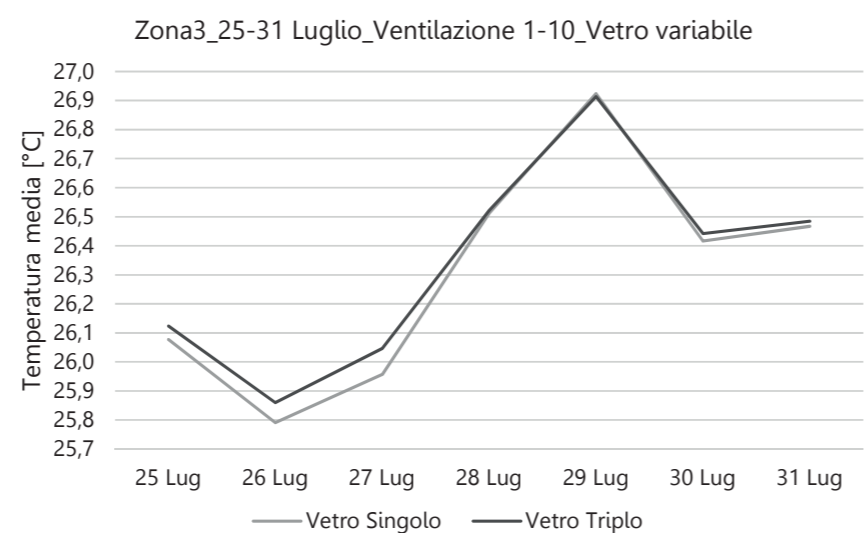


Figura 425\_Temperatura media giornaliera: settimana 25-31 luglio

Per avere una visione più precisa dell'andamento della temperatura all'interno della zona considerata, si è pensato di riportare l'andamento orario delle temperature durante il corso della giornata più fredda e poi durante quella più calda individuata. Nei grafici riportati assumono importanza fondamentale i due impianti attivati all'interno del modello: infatti se questi non fossero azionati si registrerebbero delle temperature all'interno della zona considerata non idonee per il raggiungimento del benessere degli utenti.

### TEMPERATURA ORARIA GIORNALIERA: 4 FEBBRAIO

L'impianto di riscaldamento è stato pensato per essere attivo solamente nei mesi invernali dalle ore 8.00 del mattino fino alle ore 23.00 della sera. In particolare si è impostato che la temperatura rimanga a 17°C quando l'impianto di riscaldamento è spento e che arrivi a 26°C quando è attivo durante la giornata. Per questo si hanno dei tratti costanti da mezzanotte fino alle 7 del mattino e in seguito dei tratti costanti a 26°C nel periodo di attivazione dell'impianto. Anche in questo caso la differenza tra le due curve non è così influente sulla scelta tecnologica del vetro da utilizzare.

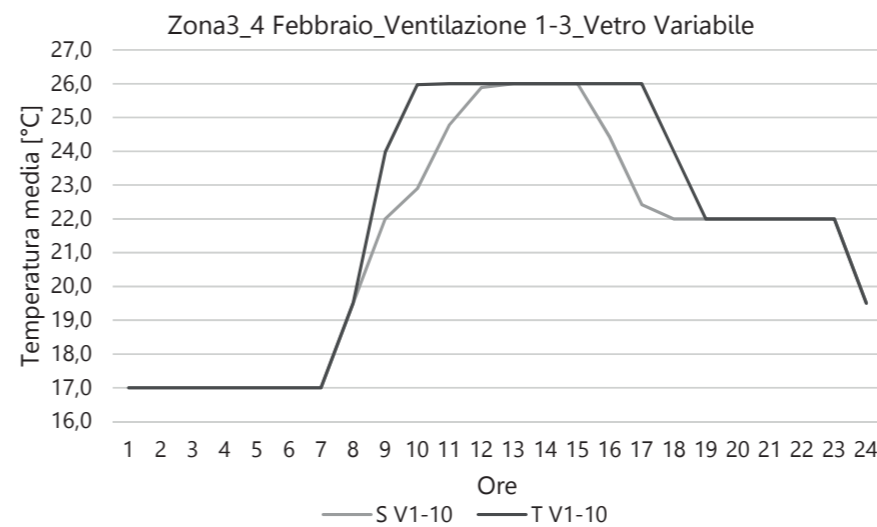


Figura 426\_Temperatura oraria: giorno 4 febbraio

### TEMPERATURA ORARIA GIORNALIERA: 29 LUGLIO

Si riporta in questo caso l'andamento della temperatura durante la giornata più calda dell'anno. Il sistema di raffrescamento è sempre attivo, durante tutto l'anno solare poiché all'esterno sono state registrate temperature piuttosto alte che compromettevano i valori della temperatura interna rendendo l'ambiente poco vivibile.

Si è impostato che il sistema di raffrescamento dell'ambiente sia attivo a partire dalle 6.00 del mattino fino alle 21.00 della sera, quando è presente la maggior parte delle persone all'interno del locale. Si osserva come dalle 8.00 fino alle 21.00 la temperatura sia mantenuta costantemente a 26°C per non surriscaldare l'ambiente interno: questo valore è stato impostato tramite un'equazione in modo tale che sia sempre garantito il benessere all'interno. Quando il sistema non è attivo le temperature si alzano ma non si riscontra un problema in quanto il locale non prevede più la presenza di molte persone all'interno: infatti si nota come attorno alle ore 22.00 le temperature raggiungano i 30°C.

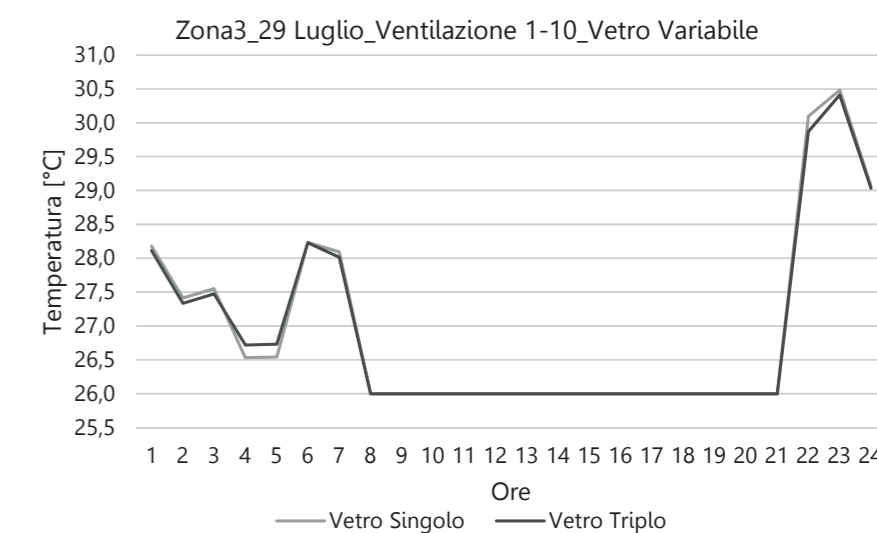


Figura 427\_Temperatura oraria: giorno 29 luglio

# 9.4

## COMFORT E CONSUMO ENERGETICO

### 9.4.1 IL CONCETTO DI COMFORT

Il comfort definisce la sensazione di benessere mentale e fisico di un individuo, intesa come condizione soggettiva di soddisfazione nei confronti degli stimoli fisici con cui egli interagisce.

Tuttavia il concetto di benessere varia in funzione dell'individuo e non è soggetta a una singola interpretazione: essa infatti è determinata dall'interazione che intercorre tra uomo e ambiente.

Essendo il comfort determinabile in base a valori statici non può essere definito valido in maniera assoluta: si deve dunque ricercare un livello di comfort tale per cui la maggior parte delle persone si trovi in una condizione di benessere.

I fattori legati alla definizione di comfort sono i seguenti:

- Il benessere termico e igrometrico;
- Il benessere respiratorio-olfattivo, legato al livello di qualità dell'aria respirata dall'utente;
- Il benessere visivo ed illuminotecnico, connesso alla qualità della luce all'interno dell'edificio considerato;
- Il benessere acustico, in relazione alla specifica attività che si svolge nel luogo considerato.

Nel caso di progetto ci si focalizzerà in particolare sul concetto di comfort termoigrometrico, che rappresenta solo un aspetto del comfort ambientale.

### 9.4.2 IL COMFORT TERMOIGROMETRICO

Il comfort termoigrometrico, detto anche thermal comfort, viene 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 termini di stimoli fisici di carattere termico ed idrometrico.

L'insoddisfazione dell'utente può essere dovuta a molteplici aspetti tra cui:

- Disagio per il caldo o per il freddo che il corpo umano prova;
- Raffreddamento di una particolare parte corporea dovuto per esempio ad una corrente d'aria non desiderata;
- Differenza verticale di temperatura eccessiva tra testa e caviglie;
- Pavimento troppo caldo o troppo freddo;
- Asimmetria della temperatura radiante troppo elevata;
- Energia metabolica ingente;
- Abbigliamento non adeguato alle condizioni ambientali.

È necessario quindi prestare attenzione a differenti parametri che in percentuali diverse influiscono molto sul livello di benessere ambientale percepito dagli utenti stessi.

La valutazione delle condizioni di benessere può essere analizzata eseguendo un bilancio energetico tra soggetto ed ambiente, in cui i parametri ambientali agiscono in modo diretto sugli scambi latenti e sensibili che si verificano con il corpo umano, provocando sensazioni di calore, di freschezza, di umidità o secchezza. In particolare il comfort termico può essere mantenuto solo se il calore prodotto dal metabolismo eguaglia il calore ceduto dal corpo.

Il thermal comfort risulta essere raggiunto qualora il soggetto si trova in armonia con la temperatura dell'ambiente, senza che si verificano però drastici interventi di autoregolazione della temperatura corporea.

Il meccanismo di termoregolazione del corpo umano tende a mantenere costante la temperatura interna del corpo: la condizione di benessere termico ideale corrisponde al minimo sforzo del meccanismo di termoregolazione.

La termoregolazione è associata a strategie sia di riscaldamento che di raffrescamento. Tra le strategie di riscaldamento troviamo la riduzione del flusso sanguigno (vasocostrizione), l'aumento della tensione muscolare e il tremore. Tra quelle di raffreddamento invece si collocano l'aumento del flusso sanguigno (vasodilatazione), la sudorazione (evaporazione) e la riduzione dell'attitudine all'attività fisica.

#### 9.4.2.1 BILANCIO ENERGETICO

Addentrando nello specifico sul tema relativo al bilancio energetico, esso può essere stimato tramite la seguente formula:

$$S = M - (W + R_{res} + C + R + E_{sk} + C_k)$$

Dove:

- S: è la variazione di energia interna nell'unità di tempo
- M: è il metabolismo energetico dell'individuo
- W: è la potenza meccanica scambiata tra il corpo e l'ambiente
- $E_{sk}$ : è la potenza termica dispersa per evaporazione della pelle
- $R_{res}$ : è la potenza termica dispersa nella respirazione (calore latente e calore sensibile)
- C: è la potenza termica scambiata per convezione
- R: è la potenza termica scambiata per irraggiamento
- $C_k$ : è la potenza termica scambiata per conduzione

Il bilancio termico del corpo umano può oscillare tra i seguenti casi:

- $S > 0$ , quando la temperatura del corpo tende ad aumentare
- $S < 0$ , quando la temperatura del corpo tende a diminuire
- $S = 0$ , quando si è in presenza di equilibrio termico e quindi di potenziale benessere. Si sottolinea però che questa condizione risulta essere necessaria ma non sufficiente in quanto il comfort è ottenuto soltanto qualora l'organismo raggiunge l'equilibrio senza sforzo.

#### 9.4.2.2 VARIABILI DI INFLUENZA DEL COMFORT

Prendendo in considerazione il corpo umano come un sistema termodinamico in regime stazionario, i fattori metabolici ed ambientali a 20°C e quindi gli scambi termici variano in funzione dell'ambiente considerato, del vestiario, dell'attività svolta eccetera. In particolare le variabili che influenzano il comfort possono essere divise in due categorie distinte: la prima è relativa a quelle controllabili esclusivamente dal soggetto, la seconda è invece riferita a quelle controllabili dal progettista.

#### VARIABILI GOVERNATE DAL SOGGETTO

Il dispendio energetico quotidiano è influenzato principalmente da tre fattori: il metabolismo basale, la termogenesi indotta dalla dieta e infine l'attività fisica. Il metabolismo basale è definito come il dispendio energetico di un organismo a riposo. Comprende l'energia necessaria per le funzioni metaboliche vitali come la respirazione, la circolazione sanguigna, la digestione e l'attività del sistema nervoso. Esso infatti rappresenta circa il 60-75% del dispendio energetico totale nella giornata.

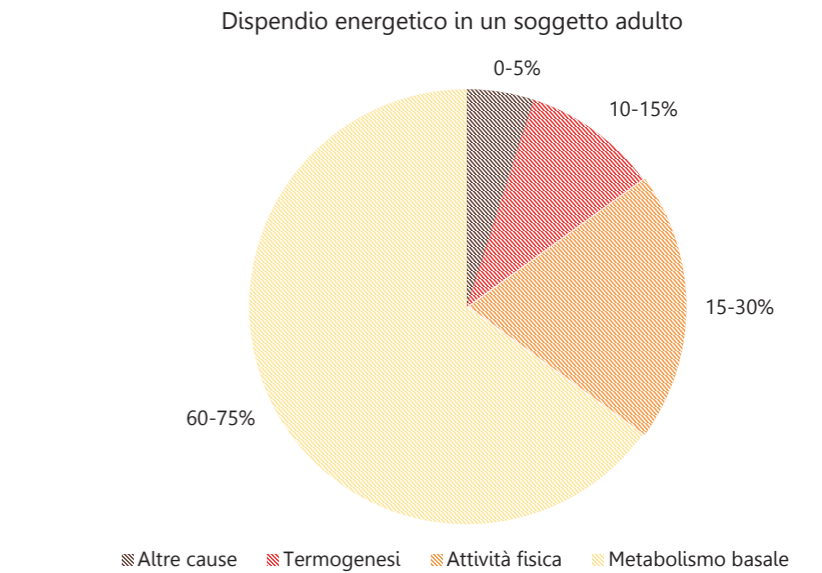


Figura 428\_Dispendio energetico in un soggetto adulto



Si analizzano ora in modo dettagliato i due parametri fondamentali governabili direttamente dall'individuo, ossia

- L'attività fisica svolta (M), misurata in "met"
- La resistenza termica del vestiario indossato (clo)

**ATTIVITÀ FISICA SVOLTA:** questa variabile rappresenta il tasso metabolico, parametro che dipende dal tipo di attività fisica che viene svolta dall'individuo considerato. Per un normotipo adulto esso corrisponde a 100 W per condizioni di riposo, arriva a 200 W per condizioni di lavoro leggero e supera anche i 500 W per attività sportive o di intenso livello di sforzo. Il metabolismo energetico viene misurato con riferimento alla superficie del corpo umano (area effettiva pari a 1,8 m<sup>2</sup>), in "met", dove 1 met equivale a 52,8 W/m<sup>2</sup>, ed è il flusso metabolico specifico da attribuirsi ad un individuo sveglio a riposo. Lo smaltimento del flusso metabolico avviene attraverso due meccanismi principali: quello sensibile, per differenza di temperatura e quello latente, dovuto invece a un processo di evaporazione. In seguito si riporta una tabella con alcuni valori orientativi del flusso metabolico espressi in met ed in W/m<sup>2</sup>.

TIPICI VALORI METABOLICI PER VARIE ATTIVITA'		
Tipo di attività considerata	Valore metabolico [W/m <sup>2</sup> K]	Valore metabolico [met]
Sonno	40,6	0,7
Posizione sdraiata	46,4	0,8
Posizione seduta, rilassata	58,0	1,0
Attività sedentaria (ufficio, casa, scuola, laboratorio)	69,6	1,2
Attività leggera in piedi (compere, laboratorio, industria leggera)	92,8	1,6
Attività media in piedi (commesso, lavori domestici, lavori a macchina)	116,0	2,0
Camminata a 3 km/h	139,2	2,4
Camminata a 5 km/h	197,2	3,4
Attività pesante (ginnastica)	174,0	3,0
Attività pesante (ballo)	290,0	5,0

Figura 429\_Valori metabolici per varie attività

**RESISTENZA TERMICA DEL VESTIARIO INDOSSATO:** questa variabile influenza in modo non indifferente il meccanismo di cessione dell'energia del corpo umano sottoforma di calore sensibile. Risulta così fondamentale valutare l'influenza del vestiario, la cui capacità isolante viene normalmente espressa con l'unità di misura "clo". In particolare 1 clo equivale a 0,155 m<sup>2</sup>K/W, ed esprime la resistenza termica di un abito europeo di mezza stagione.

La scala dei "clo" è strutturata in modo tale che ad una persona nuda corrisponda il valore di 0,0 mentre, un abbigliamento maschile da ufficio è associato ad una resistenza termica pari ad 1 clo. Il valore totale della resistenza termica dell'abbigliamento può essere calcolato se si conoscono le tipologie di capi di vestiario indossati dalla persona in oggetto con i corrispondenti valori di resistenza, facendo una semplice addizione di questi valori. Il valore di resistenza termica dell'abbigliamento secondo questo calcolo risulta essere sufficientemente preciso. Per un calcolo ancor più dettagliato va precisato che andrebbero inclusi anche gli arredi che riducono la dispersione di energia dal corpo. In seguito si riporta una tabella con i tipici valori di clothing.

TIPICI VALORI DI CLOTHING		
Descrizione degli indumenti	Resistenza termica [m <sup>2</sup> K/W]	Resistenza termica [clo]
Biancheria	0,009	0,060
Bluse	0,005	0,034
Pantaloni	0,006	0,039
Tute	0,012	0,077
Maglioni	0,008	0,050
Giacche	0,070	0,450
Abbigliamento per esterno	0,014	0,090
Gonne	0,004	0,028
Abiti	0,007	0,045
Vestiti da notte	0,009	0,060
Scarpe	0,001	0,004
Arredo	0,003	0,020

Figura 430\_Valori di resistenza al vestiario

## VARIABILI GOVERNATE DAL PROGETTISTA

Dopo aver introdotto tutte le variabili che possono essere modificate dal soggetto che si sta considerando, si introducono quelle variabili definite come soggettive.

Esse, così come le altre, influenzano il comfort, ma in questo caso sono governate soltanto dal progettista.

Si hanno dunque le seguenti variabili oggettive:

- La temperatura a bulbo secco dell'aria [°C];
- L'umidità dell'aria [%];
- La velocità media relativa dell'aria [m/s];
- La temperatura media radiante [°C].

La temperatura di bulbo secco e la temperatura di bulbo umido possono essere misurate tramite uno psicometro, rispettivamente in corrispondenza del bulbo secco ed umido dello stesso. Si ottiene così il valore di temperatura media dell'aria nella zona in cui si trova il soggetto.

L'umidità dell'aria viene considerata prendendo in considerazione la pressione parziale del vapore nell'ambiente oppure l'umidità relativa.

La velocità dell'aria, ossia la velocità dell'aria relativa al corpo, incide sul termoscambio riducendo la resistenza liminare ed ha una influenza sul comfort in funzione della temperatura. In particolare è necessario valutare il suo valore durante periodi dell'anno differenti: in inverno, infatti, è necessario che la velocità dell'aria sia mantenuta bassa in quanto aumentano le cessioni termiche convettive. Tuttavia è necessario garantire i minimi ricambi d'aria. Durante il periodo estivo, la situazione varia, dal momento in cui l'aria in movimento facilita l'evaporazione e l'igroscambio, motivo per il quale la velocità dell'aria può assumere valori maggiori.

L'ultimo parametro da prendere in considerazione è la temperatura media radiante che rappresenta la temperatura di equilibrio radiativo del corpo considerato rispetto all'ambiente di riferimento. Essa è definita come la temperatura uniforme delle pareti nere di un ambiente ipotetico con le quali la persona, considerata assimilata ad un corpo nero, scambierebbe la stessa quantità di calore radiante che scambia con l'ambiente reale considerato.

## 9.4.3 APPARATO NORMATIVO

Si illustrano le due normative principali italiane per lo studio del comfort. Queste in particolare sono la UNI EN ISO 7730 e la UNI EN 15251. Esse sono infatti il punto di riferimento per lo studio del benessere termico.

### 9.4.3.1 UNI EN ISO 7730

La norma UNI EN ISO 7730 "Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale" esamina dei metodi per prevedere la sensazione termica globale ed il livello di disagio delle persone esposte in ambienti termici moderati.

In particolare essa valuta l'ergonomia degli ambienti termici, determina analiticamente il benessere termico per poi interpretarlo mediante il calcolo di due indici: il PMV (Predicted Mean Vote) ed il PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied).

Inoltre fornisce le condizioni ambientali considerate accettabili per il comfort termico globale, così come quelle che rappresentano il disagio locale.

### INDICI DI BENESSERE: PMV E PPD

Grazie ad una valutazione statistica si è giunti a definire due grandezze per la valutazione del benessere.

Queste grandezze sono infatti fondamentali per la definizione del comfort termico raggiunto all'interno dell'edificio considerato, perciò è di fondamentale importanza capire come possono essere calcolati nel modo corretto.

L'indice PMV è una funzione matematica che consente di correlare, in un'unica relazione, le variabili fisiche oggettive e soggettive spiegate in precedenza, ossia la temperatura a bulbo secco T<sub>a</sub>, l'umidità dell'aria RH, la velocità dell'aria V, la temperatura media radiante T<sub>mr</sub>, l'attività metabolica (M) ed infine la resistenza termica del vestiario (clo).

Sostanzialmente il PMV si può definire quindi funzione di tutti i parametri citati, così come rappresentato nell'espressione riportata in seguito.

$$PMV = f(T_a, RH, V, T_{mr}, M, clo)$$

Il PMV è un indice della sensazione di benessere e fa riferimento ad una scala arbitraria di 7 valori, ai quali corrispondono altrettante particolari sensazioni. In seguito si riportano prima di tutto le sensazioni associate ad ogni valore numerico per via descrittiva:

- +3 Molto caldo
- +2 Caldo
- +1 Leggermente caldo
- 0 Neutro
- 1 Leggermente freddo
- 2 Freddo
- 3 Molto freddo

Nel grafico seguente si illustra graficamente la scala di valori appena descritta, per poter avere una visione immediata di quelle che sono le sensazioni termiche espresse dalla scala.

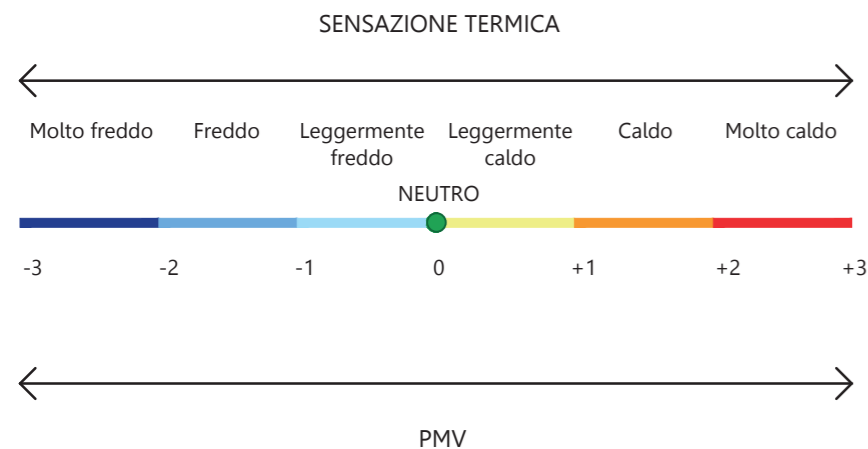


Figura 431\_PMV: scala di valori

L'indice PPD è basato su considerazioni di carattere statistico, che sono effettuate a fronte di prove sperimentali. In particolare il PPD può derivarsi dall'indice PMV, poiché è ad esso relazionato mediante la seguente formula:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(0.0335 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)}$$

Correlando gli indici PPD e PMV si ottiene una curva il cui andamento esprime la percentuale di insoddisfatti in funzione del voto medio previsto (PMV). Si può notare che a fronte di un voto medio previsto PMV=0 si ottiene una percentuale media di insoddisfatti pari al 5%. L'indice PPD costituisce il criterio per determinare i limiti di accettabilità delle grandezze microclimatiche affinché siano garantite le condizioni di benessere con una percentuale massima di insoddisfatti pari al 10%, ossia con un PMV variabile tra -0,5 e +0,5. Gli indici PMV e PPD forniscono una valutazione globale del comfort in funzione dei valori medi delle variabili ambientali: di conseguenza le condizioni -0,5 < PMV < +0,5 e 5% < PPD < 10% rappresentano le condizioni necessarie ma non sufficienti per il raggiungimento del benessere, alle quali si devono aggiungere le condizioni legate all'uniformità delle variabili ambientali e al comfort locale.

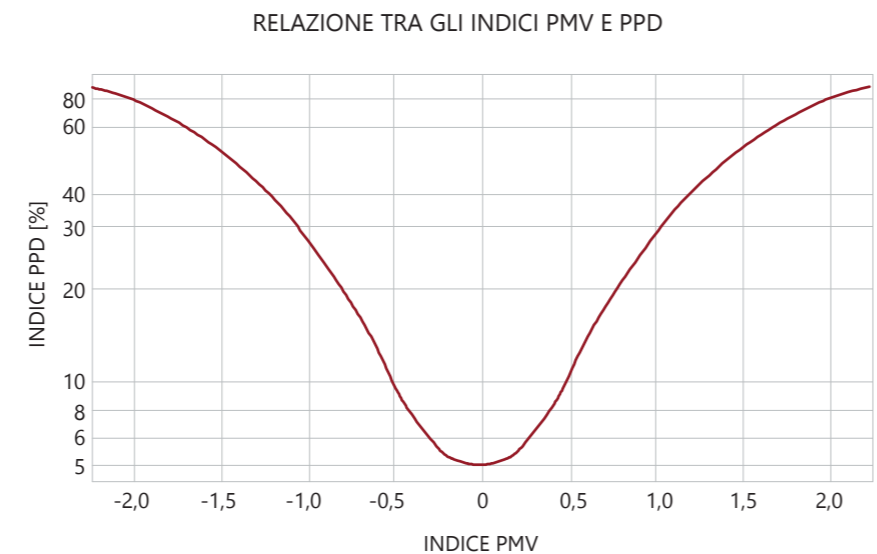


Figura 432\_Relazione tra gli indici PMV e PPD

La UNI EN ISO 7730 classifica gli ambienti secondo tre differenti categorie:

- Categoria A: 94% di soddisfatti
- Categoria B: 90% di soddisfatti
- Categoria C: 85% di soddisfatti

Per ognuna delle categorie devono essere verificati i valori di rischio di corrente d'aria (DR) e i valori di asimmetria radiante, pavimento caldo o freddo e differenza di temperatura (PD).

Fino ad ora si è quindi ragionato sul raggiungimento del comfort statico, così come definito dalla norma in questione, la cui base teorica è costituita dal modello di Fanger, che rappresenta uno dei primi studi intrapresi per descrivere quantitativamente i range di condizioni igrotermiche in cui le persone avvertono sensazioni di comfort nell'ambiente interno. Il modello di studio della norma UNI 7730 considera le persone all'interno dell'ambiente come soggetti passivi di scambio termico e prescrive temperature ottimali costanti: il minimo è 20°C in inverno e il massimo è 26°C in estate.

Il modello di Fanger quindi può condurre i progettisti a definire una banda entro cui le temperature sono considerate accettabili ed esse devono essere verificate indipendentemente dalle condizioni climatiche esterne. Le temperature statiche sfavoriscono le tecnologie passive, efficaci nel regolare i cambiamenti delle condizioni esterne, ma non sono in grado di disaccoppiarle da quelle dell'ambiente interno.

### 9.4.3.2 UNI EN 15251

La norma 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" presenta una variazione rispetto al modello statico. È infatti stato introdotto un nuovo metodo di calcolo del benessere termo-igrometrico chiamato modello adattivo: questo prende in considerazione il fatto che la storia termica di ogni persona può modificare le aspettative e le preferenze degli occupanti. Questo modello propone quindi una correlazione tra la temperatura di comfort per gli occupanti dell'edificio e la temperatura dell'aria esterna.

Alla base di questo modello vi è il processo per cui il corpo umano si adatta al clima stagionale locale: gli occupanti considerano temperature interne confortevoli differenti a seconda del periodo e del luogo. Il modello adattivo si basa su rapporti misurati tra impressione soggettiva di comfort riferita a una popolazione statistica di utenti e la temperatura interna. Anche in questo caso gli ambienti vengono classificati in tre differenti categorie secondo la percentuale di utenti soddisfatti.

- Categoria A: 94% di soddisfatti
- Categoria B: 90% di soddisfatti
- Categoria A: 85% di soddisfatti

Tali categorie possono essere ricavate correlando la temperatura operante (T<sub>op</sub>) con quella media radiante (T<sub>mr</sub>). Quest'ultima tiene conto della storia climatica pregressa ed è calcolata giorno per giorno, secondo una formula semplificata dalla stessa normativa.

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha)(\theta_{ed-1} + \alpha \theta_{ed-2} + \alpha^2 \theta_{ed-3} \dots)$$

Questa equazione si semplifica in:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha)\theta_{ed-1} + \alpha \theta_{rm-1}$$

Dove:

- $\Theta_{rm}$ : temperatura media radiante odierna
- $\Theta_{rm-1}$ : temperatura media radiante del giorno precedente
- $\Theta_{ed-1}$ : temperatura media esterna del giorno precedente
- $\Theta_{ed-2}$ : temperatura media esterna di due giorni prima
- $\alpha$ : costante compresa tra 0 ed 1. È posta pari a 0,8

La seguente equazione approssimativa può essere utilizzata quando i valori registrati della temperatura media esterna giornaliera non risultano essere disponibili.

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha)(\theta_{ed-1} + 0,8 \theta_{ed-2} + 0,6 \theta_{ed-3} + 0,5 \theta_{ed-4} + 0,3 \theta_{ed-6} + 0,2 \theta_{ed-7})/3,8$$

Definito questo parametro di temperatura media radiante, sarà possibile calcolare il limite superiore (valido per temperature maggiori di 10°C) e quello inferiore (valido per temperature maggiori di 15°C) per tutte le classi di comfort.



Queste classi di comfort sono rappresentative delle diverse categorie di comfort introdotte nella norma UNI EN 15251 utilizzate per il periodo estivo.

Le categorie di riferimento sono tre e vengono riportate in seguito.

Ognuna delle categorie sopra menzionate è caratterizzata da due equazioni. La prima equazione è relativa al limite superiore da rispettare, mentre la seconda si riferisce al limite inferiore entro il quale la temperatura operante interna dovrebbe collocarsi.

Queste equazioni non sono altro che delle rette che prendono in considerazione dei dati numerici, stabiliti dalla normativa stessa e sono posti in relazione alla temperatura media radiante.

CATEGORIA I

Limite superiore:  $\Theta_{i,max}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 2$

Limite inferiore:  $\Theta_{i,min}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 2$

CATEGORIA II

Limite superiore:  $\Theta_{i,max}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 3$

Limite inferiore:  $\Theta_{i,min}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 3$

CATEGORIA III

Limite superiore:  $\Theta_{i,max}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 + 4$

Limite inferiore:  $\Theta_{i,min}=0,33 \Theta_{rm} + 18,8 - 4$

Dove:

- $\Theta_i$ : è il valore della temperatura operante interna raggiunta dall'edificio studiato.

Al di sopra dei 10°C e al di sotto dei 15°C si considerano quindi dei limiti di benessere di tipo statico, mentre per temperature al di sopra dei 15°C si considera il comfort adattivo.

## 9.4.4 CONCLUSIONE

In questo capitolo si è parlato in modo ampio del concetto di benessere sia nel senso più generale del termine, per poi focalizzarsi invece sul concetto di comfort termico, che in realtà rappresenta soltanto una parte del concetto di comfort più ampio.

Il benessere termico è un elemento fondamentale per la qualità di vita dell'edificio, dunque si intende analizzarlo in modo dettagliato, fino ad ottenere una adeguata condizione di comfort all'interno dell'edificio. Si procederà dunque per step fino ad ottimizzare l'edificio stesso oggetto di analisi.

Per le simulazioni si analizzeranno entrambi i metodi spiegati in precedenza, ossia il modello statico e quello adattivo. Si potranno poi porre a confronto i dati ottenuti con i due metodi per ricavarne le percentuali di comfort e discomfort caratteristiche dell'edificio.

## 9.4.5 I CONSUMI ENERGETICI

Lo studio del comfort interno risulta essere strettamente connesso ad un'altra tematica fondamentale per l'ottimizzazione energetica dell'edificio di progetto che si intende ad analizzare. Infatti, i consumi energetici sono dovuti sostanzialmente al volere garantire all'interno degli ambienti delle temperature adeguate per una qualità della vita migliore. La verifica prestazionale di un edificio attraverso simulazioni energetiche è quindi una fase fondamentale per il processo di progettazione.

Avere il controllo della prestazione energetica del progetto nella sua totalità, permette infatti di ottimizzare le scelte progettuali, evitando di incorrere in alcuni rischi come quelli riferiti al discomfort o ad elevati consumi energetici che potrebbero verificarsi durante il ciclo di vita dell'edificio.

In particolare, per ottenere delle condizioni di benessere soddisfacenti all'interno dell'edificio, si dovranno utilizzare differenti espedienti, alcuni dei quali provocheranno dei consumi più o meno elevati. Probabilmente sarà richiesta l'attivazione del sistema impiantistico di riscaldamento durante i mesi più caldi e di raffrescamento durante i mesi più freddi dell'anno. Questo comporterà la crescita del fabbisogno richiesto all'edificio per poter garantire determinate temperature all'interno dell'ambiente considerato.

In particolare il fabbisogno energetico è dato da due contributi:

- Calore latente: è la quantità di energia scambiata sotto forma di calore durante lo svolgimento di una transizione di fase.
- Calore sensibile: è la quantità di calore che viene scambiata tra due corpi producendo una diminuzione della differenza di temperatura tra i corpi stessi. Tale calore continua ad essere scambiato finché la differenza di temperatura tra i due corpi è nulla, cioè finché non viene raggiunto l'equilibrio termico.

Parlando di calore sensibile è necessario dividerlo in due tipologie di calore sensibile:

- Calore sensibile positivo (QSens+): è la quota parte di calore sensibile relativa alla stagione estiva. Di conseguenza essa è associata all'attivazione dell'impianto di raffrescamento.
- Calore sensibile negativo (QSens-): è la quota parte di calore sensibile relativa alla stagione invernale. Di conseguenza essa è associata all'attivazione dell'impianto di riscaldamento.

I risultati delle simulazioni che si riporteranno in seguito consentiranno di verificare le prestazioni dell'edificio con le condizioni al contorno migliori trovate.

Esaminati i dati si proseguirà a valutare se sia opportuno o meno modificare alcune condizioni iniziali assegnate al modello simulato per poter ottenere un edificio che sia il più performante possibile, ma soprattutto per diminuire i consumi energetici nel caso in cui risultassero essere troppo elevati.

Si analizzerà in dettaglio il consumo relativo alla zona 3 in quanto risulta essere la più caratteristica dell'edificio considerato, sia dal punto di vista della destinazione d'uso, sia per quanto riguarda l'esposizione e la conformazione della zona. Infatti si stima che le altre due zone abbiano dei consumi trascurabili e non significativi per il calcolo complessivo del consumo. In una fase finale si stimerà in modo approssimativo il contributo energetico degli altri edifici facenti parte del progetto, tenendo conto anche della parte di energia fornita dall'impianto fotovoltaico installato. È importante sottolineare che i dati estrapolati dalle simulazioni forniranno valori di fabbisogno energetico richiesto espressi in kWh. Dividendo per la superficie dell'edificio considerato si potranno ottenere i kWh per unità di superficie richiesti per garantire il comfort dell'edificio.

# 9.5

## OTTIMIZZAZIONE 1

Dopo aver studiato l'edificio con le simulazioni del capitolo precedente si sono potute trarre delle conclusioni in merito agli aspetti positivi e negativi in termini di temperatura, umidità relativa e radiazione diretta. Si è potuto fare un quadro generale per definire gli aspetti tecnologici assegnati al modello tridimensionale creato, definendo così sia gli elementi opachi che quelli trasparenti ottimali per l'edificio studiato.

In particolare dopo aver confrontato le due tipologie di vetro si è scelto di procedere con le simulazioni relative al modello in cui gli elementi trasparenti sono costituiti da vetri tripli con gas Krypton interposto, in quanto sono risultati maggiormente prestazionali.

Per quanto riguarda la tecnologia degli elementi opachi si è scelto di procedere con quella in Cross-Lam che era già stata preferita a quella in calcestruzzo per le diverse motivazioni illustrate precedentemente, tra cui sicuramente quella relativa alle scelte architettoniche del progetto.

Oltre alle scelte legate al tipo di tecnologia da utilizzare si sono osservati i parametri di ventilazione meccanica impostati e i tipi di impianto di riscaldamento e raffrescamento attivabili: sono stati scelti con maggiore attenzione gli intervalli orari in cui azionare gli impianti sia durante le singole giornate che durante l'anno.

Per quanto riguarda le condizioni iniziali inserite all'interno del modello si è ritenuto opportuno non riportare nuovamente i dati che non sono stati modificati, mentre si elencano in modo approfondito le modifiche inserite all'interno del modello.

### 9.5.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA VENTILAZIONE

#### 9.5.1.1 PREMESSA

In questo capitolo si è scelto di non riportare i valori medi mensili dell'edificio nel suo complesso, ma solo i dati medi relativi a ciascuna zona, poiché risultano essere più vicini a quelli reali. Inoltre come detto anche precedentemente, la zona caratteristica da analizzare nel nostro caso è la zona 3, in quanto è l'unica composta da grandi vetrate esposte a Sud.

#### 9.5.1.2 CONDIZIONI INIZIALI

Si riportano soltanto le modifiche apportate alle condizioni iniziali, senza riportare i parametri che sono rimasti invariati.

#### PARAMETRI GENERALI

- **Ventilazione:** l'impianto di ventilazione meccanica è stato pensato come una combinazione di tre tipologie di ventilazione, variabili durante tutta la giornata. I valori di ventilazione scelta sono 1, 5 e 10 vol/h, attivi, logicamente, in intervalli di tempo differenti nell'arco della giornata. La ventilazione pari a 1 vol/h è attiva dalle ore 10.00 alle 20.00 poiché in questa fascia oraria sono presenti persone all'interno del locale, quella pari a 5 vol/h è invece attiva in due intervalli: quello dalle 6.00 alle 10.00 e quello dalle 20.00 alle 24.00, poiché l'affollamento è sicuramente ridotto rispetto alla situazione precedente. La ventilazione maggiore di 10 vol/h invece è attiva dalle 00.00 alle 6.00 del mattino. Nelle ore notturne si è scelto quindi di aumentare la ventilazione poiché non sono presenti persone all'interno della zona termica.
- **Sistema di riscaldamento:** il valore di temperatura dal quale si attiva il riscaldamento è il medesimo del precedente: si è variato solo l'orario di accensione che va dalle 6.00 alle 23.00.
- **Sistema di raffrescamento:** anche in questo caso l'impianto è attivo tutto l'anno ma durante l'arco della giornata risulta acceso in tutte le ore in cui si prevede la presenza di persone all'interno della zona, o quando le temperature esterne risultano essere troppo elevate. L'orario di attivazione del sistema è dalle 6.00 alle 22.00 della sera.

#### 9.5.1.4 UMIDITÀ RELATIVA

Nel grafico sottostante si riportano le curve relative all'umidità relativa media mensile che si registra all'interno di ogni singola zona. Queste curve si pongono poi a confronto con quella che descrive l'andamento dell'umidità nell'ambiente esterno.

La zona più umida risulta essere la zona 2, ospitante i servizi igienici e gli spogliatoi, messi a disposizione per i bagnanti. Nel mese di ottobre il valore medio registrato è il massimo ed è pari al 55%, mentre il valore minore è pari al 42% nel mese di febbraio. Le altre due zone sono caratterizzate invece da tassi di umidità minori: nei mesi invernali soprattutto si hanno dei valori di umidità inferiori al 37%, per poi raggiungere i valori più alti nei mesi di giugno, luglio e agosto.

Tuttavia è possibile constatare che il livello di umidità relativa interno alle zone è ottimale in tutti e tre i casi.

La curva relativa all'umidità relativa esterna invece assume valori generalmente più elevati che variano dal 50% di umidità fino ad un massimo del 71%.

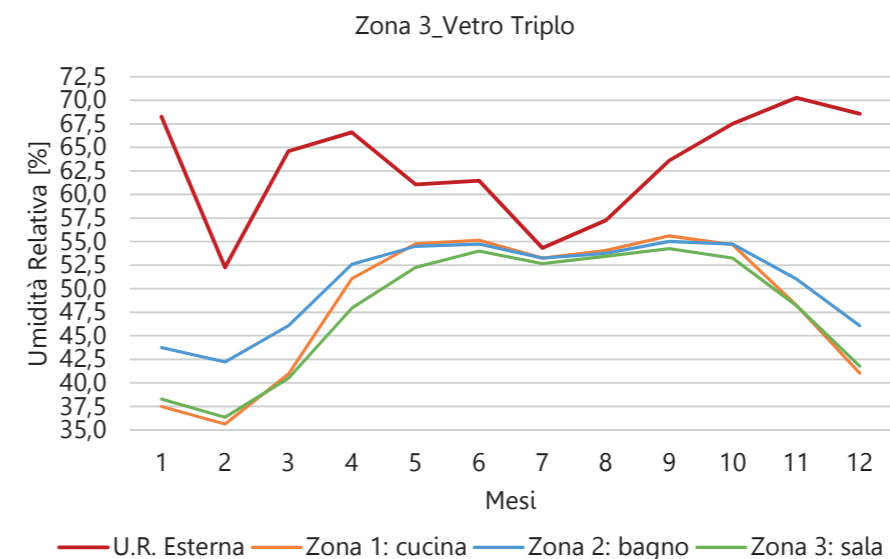


Figura 433\_Umidità relativa media mensile nelle tre zone

#### 9.5.1.3 RADIAZIONE SOLARE PASSANTE PER I VETRI

Si è riportato in un grafico a doppio asse il valore medio orario della radiazione solare passante attraverso le superfici trasparenti, confrontato con la temperatura registrata nell'ambiente esterno.

Prevedibilmente si ha un aumento di radiazione solare in corrispondenza dei mesi estivi in quanto le pareti vetrate assorbono una quantità di calore di gran lunga maggiore rispetto a quella che si ha nei mesi invernali. Nei mesi di luglio e agosto i valori di radiazione registrati sono pari a 35 kWh, mentre nel mese di febbraio o dicembre si raggiungono livelli di radiazione medi pari a 15 kWh.

Facendo un confronto con le temperature dell'ambiente esterno si vede la relazione che intercorre tra essa e la radiazione solare. A valori elevati di temperatura corrispondono alti livelli di radiazione solare. Dal grafico emerge però che anche durante i periodi invernali si registrano dei picchi di temperatura nell'ambiente esterno. Tuttavia i valori medi sono molti inferiori rispetto a quelli registrati nella stagione calda.

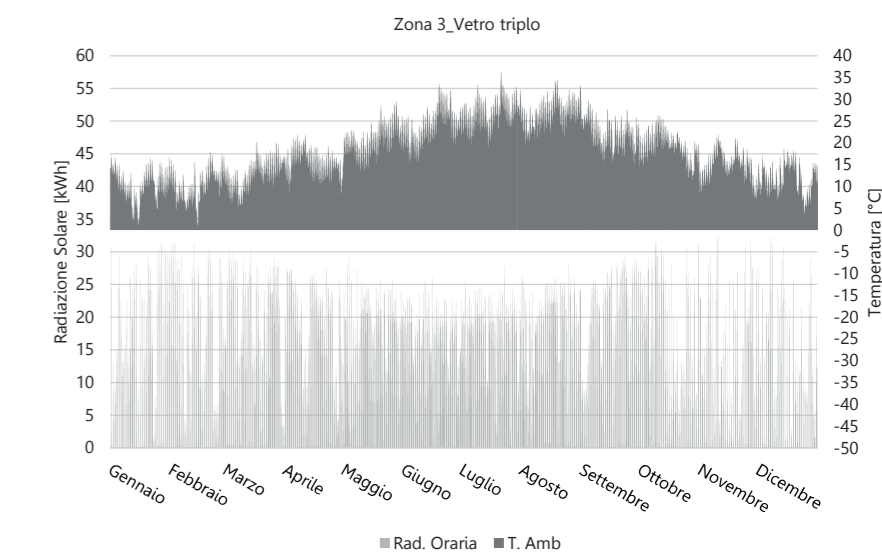


Figura 434\_Relazione tra radiazione solare e temperatura



### 9.5.1.5 TEMPERATURA DELL'ARIA

Si analizzano le temperature orarie registrate durante il periodo invernale, nella settimana più fredda di febbraio, all'interno della zona 3. La curva nera rappresenta l'andamento orario della temperatura dell'aria esterna, mentre quella grigia è quella riferita all'edificio caratterizzato dalla presenza di vetri tripli. Si è deciso di non riportare la curva riferita al modello coi vetri singoli in quanto l'andamento risulta essere molto simile a quella rappresentata.

Si nota come ci siano tre tratti costanti a 17°C a 22°C ed infine a 26°C. Il primo valore è dettato dal fatto che il sistema di riscaldamento impone che la minima temperatura possibile all'interno della zona sia pari a 17°C mentre il valore massimo sia pari a 22°C. Tuttavia essendo che le temperature esterne sono piuttosto elevate, succede che all'interno dell'ambiente si registrino anche temperature superiori ai 22°C. Per questo motivo è stato installato durante tutto l'anno anche l'impianto di raffrescamento, che limita il valore interno della zona a 26°C, qualora questa risulti assumere valori maggiori.

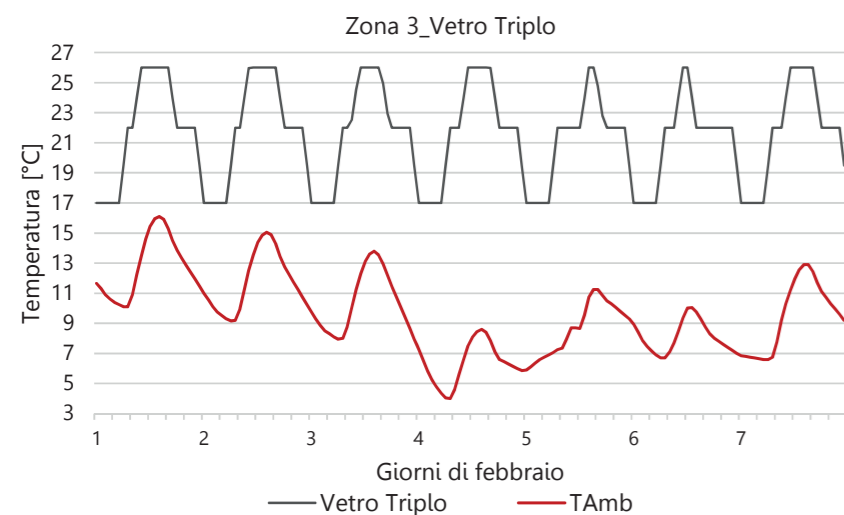


Figura 435\_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio

Si studia nel grafico sottostante l'andamento orario delle temperature interne alla zona 3 nella settimana più calda dell'anno, corrispondente all'ultima settimana del mese di luglio. Anche in questo caso si confrontano soltanto due curve, quella relativa all'andamento orario della temperatura esterna e quella relativa al modello con elementi vetrati costituiti da vetri tripli.

In questa situazione è presente un solo impianto attivato ossia quello del raffrescamento. Si osservano tratti costanti a 26°C in quanto questa è la temperatura dalla quale si verifica l'azionamento del sistema: se la temperatura dell'aria eccede questo valore imposto come soglia, l'impianto la abbassa a 26°C. Il sistema di raffrescamento però, risulta essere attivo solamente durante gli orari di utilizzo dell'edificio, motivo per il quale durante la notte si registrano dei picchi di temperatura che arrivano a 32°C durante le giornate più calde. Osservando attentamente il grafico si nota come i tratti costanti corrispondano ai picchi di temperatura esterna che si registrano durante il giorno, mentre ai picchi superiori della curva della temperatura interna, corrispondono quelli inferiori della temperatura ambientale.

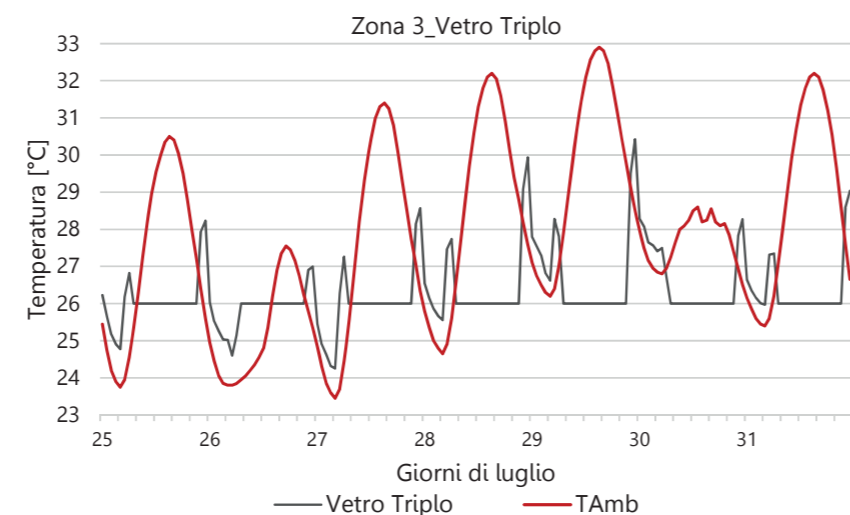


Figura 436\_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio

Per completezza si riporta nel grafico sottostante l'andamento medio mensile della temperatura nelle varie zone considerate.

Anche in questo caso la zona meno critica è quella della cucina, ossia la zona 1, poiché è favorita dalla migliore esposizione. Inoltre è protetta anche dalla parte di copertura sovrastante nel lato a Nord e ad Ovest.

La zona intermedia è quella corrispondente al bagno, poiché seppur risulti essere orientata a Nord-Est non è protetta dalla copertura nel lato orientale, in quanto questa aggetta di solo un metro verso Est.

L'ultima zona considerata è quella della sala, che sia per la sua esposizione verso Sud, che per la sua conformazione, è quella a cui si deve prestare maggior attenzione: infatti essendo costituita interamente da facciate vetrate è facile che all'interno le temperature si elevino in maniera determinante.

Il controllo della temperatura interna è quindi fondamentale soprattutto in termini di comfort, essendo questa zona la più frequentata delle tre analizzate e quindi quella a cui è necessario prestare più attenzione.

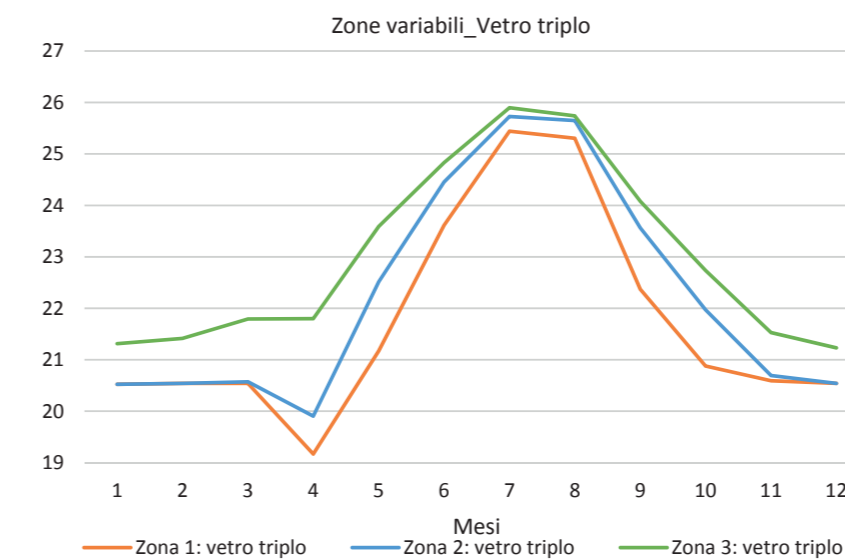


Figura 437\_Temperatura media mensile nelle tre zone

### 9.5.1.6 CONSIDERAZIONI

Dopo le analisi effettuate si può constatare che le scelte effettuate in termini di tecnologia e materiali sono quelle ottimali per il nostro edificio. Tuttavia restano da considerare altre due questioni fondamentali che sono il comfort ambientale registrato all'interno delle varie zone e i consumi energetici che competono l'edificio analizzato.

Nella parte successiva si procederà analizzando dapprima il comfort ambientale e in seguito i consumi energetici, in modo tale da valutare le prestazioni dell'edificio. È opportuno procedere passo dopo passo per poter capire quali accorgimenti adottare per ottenere consumi non troppo elevati ma soprattutto per raggiungere il benessere all'interno della zona considerata.

Lo studio della tecnologia rimarrà invariato quindi le simulazioni saranno eseguite per un modello costituito da stratigrafie tecnologiche con struttura portante in Cross-Lam. Per quanto riguarda invece il tipo di elemento trasparente si utilizzeranno dei vetri tripli.

### 9.5.2 COMFORT

Il comfort interno registrato dagli utenti è un elemento fondamentale per lo studio del benessere delle persone. In questo paragrafo si intende studiare il benessere interno registrato con le condizioni iniziali imposte alle varie zone termiche dell'edificio analizzato. In particolare si farà riferimento sia al calcolo del comfort tramite il metodo statico, sia a quello tramite il metodo adattivo, spiegato in precedenza quando è stato presentato il concetto di comfort igrotermico.

Dapprima si prendono in considerazione i grafici a dispersione relativi ai due modelli, mentre in seguito si analizzeranno i valori percentuali estrapolati dal grafico. Per ogni categoria definita dalla normativa, relativamente sia al metodo statico che dinamico vengono definite sia le percentuali di comfort che quelle di discomfort. Essendo la prima simulazione in termini di analisi del benessere interno, non ci si aspettano risultati del tutto soddisfacenti. Infatti l'edificio al momento non risulta essere molto ottimizzato, sia per i valori di ventilazione utilizzati, sia in relazione al fatto che manca l'inserimento di alcuni parametri che hanno un'influenza determinante sull'edificio.

### 9.5.2.1 MODELLI DI COMFORT

#### MODELLO STATICO: EDIFICIO CON VETRI SINGOLI

Si riporta nel grafico sottostante il risultato ottenuto considerando il modello statico alla base del comfort termo-igrometrico. Le rette orizzontali rappresentano gli intervalli limite definiti dalla normativa che individuano le categorie di comfort termico.

Per il periodo invernale la categoria A prevede come intervallo il range 22-23°C, la B 20-24°C e la C 19-25°C mentre per il periodo estivo la categoria A considera 23,5-25,5°C, la B 23-26°C e la C 22-27°C.

La nuvola di punti rappresenta invece il valore della temperature operativa in relazione alla temperatura ambientale media. A seconda della percentuale di punti che ricadono all'interno delle linee si può valutare il livello di comfort raggiunto in ognuna delle tre categorie. Ovviamente più il comfort è ottimale e più i punti saranno racchiusi all'interno dei limiti più stretti relativi alla categoria A. In questo caso si nota come la nuvola di punti sia posta all'esterno degli intervalli definiti.

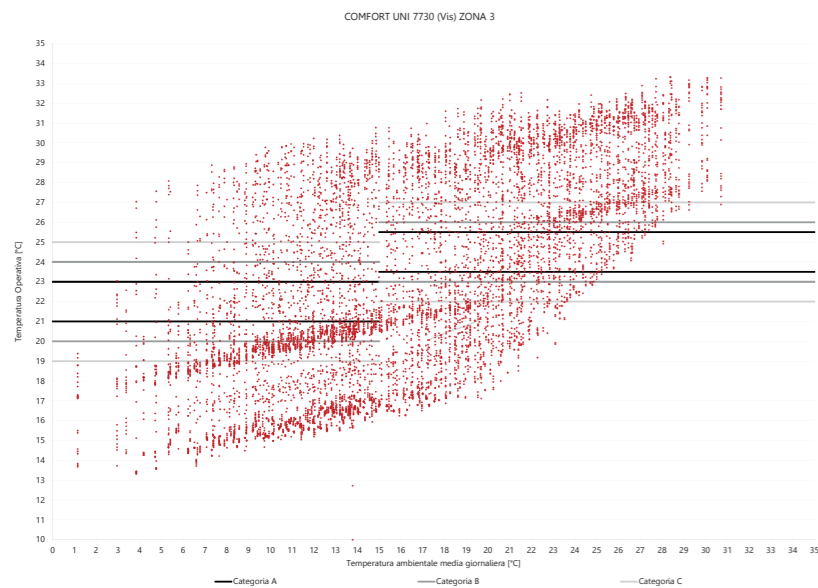


Figura 438\_Modello statico: edificio con vetri singoli

#### MODELLO ADATTIVO: EDIFICIO CON VETRI SINGOLI

In questo caso si riportano i dati ottenuti considerando non più il modello statico ma quello adattivo. Questo modello risulta essere più completo rispetto al precedente perché gli occupanti influenzano il grado di comfort possibile all'interno dell'ambiente.

Le rette orizzontali rappresentano gli stessi intervalli di temperature definiti per il modello statico, mentre le rette inclinate sono dettate da una equazione che tiene conto sia del valore di temperatura operativa sia di quello della temperatura media in esercizio.

Osservando il grafico a dispersione sovrapposto alle linee individuanti i limiti superiori ed inferiori di ogni categoria, è evidente che la nuvola di punti si trova maggiormente all'interno degli intervalli definiti rispetto alla situazione precedente. Tuttavia la maggior parte dei punti non ricade all'interno della categoria A, ossia la migliore a livello di comfort, ma in generale si può affermare che non è raggiunto un livello di benessere soddisfacente.

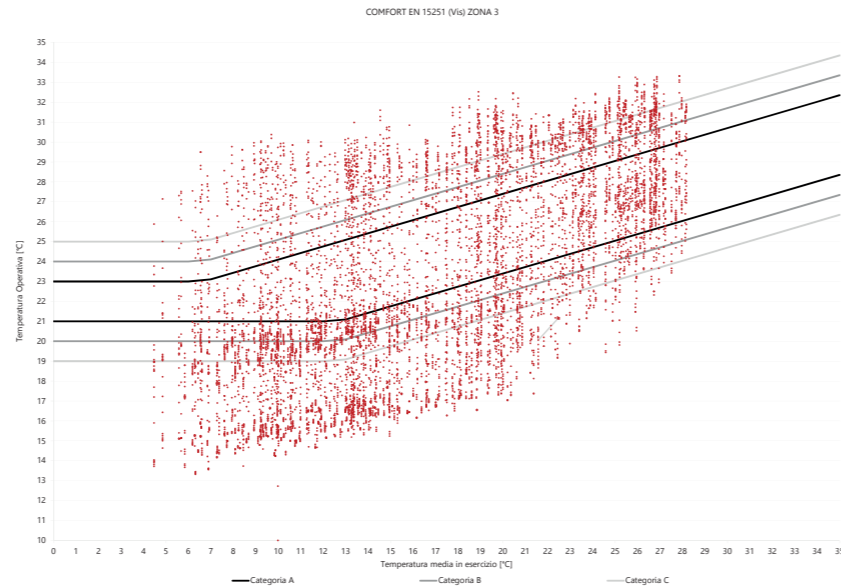


Figura 439\_Modello adattivo: edificio con vetri singoli

#### MODELLO STATICO: OTTIMIZZAZIONE 1

Si riporta nel grafico sottostante la visualizzazione grafica di quello che è il livello di comfort ottenuto con le simulazioni eseguiti sulla zona 3, ossia quella della sala ospitante i tavoli e il bancone del bar.

Il grafico rappresenta i dati ottenuti col modello adattivo: le linee rette indicano sempre i range di temperatura entro le quali si definiscono le categorie A, B e C, sia nel periodo invernale, nella parte sinistra del grafico, che in quello estivo, nella parte destra di esso.

Si osserva come la nuvola di punti non ricada all'interno delle fasce di comfort in quanto i punti si incentrano maggiormente al di là dei limiti di temperatura previsti da normativa per la definizione del benessere degli utenti.

Tuttavia graficamente si nota un leggero miglioramento rispetto alla situazione analizzata con vetri singoli. Dovranno essere applicate delle modifiche al modello per cercare di far ricadere all'interno delle fasce di comfort la maggior parte dei punti.

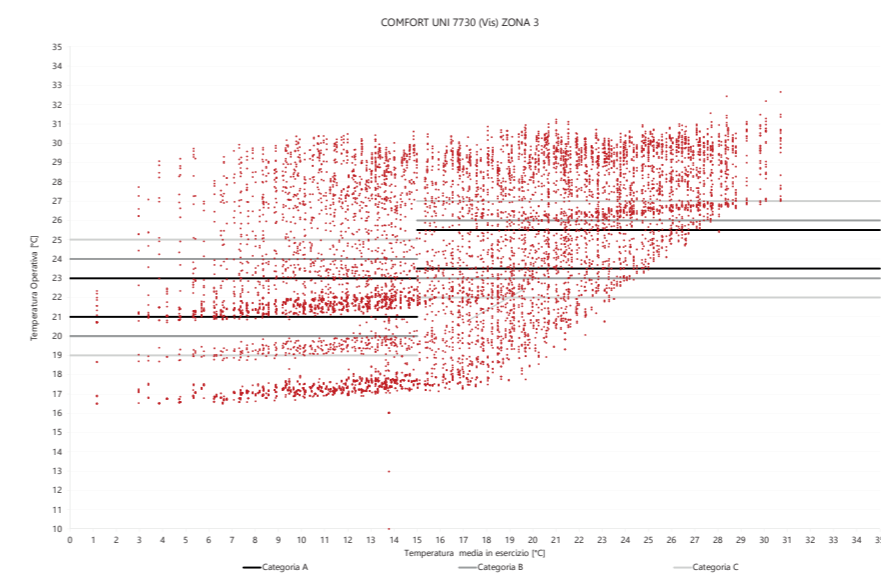


Figura 440\_Modello statico: ottimizzazione 1

#### MODELLO ADATTIVO: OTTIMIZZAZIONE 1

Anche per la tecnologia con vetri tripli si analizzano i dati ottenuti adottando un modello di comfort adattivo. Anche in questo caso le linee orizzontali rappresentano i range di temperatura delle tre categorie, mentre le rette inclinate sono risultato di un'equazione che correla la temperatura operativa registrata nella zona 3 con quella media in esercizio dell'ambiente considerato, tuttavia sono anche esse rappresentative delle categorie.

Osservando il grafico sottostante risulta evidente come, anche per questo tipo di tecnologia con vetri tripli, la nuvola di punti risulti essere maggiormente distribuita all'interno delle fasce di comfort previste sempre dalla normativa italiana. Tuttavia la situazione non sembra ottimale in quanto sono presenti parecchi punti anche all'esterno del range individuato.

Anche in questo caso però la situazione è migliore rispetto a quella dell'altro modello evidenziato, nonostante ciò non sia sufficiente per poter parlare di benessere all'interno della zona.

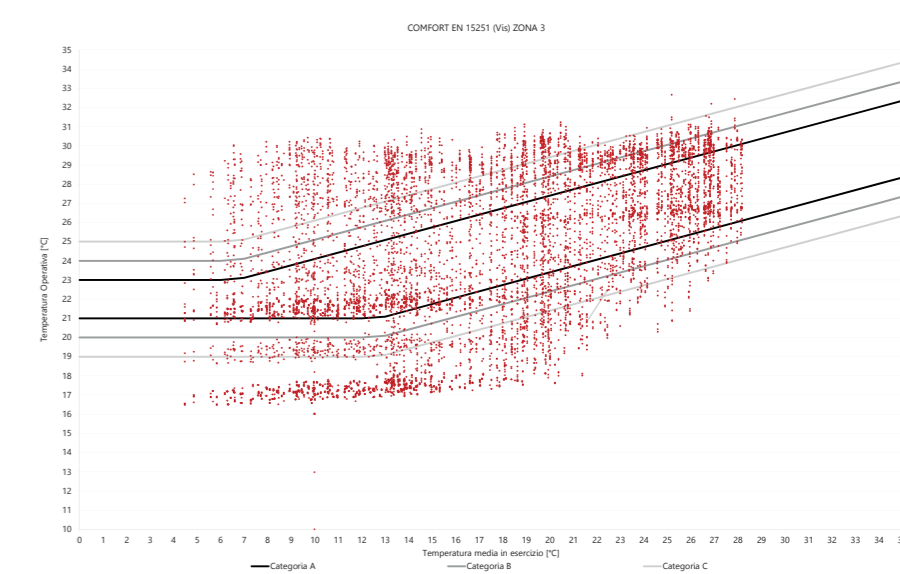


Figura 441\_Modello adattivo: ottimizzazione 1



### 9.5.2.2 CONFRONTO DELLE PERCENTUALI DI COMFORT

Si sceglie ora di rappresentare i grafici di comfort statico e adattivo ottenuti, per confrontare i valori percentuali delle due tecnologie analizzate. Le categorie prese in considerazione sono le tre di cui si è precedentemente parlato, la A, la B e la C a partire dalla più restrittiva.

#### TECNOLOGIA CON VETRI SINGOLI

Nel grafico sottostante si riporta un istogramma che mostra la percentuale di comfort e discomfort trovata col modello statico. È evidente che la condizione di benessere non risulta essere ottimale, né nella fascia A, né nella fascia C, in quanto le percentuali di comfort sono 9,67, 19,87 e 33,80%. Di conseguenza non possiamo parlare di situazione ottimale poiché non si raggiunge nemmeno il 50% del livello di comfort in nessuna delle tre categorie. Se si considera il metodo adattivo, questo risulta essere di gran lunga migliore, anche se il livello di comfort risulta essere maggiore di quello di discomfort solo nella terza categoria, che rappresenta quella meno ristretta in termini di intervalli di temperatura.

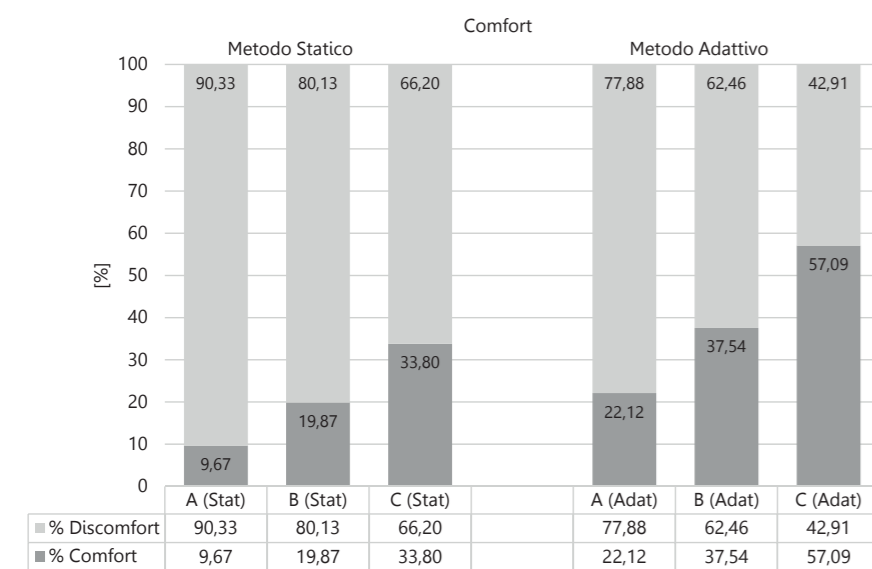


Figura 442\_Valori percentuali di comfort e discomfort: edificio con vetri singoli

#### TECNOLOGIA CON VETRI TRIPLI

Osservando l'istogramma che rappresenta le percentuali di comfort e discomfort ottenute col metodo statico si mostra come in nessuna delle tre categorie il valore di comfort superi quello di discomfort, tanto che la percentuale maggiore è pari soltanto al 41,07%.

Sarà quindi necessario pensare a un modo per migliorare le condizioni di temperatura presenti nella zona considerata, per arrivare ad avere almeno una percentuale di soddisfazione degli utenti maggiore di quella di insoddisfazione.

Se consideriamo il metodo adattivo invece, per quanto riguarda la terza categoria, corrispondente alla C, ossia quella che individua un range più ampio, il livello di comfort è maggiore rispetto al discomfort, così come la seconda e infine la prima risulta la peggiore, in quanto è maggiore l'insoddisfazione degli occupanti. Si registra un benessere percentuale pari a 37,72 con un livello di discomfort di gran lunga più elevato, pari a 62,28%. Si dovrà quindi procedere con l'implementazione del modello per ottenere prestazioni migliori.

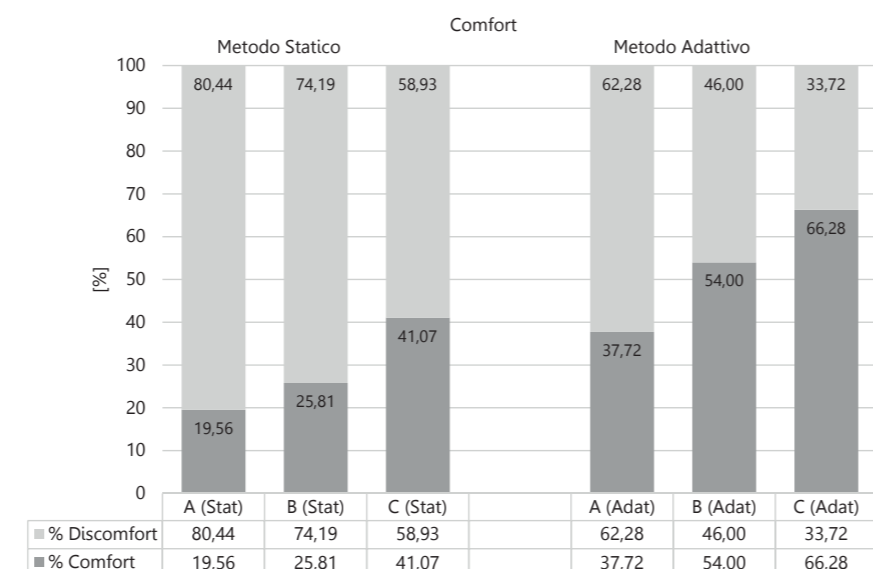


Figura 443\_Valori percentuali di comfort e discomfort

### 9.5.3 CONSUMO ENERGETICO

La verifica prestazionale di un edificio attraverso simulazioni energetiche è una fase fondamentale per il processo di progettazione. Avere il controllo della prestazione energetica dell'edificio permette infatti di ottimizzare le scelte progettuali, evitando di incorrere in alcuni rischi come quelli riferiti al discomfort o ad elevati consumi energetici che potrebbero verificarsi durante il ciclo di vita dell'edificio.

I risultati delle simulazioni che si riporteranno in seguito consentiranno di verificare le prestazioni dell'edificio con le condizioni al contorno migliori trovate fino a questo momento. Come fatto fino ad ora si analizzerà in dettaglio il consumo relativo alla zona 3 in quanto risulta essere la più caratteristica dell'edificio considerato, sia dal punto di vista della destinazione d'uso, sia per quanto riguarda l'esposizione e la conformazione della zona.

Esaminati i dati si proseguirà a valutare se sia opportuno o meno modificare alcune condizioni iniziali assegnate al modello simulato per poter ottenere un edificio che sia il più performante possibile, ma soprattutto per diminuire i consumi energetici nel caso in cui risultassero essere troppo elevati.

Ci si aspetta infatti che per la condizione studiata i consumi energetici saranno molto elevati, in quanto l'impianto di raffrescamento risulta essere acceso tutto l'anno e in alcuni mesi si ha l'attivazione contemporanea anche dell'impianto di riscaldamento. Inoltre non avendo adottato sistemi di schermatura il calore assorbito dai vetri è molto elevato.

Si prenderanno in considerazione i valori di fabbisogno richiesto sia in termini di calore sensibile che latente, per poter eseguire in fase finale un bilancio energetico complessivo sulla zona dell'edificio presa in considerazione.

#### 9.5.3.1 PREMESSE INIZIALI

Si considera la zona 3 dell'edificio, costituita da tre pareti vetrate esposte rispettivamente ad Ovest, Est e Sud. Il modello analizzato è quello caratterizzato da stratigrafie con struttura portante in Cross-Lam.

Per quanto riguarda gli elementi trasparenti si tiene conto invece sia della vetrata singola sia di quella tripla con gas kripton interposto. Questa scelta è dettata dal

fatto che si vuole sottolineare ancora una volta i benefici del vetro caratterizzato da un minor valore di trasmittanza termica.

#### 9.5.3.2 FABBISOGNO ENERGETICO

Si prende ora in considerazione l'analisi vera e propria effettuata, per illustrare i dati ricavati dalle simulazioni eseguite. In seguito si procede con l'illustrazione grafica dei dati estrapolati dal programma Trnsys.

La prima tabella è riferita al modello con vetri singoli, la seconda a quello con vetri tripli. Vengono così riportati i valori di calore sensibile e latente registrati espressi in kWh calcolati come media mensile. In particolare la colonna denominata come "Qsens -" si riferisce al fabbisogno energetico richiesto nel periodo invernale dell'anno solare, mentre la seconda denominata con la sigla "Qsens +" è relativa al fabbisogno energetico connesso alle stagioni estive. Si riporta poi la colonna relativa al valore latente registrato.

A destra di ognuna delle due colonne si è riportato anche il valore di fabbisogno energetico totale richiesto, sempre riferito ad una media mensile.

VETRO SINGOLO	Qsens - [kWh]	Q sens + [kWh]	Q sens [kWh]	Qlat [kWh]	EPH [kWh]
Gennaio	4500,11	196,14	-4500,11	27,97	4724,23
Febbraio	3966,29	220,42	-3966,29	25,42	4212,13
Marzo	2831,62	383,53	-2831,62	66,55	3281,69
Aprile	1035,75	526,27	-1035,75	212,73	1774,75
Maggio	88,34	1378,99	-88,34	276,18	1743,51
Giugno	5,72	2040,32	-5,72	590,37	2636,41
Luglio	0,00	3009,40	0,00	622,29	3631,69
Agosto	0,00	2900,63	0,00	767,19	3667,82
Settembre	10,85	1639,78	-10,85	485,40	2136,03
Ottobre	480,99	845,01	-480,99	478,75	1804,75
Novembre	2200,42	266,34	-2200,42	195,71	2662,47
Dicembre	3865,92	158,66	-3865,92	81,85	4106,43

Figura 445\_Valori del fabbisogno energetico: edificio con vetri singoli

OTT.1	Qsens - [kWh]	Q sens + [kWh]	Q sens [kWh]	Qlat [kWh]	EPH [kWh]
Gennaio	2783,03	346,32	-2783,03	26,62	3155,96
Febbraio	2433,33	385,52	-2433,33	24,88	2843,73
Marzo	1699,76	586,56	-1699,76	64,21	2350,53
Aprile	610,01	678,22	-610,01	177,56	1465,78
Maggio	47,63	1266,98	-47,63	241,99	1556,59
Giugno	2,07	1673,87	-2,07	574,97	2250,90
Luglio	0,00	2324,44	0,00	618,28	2942,73
Agosto	0,00	2255,42	0,00	756,56	3011,98
Settembre	2,25	1459,29	-2,25	449,05	1910,59
Ottobre	236,86	818,56	-236,86	427,06	1482,48
Novembre	1237,73	353,17	-1237,73	181,74	1772,65
Dicembre	2317,81	287,86	-2317,81	78,24	2683,90

Figura 444\_Valori del fabbisogno energetico: ottimizzazione 1

### EDIFICIO CON VETRI SINGOLI

Si riportano dapprima i risultati ottenuti con il modello caratterizzato da elementi trasparenti composti da vetri singoli, poco prestazionali in quanto presentano un valore di trasmittanza elevato.

Si osserva come nei mesi invernali si hanno elevati valori di calore sensibile registrati che raggiungono i 4500 kWh nel mese di gennaio, ma novembre e dicembre risultano essere comunque elevati. Inoltre essendo attivo il sistema di raffrescamento durante tutto l'anno si hanno dei valori positivi di calore sensibile nei mesi invernali.

Nei mesi estivi, quando il riscaldamento risulta essere disattivato, il fabbisogno energetico è dato sostanzialmente dall'impianto di raffrescamento e nei mesi di luglio e agosto si aggira attorno ai 3000 kWh. Il fabbisogno latente richiesto dalla zona analizzata è basso a dicembre e a gennaio ma aumenta con l'avanzare delle stagioni: raggiunge i valori massimi a giugno, a luglio e agosto, quando risulta essere pari a 600-700 kWh.

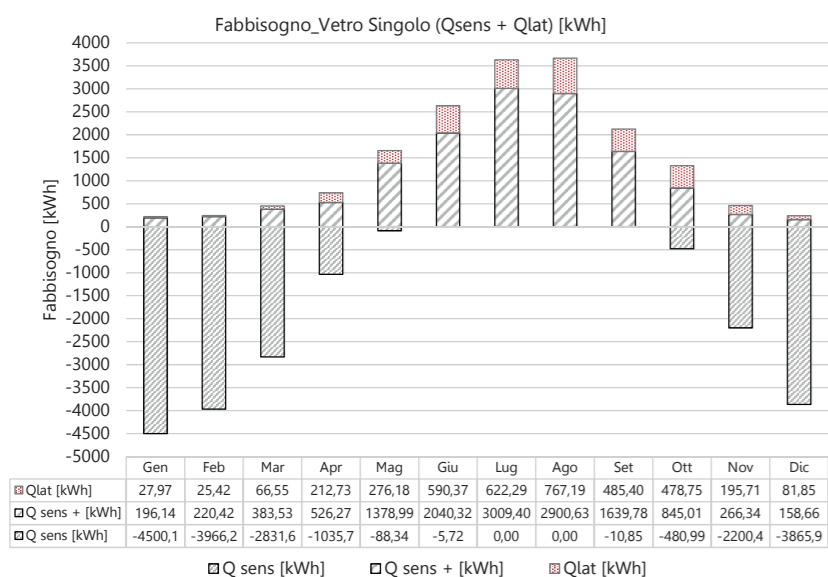


Figura 446\_Fabbisogno energetico: edificio con vetri singoli

### EDIFICIO CON VETRI TRIPLI

Si analizza ora la situazione ottimale individuata dalle simulazioni precedenti, ossia quella relativa al modello con elementi trasparenti con vetri tripli.

In questo caso si ha un fabbisogno di calore sensibile nei mesi invernali molto inferiore rispetto a quello precedente, in quanto il valore massimo raggiunto è di 2783 kWh, poiché la tipologia di vetro utilizzata, avendo ottime caratteristiche di trasmittanza termica, permette di intrappolare il calore all'interno, sfruttando quindi l'energia solare. Questo fa sì che l'impianto di riscaldamento non si attivi sempre, riducendo i consumi.

Anche durante la stagione estiva si registra un miglioramento in termini di fabbisogno nonostante si raggiungano comunque valori intorno ai 2300 kWh nei mesi più caldi di luglio e di agosto. Il calore latente è basso nei mesi di gennaio e febbraio, così come nel caso precedente, mentre durante il resto dell'anno cresce. I valori massimi di fabbisogno latente risultano però essere molto simili a quelli ricavati dallo studio della tecnologia precedente a vetri singoli.

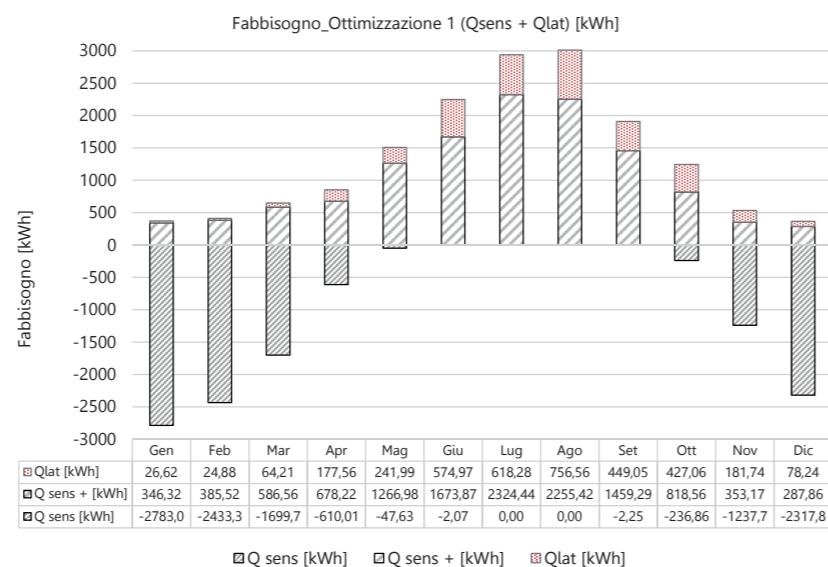


Figura 447\_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 1

### 9.5.3.3 INDICE DI ENERGIA PRIMARIA

Dopo aver riportato singolarmente i due casi analizzati, si procede mostrando il bilancio energetico ottenuto. Si confrontano quindi i valori di energia primaria necessari per ognuna delle due tipologie di vetro utilizzate all'interno del modello studiato.

#### CONFRONTO ENERGETICO: VETRO SINGOLO - OTT. 1

Dal grafico è immediato constatare che tra i due casi studiati quello relativo alla tecnologia con vetri tripli risulta essere migliore rispetto all'altro. Infatti se consideriamo il caso di sinistra si raggiungono dei valori di energia richiesta elevatissimi, pari a quasi 36500 kWh, a fronte dei 28000 della tecnologia più prestazionale.

È però evidente che anche il caso risultato per ora ottimale per il modello studiato, faccia registrare dei consumi piuttosto alti. Questo è dovuto soprattutto al fatto che è stato necessario attivare l'impianto di raffrescamento durante tutto l'anno, a causa delle elevate temperature registrate all'esterno.

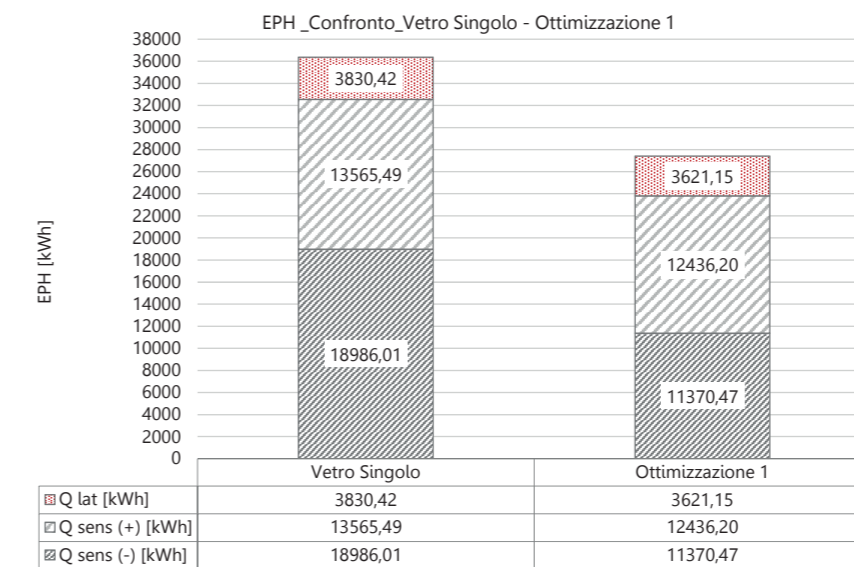


Figura 448\_EPH: edificio con vetri singoli-ottimizzazione 1

### CALCOLO DEL CONSUMO PER UNITÀ DI SUPERFICIE

Dopo aver analizzato il consumo totale che si registra per l'intero edificio, si vuole stimare a quanto ammonta quello relativo ad ogni unità di superficie.

Per fare ciò è necessario dividere l'apporto totale di consumo registrato per i metri quadri di superficie dell'edificio considerato. In questo caso si dividerà per l'area totale delle zone 1, 2 e 3, poiché i consumi di queste due zone sono trascurabili.

In basso si riporta la tabella del calcolo effettuato per ricavare i Wh/m² che caratterizzano l'edificio del bar preso in considerazione, nei due casi considerati per il confronto.

Si analizzano e si commentano separatamente i due casi.

1. EDIFICIO CON VETRO SINGOLO: in questo caso il consumo totale ammonta a 36381,93 kWh, che se diviso per la superficie considerata di 95,50 m², fa ottenere un consumo effettivo di 380,96 kWh/m².
2. EDIFICIO CON VETRO TRIPLO (OTTIMIZZAZIONE 1): in questo caso il consumo totale è pari a 27427,82 kWh, che una volta diviso per la superficie interessata, ovviamente sempre pari a 95,50 m², fa ottenere un consumo effettivo di 287,20 kWh/m².

Si può quindi concludere che entrambi i consumi effettivi considerati sono molto elevati e di conseguenza è necessario seguire un percorso di ottimizzazione che oltre ad aumentare il comfort registrato, miri anche a diminuire i consumi energetici dell'edificio.

Tuttavia, confrontando le due situazioni analizzate si nota come tra i due casi ci sia una differenza di circa 100 kWh/m². Infatti l'utilizzo del vetro triplo, a differenza di quello singolo, meno prestazionale, comporta un miglioramento anche a livello di consumo totale registrato. Si ha infatti un miglioramento del 24,6% con la tecnologia che presenta il triplo vetro.

BILANCIO ENERGETICO			
Edificio considerato	Indice di energia primaria [kWh]	Superficie del Bar [m²]	Consumo effettivo [kWh/m²]
Vetro Singolo	36381,93	95,50	380,96
Ottimizzazione 1	27427,82	95,50	287,20

Figura 449\_Bilancio energetico: edificio con vetri singoli - ottimizzazione 1



## 9.5.4 CONSIDERAZIONI

L'ottimizzazione 1 analizzata fino a questo punto ha presentato dei miglioramenti rispetto alle situazioni studiate in precedenza. In particolare l'analisi approfondita dei concetti di comfort ed energia ha permesso di confermare che l'utilizzo della tecnologia a vetro singolo non fosse ottimale per l'edificio studiato.

Le basse capacità di isolamento termico, come si è visto, hanno portato ad un aumento ingente delle temperature interne, costringendo così l'attivazione dell'impianto di raffrescamento durante tutto il corso dell'anno solare, portando ad una crescita dell'energia necessaria richiesta dall'edificio.

Si conclude che i valori di consumo registrati nei due casi permettono di escludere a priori l'utilizzo di vetri singoli, in quanto i valori di energia primaria necessari sono tre volte tanto più grandi rispetto a quelli richiesti dal modello con vetri tripli. Tuttavia i valori di consumo registrati per quest'ultima, corrispondente all'ottimizzazione 1 non sono molto contenuti.

Il problema principale che ha una grande influenza sull'aumento dell'energia richiesta è sicuramente l'impianto di condizionamento che è stato attivato, anche in questo caso, durante tutto l'anno solare a causa delle elevate temperature dell'ambiente esterno: infatti nonostante il vetro triplo abbia maggiori capacità di isolamento, esso, una volta intrappolato il caldo all'interno del locale, non rilascia calore verso l'ambiente esterno, mantenendo così alte temperature anche negli spazi interni.

Sarebbe opportuno trovare un metodo per mitigare queste temperature prima che raggiungano le tre vetrate esposte a Sud della zona del bar, in modo tale da garantire dei valori di temperatura dell'aria interni minori rispetto a quelli registrati.

Per far sì che ciò possa avvenire si può intervenire ulteriormente sulla ventilazione, incrementando il suo valore nelle ore in cui il bar non ospita clienti o personale, oppure introducendo un sistema di schermatura sulle grandi vetrate, in modo da schermarle dai raggi solari.

Certo è che l'edificio necessita di essere ottimizzato ulteriormente, in modo da poter migliorare non solo i consumi, ma anche il livello di benessere registrato dagli utenti.

Infatti, dopo un'attenta analisi delle due situazioni di comfort e discomfort ottenute per entrambe le tecnologie studiate, è possibile constatare che l'edificio necessita di un'implementazione anche in termini di benessere.

Si sono registrati valori di comfort molto bassi che implicano una condizione di malessere all'interno della zona analizzata. Tuttavia il modello di partenza da cui si procederà con le ottimizzazioni sarà quello con vetro triplo, in quanto come già detto risulta essere una condizione migliore rispetto al modello con vetri singoli. Si ricorda infatti che i dati ottenuti sia col metodo statico che con quello adattivo, erano superiori in termini di comfort per il caso dell'ottimizzazione 1.

Nelle seguenti ottimizzazioni si prenderanno quindi in considerazione altri parametri per l'implementazione del modello, procedendo per step.

- **VENTILAZIONE:** per migliorare le prestazioni dell'edificio si potrebbe ricorrere al cambiamento del valore di ventilazione in alcuni orari del giorno. Ad esempio nelle ore notturne si potrebbe imporre una ventilazione maggiore a 10 vol/h. Infatti essendo che l'orario di chiusura dell'attività del bar è limitato, sarebbe opportuno ventilare più possibile durante questi intervalli di tempo, poiché non si prevedono clienti all'interno, né la presenza di personale addetto alla cucina o al bar. Sempre relativamente alla ventilazione si possono introdurre diversi valori di ricambio d'aria per arrivare infine a farla variare durante periodi dell'anno diversi.
- **SCHERMATURA ED IMPIANTI:** un ulteriore accorgimento effettuabile è quello di introdurre un sistema di ombreggiamento delle vetrate in determinati momenti della giornata, in modo da schermare l'edificio in quanto esso risulta essere protetto soltanto dalla copertura sovrastante. Come sistema di ombreggiamento si potrebbe pensare alla presenza di tende interne. Adottando un sistema di ombreggiamento sulle vetrate dell'edificio potrebbe essere possibile modificare le date di attivazione degli impianti, sia di raffrescamento che di riscaldamento, possibilmente evitando il funzionamento di quello di raffrescamento durante tutto l'anno solare.

Con questi accorgimenti probabilmente i livelli di comfort aumenteranno e si potrà quindi avere un livello di benessere superiore rispetto a quello ottenuto con le simulazioni eseguite fino ad ora.

# 9.6 OTTIMIZZAZIONE 2

Con le simulazioni effettuate in precedenza si sono raggiunti dei livelli di comfort non soddisfacenti e inoltre i consumi energetici sono risultati eccessivamente elevati. Di conseguenza si è deciso di implementare il modello per poter avere un edificio in cui sia raggiunto il benessere da parte degli utenti, senza dover far fronte a consumi troppo elevati.

## PREMESSA

Il modello presenta, come già detto in precedenza, la tecnologia che si è ritenuta essere migliore: elementi opachi con struttura portante in Cross-Lam ed elementi trasparenti in triplo vetro con gas kripton interposto.

Per quanto riguarda le modifiche apportate nel programma TrnBuild, si è scelto di variare dapprima solo la ventilazione, cambiandone sia i valori sia i periodi di attivazione durante la giornata. In questa prima ottimizzazione si è scelto però di mantenere gli altri parametri invariati, quindi non sono presenti schermature sulle parti trasparenti e l'impianto di condizionamento e di riscaldamento risulta funzionante nei medesimi mesi della precedente simulazione. In questo caso si riporteranno solo i risultati relativi al comfort termico e al consumo energetico dell'edificio con le nuove caratteristiche. I risultati ottenuti saranno poi messi a paragone con quelli del precedente caso per poter confrontare i dati estrapolati.

Si anticipa che il cambiamento della ventilazione non sarà l'unica modifica da apportare al modello per riuscire ad avere una condizione migliore, ma è sicuramente un passo da affrontare per scegliere come implementare poi l'edificio.

## 9.6.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA VENTILAZIONE

Sono stati definiti quattro valori di ventilazione per il modello, differenti da quelli precedentemente utilizzati. Nel caso precedente si ricorda infatti che si erano utilizzati tre parametri pari rispettivamente a 1 vo/h, 5 vol/h e 10 vol/h.

In questo caso, si è introdotto un altro parametro di ventilazione e i valori utilizzati nel caso precedente sono variati diventando 1,5 vol/h, 2,5 vol/h, 6 vol/h e 12 vol/h.

Per ognuno di questi parametri sono state create delle "Schedule" che ne definiscono gli orari di attivazione di ognuna.

In seguito si riportano i diversi valori di ventilazione inseriti all'interno del modello con i relativi orari di funzionamento:

- 1,5 vol/h: questo valore di ricambio d'aria è stato assegnato durante le ore del giorno in cui il locale risulta essere maggiormente frequentato dagli utenti. Si è pensato di definire una fascia oraria che va dalle ore 10.00 del mattino fino alle ore 20.00 della sera. In questo modo la ventilazione risulta essere sempre attiva, seppur con un basso valore e ciò garantisce un continuo ricambio d'aria all'interno del locale analizzato.
- 2,5 vol/h: il secondo valore, leggermente più alto del precedente è stato assegnato a due fasce orarie in cui il numero di persone all'interno del bar è limitato. In particolare si è scelto di utilizzare questa ventilazione dalle ore 6.00 alle ore 10.00 del mattino e in seguito dalle ore 20.00 della sera fino alle 24.00, orario di chiusura del bar.
- 6 vol/h: questo valore è stato assegnato alla fascia oraria che precede l'apertura del bar, ossia dalle 3.00 della notte fino alle 6.00 del mattino. Non essendoci utenti in questa fascia oraria il valore di ventilazione è stato innalzato.
- 12 vol/h: si è associato un valore di ventilazione piuttosto elevato per la fascia oraria che va dalle 00.00 alle 3.00 della notte. Non essendo presenti persone durante questo periodo temporale è possibile aumentare il livello di ventilazione.

Questi intervalli di ventilazione sono assegnati all'interno del file TrnBuild ad ogni singola zona, per poi poter eseguire le simulazioni.

## 9.6.2 COMFORT

### 9.6.2.1 MODELLI DI COMFORT

#### MODELLO STATICO

Si riporta al di sotto il grafico del comfort ottenuto in riferimento all'utilizzo del modello statico. Come spiegato nell'introduzione del capitolo relativo al comfort, le fasce che individuano le categorie di benessere interno sono tre. In questo caso si nota come la nuvola dei punti ricada per gran parte al di fuori delle tre fasce individuate dalla normativa. Infatti all'interno della fascia con soglia più ristretta, individuata dalle rette nere, i punti interni risultano essere pochi rispetto agli altri. Man mano aumenta il range stabilito dalle categorie si raggiunge un miglior livello di comfort, che però non può essere considerato sufficiente per considerare il modello prestazionale. Si hanno dunque moltissimi punti al di sopra delle fasce per quanto riguarda il periodo estivo e sia sopra che al di sotto relativamente al periodo invernale. In seguito si analizzeranno con precisione le percentuali di comfort relative ad ogni categoria, ponendole a confronto col caso precedente.

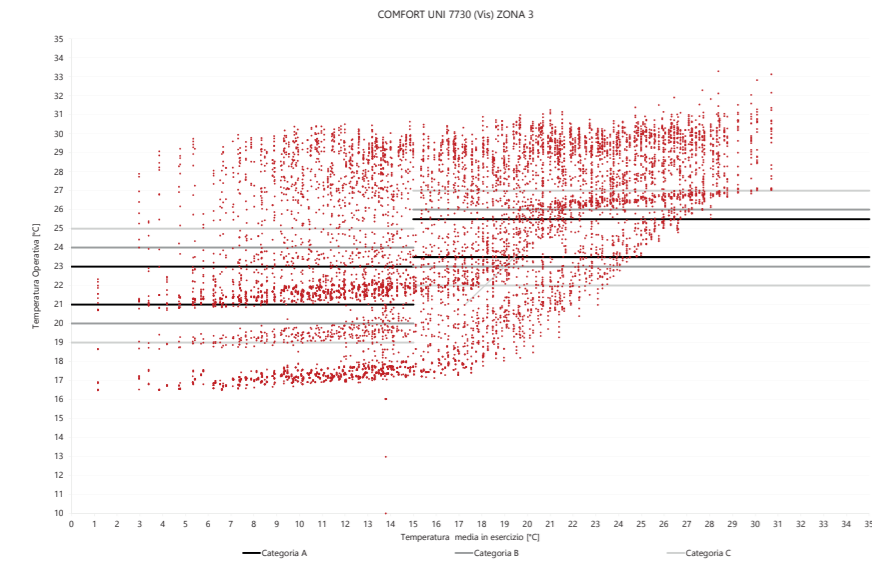


Figura 450\_Modello statico: ottimizzazione 2

#### MODELLO ADATTIVO

Si riporta al di sotto il grafico del comfort ottenuto in riferimento all'utilizzo del modello adattivo.

Anche nel caso del modello adattivo, le fasce individuate da questo metodo sono sempre tre, la A che indica una percentuale di comfort maggiore, la B media e la C la minore.

È possibile constatare che in questo caso molti punti rappresentati dal grafico a dispersione sono distribuiti all'interno delle fasce di comfort anche se una buona parte di essi è ancora localizzata al di fuori.

È evidente come il comfort aumenti progressivamente con l'aumentare delle temperature. Infatti nella parte sinistra del grafico la maggior parte dei punti ricade all'esterno delle fasce di comfort, mentre nella parte centrale e destra di esso si concentrano maggiormente all'interno dei limiti definiti dalle rette. Anche per questo caso si andrà a valutare in modo più preciso la percentuale raggiunta in ogni livello di comfort.



Figura 451\_Modello adattivo: ottimizzazione 2

### 9.6.2.2 CONFRONTO TRA METODO STATICO E ADATTIVO

Si è deciso di riportare in un istogramma i dati percentuali ottenuti in questa condizione. Per quanto riguarda il metodo statico si è raggiunta una percentuale di comfort nella migliore categoria pari al 19,62%, pari al 25,72% nella categoria intermedia e pari al 41,27% in quella relativa alla minor percentuale di soddisfacimento degli utenti. Analizzando invece i valori relativi alle analisi eseguite col metodo adattivo i valori sono migliori, in quanto il comfort è pari a 38,44 nella categoria più restrittiva ed è uguale a 66,54% in quella con i range più ampi. Visualizzando il grafico risulta evidente che la percentuale di discomfort è generalmente più elevata rispetto a quella di comfort, in modo particolare per i dati ricavati con l'uso del metodo statico.

Confrontando la situazione attuale con quella passata si deduce che il miglioramento in termini di comfort è davvero limitato rispetto alla situazione precedente. Lo step successivo per il miglioramento della ventilazione sarà quello di impostare valori diversi non solo durante la giornata, ma anche durante l'anno solare.

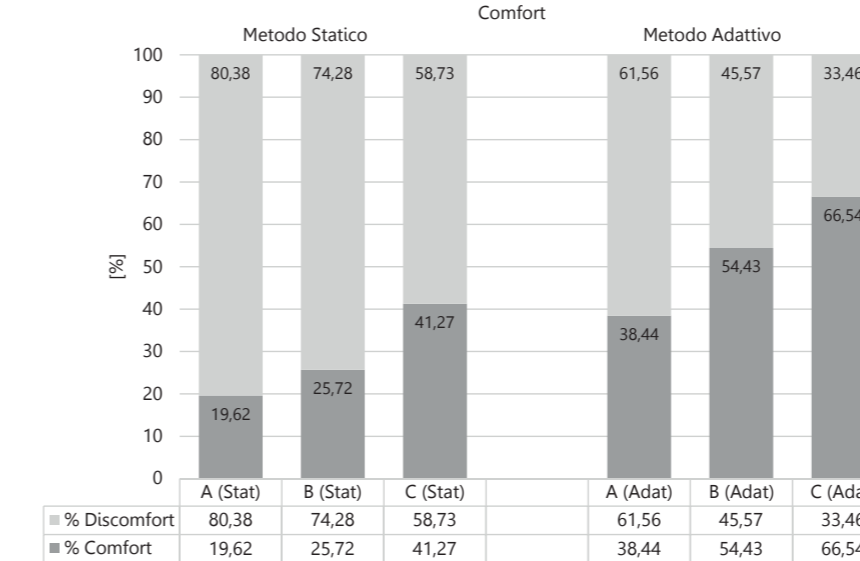


Figura 452\_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione 2

### 9.6.3 CONSUMO ENERGETICO

Si analizzano ora i consumi energetici ottenuti per la zona analizzata, con i nuovi valori di ventilazione assegnati e i nuovi periodi di attivazione della ventilazione meccanica descritti in modo dettagliato precedentemente.

Nel grafico sono riportati i valori di calore sensibile durante il periodo estivo (+Qsens) e quelli nel periodo invernale (-Qsens); infine si riporta il calore latente (Qlat).

Si osserva che il calore sensibile durante i mesi invernali varia da 1700 kWh a 2000 kWh. La parte di calore sensibile positiva è quella riferita all'impianto di condizionamento, che come spiegato prima risulta essere attivo tutto l'anno e il suo valore aumenta logicamente durante il periodo estivo, arrivando a 2300 kWh nei mesi di luglio ed agosto. Il fabbisogno latente registrato ha valori piuttosto bassi all'inizio dell'anno, ossia durante la stagione più fredda, mentre aumenta nella stagione estiva raggiungendo un valore medio mensile massimo di 576,18 kWh nel mese di agosto.

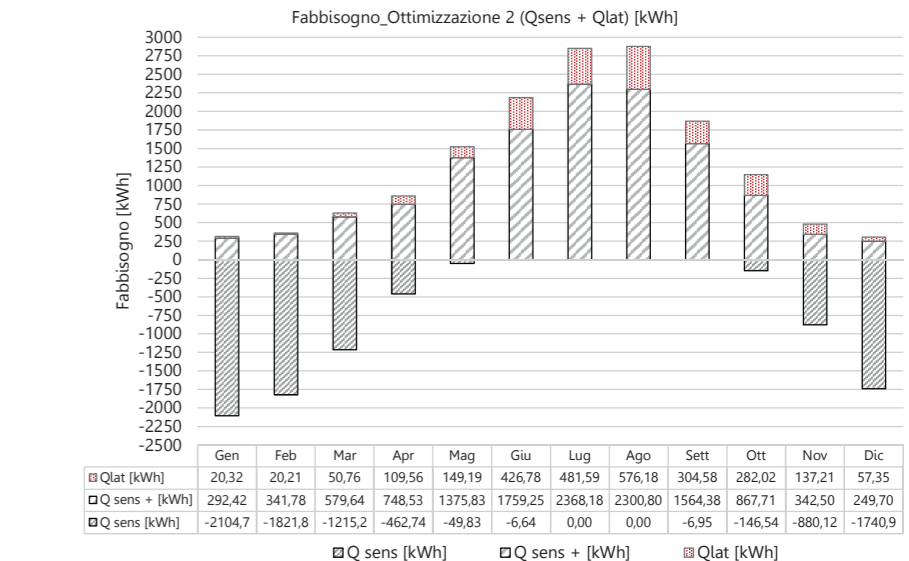


Figura 453\_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 2



## CONFRONTO ENERGETICO: OTT. 1 - OTT. 2

Per capire se le variazioni introdotte in termini di ventilazione sono risultate utili per il miglioramento delle prestazioni dell'edificio, si è pensato di porre nel grafico sottostante i valori di energia primaria richiesta per il caso attuale e quello precedente.

Nell'istogramma si nota come la situazione implementata sia migliore rispetto alla precedente, soprattutto in termini di energia totale richiesta. Se nel caso dapprima studiato l'energia necessaria era pari a circa 27500 kWh, in questo caso il valore totale si riduce a 24000 kWh, migliorando del 13%.

Analizzando solamente i dati relativi al calore sensibile questo diminuisce da 11370,47 kWh a 8435,59 kWh ossia del 26%. In relazione invece alla quota parte di calore latente la riduzione è di 1005,4 kWh.

Ciò nonostante è bene puntualizzare che è necessario implementare ancora il modello analizzato, per contenere i consumi energetici che risultano essere ancora troppo elevati.

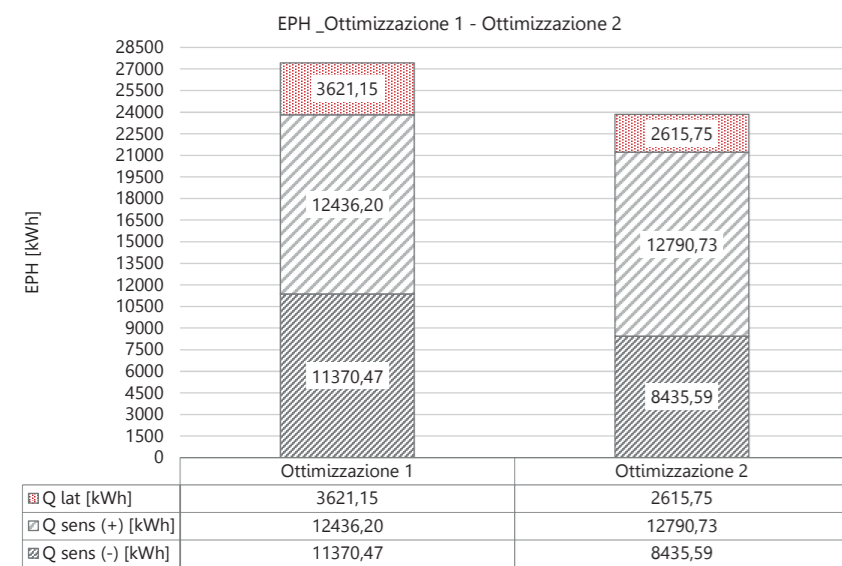


Figura 454\_EPH: ottimizzazione 1-ottimizzazione 2

## CALCOLO DEL CONSUMO PER UNITÀ DI SUPERFICIE

Dopo aver analizzato il consumo totale che si registra per l'intero edificio, si vuole stimare a quanto ammonta quello relativo ad ogni unità di superficie.

Per fare ciò è necessario dividere l'apporto totale di consumo registrato per i metri quadri di superficie dell'edificio considerato. In questo caso si dividerà per l'area totale delle zone 1, 2 e 3, poiché i consumi di queste due zone sono trascurabili.

In basso si riporta la tabella del calcolo effettuato per ricavare i Wh/m<sup>2</sup> che caratterizzano l'edificio del bar preso in considerazione, per tutti i casi analizzati fino ad ora.

Si analizzano e si commentano separatamente soltanto i casi relativi all'ottimizzazione 1 e 2.

1. OTTIMIZZAZIONE 1: in questo caso il consumo totale ammonta a 27427,82 kWh, che se diviso per la superficie considerata di 95,50 m<sup>2</sup>, fa ottenere un consumo effettivo di 287,20 kWh/m<sup>2</sup>.
2. OTTIMIZZAZIONE 2: in questo caso il consumo totale è pari a 23842,06 kWh, che una volta diviso per la superficie interessata, ovviamente sempre pari a 95,50 m<sup>2</sup>, fa ottenere un consumo effettivo di 249,66 kWh/m<sup>2</sup>.

Ancora una volta si può affermare che i consumi effettivi registrati in entrambi i casi sono troppo elevati, motivo per il quale non si può interrompere l'iter di ottimizzazione dell'edificio in questione. Infatti seppur si sia verificata un'ulteriore riduzione rispetto al caso precedente, è necessario ridurre il quantitativo di energia richiesto. Confrontando le due situazioni analizzate si nota come tra i due casi ci sia una differenza di circa 40 kWh/m<sup>2</sup>. Rispetto al caso dell'ottimizzazione 1 si ha un miglioramento del 13%, mentre rispetto al primo analizzato, ossia edificio con vetri singoli, il miglioramento è del 34,5%.

BILANCIO ENERGETICO			
Edificio considerato	Indice di energia primaria [kWh]	Superficie del Bar [m <sup>2</sup> ]	Consumo effettivo [kWh/m <sup>2</sup> ]
Vetro Singolo	36381,93	95,50	380,96
Ottimizzazione 1	27427,82	95,50	287,20
Ottimizzazione 2	23842,06	95,50	249,66

Figura 455\_Bilancio energetico: ottimizzazione 2

# 9.7 OTTIMIZZAZIONE 3

L'ottimizzazione 2, analizzata in precedenza non ha permesso di raggiungere livelli comfort soddisfacenti. Questo significa che l'implementazione della ventilazione non è stata sufficiente a garantire il benessere degli utenti. Oltre agli scarsi risultati a livello di comfort interno sono stati piuttosto deludenti anche i dati relativi ai consumi energetici, che ancora una volta sono risultati eccessivamente elevati per poter essere accettabili. Di conseguenza si è deciso di implementare ulteriormente il modello in modo tale da diminuire sia il livello di discomfort recepito all'interno dell'edificio dagli utenti, sia i consumi energetici.

## PREMESSA

Il modello di partenza presenta, come nel caso precedente, la tecnologia che si è ritenuta essere migliore: elementi opachi con struttura portante in Cross-Lam ed elementi trasparenti in triplo vetro con gas kripton interposto.

Per quanto riguarda le modifiche apportate nel programma TrnBuild, si è scelto di mantenere inalterata la ventilazione rispetto al caso dell'ottimizzazione 2, poiché con questi si è verificato un miglioramento rispetto al caso dell'ottimizzazione 1.

La differenza rispetto al caso precedente è quindi relazionata all'introduzione di un sistema di schermatura per le parti vetrate presenti all'interno ed una conseguente variazione dei periodi di attivazione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Dopo aver effettuato le simulazioni, i risultati ottenuti saranno poi messi a paragone con quelli del precedente caso per poter confrontare i dati estrapolati e capire se sarà necessario procedere con un'ulteriore implementazione del modello.

## 9.7.1 INTRODUZIONE DEL SISTEMA DI SCHERMATURA

Per poter migliorare la prestazione dell'edificio sia a livello di comfort che a livello di consumo energetico si è pensato di introdurre dei sistemi di ombreggiamento per le ampie vetrate presenti nell'edificio analizzato.

Nel programma TrnBuild si sono definiti i valori percentuali di schermatura che si intendono utilizzare durante l'anno solare. In particolare si è scelto di utilizzare due tipologie di schermature a seconda dell'esposizione della parte trasparente studiata.

Per quanto riguarda gli elementi trasparenti verticali, ossia le facciate vetrate esposte a Ovest, Sud ed Est, si è scelto un livello di schermatura pari all'85%, mentre per i cupolini in copertura il livello di schermatura si è aumentato fino al 90%. I lucernari infatti, essendo in copertura risultano essere molto critici per l'elevata quantità di radiazione a cui sono esposti: per questo si è pensato di schermarli in modo preponderante. Nell'immagine sottostante è illustrato graficamente dove sono state posizionate le schermature.

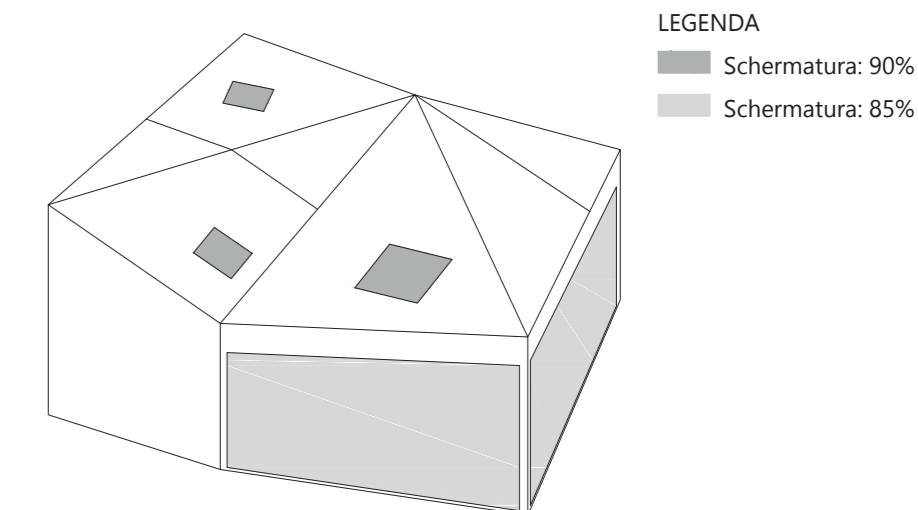


Figura 456\_Percentuale di schermatura dei vetri

### 9.7.1.1 IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO E DI RISCALDAMENTO

L'introduzione del sistema di schermatura è stato molto utile per limitare il livello di radiazione solare passante attraverso i vetri dell'edificio, ma soprattutto ha permesso di modificare i periodi di attivazione degli impianti.

Dalle simulazioni precedenti infatti era emersa la necessità di far attivare l'impianto di riscaldamento e di raffrescamento contemporaneamente durante i mesi invernali. Infatti, a causa della presenza dei vetri tripli, che trattengono molto il calore e del contesto climatico, caratterizzato da temperature esterne piuttosto elevate, anche durante la stagione fredda, si registravano all'interno dell'ambiente delle temperature piuttosto elevate, che non permettevano la vivibilità della zona.

Così l'impianto di condizionamento era risultato utile anche durante i mesi più freddi per abbassare le temperature interne fino al valore di 26°C. Grazie all'introduzione del sistema di ombreggiamento dei vetri è stato possibile però apportare delle modifiche agli impianti utilizzati, il cui funzionamento risulta limitato rispetto al caso precedente e soprattutto i due impianti non funzionano mai contemporaneamente.

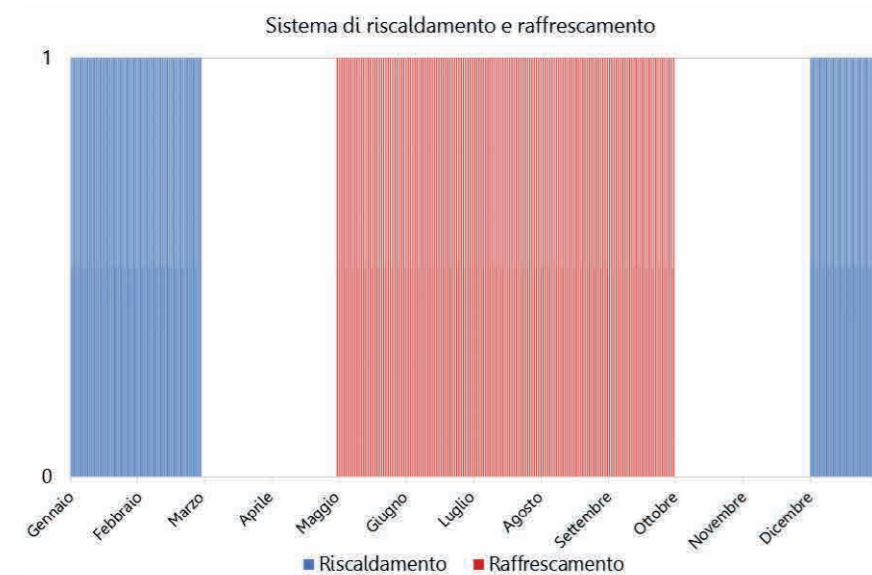


Figura 457\_Funzionamento degli impianti durante l'anno

Si evince dal grafico a sinistra riportato che l'impianto di riscaldamento risulta essere attivo soltanto per tre mesi, in particolare da dicembre a febbraio. L'impianto di raffrescamento invece è stato attivato per 5 mesi, partendo da maggio fino ad ottobre. Questa scelta è stata effettuata per poter ridurre la quota parte di consumo energetico dovuta all'impianto di raffrescamento che risultava attivo tutto l'anno.

### CONFRONTO CONSUMO: OTT.2 - OTT. 3

Si confrontano i risultati ottenuti in termini di energia richiesta dal sistema di riscaldamento e da quello di raffrescamento.

Nel caso dell'impianto di riscaldamento i consumi sono aumentati, quindi si ha un peggioramento in termini energetici, poiché il consumo aumenta di 2000 kWh rispetto alla situazione precedente.

Per quanto riguarda invece il sistema di raffrescamento, è notevole la diminuzione dell'energia utilizzata. Si ottiene infatti un valore nuovo di energia ottenuta pari a 1519,43 kWh, a fronte dei 12790,73 registrati nel caso precedente. Si valuteranno in seguito i consumi totali registrati.

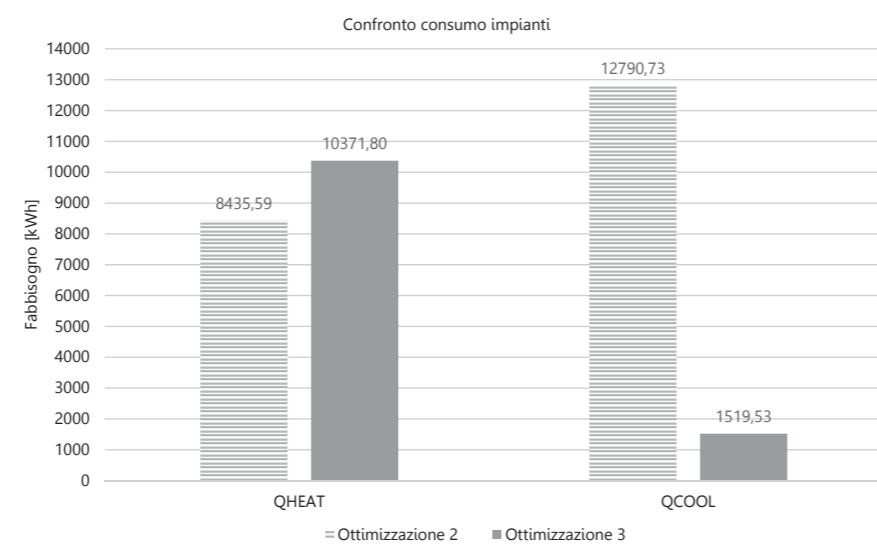


Figura 458\_Fabbisogno riscaldamento e raffrescamento ottimizzazione 2-ottimizzazione 3

## 9.7.2 COMFORT

### 9.7.2.1 MODELLI DI COMFORT

Con l'introduzione del sistema di schermatura, si sono verificati ingenti cambiamenti delle temperature interne alla zona del bar considerata. Inoltre la presenza di un sistema di oscuramento delle superfici vetrate ha permesso di regolare l'impianto di riscaldamento e climatizzazione presente all'interno dell'edificio, permettendo di sfruttare meglio l'energia solare passante attraverso le vetrate nei mesi invernali, e riducendo il valore di radiazione passante attraverso i vetri nel periodo estivo.

Per l'analisi del comfort, in questo caso si è deciso di non riportare i grafici a dispersione relativi al comfort ottenuto col metodo statico e con quello adattivo, ma si commentano direttamente le percentuali ottenute estrapolando i dati dal grafico in questione.

Dapprima si parlerà quindi del metodo statico e solo in seguito di quello adattivo. Infine si potranno porre a confronto i due metodi analizzati e da essi si potranno trarre delle conclusioni in termini di comfort. Nel grafico a destra si riportano le percentuali ottenute relativamente ad ogni categoria di comfort prevista dalla normativa.

### METODO STATICO

Per quanto riguarda i risultati ottenuti col metodo statico, non si sono registrati dei valori percentuali di comfort ottimali, in quanto la maggior parte dei punti rappresentati nel grafico a dispersione risultano esterni alle fasce di comfort individuate dalla normativa, sia nel periodo invernale che estivo. Nella categoria A si registra una percentuale di comfort del 19,29%, nella B del 28,97% e nella C del 49,86%. Relativamente alle tre categorie considerate quindi si ha un livello di comfort sempre minore rispetto al livello di discomfort, quindi sarà necessario procedere con l'ottimizzazione del benessere interno alla zona considerata.

### MODELLO ADATTIVO

Relativamente ai risultati di comfort ottenuti col metodo adattivo si è constatato che la nuvola di punti di temperatura operativa considerata ricade in buona parte all'esterno del confine contrassegnato dai vari livelli di comfort individuati dalla normativa.

Nella categoria A il comfort è pari al 38,18%, nella B al 50,91% e nella C al 60,37%. Si registra quindi che solo nelle categorie B e C, ossia le meno restrittive, la percentuale di comfort è maggiore rispetto a quella di discomfort, anche se non di molto.

Anche in questo caso la situazione analizzata non può essere considerata ottimale ma dovrà subire un'implementazione, poiché il benessere interno registrato nella zona non è assolutamente soddisfacente.

### 9.7.2.2 CONFRONTO TRA METODO STATICO E ADATTIVO

Ponendo a paragone i due metodi di analisi scelti per il comfort, si osserva che il metodo adattivo è migliore rispetto a quello statico, ma ciò nonostante non è ottimale per il caso considerato.

Confrontando i dati ottenuti con quelli della scorsa situazione analizzata si nota che per quanto riguarda il metodo statico il comfort è migliorato per tutte le categorie anche se di poco nella più restrittiva. Tuttavia, nonostante i vantaggi ottenuti con questo nuovo modello, relativamente al metodo adattivo il livello di comfort è di poco diminuito in tutte le categorie.

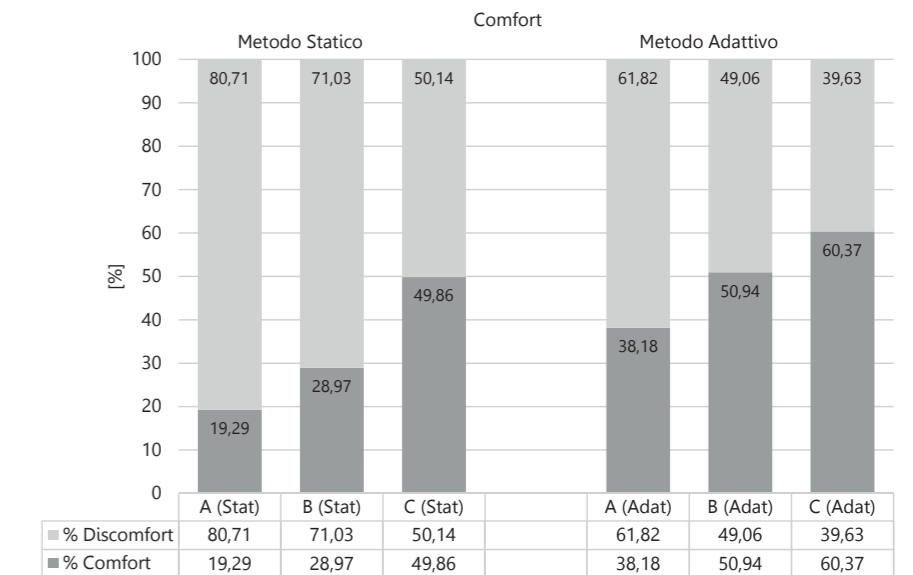


Figura 459\_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione 3



### 9.7.3 CONSUMO ENERGETICO

Si analizzano ora i consumi energetici ottenuti per la zona analizzata, con i nuovi parametri assegnati, ossia la presenza della schermatura sui vetri e la diminuzione dell'intervallo di attivazione dei sistemi di riscaldamento e di raffrescamento. Nel grafico sono riportati i valori di calore sensibile durante il periodo estivo (+Qsens) e quelli nel periodo invernale (-Qsens). Infine si riporta anche il valore riferito al calore latente (Qlat).

Si nota che il calore sensibile nei mesi invernali raggiunge nel mese di gennaio i 2899 kWh. La parte di calore sensibile positiva è quella riferita all'impianto di condizionamento, che in questo caso non è più attivo tutto l'anno ma solo durante i mesi più caldi. In questo caso i valori raggiunti sono piuttosto bassi e arrivano fino a 500 kWh al massimo.

Il fabbisogno latente registrato ha valori nulli durante tutti i mesi in cui non è attivo il sistema di raffrescamento, mentre il suo valore massimo è raggiunto nel mese di luglio, ossia il più caldo, con 545,53 kWh.

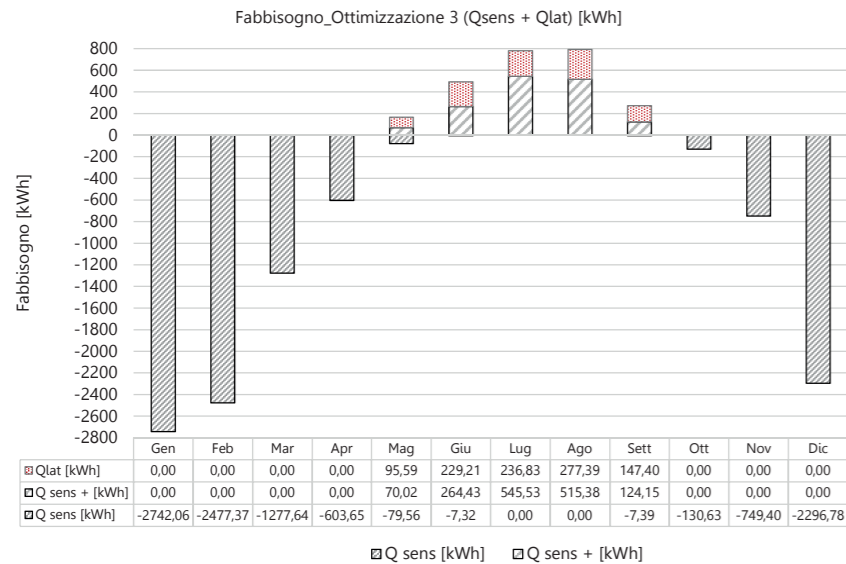


Figura 460\_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 3

### CONFRONTO ENERGETICO: OTT.2-OTT. 3

Per capire se le variazioni introdotte sono risultate utili per il miglioramento delle prestazioni dell'edificio, si è pensato di porre nel grafico sottostante i valori di energia primaria richiesta per il caso attuale e quello precedente.

Nell'istogramma si nota come la situazione implementata sia migliore rispetto alla precedente, soprattutto in termini di energia totale richiesta. Se nel caso dapprima studiato l'energia necessaria era pari a circa 23842,06 kWh, in questo caso il valore totale si riduce a 12877,76, migliorando del 46%.

Analizzando solamente i dati relativi al calore sensibile questo diminuisce da 21225,29 kWh a 11891,33 kWh ossia di quasi la metà. In relazione invece alla quota parte di calore latente si verifica una grandissima riduzione in quanto si passa da 2615,75 kWh a 986,43 kWh.

Ciò nonostante sarà necessario implementare ulteriormente il modello in modo tale da diminuire i consumi. Si procederà considerando diversi livelli di schermatura e di ventilazione durante l'anno solare.

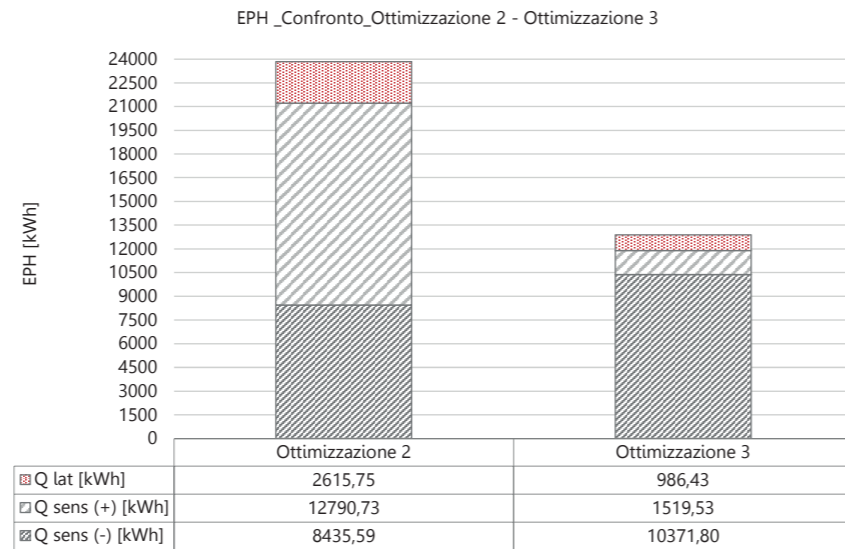


Figura 461\_EPH: ottimizzazione 2-ottimizzazione 3

### CALCOLO DEL CONSUMO PER UNITÀ DI SUPERFICIE

Dopo aver analizzato il consumo totale che si registra per l'intero edificio, si vuole stimare a quanto ammonta quello relativo ad ogni unità di superficie.

Per fare ciò è necessario dividere l'apporto totale di consumo registrato per i metri quadri di superficie dell'edificio considerato. In questo caso si dividerà per l'area totale delle zone 1, 2 e 3, poiché i consumi di queste due zone sono trascurabili.

In basso si riporta la tabella del calcolo effettuato per ricavare i Wh/m² che caratterizzano l'edificio del bar preso in considerazione, per tutti i casi analizzati fino ad ora.

Si analizzano e si commentano separatamente soltanto i casi relativi all'ottimizzazione 2 e 3.

- OTTIMIZZAZIONE 2: in questo caso il consumo totale ammonta a 23842,06 kWh, che se diviso per la superficie considerata di 95,50 m², fa ottenere un consumo effettivo di 249,66 kWh/m².
- OTTIMIZZAZIONE 3: in questo caso il consumo totale è pari a 12877,76 kWh, che una volta diviso per la superficie interessata, ovviamente sempre pari a 95,50 m², fa ottenere un consumo effettivo di 134,85 kWh/m².

I consumi registrati si sono ridotti ulteriormente, ma ancora non si è raggiunta una situazione ideale. Confrontando tutti i casi presi in considerazione finora, si osserva che rispetto al primo analizzato, ossia edificio con vetri singoli, il miglioramento è del 64,5%, rispetto al caso dell'ottimizzazione 1 è del 53%, mentre rispetto al caso dell'ottimizzazione 2 è del 46%. Si può affermare quindi che l'utilizzo delle schermature e il conseguente cambiamento dei periodi di attivazione degli impianti hanno contribuito in modo evidente al miglioramento dei consumi energetici registrati.

BILANCIO ENERGETICO			
Edificio considerato	Indice di energia primaria [kWh]	Superficie del Bar [m²]	Consumo effettivo [kWh/m²]
Vetro Singolo	36381,93	95,50	380,96
Ottimizzazione 1	27427,82	95,50	287,20
Ottimizzazione 2	23842,06	95,50	249,66
Ottimizzazione 3	12877,76	95,50	134,85

Figura 462\_Bilancio energetico: ottimizzazione 3

### 9.7.4 CONSIDERAZIONI

I risultati ottenuti con questo nuovo modello hanno portato a ottimizzare l'edificio rispetto al caso precedente, ma ciò nonostante i traguardi raggiunti possono essere migliorati.

Per quanto riguarda il comfort, nonostante si sia registrato un miglioramento, il livello di benessere raggiunto non risulta essere sufficiente, in quanto in quasi tutte le fasce di comfort analizzate, i valori di discomfort risultano essere maggiori rispetto a quelli di benessere.

In termini di energia la situazione ha portato ad avere una svolta significativa, in quanto, come precedentemente visto in maniera dettagliata, i consumi si sono ridotti della metà.

Sarà opportuno quindi procedere con ulteriori modifiche delle caratteristiche apportate al modello. Il passo più importante da effettuare è quello di dividere le analisi per i vari periodi dell'anno, in modo tale da poter ottimizzare ogni periodo secondo i dati climatici esterni associati.

Per ogni periodo dell'anno individuato si eseguirà implementando i valori di ventilazione, la percentuale di schermatura sia a seconda dei dati climatici esterni sia a seconda dell'esposizione ed infine gli orari di attivazione degli impianti.

Dopo aver trovato le soluzioni ottimali per ogni caso considerato, si analizzeranno le condizioni di benessere raggiunte nell'edificio, con i modelli statico ed adattivo. Inoltre si analizzeranno i consumi energetici registrati, ponendoli a confronto con i casi precedenti.

# 9.8 OTTIMIZZAZIONE FINALE

Con le analisi fino ad ora effettuate si è potuto osservare in che modo i vari parametri assegnati all'edificio possano influenzare le condizioni di temperatura interne, determinandone così il livello di benessere degli utenti. Con una attenta analisi di comfort e di consumo energetico si è poi potuto constatare come i valori ottenuti non siano stati soddisfacenti ai fini della progettazione energetica, seppur si siano verificati molteplici miglioramenti rispetto alle condizioni inizialmente studiate. Per questo si procederà a descrivere quali sono stati gli ulteriori parametri che hanno concesso di modificare le condizioni dell'edificio portando a livelli di benessere interno accettabili e a consumi ridotti rispetto alle analisi fino ad ora condotte.

## PREMESSA

In questo capitolo si indicheranno tutte le caratteristiche apportate al modello tridimensionale sia tramite il programma TrnBuild, sia tramite Simulation Studio, senza però riportare tutte le simulazioni svolte per raggiungere quella finale: si spiegherà come si è sviluppato il lavoro, passo dopo passo, riportando però i risultati relativi alla soluzione ottimale raggiunta. Volendosi addentrare nel merito delle modifiche effettuate, queste si sono basate tutte sull'ultima simulazione svolta per poi apportare delle modifiche ai parametri più importanti in gioco: dapprima si sono considerate le schermature dei vetri, in secondo luogo ci si è focalizzati sulla ventilazione ed infine si è deciso di modificare l'orario e il periodo di attivazione degli impianti inseriti nel modello. Questi procedimenti progressivi sono stati effettuati suddividendo l'anno solare in cinque differenti periodi, in modo da non assegnare valori costanti dei parametri durante l'intero anno solare.

## 9.8.1 IL MODELLO OTTIMIZZATO

### 9.8.1.1 CONDIZIONI INIZIALI

Il modello su cui sono state eseguite le simulazioni ha subito molte modifiche rispetto ai casi precedentemente analizzati. La svolta principale che ha consentito di ottenere risultati migliori rispetto alle scorse analisi è stata quella di considerare differenti periodi dell'anno, in modo da regolare i parametri sulla base delle temperature esterne. In particolare sono stati scelti cinque periodi: il primo è relativo alla stagione fredda che comprende i mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre. Il secondo, il terzo e il quarto sono relativi alle mezze stagioni, una più fredda a cui appartengono i mesi di marzo e ottobre, mentre le altre più calde, di cui fanno parte i mesi di aprile e poi maggio con settembre. L'ultimo periodo riguarda la stagione più calda, dove si registrano temperature molto elevate: è quella relativa ai mesi di giugno luglio ed agosto. Per semplicità si sono riportati gli orari di attivazione dei vari parametri studiati in una tabella, in modo da rendere immediata la lettura dei dati per comprendere le scelte effettuate per i vari mesi dell'anno.

PERIODO DELL'ANNO	CARATTERISTICHE DEL MODELLO OTTIMIZZATO								
	VENTILAZIONE MECCANICA		SISTEMA DI SCHERMATURA DEI VETRI			IMPIANTO DI RISCALDAMENTO		IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO	
	Valore di ventilazione [1/h]	Orari di attivazione	Quantità di schermatura [%]	Soglia di attivazione		Valore scelto On/Off	Orari di attivazione	Valore scelto On/Off	Orari di attivazione
Gennaio	0,5	00:00-08:00	30% - 75%*	00:00-24:00	100	Off	00:00-6:00	Off	00:00-09:00
Febbraio	1	08:00-18:00				On	06:00-11:30	On*	10:00-20:00
Novembre	0,5	18:00-24:00				Off	11:30-14:00	Off	20:00-24:00
Dicembre			*Lucernari			On	14:00-24:00		*1-15 Novembre
Marzo	0,5	00:00-08:00	0%	00:00-12:00	100	Off	00:00-6:00	Off	00:00-09:00
Ottobre	1,5	08:00-18:00	60%	12:00-14:00	100	On	06:00-11:30	On	10:00-20:00
	0,5	18:00-24:00	0%	14:00-24:00	100	Off	11:30-14:00	Off	20:00-24:00
Aprile	0,5	00:00-06:00	0%	00:00-11:00	100	Off	00:00-24:00	Off	00:00-09:00
	1	06:00-22:00	50% - 75%*	11:00-16:00	100	On		On	09:00-18:00
	0,5	22:00-24:00	0%	16:00-24:00	100	Off		On	18:00-20:00
			*Lucernari			On		On	20:00-22:00
						Off		Off	22:00-24:00
Maggio	0,5	00:00-06:00	0%	00:00-11:00	100	Off	00:00-24:00	Off	00:00-09:00
Settembre	1	06:00-22:00	75%	11:00-16:00	100	On		On	09:00-18:00
	0,5	22:00-24:00	0%	16:00-24:00	100	Off		Off	18:00-20:00
						On		On	20:00-22:00
						Off		Off	22:00-24:00
Giugno	12	00:00-03:00	0%	00:00-11:00	100	Off	00:00-24:00	Off	00:00-09:00
Luglio	6	03:00-06:00	100%	10:00-18:00	100	On		On	09:00-22:00
Agosto	2,5	06:00-10:00	0%	18:00-24:00	100	Off		Off	22:00-24:00
	1,5	10:00-20:00			100				
	2,5	20:00-24:00			100				

Figura 463\_Caratteristiche del modello finale

## 9.8.2 COMFORT

### 9.8.2.1 MODELLI DI COMFORT

#### MODELLO STATICO

Si riporta al di sotto il grafico del comfort ottenuto in riferimento all'utilizzo del modello statico. Come spiegato nell'introduzione del capitolo relativo al comfort, le fasce che individuano le categorie di benessere interno sono tre. In questo caso si nota come la nuvola dei punti ricada per gran parte all'interno delle tre fasce individuate dalle rette che rappresentano i limiti stabiliti dalla normativa. Il grafico a dispersione rappresenta la temperatura operativa relativa ad ogni ora del corso dell'anno. Se la maggior parte di questi punti ricade all'interno delle fasce di comfort significa che si è raggiunto un livello di benessere soddisfacente. Logicamente è più semplice che i punti ricadano nella fascia di comfort definita dalle due rette grigio chiaro, in quanto è quella che prevede un range più ampio di temperature. La condizione ottimale sarebbe però ottenere dei buoni risultati all'interno della categoria di comfort più restrittiva.



Figura 464\_Modello statico: ottimizzazione finale

#### MODELLO ADATTIVO

Si riporta al di sotto il grafico del comfort ottenuto in riferimento all'utilizzo del modello adattivo.

Anche nel caso del modello adattivo, le fasce individuate da questo metodo sono sempre tre, la A che indica una percentuale di comfort maggiore, la B media e la C la minore.

È possibile constatare che in questo caso molti punti rappresentati dal grafico a dispersione sono distribuiti all'interno delle fasce di comfort anche se una piccola parte di essi risulta essere localizzata al di sotto delle rette rappresentate, ossia esterna alle fasce di comfort.

È evidente come la situazione in questo caso sia migliore rispetto a quella riscontrata nel caso del metodo statico, infatti si nota come anche una buona parte dei punti sia interna alla fascia più restrittiva. In seguito si potranno analizzare i dati relativi alle percentuali di punti ricadenti in ciascuna fascia per poter trarre le conclusioni in merito al livello di benessere raggiunto.

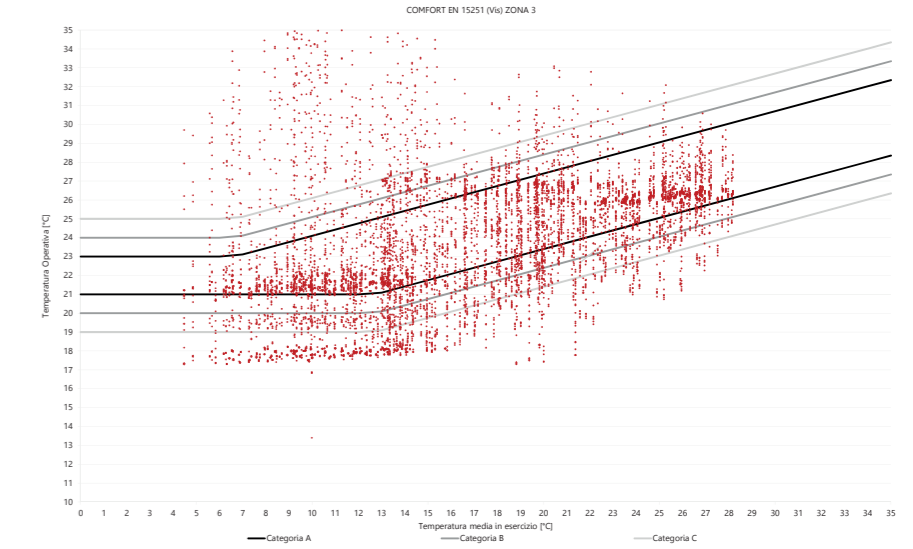


Figura 465\_Modello adattivo: ottimizzazione finale



### 9.8.2.2 CONFRONTO TRA METODO STATICO E ADATTIVO

Si è deciso di riportare in un istogramma i dati percentuali ottenuti in questa condizione. Per quanto riguarda il metodo statico si è raggiunta una percentuale di comfort nella migliore categoria pari al 28,16%, pari al 40,70% nella categoria intermedia e pari al 66,85% in quella relativa alla minor percentuale di soddisfazione degli utenti. Analizzando invece i valori relativi alle analisi eseguite col metodo adattivo i valori sono migliori, in quanto il comfort è pari a 51,63 nella categoria più restrittiva ed è uguale a 78,43% in quella con i range più ampi.

Per quanto riguarda il metodo adattivo, il livello di comfort è sempre maggiore rispetto a quello di discomfort, mentre se si osservano i dati registrati con il modello statico, il comfort è maggiore del discomfort registrato solo relativamente alla categoria C. Tuttavia rispetto ai casi precedentemente studiati si sono ottenuti miglioramenti rilevanti che hanno fatto sì che il livello di benessere sia sempre raggiunto col modello adattivo mentre sia raggiunto in maniera parziale considerando quello statico.

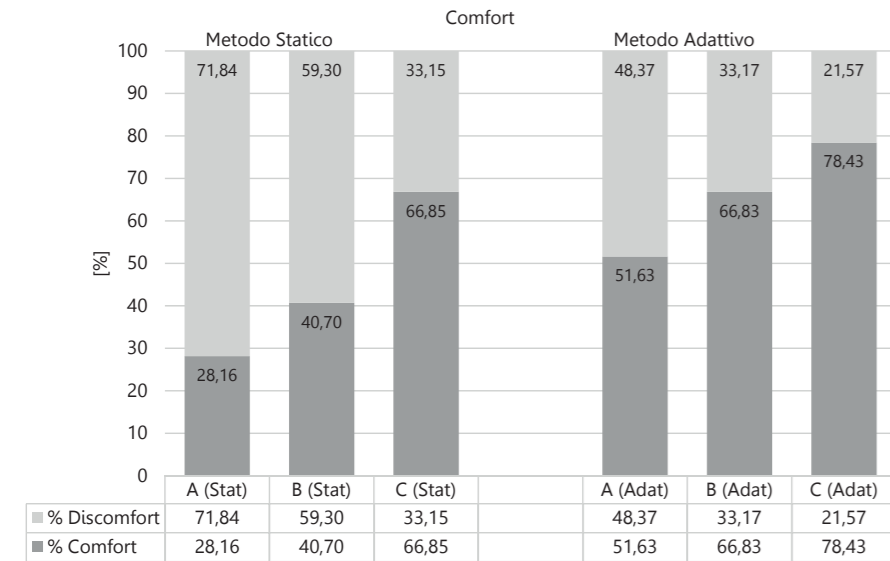


Figura 466\_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione finale

### 9.8.2.3 RESTRIZIONE ORARI DI VALUTAZIONE DEL COMFORT

Per poter capire come sia il comfort realmente all'interno dell'edificio si è pensato di filtrare i valori registrati solo negli orari di utilizzo del bar. In particolare si sono scartati tutti i valori di temperatura registrati dalle 00:00 alle 6:00, intervallo di tempo nel quale il bar rimane chiuso. In realtà la sala del bar è frequentata soltanto dalle 8:00 alle 24:00 ma per completezza si è preferito tenere gli orari di utilizzo dell'intero edificio. Il livello di benessere registrato aumenta con entrambi i modelli utilizzati, raggiungendo un livello di comfort ottimale: infatti si registra un miglioramento del 18% in tutte le fasce e per entrambi i modelli.

### 9.8.2.4 CONSIDERAZIONI

Con le analisi effettuate si può affermare che il benessere è stato raggiunto con entrambi i modelli analizzati. Per quanto riguarda la categoria più ristretta si registrano basse percentuali di comfort raggiunto, ma relativamente alle altre due categorie ci si può ritenere soddisfatti del tipo di benessere registrato.

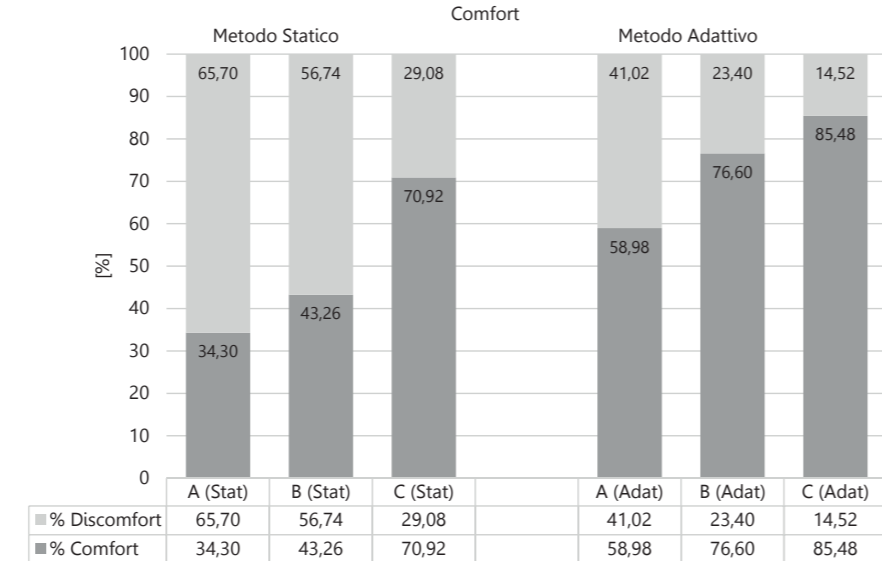


Figura 467\_Valori percentuali di comfort e discomfort con orari ristretti: ottimizzazione finale

### 9.8.3 CONSUMO ENERGETICO

Si sceglie di presentare in questo caso un grafico relativo ai dati ricavati riguardanti i valori di calore sensibile durante il periodo estivo (+Qsens) e quelli nel periodo invernale (-Qsens). Infine si riporta il calore latente (Qlat). In seguito si passerà a confrontare i valori ottenuti con quelli dei casi precedenti per osservare il miglioramento ottenuto con le nuove condizioni assegnate al modello.

Si hanno dei valori di calore sensibile positivo e negativo molto ridotti rispetto ai casi precedentemente analizzati. In questo caso il calore sensibile nei mesi invernali assume il valore minimo nel mese di ottobre con -5,74 kWh e il massimo a gennaio con -572,18 kWh. Se si considera quello registrato durante i mesi caldi invece, il minimo si ha nel mese di novembre con 79,95 kWh mentre il massimo si raggiunge a luglio con 422,24kWh.

Per quanto riguarda il calore latente, questo risulta essere nullo nei mesi in cui non è attivo il sistema di raffrescamento ed è massimo durante i mesi di giugno, luglio ed agosto.

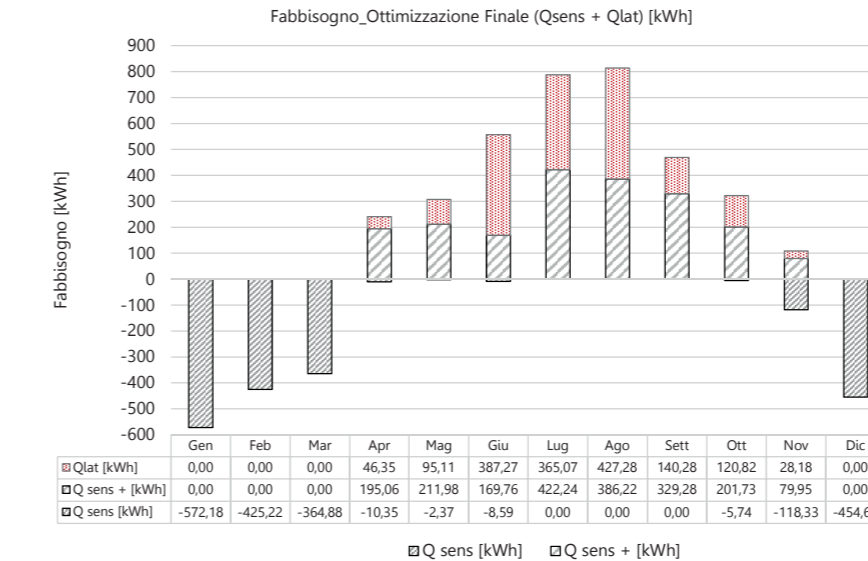


Figura 468\_Fabbisogno energetico: ottimizzazione finale

### CONFRONTO ENERGETICO: OTT. 3 - OTT. FINALE

Per capire se le variazioni introdotte in termini di schermatura, ventilazione e sistemi impiantistici sono risultate utili per il miglioramento delle prestazioni dell'edificio, si è pensato di porre nel grafico sottostante i valori di energia primaria richiesta per il caso attuale e quello precedentemente studiato, in cui si era attivato il sistema di schermatura.

Nell'istogramma si nota come la situazione implementata sia migliore rispetto alla precedente, soprattutto in termini di energia totale richiesta. Se nel caso dapprima studiato l'energia necessaria era pari a circa 13000 kWh, in questo caso il valore totale si riduce a 5500 kWh, migliorando del 42%.

Analizzando solamente i dati relativi al calore sensibile registrato nei mesi invernali questo diminuisce da 10371,80 kWh a 1962,31 kWh ossia dell'81%. In relazione invece alla quota parte di calore latente non si verifica una riduzione ma un aumento di circa 650 kWh. Si può quindi concludere che dal punto di vista energetico i miglioramenti riscontrati sono evidenti.

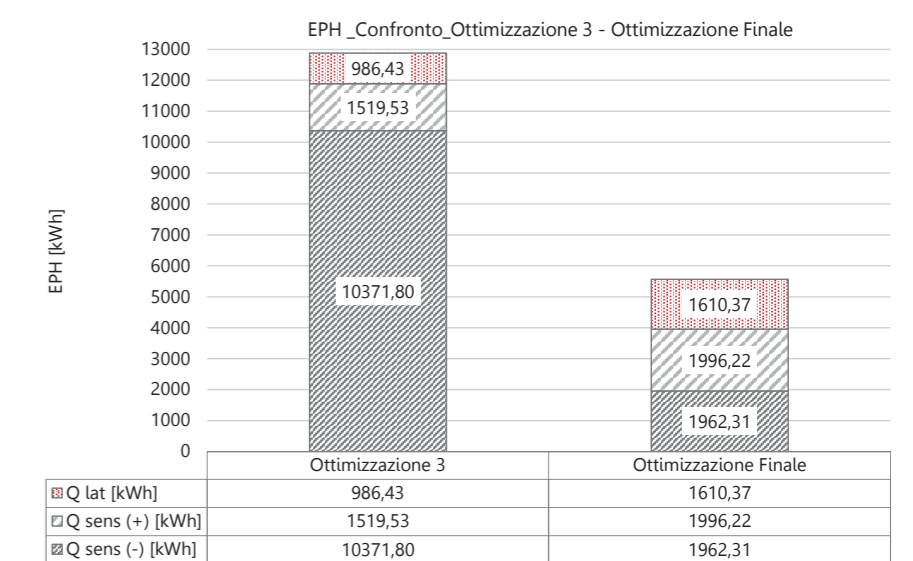


Figura 469\_EPH: ottimizzazione 3-ottimizzazione finale

### FOCUS: IL CONSUMO ESTIVO

Analizzando il grafico relativo al fabbisogno registrato durante l'intero anno solare si è evidenziato che i consumi più importanti sono registrati durante la stagione estiva. Di conseguenza si prendono in considerazione solo i dati relativi al calore sensibile positivo e al calore latente ottenuti dalle simulazioni, sempre relativamente alla zona climatica considerata.

Il luogo di progetto è infatti caratterizzato da temperature esterne piuttosto elevate, che fanno sì che le vetrate di cui è costituito l'edificio analizzato siano direttamente esposte ai raggi solari. In questo modo risulta necessaria l'attivazione dell'impianto di raffrescamento per garantire temperature dell'aria interna tali da garantire il benessere degli utenti.

Nel grafico si riportano soltanto i dati relativi ai consumi estivi registrati, durante tutto il periodo dell'anno.

Il calore sensibile registrato ammonta a 1996,22 kWh, mentre quello latente è pari a 1610,37 kWh.

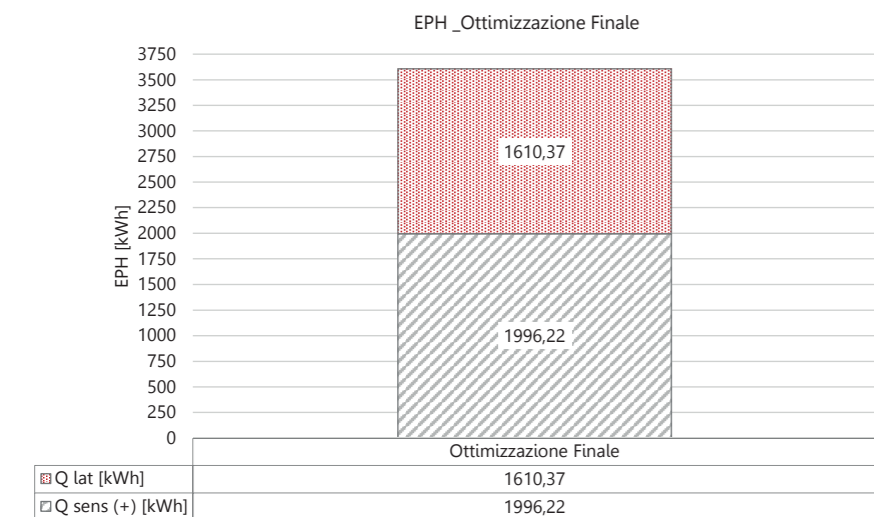


Figura 470\_EPH: ottimizzazione finale

### 9.8.3.1 CALCOLO DEL CONSUMO PER UNITÀ DI SUPERFICIE

Dopo aver analizzato il consumo totale che si registra per l'intero edificio, si vuole stimare a quanto ammonta quello relativo ad ogni unità di superficie.

Si divide quindi l'apporto totale di consumo registrato per i metri quadri di superficie dell'edificio considerato. Anche in questo caso si dividerà per l'area totale delle zone 1, 2 e 3, poiché i consumi delle zone 1 e 2 si sono sempre considerati trascurabili. In basso si riporta la tabella del calcolo effettuato per ricavare i Wh/m<sup>2</sup> che caratterizzano l'edificio del bar preso in considerazione, per tutti i casi analizzati fino ad ora.

Si analizzano e si commentano separatamente soltanto i casi relativi all'ottimizzazione 3 e a quella finale.

1. OTTIMIZZAZIONE 3: in questo caso il consumo totale ammonta a 12877,76 kWh, che se diviso per la superficie considerata di 95,50 m<sup>2</sup>, fa ottenere un consumo effettivo di 134,85 kWh/m<sup>2</sup>.
2. OTTIMIZZAZIONE FINALE: in questo caso il consumo totale è pari a 5568,90 kWh, che una volta diviso per la superficie interessata, ovviamente sempre pari a 95,50 m<sup>2</sup>, fa ottenere un consumo effettivo di 58,31 kWh/m<sup>2</sup>.

I consumi in questo caso si sono ridotti in modo drastico e risultano essere quindi accettabili. Confrontando il valore con tutte le situazioni precedentemente analizzate si ha un ingente miglioramento. Rispetto al caso con vetri singoli il miglioramento ammonta all'85%, all'ottimizzazione 1 dell'80%, all'ottimizzazione 2 del 76,6% ed infine all'ottimizzazione 3 del 56%. Il valore raggiunto inoltre diminuirà ulteriormente sottraendo il fabbisogno energetico fornito dall'impianto fotovoltaico installato in copertura.

BILANCIO ENERGETICO			
Edificio considerato	Indice di energia primaria [kWh]	Superficie del Bar [m <sup>2</sup> ]	Consumo effettivo [kWh/m <sup>2</sup> ]
Vetro Singolo	36381,93	95,50	380,96
Ottimizzazione 1	27427,82	95,50	287,20
Ottimizzazione 2	23842,06	95,50	249,66
Ottimizzazione 3	12877,76	95,50	134,85
Ottimizzazione Finale	5568,90	95,50	58,31

Figura 471\_Bilancio energetico: ottimizzazione finale

## 9.9 CONSUMI ENERGETICI TOTALI

Dopo essere giunti alla soluzione finale, considerata ottimale sia a livello di comfort che di energia richiesta affinché questo sia garantito, si è deciso di tirare le somme per poter stimare i consumi totali dell'edificio.

Per ora l'analisi si è incentrata solo sui consumi relativi all'edificio del bar e in particolare della zona 3 perché risulta essere la più caratteristica in quanto consiste nella sala del bar. Le zone 1 e 2 infatti, ospitanti rispettivamente cucina e bar, sono scarsamente utilizzate, ma soprattutto non presentano un affollamento tale di persone da dover garantire un livello di comfort ottimale. Inoltre anche la tipologia di destinazione d'uso che le caratterizza permette una minor attenzione in termini di benessere. Di conseguenza i consumi energetici ad esse relativi si sono supposti trascurabili.

In particolare si è scelto di prendere come riferimento l'edificio del bar analizzato per poi poter stimare gli altri edifici facenti parte del progetto sulla base delle loro caratteristiche sia in termini di destinazione d'uso che di conformazione dell'edificio stesso.

### 9.9.1 DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DEL PROGETTO

Il primo importante passaggio è quello di definire meglio gli edifici del progetto, da un punto di vista energetico, per poter capire con quale tipologia di edificio si ha a che fare. I consumi energetici potrebbero variare sensibilmente se non si considerassero tutte le caratteristiche che concorrono alla sua definizione, motivo per il quale si analizzeranno una ad una.

#### 9.9.1.1 CARATTERISTICHE CONSIDERATE PER OGNI EDIFICIO

Si illustrano ora quali sono le variabili che si sono ritenute interessanti per la stima del consumo energetico degli edifici di progetto.

Tra le caratteristiche principali da considerare si analizzeranno le seguenti cinque, poiché risultano essere le più significative, facilmente valutabili mediante l'analisi del progetto.

Si considerano dunque:

1. LA DESTINAZIONE D'USO DELL'EDIFICIO: è necessaria per capire il tipo di utilizzo relativo soprattutto agli impianti. In particolare, sulla base del tipo di destinazione d'uso, si possono definire gli orari di attività del locale e sulla base di essi dedurre il tipo e il periodo di accensione degli impianti stessi.
2. LA SUPERFICIE E IL VOLUME DELL'EDIFICIO: serve per comprendere le dimensioni dell'edificio e capire quali sono le tempistiche di raffrescamento o riscaldamento del locale. Logicamente più l'edificio ha dimensioni elevate e maggiore sarà l'energia utile per garantire un determinato livello di temperatura.
3. QUANTITÀ DI SUPERFICIE VETRATA DELL'EDIFICIO: gli elementi trasparenti giocano un ruolo fondamentale in termini energetici. È necessario definire il quantitativo di area vetrata per ognuno di essi, specificando l'orientamento dei vetri considerati. Una vetrata esposta a Sud infatti, dovrà essere schermata in modo adeguato per evitare un surriscaldamento dell'ambiente interno.
4. L'ESPOSIZIONE DELL'EDIFICIO: è opportuno considerare se l'edificio è orientato in maniera sfavorevole o favorevole rispetto agli altri e se, risulta essere schermato o meno dalla grande copertura caratterizzante il progetto.
5. L'AFFOLLAMENTO DELL'EDIFICIO: il quantitativo di persone presente all'interno di ogni locale è necessario sia per comprendere il tipo di attività che viene svolta nell'ambiente considerato, sia per stimare ancora una volta gli orari di attivazione degli impianti.



### 9.9.1.2 GLI EDIFICI DEL PROGETTO

#### IL FARO

L'edificio in questo caso ha la sola funzione di ospitare una alta scala a chiocciola che svetta al di sopra della copertura, per ammirare dall'alto il paesaggio insulare. Per questo motivo si può affermare che i consumi energetici relativi a questo ambiente saranno nulli.

#### L'INFOPOINT

1. LA DESTINAZIONE D'USO DELL'EDIFICIO: si tratta di un ufficio destinato ai turisti dell'isola. Gli orari di apertura immaginati per questo tipo di locale comprendono l'intero arco della giornata escludendo le ore di pausa pranzo dei lavoratori. Gli impianti in questo caso necessitano di essere attivati solo durante alcune ore del giorno.
2. LA SUPERFICIE E IL VOLUME DELL'EDIFICIO: la superficie dell'infopoint è limitata in quanto si parla di 23,7 m<sup>2</sup> ed avendo un'altezza interna di circa 4 metri si ha un volume di 118,5 m<sup>3</sup>.
3. QUANTITÀ DI SUPERFICIE VETRATA DELL'EDIFICIO: in questo caso si ha una superficie vetrata di 3,92 m<sup>2</sup> verso Sud, una di 2,95 m<sup>2</sup> a Est ed altrettanti metri quadri a Nord.
4. L'ESPOSIZIONE DELL'EDIFICIO: l'esposizione dell'edificio non è per nulla critica, in quanto esso risulta esposto prevalentemente a Ovest. Infatti, per i lati dell'edificio esposti a Nord, Est e Sud, si ha la copertura che scherma l'intero edificio.
5. L'AFFOLLAMENTO DELL'EDIFICIO: il quantitativo di persone presenti nell'edificio è limitato. Si prevede al massimo la presenza di 10 persone, nel caso di massimo affollamento del locale.

#### SALA ESPOSITIVA

L'edificio in questione ha una funzione particolare: si tratta di una sorta di sala espositiva che presenta diverse installazioni a seconda dei differenti periodi dell'anno. È un locale concepito per essere tenuto aperto durante i mesi estivi e per chiuso durante quelli invernali. Anche in questo caso quindi i consumi relativi a questo locale si considerano nulli.

### LA PALESTRA DI YOGA

1. LA DESTINAZIONE D'USO DELL'EDIFICIO: si tratta di un edificio adibito a palestra, nella quale però si svolgono attività di ginnastica non troppo intense. Infatti si tratta di una sala sportiva dedicata allo yoga o alla ginnastica lenta. Di conseguenza il livello di attività delle persone che la frequentano risulta essere piuttosto moderato. Gli orari di apertura immaginati per questo tipo di locale sono relativi solamente a una decina di ore su tutto l'arco della giornata. In questo caso il tipo di impianto principale sarà quello di raffrescamento durante la stagione estiva, poiché essendo una zona in cui si svolge attività fisica, il livello di riscaldamento risulterà essere ridotto al minimo necessario per garantire il benessere degli utenti.
2. LA SUPERFICIE E IL VOLUME DELL'EDIFICIO: la superficie della palestra non è eccessiva ma è maggiore rispetto a quella dell'infopoint. La metratura della sala yoga ammonta a 36,5 m<sup>2</sup> ed avendo un'altezza interna di circa 4 metri occupa un volume totale di circa 146 m<sup>3</sup>.
3. QUANTITÀ DI SUPERFICIE VETRATA DELL'EDIFICIO: nella facciata esposta a Nord si ha una superficie vetrata di 1,47 m<sup>2</sup>, completamente schermata dalla copertura sovrastante. La medesima superficie di elementi trasparenti si ha anche verso Est e verso Sud, ma entrambe risultano essere ben schermate sempre dal tetto verde. La superficie vetrata presente a Ovest invece risulta essere molto ampia, in quanto è pari a 23,85 m<sup>2</sup>. Rispetto agli altri elementi trasparenti, questa è l'unica che non presenta un livello di schermatura adeguato.
4. L'ESPOSIZIONE DELL'EDIFICIO: l'esposizione dell'edificio non è critica nemmeno in questo caso, in quanto la facciata più significativa è esposta ad Ovest. Gli altri lati, infatti, sono caratterizzati da un livello di schermatura elevato, fornito dalla copertura sovrastante.
5. L'AFFOLLAMENTO DELL'EDIFICIO: il quantitativo di persone presenti nell'edificio è limitato. Infatti affinché ognuno abbia la possibilità di eseguire al meglio gli esercizi di yoga si prevede la presenza di 15 persone, nel caso di massimo affollamento del locale.

### 9.9.2 CONSUMI ENERGETICI TOTALI

In questo paragrafo si intende analizzare il consumo energetico totale relativo all'intero progetto architettonico.

#### 9.9.2.1 STIMA DEL CONSUMO ENERGETICO DI TUTTI GLI EDIFICI

In tabella si riassumono i calcoli eseguiti per la stima del consumo dei vari edifici di progetto. Il Faro ha un consumo pari a 0 kWh/m<sup>2</sup>, così come la sala espositiva. Per quanto riguarda l'infopoint, si è stimato che il suo consumo energetico potesse essere circa 1/4 rispetto a quello del bar, ossia di 14,58 kWh/m<sup>2</sup>. Per la palestra di yoga invece, che risulta più critica rispetto al bar, si è assunto che potesse avere un consumo energetico totale pari alla metà del bar, di 29,16 kWh/m<sup>2</sup>.

Infine si riportano i dati relativi all'edificio del Bar, i cui consumi, in questo caso non sono quelli stimati, ma sono quelli effettivi, estrapolati dai dati ottenuti con le simulazioni. In questo caso si ha un consumo effettivo di 58,31 kWh/m<sup>2</sup>. Il totale registrato è pari quindi a 102,05 kWh/m<sup>2</sup>.

BILANCIO ENERGETICO DEL PROGETTO		
Edificio considerato	Descrizione	Consumo effettivo [kWh/m <sup>2</sup> ]
Faro	Questo edificio risulta essere caratterizzato da una torre panoramica. E' previsto come un locale ad uso esterno, motivo per il quale il suo consumo energetico risulta essere nullo.	0,00
Infopoint	Questo locale è caratterizzato da una superficie limitata. In esso è prevista la presenza di poche persone, si può quindi stimare che i consumi siano circa 1/4 rispetto a quelli del bar.	14,58
Sala Espositiva	Si tratta di un locale concepito come esterno ed interno allo stesso tempo. Di conseguenza i consumi ad esso associati sono nulli.	0,00
Palestra di yoga	L'edificio è una piccola palestra con attività motoria leggera, ma presenta una grande vetrata esposta a Sud. Per questo si considera che i consumi energetici siano circa 3/4 rispetto a quelli del Bar.	29,16
Bar	E' l'edificio più significativo per quanto riguarda i consumi, soprattutto perché risulta frequentato da molte persone.	58,31
<b>TOTALE</b>		<b>102,05</b>

Figura 472\_Stima del consumo energetico degli edifici di progetto

### 9.9.2.2 ENERGIA PRODOTTA DAL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Per il progetto sono stati installati in copertura 30 pannelli fotovoltaici con una potenza nominale pari a 87,5 W<sub>p</sub> ognuno. Per considerare dunque l'effettivo rendimento dei pannelli, è opportuno considerare una potenza inferiore rispetto a quella di picco, in quanto il dato tecnico in questione si riferisce ad alcune condizioni ottimali che non si verificano durante tutto l'arco della giornata. Infatti la potenza nominale viene erogata dai pannelli solo in condizioni ottimali, cioè con irraggiamento solare di 1000W/m<sup>2</sup>, con sole esattamente perpendicolare alla superficie dei pannelli e temperatura delle celle pari a 25°C. Queste condizioni si verificano raramente e per questo motivo la potenza effettiva prodotta dai pannelli varia continuamente da 0 alla potenza nominale. Si considererà di conseguenza un'efficienza del pannello pari al 70% della potenza nominale, supponendo che essi funzionino per un periodo della giornata pari a circa 8 ore.

La potenza effettiva di ogni pannello è pari a:

$$87,5 \text{ W}_p / \text{pannello} \times 60 / 100 = 52,5 \text{ W} / \text{pannello} = 0,0525 \text{ kW} / \text{pannello}$$

L'energia ottenuta a partire da questo dato, relativamente ad ogni pannello è:

$$0,0525 \text{ kW} / \text{pannello} \times 8 \text{ h} / \text{gg} \times 365 \text{ gg} / \text{anno} = 151,840 \text{ kWh} / \text{pannello} / \text{anno}$$

Moltiplicando l'energia prodotta da ogni pannello per il numero di pannelli totali installati sulla copertura, pari a 30, si ottiene:

$$151,840 \text{ kWh} / \text{pannello} / \text{anno} \times 30 \text{ pannelli} = 4555,2 \text{ kWh} / \text{anno}$$

Si considera ora la superficie totale degli edifici che prevedono un consumo di energia. Si ottiene una superficie totale di 150,70 m<sup>2</sup>. L'energia fornita dai pannelli fotovoltaici per unità di superficie è pari a:

$$4555,2 \text{ kWh} / \text{anno} / 150,70 \text{ m}^2 = 30,22 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{anno}$$

Il bilancio energetico totale è dato dal consumo effettivo ricavato in precedenza al quale viene sottratta l'energia fornita dal sistema fotovoltaico in copertura. Si ottiene:

$$102,05 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{anno} - 30,22 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{anno} = 71,83 \text{ kWh} / \text{m}^2 / \text{anno}$$

Il consumo totale degli edifici di progetto è quindi pari a 71,83 kWh/m<sup>2</sup>/anno.

# 9.10 LA VENTILAZIONE NATURALE

Si è pensato fosse utile riportare all'interno del capitolo energetico un approfondimento svolto sull'utilizzo della ventilazione naturale all'interno del progetto.

Precisamente si sono utilizzati due metodi di calcolo per poter comprendere in che modo fosse opportuno ventilare l'edificio naturalmente. In particolare si è fatto uso di due differenti strumenti: il primo fornisce una soluzione in veste di dati, mentre il secondo permette di visualizzare i risultati ottenuti in modo grafico, direttamente sul modello tridimensionale dell'edificio. Si riportano ora i due strumenti di calcolo utilizzati:

1. Ventilative Cooling Potential Tool: si tratta di un foglio di calcolo basato sull'utilizzo di un documento excell preimpostato. Viene fornito dall'EBC (Energy in Buildings and Communities Programme) e consiste in un programma nato dalla collaborazione tra l'EURAC Research e il Politecnico di Torino.
2. ANSYS Workbench: si tratta di un software di calcolo che fornisce risultati utili inerenti allo studio della fluidodinamica. In particolare la piattaforma contiene differenti applicazioni utilizzabili a seconda del tipo di argomento che interessa trattare nel modello. Per lo studio della ventilazione naturale è stato utilizzato in particolare un programma di calcolo denominato Fluid Flow (Fluent) per poter studiare il moto dell'aria all'interno dell'edificio del bar.

Dopo aver brevemente introdotto i metodi utilizzati per lo studio più approfondito della ventilazione naturale, si prosegue entrando nel merito di ognuno.

## 9.10.1 VENTILATIVE COOLING POTENTIAL TOOL

Il programma prevede l'inserimento di alcune condizioni riguardanti l'edificio, per poi procedere con il calcolo delle ore necessarie, durante l'anno solare, nelle quali sarebbe opportuno pensare a un sistema di ventilazione naturale dell'edificio.

### PARAMETRI INIZIALI PER IL CALCOLO

La cartella excell è composta da tre fogli di calcolo, ognuno dei quali riporta informazioni differenti. Il primo di essi è quello relativo alla descrizione delle condizioni climatiche del luogo in cui si trova l'edificio. In particolare i parametri che devono essere inseriti sono la temperatura, l'umidità relativa, direzione ed intensità del vento e infine la radiazione, dati da estrapolare dal file climatico usato anche per le simulazioni precedenti. Nel secondo foglio sono riportati dei grafici relativi a questi valori climatici. Infine il terzo contiene la parte di calcolo vera e propria in quanto in esso sono presenti i parametri relativi all'edificio e i grafici finali con i risultati ottenuti. Al di sotto si riporta una tabella riassuntiva dei valori riguardanti l'edificio imposti relativi alla zona climatica del bar studiata.

NATURAL COOLING VENTILATION PARAMETERS								
LOCATION								
City	Country	Latitude [°]	Longitude [°]	Time zone (respect GMT) [hr]				
Vts	Croazia	43		16				1
BUILDING DATA								
Building type	Ceiling to floor height H [m]	Envelope area A [m <sup>2</sup> ]	Floor area S [m <sup>2</sup> ]	Room volume V [m <sup>3</sup> ]	Fenestration area W [m <sup>2</sup> ]	Orientation	Comfort requirement	
Restaurant	5	245,74	53,46	267	9,2	S	Category II	
TECHNICAL SPECIFICATION								
U-value of the opaque envelope [W/m <sup>2</sup> K]	U-value of the fenestration [W/m <sup>2</sup> K]	g value of the glazing system [-]	Shading control setpoint [W/m <sup>2</sup> ]	Min. required ventilation rates [l/s-m <sup>2</sup> ]	Lighting power density [W/m <sup>2</sup> ]	Electric equipment power density [W/m <sup>2</sup> ]	Occupancy density [m <sup>2</sup> /pers]	
U <sub>0</sub>	U <sub>w</sub>	g	Shd	m <sub>min</sub>	Q <sub>light</sub>	Q <sub>el,equip</sub>	Q <sub>people</sub>	
0,25	0,68	0,407	100	1,55	0	0	1	
Avg. envelope U-value [W/m <sup>2</sup> K]				m <sub>min</sub> [1/h]	Avg. total internal gains [W/m <sup>2</sup> K]			
				0,39	1,116			59

Figura 473\_Parametri per il calcolo del raffrescamento mediante ventilazione naturale

## CALCOLO DEL POTENZIALE RAFFRESCAMENTO PER VENTILAZIONE

Prima di commentare i dati ottenuti, riportati nel grafico al di sotto, è bene argomentare in maniera più dettagliata alcuni valori dei parametri assegnati all'edificio. Il foglio di calcolo utilizzato presenta delle semplificazioni, in quanto è possibile inserire solo una tipologia di area vetrata all'interno del modello da analizzare, sia in termini di superficie che in termini di orientamento, motivo per il quale si sono presi in considerazione solo gli elementi vetrati apribili considerandoli esposti a Sud, per tenere conto della peggiore condizione possibile.

Il grafico riportato fornisce i dati relativi al numero di ore durante ogni mese dell'anno nelle quali sarebbe opportuno sfruttare o meno il sistema di raffrescamento mediante ventilazione naturale. In particolare si nota come durante i mesi invernali l'utilizzo di essa non sia così richiesta e qualora fosse utile sfruttare l'aria fredda è bene che la quantità di flusso d'aria sia ridotta al minimo. Al contrario nel periodo estivo è possibile utilizzare l'aria esterna per il raffrescamento dell'ambiente: tuttavia non si deve sfruttare la ventilazione in modo assoluto, in quanto dal grafico risulta

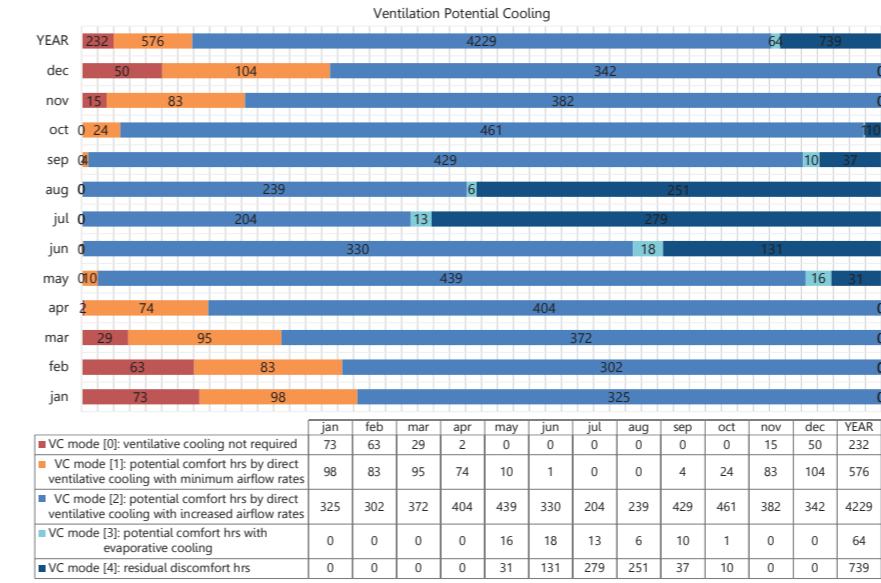


Figura 474\_Potenziale raffrescamento tramite ventilazione: valori orari mensili

evidente che nei mesi di giugno, luglio e agosto, l'utilizzo dell'aria esterna come sistema di raffrescamento causerebbe un elevato tasso di discomfort, in quanto la sua temperatura sarebbe troppo elevata.

Al di sotto si riporta un grafico a torta che rappresenta in percentuale quando durante l'intero anno è necessario o meno utilizzare il sistema di ventilazione naturale per il raffrescamento degli ambienti interni. In particolare dal programma viene anche fornito il flusso d'aria medio annuale richiesto, pari a 5,14±3,33 1/h, in riferimento al secondo tipo di ventilazione riportato in legenda (VC mode [2]).

Analizzando i risultati specifici ottenuti nel grafico si può concludere che per il 10% delle ore annuali di occupazione dell'edificio non è necessario ventilare naturalmente, per il 4% è ammessa ventilazione ma con un valore minimo di flusso d'aria, per il 72% è utile ventilare ma con una quantità di flusso d'aria maggiore di circa 5 1/h, per l'1% si raffresca l'ambiente grazie all'evaporazione dell'acqua presente in esso, ed infine per il 13% la ventilazione naturale è da evitare assolutamente in quanto comporterebbe una diminuzione del comfort.

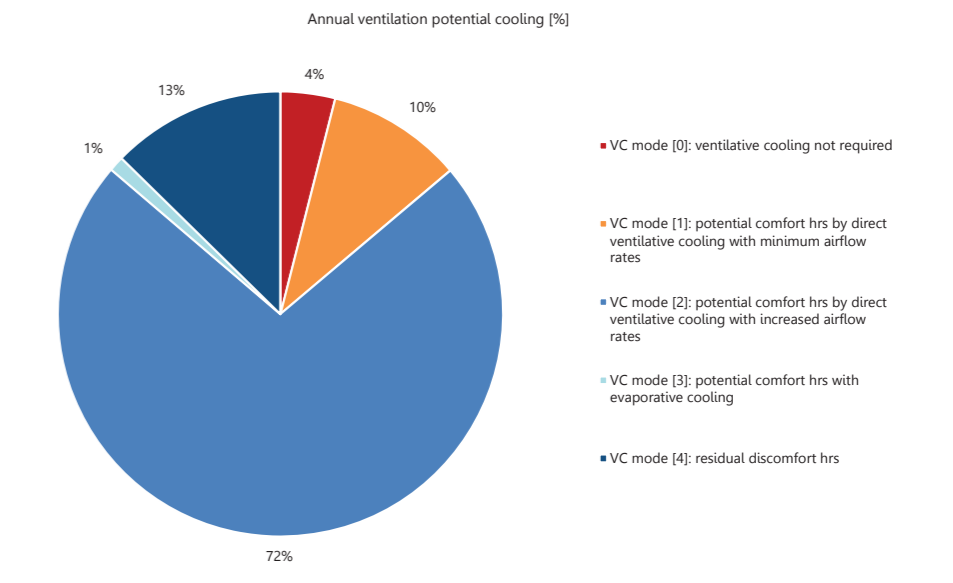


Figura 475\_Potenziale raffrescamento tramite ventilazione: valori percentuali medi annuali



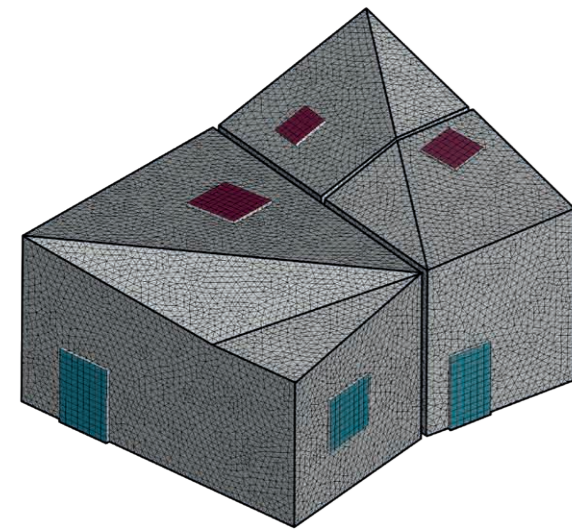
## 9.10.2 ANSYS WORKBENCH: FLUID FLOW (FLUENT)

Grazie all'applicazione Fluid Flow (Fluent) del programma ANSYS Workbench è stato possibile comprendere il moto del flusso dell'aria all'interno dell'edificio del bar.

### IL MODELLO TRIDIMENSIONALE E LA MESH

Si è sviluppato un modello tridimensionale che ricalcasse la situazione in cui si sfrutta l'apertura dei serramenti presenti per ventilare naturalmente l'ambiente. In particolare per ciascuna delle zone cucina e bagno si ha la presenza di una porta di ingresso sull'ambiente esterno e un'apertura zenitale sulla copertura, mentre nella sala del bar si hanno due fonti di entrata dell'aria dall'esterno e due di uscita, rappresentate da un cupolino zenitale e da un elemento trasparente situato a Ovest. Inoltre quest'ultima zona rimane collegata a quella della cucina tramite una porta.

Al modello sono state poi assegnati specifici parametri per il volume d'aria complessivo, per le superfici d'aria entrante ed uscente ed infine per i muri. Si è proceduto dunque con la creazione di una mesh il più fitta possibile che permettesse di svolgere accuratamente le analisi del moto dell'aria all'interno dell'edificio.



#### LEGENDA

- Volume d'aria
- Muri
- Aria in ingresso
- Aria in uscita

Figura 476\_Mesh dell'edificio

### CONDIZIONI AL CONTORNO

Per l'impostazione delle condizioni al contorno ci si è basati sui valori di temperatura, velocità e pressione rilevati grazie al file climatico tramite il programma Trnsys precedentemente utilizzato.

Si analizzano dapprima le condizioni assegnate alle superfici e ai volumi componenti il modello tridimensionale:

- Volume d'aria: ad esso è stato assegnato il materiale fluido aria
- Muri: ad essi è stato assegnato il materiale solido legno
- Aria in ingresso: ad essa sono state assegnati i valori di pressione, velocità e temperatura tutti costanti  
 $p=0$  Pa  
 $v=2,5$  m/s (direzione Nord-Ovest)  
 $T_{\text{Ingresso}}=20,35^{\circ}\text{C}$
- Aria in uscita: ad essa sono stati assegnati i valori di pressione e temperatura tutti costanti  
 $p=0$  Pa  
 $T_{\text{Uscita}}=26,1^{\circ}\text{C}$

Ora si spiegano brevemente i parametri attribuiti al programma di calcolo per lo studio della fluidodinamica:

- Tipo di studio: transitorio
- Schema pressione-velocità: problema accoppiato
- Equazioni utilizzate: Navier-Stokes
- Dominio: grandezza reale
- Mesh: triangolare con strutturata a maglia sottile

Dopo aver spiegato quali sono state le assunzioni del modello, si è proceduto iniziando le simulazioni, per poter poi estrapolare i dati sia in forma visiva che numerica. Nelle pagine seguenti si illustrano i grafici ottenuti che mostrano i percorsi compiuti dall'aria all'interno degli ambienti dell'edificio al trascorrere del tempo.

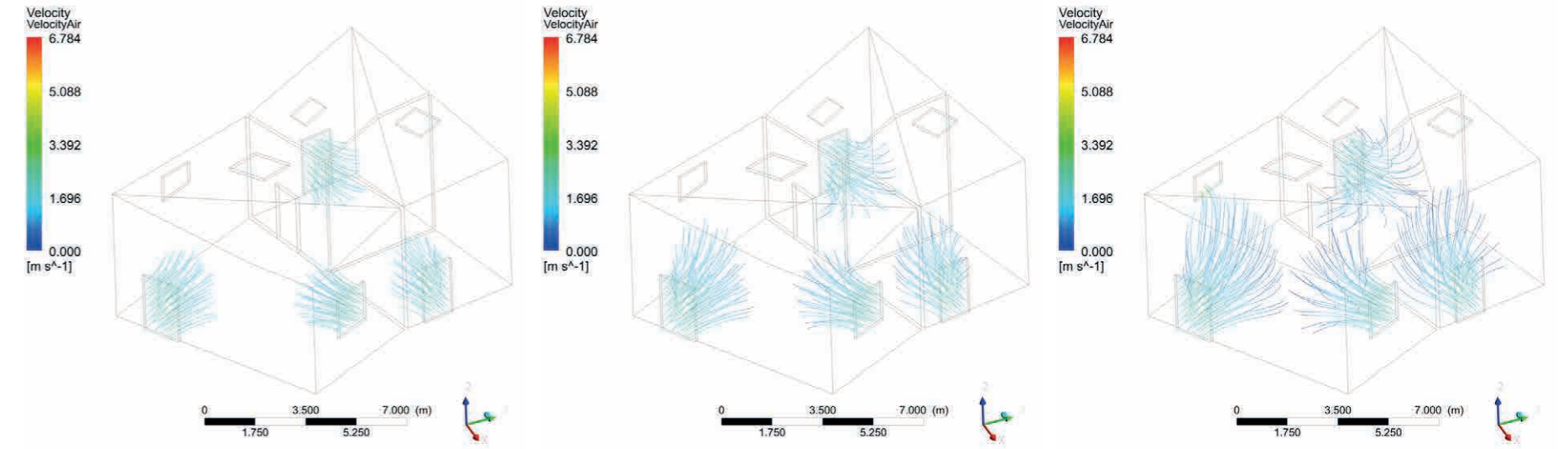


Figura 477\_Velocità delle particelle: frame 1

Figura 478\_Velocità delle particelle: frame 2

Figura 479\_Velocità delle particelle: frame 4

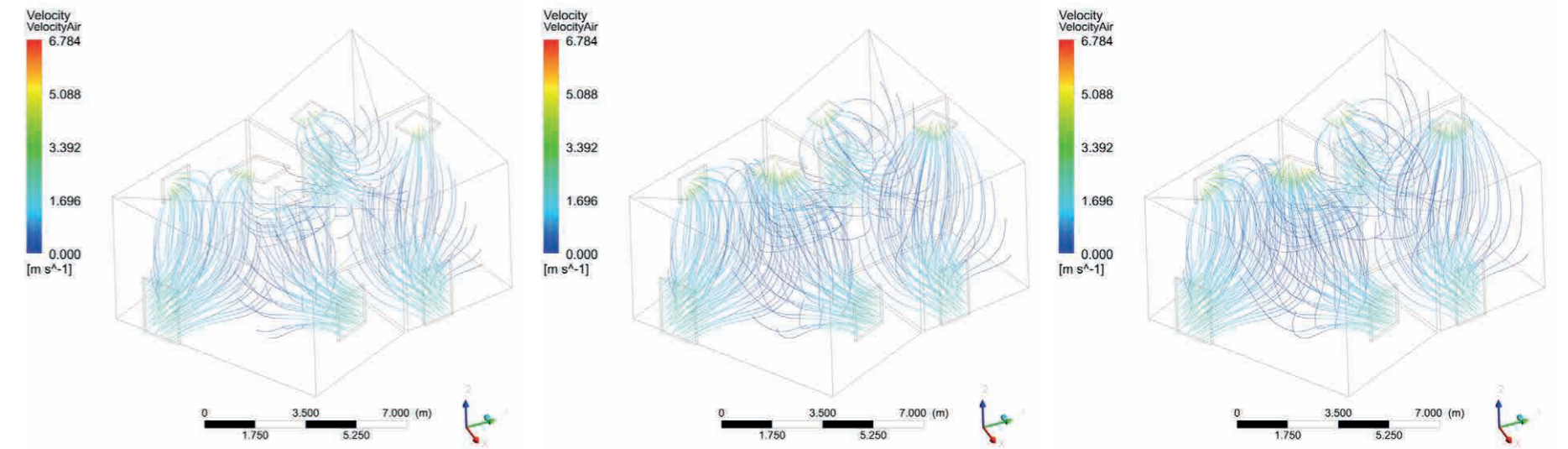


Figura 480\_Velocità delle particelle: frame 8

Figura 481\_Velocità delle particelle: frame 16

Figura 482\_Velocità delle particelle: frame 24

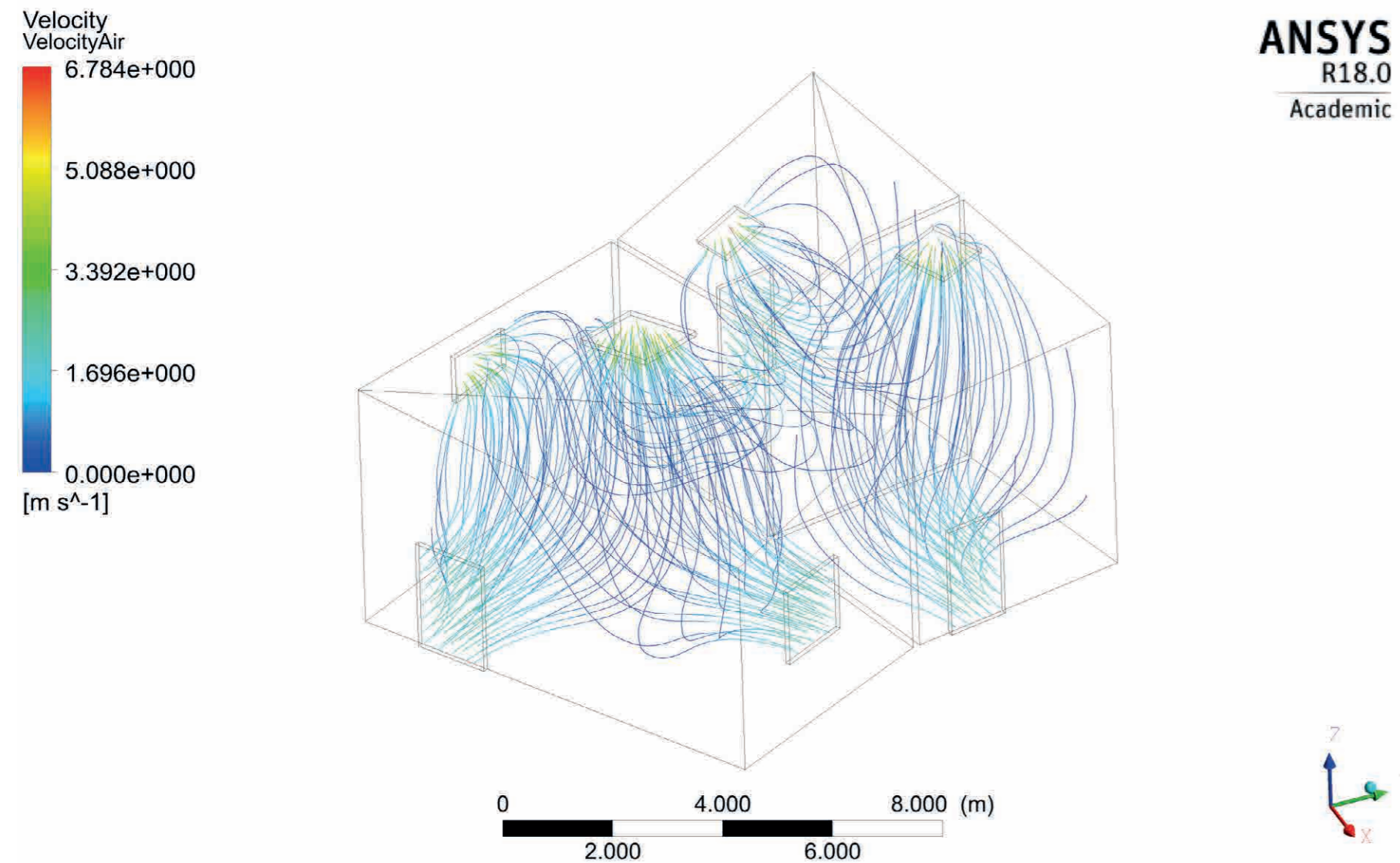


Figura 483\_Moto dell'aria all'interno dell'edificio

### ANALISI DEI GRAFICI OTTENUTI

La simulazione condotta mostra la configurazione analizzata in cui le particelle dell'aria entrano nell'edificio a partire dalle superfici di ingresso per ritornare poi nell'ambiente esterno attraverso le superfici di uscita.

Nei grafici la scala di colore segna la velocità associata alle particelle stesse: il rosso indica un innalzamento di essa mentre i colori freddi un abbassamento. Come spiegato precedentemente invece i valori di temperatura in ingresso e in uscita si mantengono sempre costanti.

Si osserva poi che il massimo valore di velocità raggiunto si ha in uscita e raggiunge i 7,32 m/s, mentre il minimo si ha all'interno dell'ambiente ed è pari circa a 0 m/s. Questo dato è importante poiché indica che all'interno delle stanze analizzate la formazione di vortici avviene a bassi valori di velocità, senza creare dunque correnti d'aria che potrebbero influire in modo negativo sul benessere degli utenti che sostano all'interno dell'edificio.

Inoltre si è osservato che le velocità delle particelle del fluido aumentano soltanto in corrispondenza delle aperture ipotizzate come via di fuga per le particelle dell'aria: ciò è indice del fatto che in prossimità di esse si verifica un aumento repentino dei ricambi d'aria.

Altro dato fondamentale riguarda il fatto che tutte le superfici di uscita assegnate vengono sfruttate: la direzione e l'intensità del vento presente all'esterno dell'ambiente, che soffia verso Nord-Ovest, consente di incanalare l'aria, una volta entrata nell'edificio, verso quei serramenti scelti come fonte d'uscita di essa, rappresentati nel caso in esame dai cupolini zenitali e da una finestra situata a 3 m di altezza rispetto al piano di calpestio.

In conclusione è necessario precisare che se durante il periodo estivo avere una leggera ventilazione interna nel locale può essere confortevole dal punto di vista del benessere dell'utente, durante la stagione invernale, quando le temperature sono minori, il moto delle particelle d'aria se raggiunge velocità elevate può causare del discomfort. Dalle analisi effettuate nei primi capitoli si è visto come nella località di progetto la temperatura dell'aria esterna sia piuttosto elevata nella stagione calda, mentre in quella invernale nonostante non si raggiungano mai valori al di sotto degli 0°C l'aria risulta essere fredda.

### 9.10.3 CONCLUSIONE

Dopo aver svolto l'analisi energetica dell'edificio si è pensato di riportare alcune considerazioni fatte sullo studio del sistema di ventilazione naturale per comprendere il motivo per il quale, nel progetto in questione, non è stato possibile sfruttare soltanto metodi passivi di raffrescamento.

Riguardo a questo punto infatti, si è visto, con le simulazioni energetiche svolte in precedenza, come le condizioni climatiche esterne, se combinate alle caratteristiche tecnologiche dell'edificio, non fossero in grado di mantenere un livello di comfort ideale nell'ambiente. Di fatto sono state installate all'interno del programma tre tipologie di impianto utili ma soprattutto indispensabili per innalzare la sensazione di benessere degli utenti. Al di sotto si riportano tuttavia soltanto i due sistemi coinvolti per il raffrescamento estivo, mentre si tralascia il terzo, ossia l'impianto di riscaldamento, che non è inerente al concetto di raffrescamento degli ambienti tramite la ventilazione naturale:

- Impianto di raffrescamento
- Impianto di ventilazione meccanica controllata.

A seconda dei periodi dell'anno infatti si è dovuto far riferimento a uno o più di questi sistemi impiantistici per poter garantire temperature ideali nell'ambiente interno.

L'impianto di raffrescamento è stato utilizzato principalmente nei mesi estivi, quando si è dovuto evitare l'utilizzo della ventilazione naturale, come confermano i grafici riportati in precedenza dove il discomfort da essa generato nel mese di luglio risultava pari al 50% delle ore di occupazione.

L'impianto di ventilazione meccanica controllata invece è stato utilizzato durante tutto l'anno qualora non fosse possibile sfruttare sistemi passivi.

Tuttavia si può concludere che non è possibile pensare di utilizzare soltanto un sistema di ventilazione naturale all'interno dell'edificio, poiché questo oltre a non essere sufficiente a garantire un livello di comfort interno adeguato, in alcuni periodi dell'anno causerebbe addirittura l'effetto opposto, peggiorando la condizione di benessere degli utenti stessi.





# CAPITOLO 10

ERGOTECNICA



10.1 Il Calcolo Degli Sfridi.....	419
10.1.1 La Complessità della Geometria di Progetto.....	419
10.1.2 La Procedura di Calcolo.....	420
10.1.3 Il Software SIGMANEST.....	422
10.1.4 Ottimizzazione dei Triangoli di Copertura.....	424
10.1.4.1 Confronto con la Rotazione Libera.....	424
10.1.5 Ottimizzazione delle Pareti e dei Setti.....	432
10.1.6 Utilizzo Totale dei Pannelli Cross-Lam.....	437
10.2 La Disarticolazione.....	438
10.2.1 La Disarticolazione Spaziale.....	438
10.2.2 La Disarticolazione Tecnologica.....	439
10.2.3 La Disarticolazione Ergotecnica.....	440
10.3 Il Trasporto.....	441
10.3.1 Le Fasi di Trasporto.....	443
10.3.1.1 Trasporto Via Terra.....	443
10.3.1.2 Trasporto Via Mare.....	444
10.3.1.3 Trasporto Al Cantiere.....	444
10.4 Le Fasi Di Cantiere.....	445

# 10.1

## IL CALCOLO DEGLI SFRIDI

Il capitolo tratta un tema fondamentale al quale si è voluto prestare particolare attenzione, ossia il calcolo degli sfridi dei pannelli Cross-Lam, materiale principe del progetto. Infatti l'edificio è costituito come abbondantemente spiegato nei capitoli precedenti, da una struttura portante in pannelli in legno a fibre orientate, sia per quanto riguarda l'elemento di copertura sia per quanto riguarda i setti verticali al di sotto di essa e le pareti che costituiscono gli edifici presenti. Si è pensato dunque di calcolare la quantità esatta di materiale utile per la realizzazione del progetto, tenendo però in considerazione il fatto che la geometria complessa dell'edificio avrebbe richiesto, se non ottimizzata, l'utilizzo di moltissimi pannelli in Cross-Lam, attribuendo dei costi rilevanti.

### 10.1.1 LA COMPLESSITÀ DELLA GEOMETRIA DI PROGETTO

Il progetto degli elementi in Cross-Lam si distingue in due parti fondamentali: da un lato gli elementi che costituiscono la copertura e dall'altro quelli costituenti le pareti verticali degli edifici presenti o i setti che sorreggono la copertura stessa.

La geometria che costituisce la copertura in Cross-Lam risulta essere particolarmente complessa, in quanto gli elementi rigidi che la costituiscono sono triangoli tutti diversi tra loro: di conseguenza, manualmente, non sarebbe possibile calcolare tutte le combinazioni possibili per minimizzare gli sfridi. Infatti i pannelli hanno dimensioni standard e non producibili su misura soprattutto per una questione di tipo economico. Così come per la copertura, lo stesso problema si rileva con i setti e gli elementi verticali portanti, in quanto seppur questi abbiano forme rettangolari,

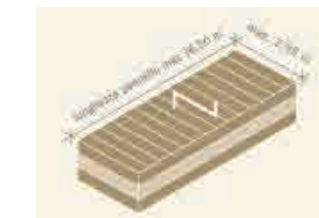
presentano la parte superiore, di connessione con la copertura, di inclinazioni differenti, poiché seguono le falde a cui sono collegate. Anche in questo caso quindi, non sarebbe stato possibile svolgere manualmente i calcoli per trovare la combinazione più favorevole.

Si è deciso dunque di utilizzare un software che permettesse di calcolare con un algoritmo tutte le soluzioni possibili per utilizzare il numero minimo di pannelli Cross-Lam. In questo modo è stato possibile tenere in considerazione due aspetti fondamentali per il nostro progetto:

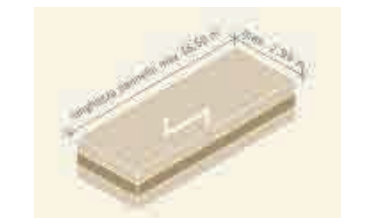
- **ASPETTO AMBIENTALE:** si cerca di contenere al massimo gli sprechi del materiale, in modo tale da evitare un impatto ambientale troppo elevato per la costruzione di questa complessa copertura;
- **ASPETTO ECONOMICO:** riuscire ad ottenere il minimo numero di pannelli per la realizzazione di tutti gli elementi costituiti dal materiale Cross-Lam, consentendo di ottimizzare i costi, non solo di acquisto dei pannelli strutturali ma anche quelli di lavorazione del materiale e di trasporto sul luogo di lavoro.

Di seguito riportiamo le dimensioni dei pannelli Cross-Lam che vengono utilizzati per il calcolo degli sfridi. I pannelli impiegati sono grandi 16,50 x 2,95 m, e risultano essere orientati in verticale per le falde di copertura oppure in orizzontale per gli elementi verticali del progetto.

PER USO PARETE



PER USO SOLAIO E TETTO



Strato esterno orientato in direzione dell'asse trasversale dei pannelli.

Pannello: KLH 5 strati, tipo DT

Dimensione lamelle: 30 33 34 33 30 mm

Strato esterno orientato in direzione dell'asse longitudinale dei pannelli.

Pannello: KLH 5 strati, tipo DL

Dimensione lamelle: 34 27 38 27 34 mm

Figura 484\_Dimensione dei pannelli standard in Cross-Lam

### 10.1.2 LA PROCEDURA DI CALCOLO

Per impostare lo studio degli sfridi, è stato necessario fare delle considerazioni preliminari che potessero ottimizzare maggiormente il calcolo poi svolto attraverso un software adeguato.

In prima istanza è opportuno specificare che il materiale Cross-Lam non è un materiale isotropo, ma bensì ortotropo. Questa sua caratteristica è data dal fatto che il materiale è composto da strati sovrapposti orientati perpendicolarmente uno rispetto all'altro. Il pannello di Cross-Lam è sempre costituito da strati dispari (3, 5 o 7 strati) e questo comporta un'anisotropia del materiale.

Il pannello è considerato più performante nella direzione in cui il maggior numero di strati ha le fibre parallele: se si prende in considerazione il disegno sottostante, come orientamento parallelo si intende l'orientamento lungo la direzione X, dove appunto due strati su tre hanno le fibre che scorrono longitudinalmente.

I triangoli della copertura hanno tutti una forma differente e non sono mai equilateri.

È stato dunque attuato un processo di orientamento di ogni triangolo per ottimizzare la resistenza del materiale: ogni triangolo deve essere orientato nel pannello con la direzione più lunga parallela alla direzione X del pannello Cross-Lam.

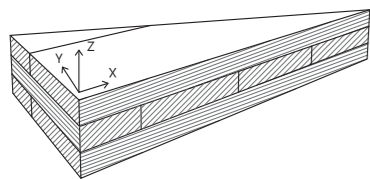
Se questo non accade, il triangolo è tagliato all'interno del pannello in modo casuale e non avrà dunque le fibre orientate nel modo ottimale. La resistenza della falda triangolare di copertura in questo caso diminuirà.

Si tratta dunque di un processo di ottimizzazione del materiale anche a livello portante, spiegato nel dettaglio nel capitolo relativo alla parte strutturale.

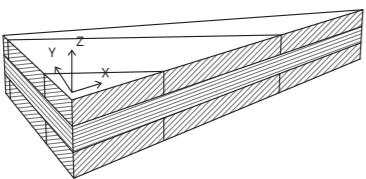
Per mantenere le fibre orientate nel modo corretto sarà dunque necessario imporre al programma di calcolo l'impossibilità di rotazione libera. Le uniche operazioni che possono essere svolte sono quelle di specchiare il triangolo oppure ruotarlo di 180°. Come si nota nel disegno, con questi due movimenti, il lato maggiore resta sempre parallelo alle fibre longitudinali del pannello Cross-Lam.

È necessario precisare inoltre che, date le dimensioni standard dei pannelli prefabbricati in Cross-Lam, bisognerà suddividere ciascun triangolo in più parti.

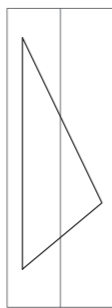
ORIENTAMENTO PARALLELO



ORIENTAMENTO CASUALE



TRIANGOLO ALL'INTERNO DEI PANNELLI CROSS-LAM



DIMENSIONI TIPO DEL TRIANGOLO



TRIANGOLO SPECCHIATO



TRIANGOLO RUOTATO DI 180°

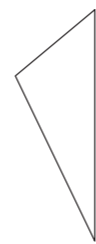


Figura 486\_Possibili orientamenti dell'elemento triangolare nel pannello Cross-Lam

La suddivisione del triangolo avviene in modo tale da lasciare la connessione delle due parti centralmente rispetto al triangolo di origine. Questo viene fatto al fine di non avere elementi troppo piccoli che potrebbero inficiare la stabilità della copertura apportando inoltre difficoltà nella connessione delle due parti. Una volta ottenuti i pezzi dei triangoli suddivisi, bisogna però fare attenzione a mantenere l'orientamento di essi in modo che siano sempre paralleli tra loro, affinché una volta effettuata la connessione in copertura, il triangolo totale risulti omogeneamente orientato.

È ora utile parlare di un'ulteriore accorgimento fondamentale. I triangoli di copertura sono inclinati secondo direzioni molteplici. Essi devono quindi terminare con un taglio dell'elemento che sia perpendicolare al terreno, in modo tale da permettere la connessione tra le diverse parti mantenendo inalterata l'inclinazione scelta per la falda considerata; inoltre gli strati del pannello Cross-Lam rimangono sempre paralleli alla faccia del triangolo. Per ottenere il taglio perpendicolare al terreno, bisogna segare il triangolo aumentando l'area di una percentuale rispetto alla sua forma originale.

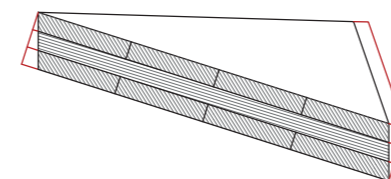


Figura 487\_Percentuale di materiale aggiuntiva per il taglio degli elementi triangolari

Bisogna inoltre precisare che la percentuale di aumento dell'area del triangolo, varia a seconda dell'inclinazione del triangolo stesso: più il triangolo è inclinato, più sarà l'aumento dell'area necessaria da considerare per la futura connessione.

Per velocizzare il calcolo, cercando di compiere meno errori possibili, si sono presi in considerazione tre range di inclinazione dei triangoli secondo i quali si è aumentata l'area del 10, del 20 o del 30%. Si è così rimasti a favore di sicurezza evitando la possibilità di compiere errori durante il taglio della forma realmente necessaria.

Infatti una volta ottenuti i triangoli di area ampliata, bisognerà rifilarli eliminando le parti, indicate in rosso nella figura, aggiunte per il motivo appena spiegato.

Dopo aver preso in considerazione tutte le necessità del caso, si può allora affermare che il taglio può avvenire senza lasciare alcuno spazio tra i diversi elementi all'interno dei pannelli di Cross-Lam, in quanto l'area maggiorata per restare a favore di sicurezza è già stata calcolata precedentemente.

Si può passare dunque ad importare tutti gli elementi ottenuti all'interno del programma di calcolo scelto: SIGMANEST.

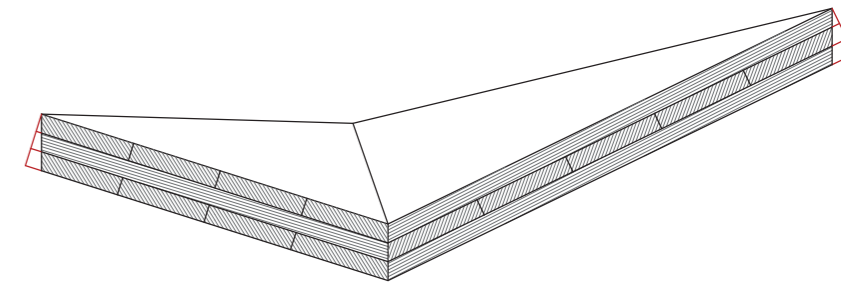


Figura 488\_Sfrido in fase di taglio per elementi triangolari di inclinazione differente



### 10.1.3 IL SOFTWARE SIGMANEST

SIGMANEST è un programma di nesting, ossia letteralmente “annidamento”, riferito ad una struttura contenuta in un'altra. Quando si parla di nesting infatti si fa riferimento ad un procedimento automatico di ottimizzazione che prepara i pannelli prefabbricati al taglio sagomato per elementi piani. Con questa lavorazione si ottimizzano certamente le tempistiche di produzione, perché in un unico passaggio della macchina è possibile ottenere tutti i pezzi di cui si ha bisogno, ma soprattutto si ottiene uno scarto di materiale ridotto al minimo.

Si è scelto il programma SIGMANEST in quanto presenta un'interfaccia molto immediata e di facile comprensione ed utilizzo. Inoltre è doveroso ringraziare lo staff dell'azienda produttrice di tale programma che ha dato il permesso di utilizzo del programma in versione demo per il tempo utile allo svolgimento dei calcoli. SIGMANEST infatti è un programma pensato per le aziende e per il suo utilizzo è quindi necessario l'acquisto della licenza.

Si mostrano in seguito le fasi principali effettuate durante l'utilizzo del programma, per il calcolo degli sfridi dei triangoli della copertura.

#### FASI DI FUNZIONAMENTO DEL PROGRAMMA SIGMANEST

Dapprima si può notare l'interfaccia di SIGMANEST all'apertura del file elaborato prima con AutoCAD e salvato in .dxf in modo tale da permetterne la lettura al programma di nesting.

I triangoli vengono allora importati e letti dal programma che ne verifica la correttezza: le figure devono risultare chiuse e staccate le une dalle altre: in caso contrario il programma stesso provvede a riparare gli errori.

Si procede dunque assegnando a SIGMANEST le impostazioni che esso deve utilizzare durante il processo di calcolo: per esempio, nel caso specifico, come precedentemente spiegato è necessario bloccare parzialmente le rotazioni degli elementi, che dovranno essere disposti così come disegnati o sottoposti ai movimenti precedentemente elencati. Il programma rinomina ed ordina quindi i componenti ed identifica la quantità di parti che dovranno essere inserite nei pannelli. Una volta assegnate le dimensioni del pannello all'interno del quale gli elementi devono essere tagliati, il programma procede con il calcolo di ottimizzazione.

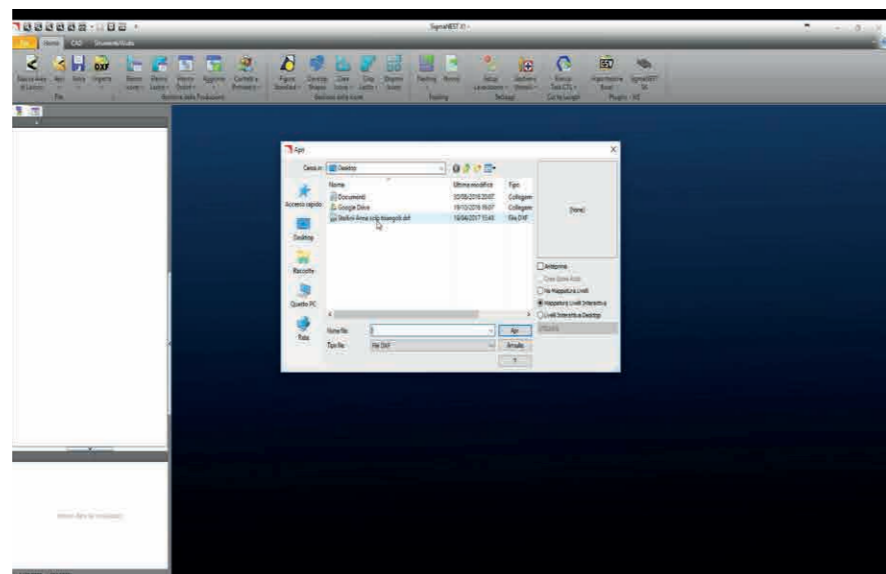


Figura 490\_ Interfaccia di SIGMANEST, importazione del file .dxf

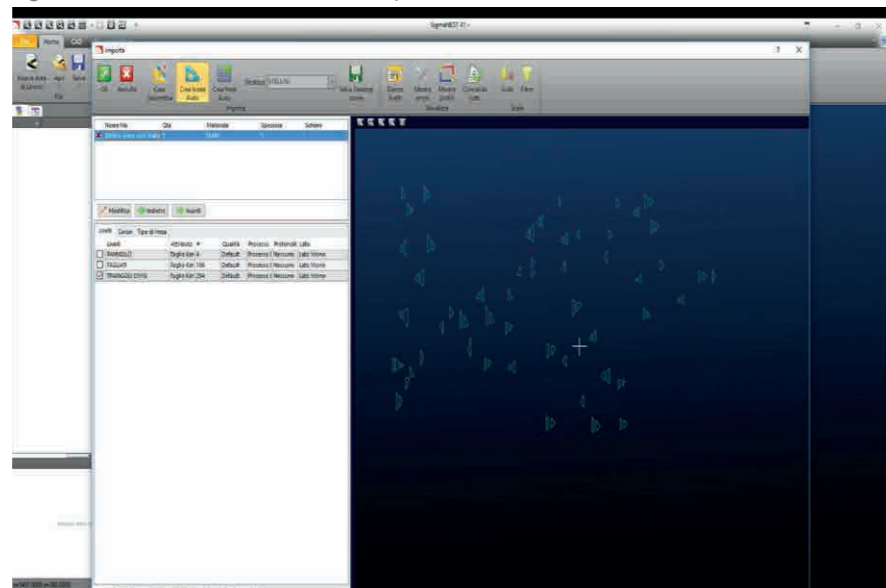


Figura 489\_Polilinee importate dal file .dxf in SIGMANEST

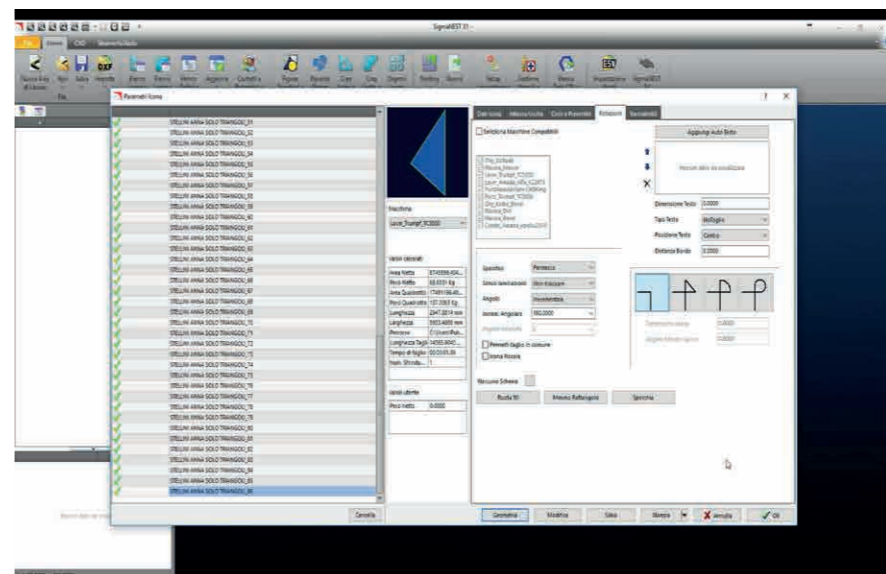


Figura 492\_Impostazioni date al programma per poter svolgere il calcolo

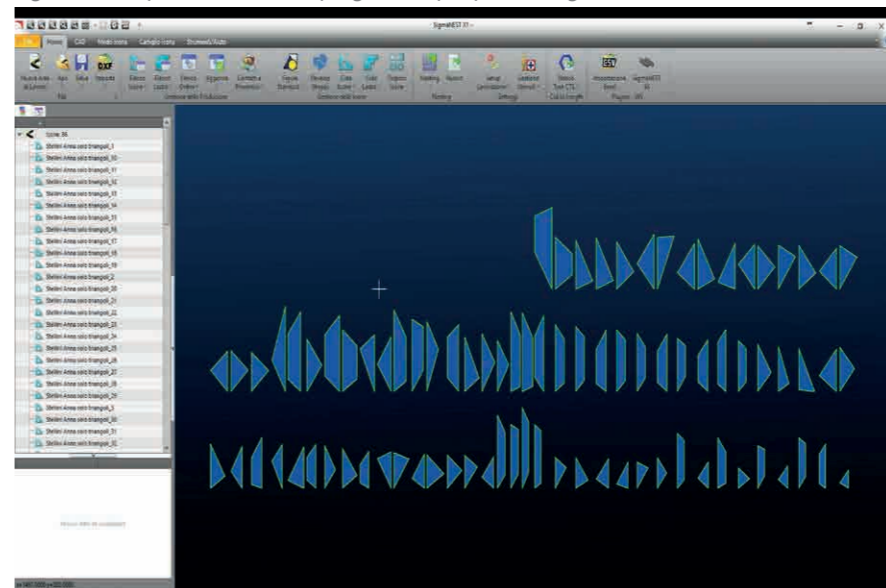


Figura 491\_ Elementi ordinati secondo l'orientamento possibile

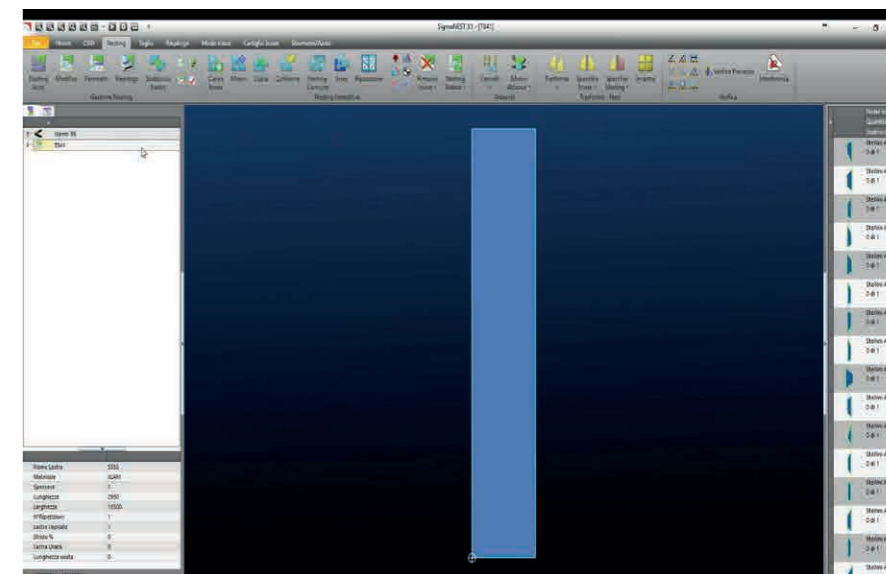


Figura 494\_Pannello entro il quale predisporre i pezzi elencati a destra

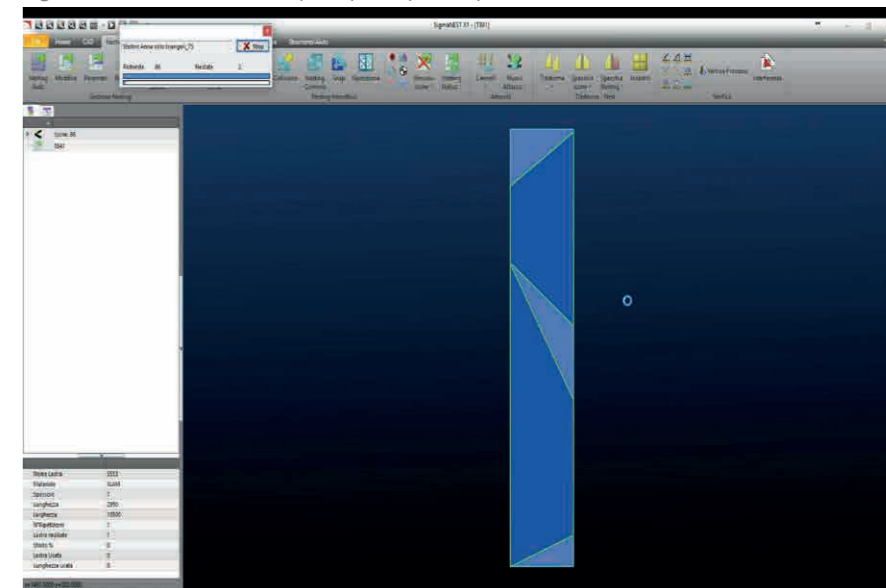


Figura 493\_Fine del processo di calcolo: pannello con elementi all'interno

### 10.1.4 OTTIMIZZAZIONE DEI TRIANGOLI DI COPERTURA

Si procede ora mostrando il risultato che si ottiene dalla avvenuta ottimizzazione del programma SIGMANEST.

Per velocità di rappresentazione, si riporta solo la prima pagina per intero del PDF che SIGMANEST restituisce alla fine del calcolo come output dei risultati ottenuti. Le restanti parti del PDF sono riportate in modo sintetico mostrando solo il pannello di Cross-Lam con al suo interno la combinazione degli elementi di copertura, la percentuale di sfrido per ogni pannello, la quantità di elementi richiesta in totale, pari nel caso in esame a 132 elementi e la quantità di parti ottimizzata, ossia il numero di elementi che viene posizionato all'interno di un pannello e il numero del pannello rappresentato.

Come si può evincere dal PDF, i pannelli Cross-Lam necessari per il taglio dei triangoli della copertura sono 28 in totale.

I pannelli prefabbricati sono di dimensioni 16,5 x 2,95m disposti in verticale per mantenere le fibre longitudinali parallele al lato più lungo del triangolo, come spiegato nel paragrafo precedente.

La percentuale di scarto ottenuta varia da 8,71% relativamente al minimo sfrido e a 23,86% in relazione al massimo. La media considerata sul totale dei 28 pannelli è quindi pari al 15,55% di sfrido per ciascun pannello.

Nella rappresentazione dei 28 pannelli che segue nelle pagine successive si può notare come gli elementi non siano mai ruotati, ma mantengano sempre una linea parallela alla linea verticale del pannello.

Inoltre si rileva l'iter di procedimento svolto dal programma SIGMANEST nel processo di ottimizzazione: nei primi pannelli infatti si sono sistemati gli elementi più grandi che sono stati accoppiati all'elemento che completava il taglio con il minor sfrido possibile, per ultimo si sono accorpati gli elementi di dimensione ridotta ovviamente più facili da posizionare.

Si può inoltre stimare una media di quanti elementi siano stati disposti in ciascun pannello e considerando i 28 pannelli totali, si varia da un minimo di 2 elementi ad un massimo di 9 per l'ultimo pannello che contiene appunto i pezzi più piccoli. La media ottenuta è quindi di circa 3 elementi per pannello.

#### 10.1.4.1 CONFRONTO CON LA ROTAZIONE LIBERA

Come precedentemente spiegato, nel processo di calcolo dei triangoli della copertura, si è dovuto impostare al programma la rotazione di soli 180° o la sola possibilità di specchiare la figura.

Si è scelto di effettuare un confronto tra l'ottimizzazione con rotazione parzialmente libera ed una ipotetica con rotazione totalmente libera. I risultati vengono riportati alla fine della prima ottimizzazione. Si allega solo una pagina del PDF, significativa per quanto riguarda la disposizione dei triangoli all'interno del pannello Cross-Lam, ovvero una collocazione che risulta essere completamente casuale e non orientata. Si è deciso di svolgere anche questo calcolo, seppur impossibile da realizzare realmente nel progetto, per assicurarsi di quanto sia il guadagno economico, strutturale e di sfrido del materiale in entrambi i casi. Bisogna infatti considerare che lasciando totalmente libera la rotazione, lo sfrido del materiale Cross-Lam sicuramente diminuisce, ma come spiegato esaurientemente nel capitolo apposito sulle caratteristiche strutturali del Cross-Lam la resistenza della copertura non orientando i pannelli in modo adeguato diminuisce drasticamente. Questa scelta comporterebbe la necessità di aumentare lo spessore del pannello in Cross-Lam e quindi un utilizzo maggiorato del materiale stesso.

È opportuno dunque effettuare un bilancio ben strutturato tra guadagno in termini strutturali, che permette in un certo senso un risparmio a livello di materiale ed uno di tipo economico per ridurre lo sfrido dei pannelli.

Per quanto riguarda l'ottimizzazione con la rotazione totalmente libera, i pannelli di Cross-Lam totali sono 22, rispetto ai 28 precedentemente necessari. Inoltre la percentuale di sfrido varia da un minimo di 5,99% fino ad un massimo di 20,86%, con una media del 12,95% considerata sulla somma dei 22 pannelli necessari in totale. Confrontando dunque con il caso precedente, la percentuale media di sfrido per pannello diminuisce ma non considerevolmente, portando all'utilizzo di un numero di pannelli che non risultano significativi per considerare un nuovo calcolo della struttura con l'orientamento dei triangoli libero, in quanto lo spessore del pannello aumenterebbe, portando così ad utilizzare più materiale di quello recuperato dall'ottimizzazione degli sfridi.

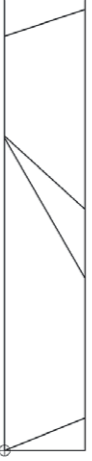
Nome Task: T842		Nome Programma:		Macchina Laser_Trumpf_TC5030	
Numero di Ripetizioni	1	Sfrido Netto	14.76 %	Qtà Richiesta	132
Quantità Pila	1	Sfrido Quadr.	-16.18 %	Qty Nestata	2
					
Materiale	XLAM	Lunghezza	2950.00 mm	Utilizzo X	2950.05 mm
Spessore	1.00	Larghezza	16500.00 mm	Utilizzo Y	16106.79 mm
Nome Lastra	S553	Tempo di Taglio		Lungh. Tagli	43644.23 mm
ID	Icona	Qtà Rich.	Qtà Nestata	Peso Netto	Disegno N°
124	Stellini Anna	1	1	126.86 Kg	
130	Stellini Anna	1	1	191.08 Kg	
					Indice Modifica
					Ordine di Lavoro
					Cliente
					Tempo di Taglio

Figura 495\_Prima pagina del PDF che il programma SIGMANEST propone come risposta al calcolo dei triangoli in copertura





Figura 496\_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura



Figura 497\_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura

**Schema 14 di 28**

**Sfrido Netto** 11.89 %  
**Sfrido Quadr.** -34.41 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 15 di 28**

**Sfrido Netto** 13.99 %  
**Sfrido Quadr.** -15.64 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 16 di 28**

**Sfrido Netto** 11.52 %  
**Sfrido Quadr.** -62.40 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 20 di 28**

**Sfrido Netto** 19.63 %  
**Sfrido Quadr.** -60.73 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 21 di 28**

**Sfrido Netto** 10.52 %  
**Sfrido Quadr.** -64.06 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 22 di 28**

**Sfrido Netto** 13.22 %  
**Sfrido Quadr.** -32.80 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 17 di 28**

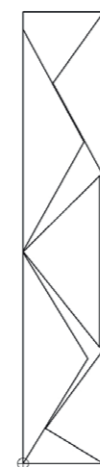
**Sfrido Netto** 16.98 %  
**Sfrido Quadr.** -51.52 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 18 di 28**

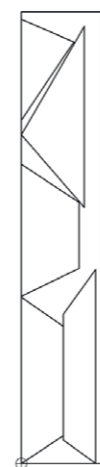
**Sfrido Netto** 15.41 %  
**Sfrido Quadr.** -55.19 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 19 di 28**

**Sfrido Netto** 22.52 %  
**Sfrido Quadr.** -54.97 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 23 di 28**

**Sfrido Netto** 15.97 %  
**Sfrido Quadr.** -26.18 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 5

**Schema 24 di 28**

**Sfrido Netto** 17.07 %  
**Sfrido Quadr.** -41.04 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 6

**Schema 25 di 28**

**Sfrido Netto** 22.84 %  
**Sfrido Quadr.** -24.42 %

**Qtà Richiesta** 132  
**Qty Nestata** 6

Figura 498\_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura

Figura 499\_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura



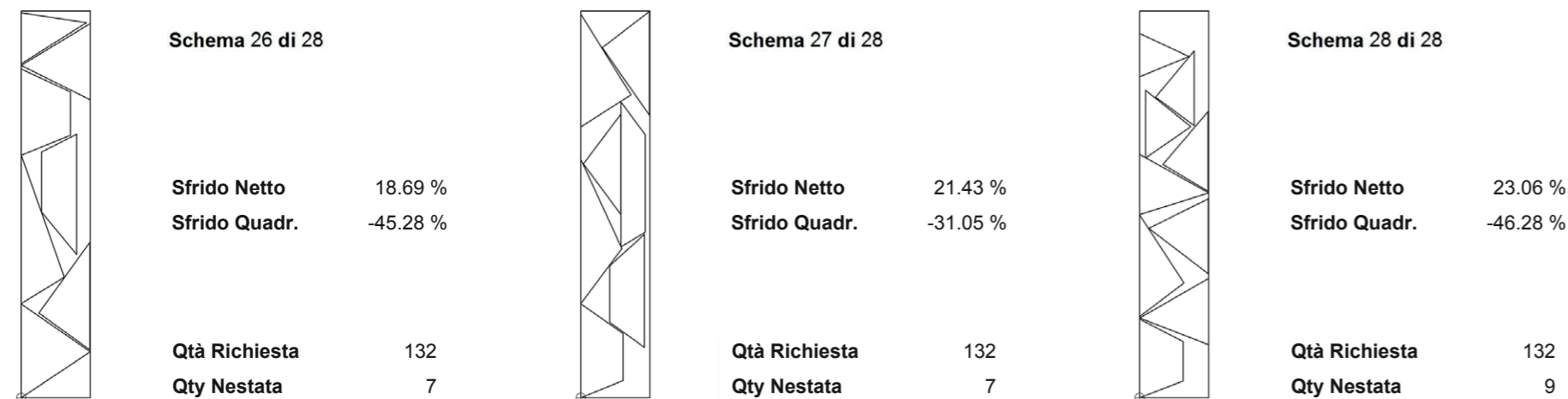


Figura 500\_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura



### Dettaglio Nesti

Macchina Laser\_Trumpf\_TC5030

19/04/2017 18:01:54

<b>Nome Task: T842 Nome Programma:</b>					
<b>Numero di Ripetizioni</b>	1	<b>Sfrido Netto</b>	16.23 %	<b>Qtà Richiesta</b>	132
<b>Quantità Pila</b>	1	<b>Sfrido Quadr.</b>	-43.71 %	<b>Qty Nestata</b>	6
<b>Schema 14 di 22</b>					



<b>Materiale</b>	XLAM	<b>Lunghezza</b>	2950.00 mm	<b>Utilizzo X</b>	2923.70 mm	<b>Colata</b>		<b>Bolla</b>	
<b>Spessore</b>	1.00	<b>Larghezza</b>	16500.00 mm	<b>Utilizzo Y</b>	16493.05 mm	<b>Locazione</b>		<b>Primo Codice</b>	
<b>Nome Lastra</b>	S553	<b>Tempo di Taglio</b>		<b>Lungh. Tagli</b>	75739.17 mm	<b>Certificato</b>		<b>Parametri</b>	
<b>ID</b>	<b>Icona</b>	<b>Qtà Rich.</b>	<b>Qtà Nestata</b>	<b>Peso Netto</b>	<b>Disegno N°</b>	<b>Indice Modifica</b>	<b>Ordine di Lavoro</b>	<b>Cliente</b>	<b>Tempo di Taglio</b>

7	Stellini Anna	1	1	17.06 Kg					
35	Stellini Anna	1	1	41.97 Kg					
38	Stellini Anna	1	1	42.58 Kg					
68	Stellini Anna	1	1	61.73 Kg					
83	Stellini Anna	1	1	70.35 Kg					
91	Stellini Anna	1	1	73.96 Kg					

Figura 501\_Pagina 14 delle 22 estratte dal programma SIGMANEST svolgendo la simulazione lasciando la rotazione libera

### 10.1.5 OTTIMIZZAZIONE DELLE PARETI E DEI SETTI

Riportiamo ora i calcoli effettuati per l'ottimizzazione delle pareti degli edifici e dei setti in Cross-Lam di sostegno alla copertura, sempre attraverso il programma di nesting SIGMANEST.

Questa ottimizzazione è stata calcolata separatamente da quella relativa ai triangoli di copertura, in quanto lo spessore delle lamelle dei pannelli Cross-Lam necessario per pareti e setti pieni di sostegno è differente da quello utile per gli elementi della copertura sfaccettata.

In questo caso, considerando lo spessore, i pannelli di Cross-Lam devono essere orientati orizzontalmente. Le dimensioni del pannello però restano invariate: altezza di 2,95m per una larghezza di 16,50m.

Anche in questo caso sono state fatte delle considerazioni preliminari per poter impostare il file .dxf da importare in SIGMANEST nel modo più appropriato possibile ottimizzando così a priori il risultato.

In primo luogo bisogna affermare che nel calcolo delle pareti e dei setti pieni in Cross-Lam, contrariamente a quanto accade per i triangoli della copertura, non bisogna calcolare una percentuale di maggiorazione dell'area di taglio. Questo perché le pareti e i setti sono perpendicolari al terreno e quindi risultano già orientati in modo parallelo agli strati del materiale Cross-Lam.

Si può quindi affermare che l'area delle pareti al netto del taglio è pari all'area che è realmente necessaria per la realizzazione degli edifici. Inoltre per questa motivazione, non è necessaria alcuna ulteriore lavorazione dopo il taglio poiché anche le connessioni avvengono in senso ortogonale. Gli elementi possono essere disposti affiancati l'uno all'altro senza lasciare alcuno spazio di margine tra di essi.

Anche in questo caso però, le pareti e i setti hanno una dimensione maggiore dei pannelli prefabbricati in Cross-Lam. È dunque necessario creare degli elementi già suddivisi in modo opportuno, così da evitare di avere elementi troppo piccoli da dover poi connettere in loco, che potrebbero rendere meno resistente la struttura oltre che ridurre la facilità di collegamento tra le parti.

Ogni forma ottenuta dovrà mantenere l'orientamento identico a quello precedente così che dopo la connessione, la parete instauri nuovamente la propria rigidità.

Viene riportata in modo completo, come anche nel caso precedente, solo la prima pagina del file PDF che il programma SIGMANEST propone come output di calcolo della soluzione ottimizzata.

Di seguito vengono poi allegati solo i documenti raffiguranti i pannelli nella loro dimensione, con all'interno la disposizione degli elementi necessari. Anche in questo caso si riporta per ogni pannello, il numero, la quantità percentuale di sfrido calcolata relativamente al pannello stesso e il numero degli elementi che il programma è riuscito a disporre all'interno di ogni pannello.

In questo caso gli elementi totali da predisporre risultano pari a 80. I pannelli necessari ottimizzati sono 10.

Le impostazioni date al programma per il calcolo di ottimizzazione, sono le stesse date nel caso dei triangoli della copertura: la rotazione non può avvenire, se non di 180° mentre è possibile specchiare l'elemento. In questo modo il corretto orientamento rispetto al pannello Cross-Lam viene rispettato.

Possiamo affermare che la percentuale di sfrido minore è pari al 4,66%, mentre la percentuale maggiore è pari al 24,86%. Calcolando una media di sfrido per tutti i 10 pannelli, si ottiene una percentuale del 15,40%, ossia un valore molto prossimo a quello risultante dall'ottimizzazione dei triangoli della copertura.

In ogni pannello vengono predisposti in media 5,6 elementi, con un minimo di 4 elementi e un massimo di 8.

Non viene riportato il caso di ottimizzazione con rotazione libera. Questo perché, essendo gli elementi delle pareti e dei setti costituiti da forme più regolari rispetto ai triangoli della copertura, la rotazione libera non aiuta a migliorare il calcolo di ottimizzazione. La differenza di sfrido risulta infatti insignificante ai fini dell'ottimizzazione stessa.

Il programma SIGMANEST prevede anche una parte di calcolo relativa al tempo di taglio e al costo che questa lavorazione richiede. È opportuno impostare il programma assegnando come input le caratteristiche precise del materiale, come durezza, spessore, densità e malleabilità.

Ai fini dell'ottimizzazione riguardante lo sfrido del materiale, questi dati non sono necessari e non vengono quindi riportati nel documento.

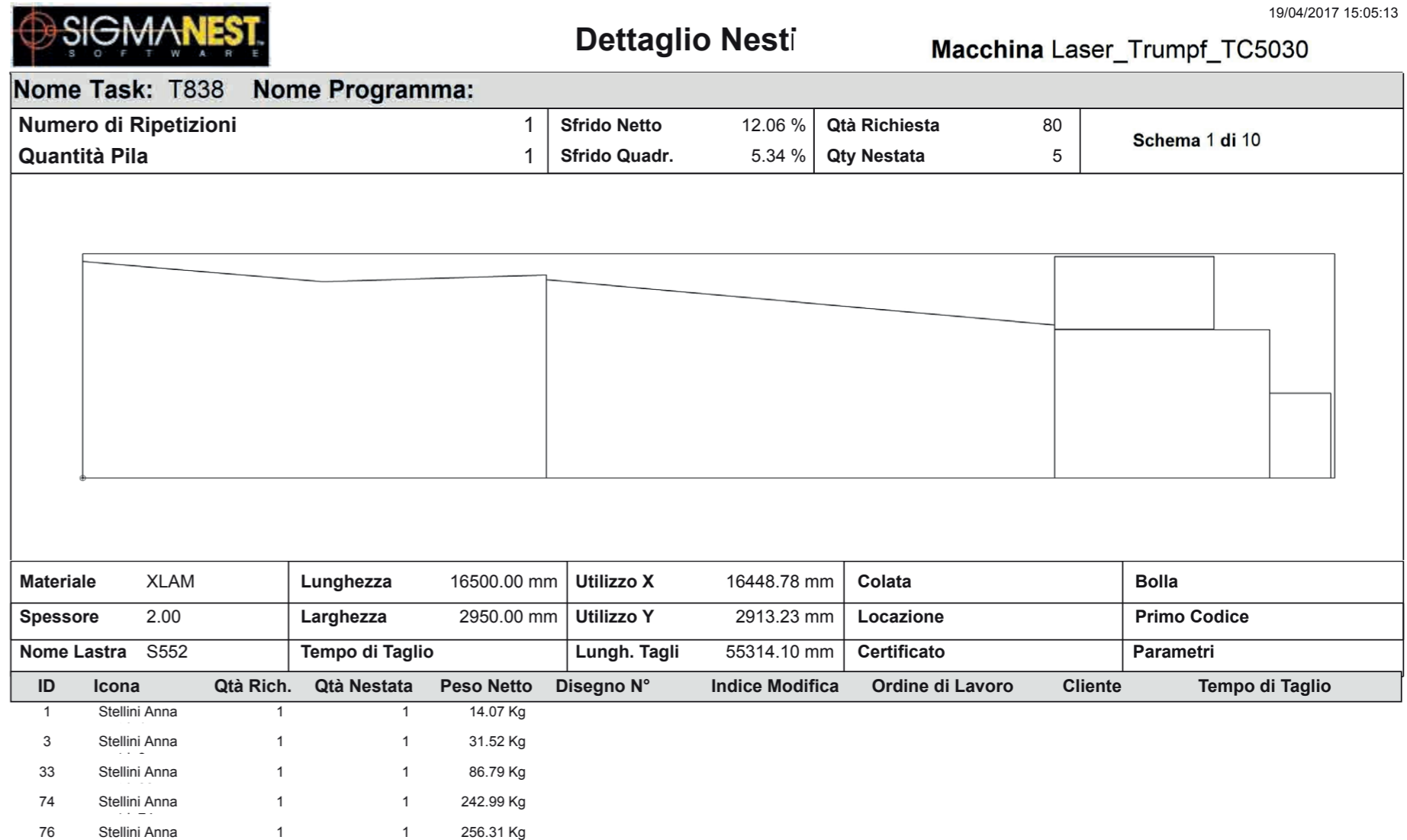
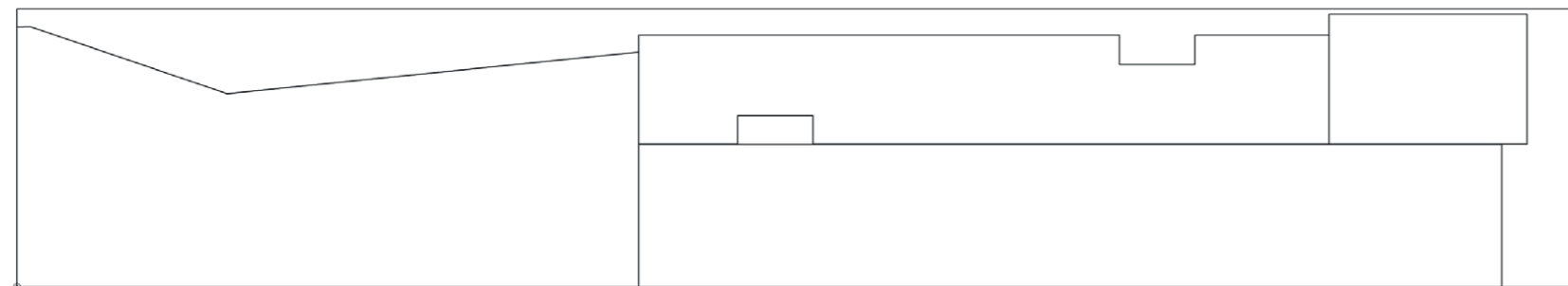


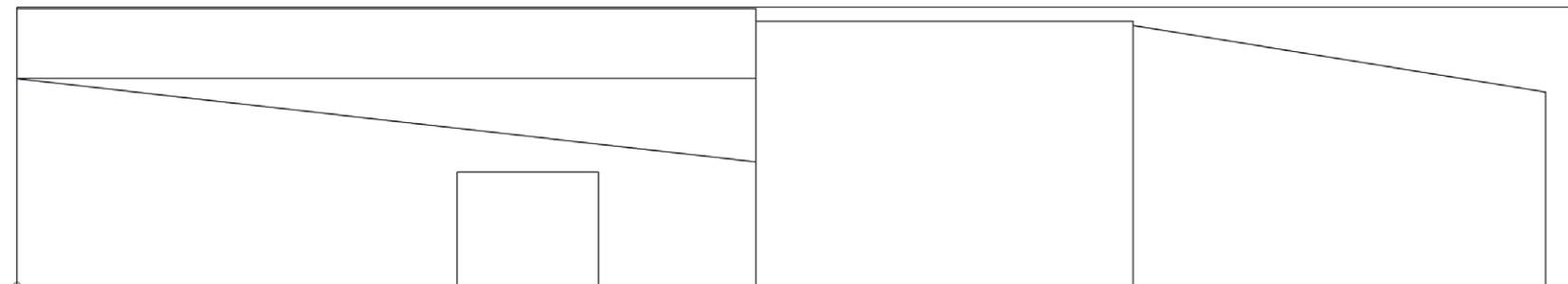
Figura 502\_Prima pagina del PDF che il programma SIGMANEST propone come risposta al calcolo dello sfrido delle pareti e i setti pieni in Cross-Lam



**Schema 2 di 10**      **Sfrido Netto**      12.81 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      5.44 %      **Qty Nestata**      4



**Schema 3 di 10**      **Sfrido Netto**      14.76 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      0.05 %      **Qty Nestata**      4



**Schema 4 di 10**      **Sfrido Netto**      13.92 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      -4.10 %      **Qty Nestata**      6

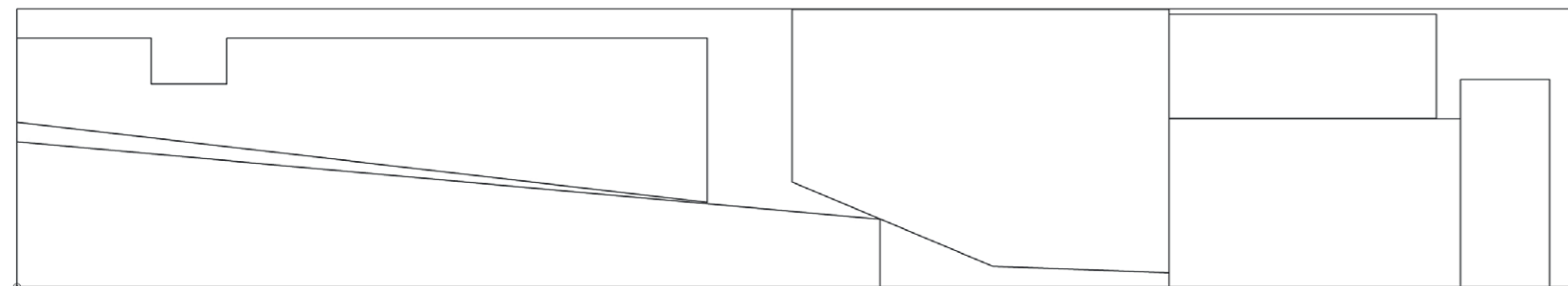
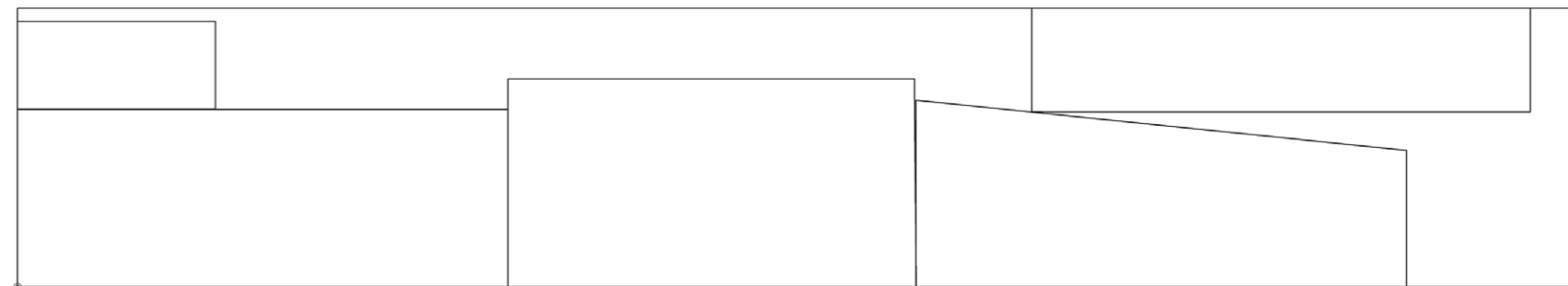
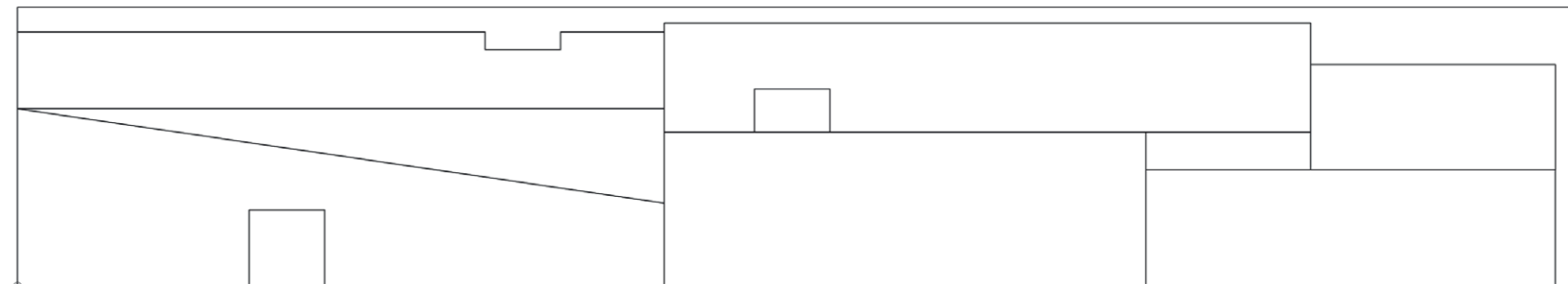


Figura 503\_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam

**Schema 5 di 10**      **Sfrido Netto**      20.01 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      16.88 %      **Qty Nestata**      5



**Schema 6 di 10**      **Sfrido Netto**      13.42 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      3.06 %      **Qty Nestata**      6



**Schema 7 di 10**      **Sfrido Netto**      14.56 %      **Qtà Richiesta**      80  
                          **Sfrido Quadr.**      0.35 %      **Qty Nestata**      6

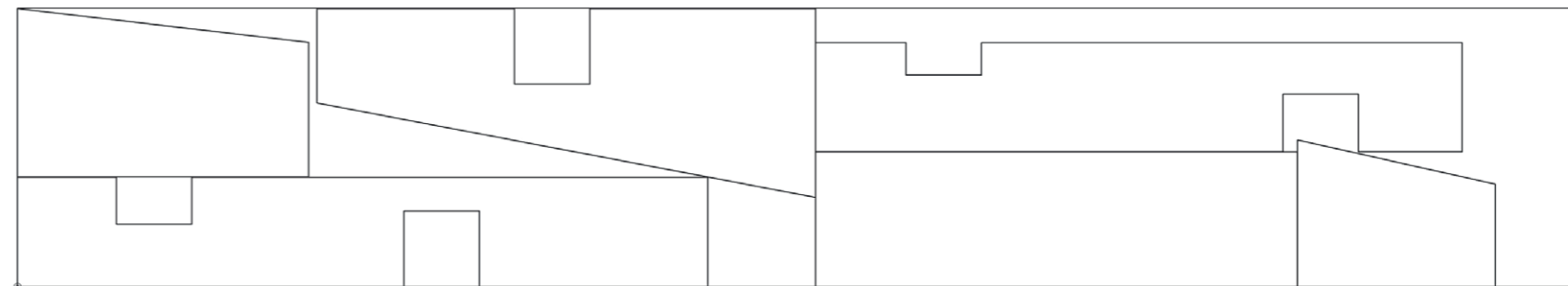


Figura 504\_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam

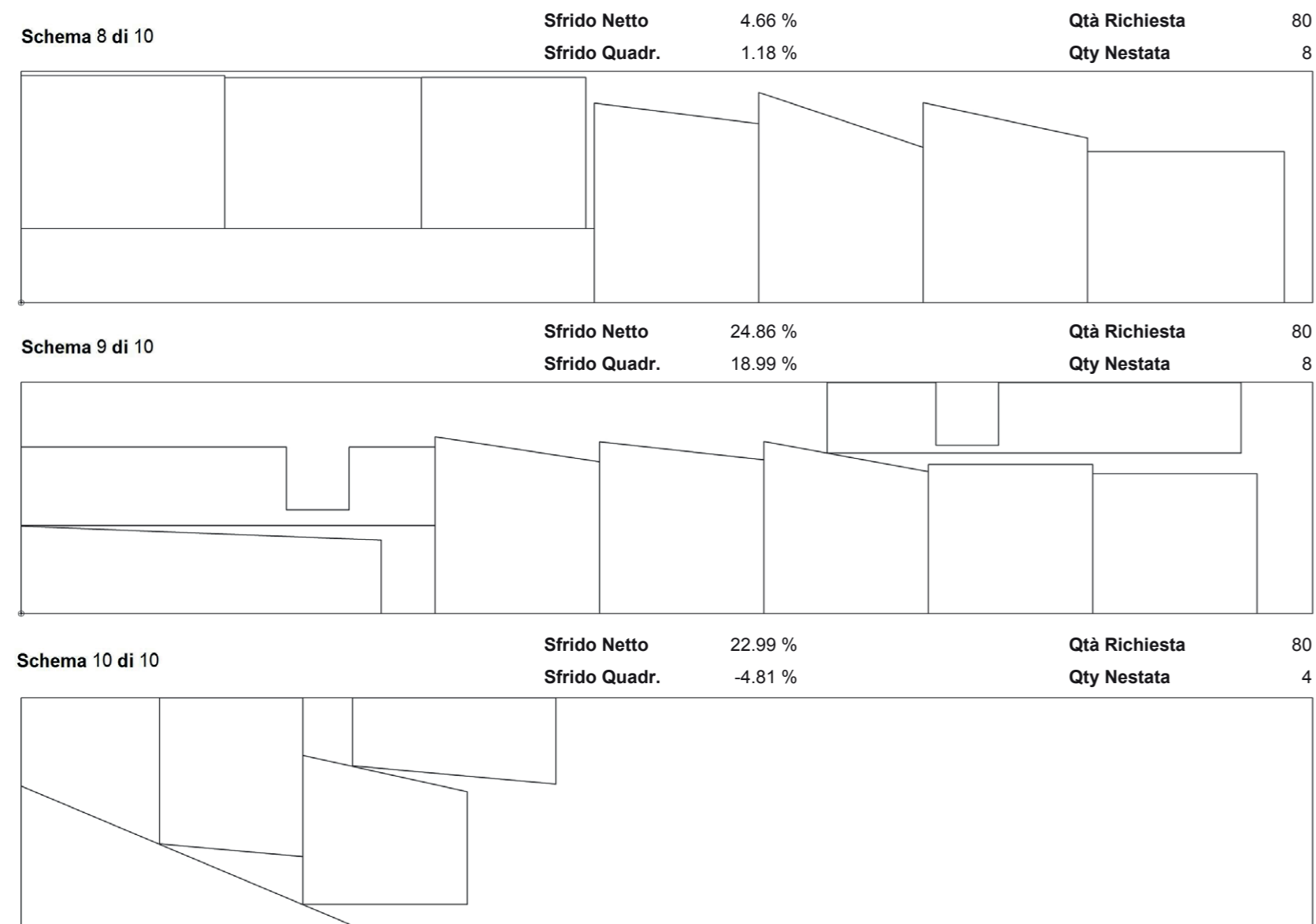


Figura 505\_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam

## 10.1.6 UTILIZZO TOTALE DEI PANNELLI CROSS-LAM

Di seguito si riportano delle tabelle riassuntive dei tre casi analizzati in precedenza, in modo da poter avere una lettura immediata dei dati ottenuti. All'interno di esse si riportano il numero di pannelli necessari per l'ottimizzazione, la percentuale di sfrido per ogni pannello e il numero di elementi presenti in ognuno.

Dapprima riportiamo un confronto tra le ottimizzazioni svolte per i triangoli.

TRIANGOLI COPERTURA		
N° pannello	% Sfridi	N° Elementi
1	14,76	2
2	9,25	4
3	8,71	3
4	10,35	4
5	12,45	3
6	18,71	3
7	16,33	3
8	15,46	4
9	12,33	4
10	14,34	4
11	15,47	5
12	17,03	4
13	15,49	4
14	11,89	5
15	13,99	5
16	11,52	5
17	16,98	5
18	15,41	5
19	22,52	5
20	19,63	5
21	10,52	5
22	13,22	5
23	15,97	5
24	17,07	6
25	22,84	6
26	18,69	7
27	21,43	7
28	23,06	9

TRIANGOLI CON ROTAZIONE		
N° pannello	% Sfridi	N° Elementi
1	10,55	4
2	8,78	4
3	5,99	4
4	11,94	5
5	9,69	4
6	7,41	5
7	9,74	3
8	12,42	6
9	8,88	6
10	15,35	5
11	8,67	7
12	13,59	5
13	23,38	3
14	16,23	6
15	15,03	6
16	19,62	6
17	17,31	5
18	8,91	5
19	16,09	7
20	10,91	7
21	13,66	4
22	20,86	5

Nel primo caso la rotazione è parzialmente bloccata e si ottiene una media di percentuale di sfrido pari al 15,55%, con una media di elementi disposti all'interno dei pannelli di circa 3. Nel secondo caso invece, la rotazione è completamente libera, la percentuale media di sfrido ottenuta è pari al 12,95% e la quantità media di elementi per pannello è pari a 5.

Si può dunque affermare che l'unica differenza significativa tra i due casi è la quantità di pannelli totali necessari, che aumenta di 6 pannelli per il secondo caso.

Al di sotto si riporta poi una tabella che riassume i dati ottenuti per l'ottimizzazione dei setti pieni in Cross-Lam e delle pareti degli edifici.

In questa analisi i pannelli prefabbricati necessari totali, risultano pari a 10. La percentuale media di sfridi è pari a 15,40%, valore di poco differente rispetto alla percentuale del 15,55% ottenuta per i triangoli con rotazione parzialmente bloccata. La quantità di elementi in totale è 80 pezzi i quali vengono disposti all'interno dei 10 pannelli con una media di 5,6 elementi per ciascuno.

Concludendo si può affermare che il numero di pannelli totali necessari, di dimensione 16,50x2,95m, è pari a 38.

Il processo di ottimizzazione attraverso un programma di nesting adeguato, si è verificato necessario ai fini della realizzazione del progetto Velika. Infatti si è così potuto calcolare più facilmente i tempi di trasporto e le necessità operative in loco per il montaggio della parte strutturale del progetto, che risulta essere sicuramente la più complessa ed impegnativa del processo di cantierizzazione.

SETTI E PARETI		
N° pannello	% Sfridi	N° Elementi
1	12,06	5
2	12,81	4
3	14,76	4
4	13,92	6
5	20,01	5
6	13,42	6
7	14,56	6
8	4,66	8
9	24,86	8
10	22,99	4



# 10.2

## LA DISARTICOLAZIONE

Si è considerato necessario ma soprattutto utile analizzare il progetto dal punto di vista della realizzazione pratica di esso. La parte più significativa del complesso architettonico è costituita dall'ossatura in Cross-Lam che lo sostiene. Per questo motivo si è deciso di incentrare l'analisi ergotecnica sulla parte portante costituita sostanzialmente da quattro elementi:

1. plinti di fondazione in calcestruzzo armato prefabbricati tra loro connessi mediante un sistema di tiranti e puntoni costituito da cavi in acciaio per meglio contrastare le forze orizzontali agenti;
2. elementi pieni verticali in Cross-Lam facenti parte delle strutture di elevazione verticale in quanto sostegno della copertura sovrastante;
3. elementi a graticcio in legno costituiti da travetti orizzontali e verticali ed arricchiti da elementi in OSB che fungono da controvento contribuendo ad incrementare la rigidità del pannello stesso;
4. elementi triangolari in Cross-Lam costituenti le falde della grande copertura che rappresenta la parte più significativa e complessa del progetto.

La scelta di focalizzare lo studio sulla parte strutturale è anche dovuta al fatto che i restanti elementi che compongono l'architettura sono semplicemente delle contro-pareti interne ed esterne molto semplici che non richiedono lavorazioni particolari.

Partendo dalla disarticolazione del progetto si andranno poi a considerare in modo più approfondito le questioni relative al trasporto, quelle riguardanti al montaggio della struttura, nonché l'organizzazione delle principali fasi di cantiere.

### 10.2.1 LA DISARTICOLAZIONE SPAZIALE

Lo studio del progetto ha portato ad una disarticolazione spaziale per poter individuare gli elementi omogenei che permettono di meglio organizzare le fasi di cantiere. I criteri utilizzati per la separazione delle varie parti da costruire hanno tenuto conto principalmente della collocazione del progetto all'interno della penisola. In particolare sono stati individuati quattro blocchi in cui esso potesse essere diviso. Il primo riguarda la parte di copertura in Cross-Lam a Nord, il secondo quella posta a Sud della strada, il terzo è relativo al pergolato mentre il quarto ed ultimo comprende il montaggio della copertura filtrante in corrispondenza del passaggio carrabile. In questo modo il transito dei veicoli sarà bloccato soltanto durante la messa in posa dell'elemento tessile di copertura, per un periodo sicuramente più limitato rispetto all'intervallo di tempo che sarebbe necessario per completare le altre parti del cantiere. Nel caso di progetto sarà posta particolare attenzione solamente ai blocchi 1 e 2 che saranno realizzati contemporaneamente in quanto prevedono il coinvolgimento delle stesse aziende di costruzione.



Figura 506\_Disarticolazione spaziale dell'edificio in quattro blocchi

### 10.2.2 LA DISARTICOLAZIONE TECNOLOGICA

Per favorire l'ingegnerizzazione del progetto è necessario analizzarlo nelle sue parti e individuare i sub-sistemi edilizi che dovranno essere realizzati in ogni singola area. La scomposizione del complesso architettonico è stata condotta secondo la norma UNI 8290 "Sistema tecnologico - classificazione e terminologia", che prevede una suddivisione secondo tre livelli differenti:

1. classi di unità tecnologiche;
2. unità tecnologiche;
3. classi di elementi tecnici.

Inoltre sono stati aggiunti due livelli ulteriori, che non sono però contemplati dalla norma in esame, ma che allo stesso tempo risultano molto utili in quanto permettono una più chiara specificazione di tutte le parti costituenti il progetto nella sua interezza.

Si hanno dunque due successivi livelli:

4. elementi tecnici;
5. tipi di elementi tecnici.

Questi sub-sistemi tecnologici sono stati organizzati secondo la WBS (Work Breakdown Structure), che consiste sostanzialmente in un diagramma ad albero che rappresenta una scomposizione per livelli successivi delle parti del progetto consentendo così di avere un controllo globale di tutti gli elementi che lo compongono. Questa struttura gerarchica è così in grado di rappresentare il quadro operativo complesso di esso partendo da un'analisi generale dello stesso fino ad arrivare alla descrizione della particolare e singola attività.

A lato si riporta come esempio un estratto della disarticolazione effettuata relativo soltanto alla prima tipologia di classe tecnologica, ossia la struttura portante, per poter comprendere meglio come è stata effettuata la suddivisione delle parti coinvolte nei vari tipi di elementi tecnici.

Sono inseriti all'interno della WBS anche gli elementi portanti utilizzati per la costruzione della struttura di base per il tessuto filtrante e per la costruzione del pergolato.

DISARTICOLAZIONE TECNOLOGICA					
CLASSI DI UNITA' TECNOLOGICHE	UNITA' TECNOLOGICHE	CLASSI DI ELEMENTI TECNICI	ELEMENTI TECNICI	DESCRIZIONE	
Struttura portante	Struttura di fondazione	Struttura di fondazione indiretta	Plinti di fondazione	Plinto in calcestruzzo armato con sezione a T rovescia Larghezza: 0,5 m Lunghezza: 2,10 m	
				Plinto in calcestruzzo armato con sezione a T rovescia Larghezza: 0,5 m Lunghezza: 3-8 m	
				Vespaio aerato con getto portante in calcestruzzo Spessore: 5 cm	
				Collegamenti tra plinti	Cavi in acciaio
	Struttura di elevazione	Struttura di elevazione verticale		Elementi pieni	Setto in Cross-Lam Spessore: 16 cm Larghezza: 2.10 m Altezza: 4-7 m
					Setto in Cross-Lam Spessore: 16 cm Larghezza: 3-8 m Altezza: 4-7 m
			Elementi a graticcio	Setto a graticcio in legno di sezione 10x10 cm Larghezza: 2,10 m Altezza: 4-7 m	
				Setto a graticcio in legno di sezione 10x10 cm Larghezza: 3-8 m Altezza: 4-7 m	
				Controventi	Pannello OSB
					Pilastri in acciaio
Struttura di elevazione orizzontale e inclinata				Falde di copertura in Cross-Lam	Pannello in Cross-Lam Spessore: 16 cm Dimensione: variabile
	Trave in acciaio			Trave in acciaio HEB 100	
	Scala a chiocciola			Struttura autoportante in acciaio	

Figura 507\_Disarticolazione tecnologica dell'edificio

### 10.2.3 LA DISARTICOLAZIONE ERGOTECNICA

Dopo aver effettuato la disarticolazione spaziale e tecnologica si procede verso un ulteriore livello di destrutturazione del progetto. Sono stati identificati tutti gli elementi tecnici di cui è composto l'oggetto in esame e a seguire si è pensato ad una scomposizione di quest'ultimi in funzione delle lavorazioni necessarie per la loro realizzazione: questa fase di studio prende il nome di disarticolazione ergotecnica (o disarticolazione per voci di lavoro). La sua funzione è propedeutica rispetto alla successiva organizzazione del cantiere. Grazie ad essa infatti è possibile individuare la quantità e la tipologia delle imprese che interverranno all'interno di esso, l'ordine di arrivo e le lavorazioni che si dovranno poi eseguire. Nonostante l'analisi sia stata svolta per tutte le stratigrafie utilizzate all'interno del progetto si riportano di seguito solo i pacchetti tecnologici più significativi per la realizzazione della struttura portante dell'edificio, identificando l'operatore di competenza e successivamente l'impresa che interverrà in cantiere. Il fine del lavoro è quello di individuare le fasi di cantiere relative alla costruzione delle sole opere strutturali.

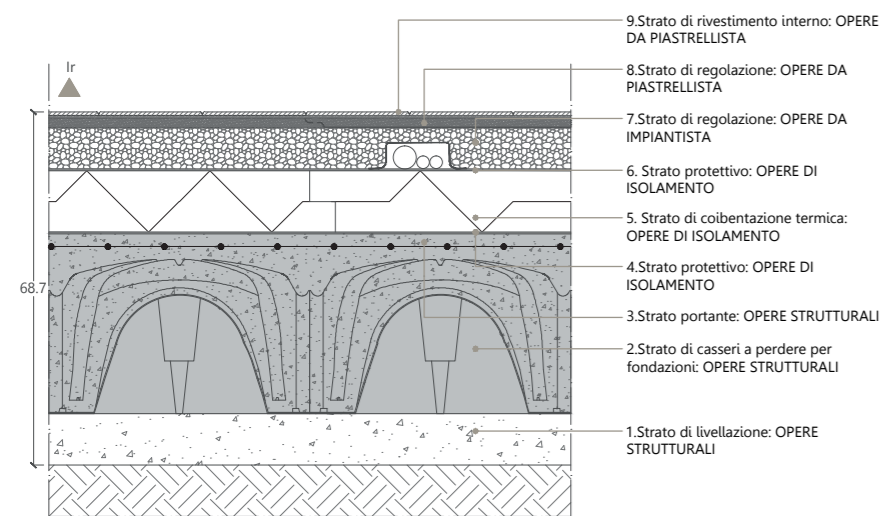


Figura 508\_Chiusura orizzontale: solaio controterra

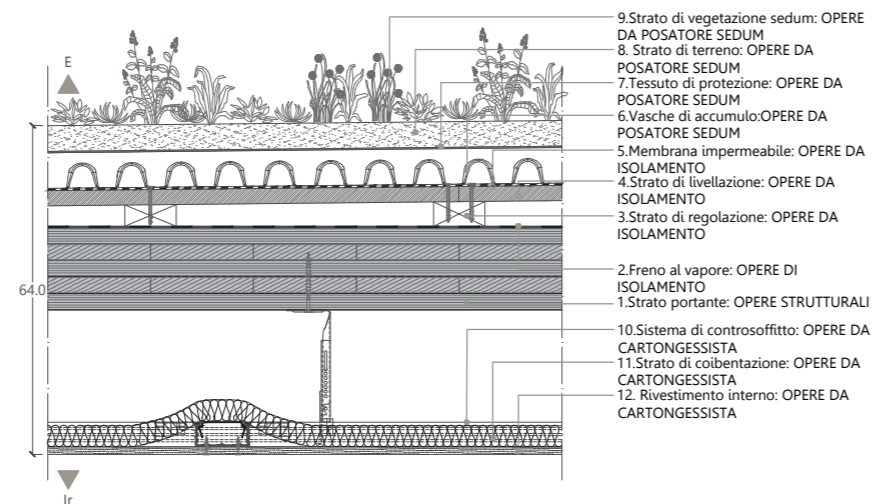


Figura 509\_Chiusura orizzontale: copertura verde isolata

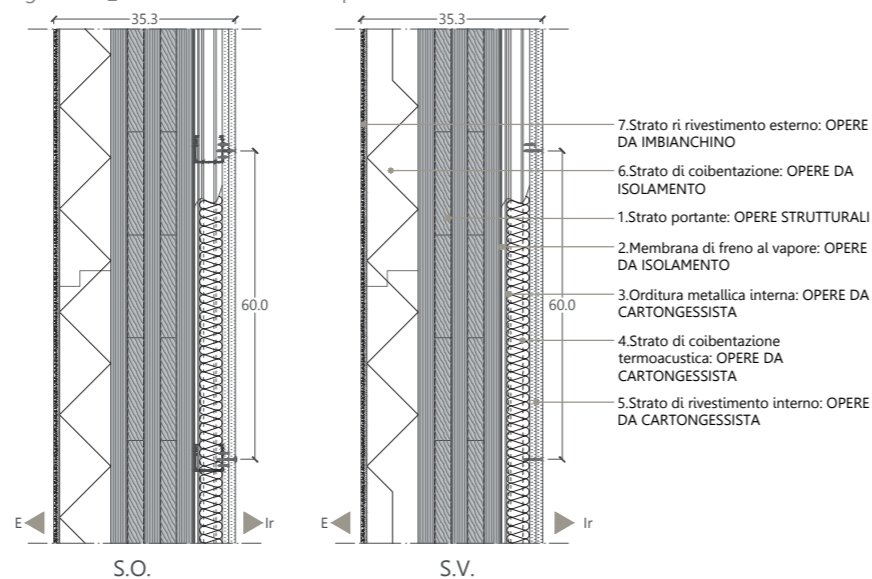


Figura 510\_Chiusura verticale isolata

## 10.3 IL TRASPORTO

Nel paragrafo in questione si analizzano gli elementi relativi al trasporto del materiale sull'isola di Vis, in particolare sulla penisola di Prilovo. I componenti analizzati saranno tutti quelli inerenti all'uso strutturale, di conseguenza per ogni fase di viaggio si terranno in considerazione:

- plinti di fondazione prefabbricati in calcestruzzo armato;
- pannelli Cross-Lam per copertura, per setti e pareti;
- elementi a graticcio in legno di larice con elementi in OSB di irrigidimento.

In prima istanza si analizzeranno i luoghi scelti per le lavorazioni dei materiali, laddove siano necessarie, come in particolare il taglio dei pannelli Cross-Lam in modo tale che questi possano arrivare in cantiere pronti per la posa in opera a meno di piccole ulteriori lavorazioni.

Così come questi anche i pilastri e le travi della struttura a graticcio, e gli irrigidimenti in OSB, subiranno la fase di taglio nell'azienda di produzione, agevolando così il trasporto e successivamente la posa in opera nel luogo di cantiere.

Avendo condotto un accurato calcolo dello spreco del materiale risultando dal taglio dei pannelli Cross-Lam, così come spiegato in precedenza, si è deciso di approfondire anche il metodo di approvvigionamento del materiale, analizzando soprattutto il tipo di imballaggio dei pannelli, che oltre ad avere un peso elevato presentano dimensioni ingombranti e per questo deve essere ben pensata la loro disposizione su dei bancali per il loro trasporto.

### APPROVVIGIONAMENTO DEL MATERIALE

#### TAGLIO ED IMBALLAGGIO

Prima della scelta dei mezzi atti a trasportare il materiale da costruzione nell'area di stoccaggio si è pensato fosse utile ricercare delle aziende croate che producessero pannelli Cross-Lam presso le quali si potesse eseguire il taglio degli stessi secondo l'analisi fatta in precedenza per contenere al massimo gli sfridi.

Nel caso in esame ipotizza che il rifornimento delle parti in Cross-Lam avvenga direttamente in Croazia o in una nazione ad essa confinante, in modo da ridurre al minimo i costi di trasporto. Infatti se i pannelli fossero acquistati in Italia si dovrebbe considerare un primo trasporto fino a Spalato molto dispendioso, sia in termini di tempo che dal punto di vista economico. Facendo una ricerca di quali fossero le aziende di produzione e taglio di legno si è trovata la "SELECTIA" situata a Rijeka, in Croazia, relativamente vicina al porto di Spalato, che produce i pannelli Cross-Lam delle dimensioni necessarie per il progetto. Essa inoltre si occupa anche del taglio di essi, secondo le indicazioni fornite in precedenza nel capitolo riguardante il calcolo degli sfridi. L'azienda in questione si dedica inoltre al taglio e all'imballaggio anche degli elementi in legno di larice necessari per la realizzazione dei setti a graticcio, oltre che dei pannelli OSB necessari per creare gli irrigidimenti.

Una volta avvenuta l'operazione di taglio, le singole parti ricavate da ognuno dei pannelli Cross-Lam vengono imballate insieme. Questa scelta risulta essere utile per due motivi: dapprima si rende più veloce la pratica di confezionamento, che può essere eseguita successivamente al taglio di ogni singolo pannello, in secondo luogo invece si hanno confezioni imballate che hanno un peso simile.

In particolare infatti, il peso massimo che può essere raggiunto da ogni singola quantità imballata è pari a quello di un pannello Cross-Lam, ossia:

$$P_{\text{Max Confezione}} = V_{\text{Pannello}} \cdot \rho_{\text{Cross-Lam}} = 7,79 \text{ m}^3 \times 500 \text{ kg/m}^3 = 3894 \text{ kg} = 3,90 \text{ t}$$

Inoltre è importante valutare al fine del calcolo del trasporto, che il peso sopra riportato è un peso massimo. Infatti si può considerare un peso più preciso che tenga in conto dello sfrido medio ottenuto per ogni pannello. Si distingue quindi tra pannelli Cross-Lam utilizzati per la copertura e quelli utilizzati per le pareti verticali.



**TRIANGOLI DI COPERTURA:** lo sfrido medio calcolato in questo caso era pari al 15,55% per ognuno dei 28 pannelli necessari. Il peso totale medio di ogni quantità imballata sarà quindi pari a:

$$P_{T,MedioConfezione} = P_{MaxConfezione} - 15,55/100 P_{MaxConfezione} = 3,28 \text{ t}$$

Considerando che si necessita di 28 pannelli, il peso totale delle confezioni sarà circa pari a:

$$P_{T,TotConfezioni} = P_{T,MedioConfezione} \cdot n^{\circ}\text{pannelli} = 3,28 \text{ t} \times 28 = 92,07 \text{ t}$$

**SETTI E PARETI:** lo sfrido medio calcolato in questo caso era pari al 15,40% per ognuno dei 10 pannelli necessari. Il peso totale medio di ogni quantità imballata sarà quindi pari a:

$$P_{S,MedioConfezione} = P_{MaxConfezione} - 15,40/100 P_{MaxConfezione} = 3,29 \text{ t}$$

Considerando che si necessita di 10 pannelli, il peso totale delle confezioni sarà circa pari a:

$$P_{S,TotConfezioni} = P_{S,MedioConfezione} \cdot n^{\circ}\text{pannelli} = 3,29 \text{ t} \times 10 = 32,90 \text{ t}$$

Avendo quindi calcolato ora il peso totale delle confezioni sia per gli elementi di copertura che per i pannelli di parete, si considera un ingombro massimo di ognuna di esse, pari a 12 m di lunghezza e 2,95 di larghezza, con un peso medio singolo di 3,285 t. Il peso totale delle confezioni di tutti gli elementi in Cross-Lam da considerare per il trasporto è quindi pari a:

$$P_{TotConfezioni} = P_{MedioConfezione} \cdot n^{\circ} \text{ Confezioni} = 3,285 \text{ t} \times 38 = 124,83 \text{ t}$$

**PILASTRI E TRAVETTI IN LEGNO CON IRRIGIDIMENTI IN OSB:** oltre a considerare il peso degli elementi in Cross-Lam bisogna tenere in conto anche le parti costituenti gli elementi a graticcio, in legno di larice, presenti nel progetto. Come detto in precedenza si presume che anche questo materiale venga fornito direttamente dall'azienda croata produttrice dei pannelli Cross-Lam.

I setti a graticcio sono in totale 11 di base pari a 2,10 m, mentre 2 di base pari a 4,60 m e infine altri 2 di lunghezza pari a 3 m. Tutti i travetti componenti il graticcio hanno una sezione di 0,10 x 0,10 m e hanno differenti altezze variabili da 4 a 7 m. Considerando travetti orizzontali e verticali si ottiene un volume di legno necessario pari a 4,83 t.

Bisogna inoltre considerare la presenza del faro all'interno del progetto. Esso, composto sempre da elementi in legno ha un peso totale pari a 4,75 t.

Considerando che sia i setti che il faro presentano degli irrigidimenti in OSB si calcola che la quantità di questo materiale richiesta per i setti è pari a 0,22 t mentre quella relativa al faro è pari a 1,13 t.

Si può in conclusione riportare la quantità di legno di larice richiesta per tutti gli elementi a graticcio utilizzati nel progetto, che è pari a 9,58 t. Se si considera invece il materiale di OSB totale richiesto per la realizzazione degli irrigidimenti si ottiene un peso totale di 1,35 t. Per ottimizzare i costi di trasporto si ipotizza quindi che il materiale possa essere trasportato tutto insieme.

#### PLINTI DI FONDAZIONE PREFABBRICATI IN CALCESTRUZZO

Per quanto riguarda la parte strutturale relativa alle fondazioni di progetto, si utilizzano dei plinti prefabbricati in calcestruzzo armato che, dove necessario, saranno collegati tra loro tramite dei puntoni e dei tiranti in acciaio, per contrastare le forze orizzontali agenti a livello del suolo. Questi vengono forniti da un'azienda di Spalato. I plinti hanno un'altezza al di sotto del suolo di 40 cm, poiché trovandosi il progetto in località marina non è possibile scavare per profondità maggiori. Essi presentano una forma allungata, così come gli elementi verticali in Cross-Lam utilizzati per le pareti. Si conta in totale la presenza di 35 plinti, considerando sia quelli al di sotto dei setti che al di sotto delle pareti degli edifici. Il volume di ognuno è pari a 0,276 m<sup>3</sup> e considerando una densità del calcestruzzo di 2500 kg/m<sup>3</sup> il peso è pari a 690 kg. Tenendo presente il numero totale degli elementi di fondazione si ottiene un peso complessivo di 24,15 t.

PESO COMPLESSIVO DEI VARI MATERIALI			
CROSS-LAM	Setti	Copertura	Totale
	32,943 t	90,996 t	123,940 t
LEGNO DI LARICE	Setti	Copertura	Totale
	4,836 t	4,750 t	9,586 t
OSB	Setti	Copertura	Totale
	0,222 t	1,128 t	1,349 t
FONDAZIONI	Plinti prefabbricati in CLS		Totale
	24,150 t		24,150 t

Figura 511\_Tabella riassuntiva pesi totali da trasportare

## 10.3.1 LE FASI DI TRASPORTO

Si analizzano ora i trasporti del materiale strutturale considerando i due diversi tragitti: dapprima quello dall'azienda in cui vengono prodotti ed imballati gli elementi strutturali fino a Spalato, mentre il secondo è il tratto dal porto di Spalato all'isola di Vis.

### 10.3.1.1 TRASPORTO VIA TERRA

Le dimensioni degli elementi da portare al porto di Spalato risultano essere elevate, o meglio ingombranti. Per questo motivo si sceglie di utilizzare per tutti lo stesso mezzo di trasporto, che sia in grado di contenere al suo interno pannelli di dimensioni ingenti come nel caso in esame. Il problema maggiore per quanto riguarda le dimensioni è relativo agli elementi in Cross-Lam.

Si sceglie dunque un autoarticolato a quattro assi, che viene poi riportato in figura, che presenta le seguenti caratteristiche:

- lunghezza massima di 16,50 m;
- larghezza massima di 2,55 m (2,60 m per le sovrastrutture di carico);
- altezza massima di 4,50 m;
- portata massima di 40 t.

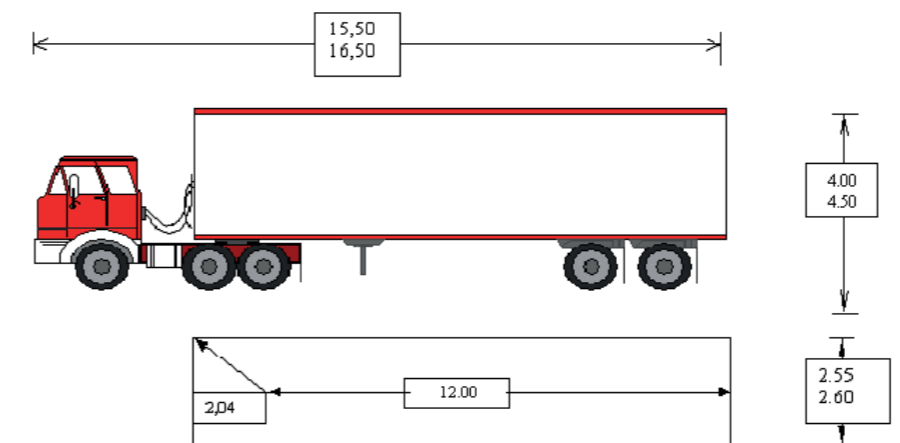


Figura 512\_Dimensioni autoarticolato a quattro assi

#### ELEMENTI IN CROSS-LAM

Gli elementi in Cross-Lam sono parte principale del progetto e come tale richiedono una particolare attenzione. Si deve tenere in considerazione che la maggior parte dei pannelli ricavati dalla fase di taglio ha dimensioni elevate e soprattutto ingombranti. Infatti molti dei pezzi da trasportare hanno una lunghezza che arriva fino a 12 m e un'altezza massima di 2,95 m. Per questo è necessario pensare a una disposizione e ad una modalità di imballaggio tali da poter ottimizzare il numero dei viaggi dall'azienda al porto di Spalato.

Considerando l'ingombro delle quantità imballate, esse saranno poste verticalmente al di sopra di bancali di altezza pari a 15 cm e di dimensioni 120x80 cm. In questo modo per ogni autoarticolato considerato potranno essere disposti verticalmente 15 elementi in Cross-Lam di spessore 0,16 m ognuno, cinque per ogni fila di bancali, considerando che la larghezza interna del mezzo è pari a 2,55 m.

In totale si hanno 135 elementi di copertura ed 80 tra setti e pareti, per cui sono necessari 11 viaggi di andata dall'azienda per portare tutti gli elementi a Spalato.

Si ribadisce che l'obbligo di un numero così elevato di viaggi dipende soltanto dalla forma ingombrante dei pezzi di Cross-Lam, in quanto il peso totale di essi si sarebbe potuto effettuare soltanto con 4 viaggi, essendo che la portata di un autoarticolato è pari a 40 t e la quantità di materiale da trasportare totale è pari a 124 t.

#### PILASTRI E TRAVETTI IN LEGNO CON IRRIGIDIMENTI IN OSB

Gli elementi per i sistemi a graticcio hanno un peso pari a 9,58 t, mentre le parti di OSB hanno un peso di 1,35 t. Questi saranno caricati sul medesimo autoarticolato assieme alle viti e alle piastre utili per tutti gli elementi strutturali. In questo caso si necessita di un solo viaggio.

#### PLINTI DI FONDAZIONE IN CALCESTRUZZO PREFABBRICATI

Per i plinti di fondazione e il materiale in acciaio costituente i tiranti e i puntoni di collegamento si utilizza lo stesso autoarticolato. In questo caso sarà necessario un solo viaggio in quanto il peso totale da trasportare è pari a 24,15 t e su ogni bancale vengono posti 3 plinti, per un totale di 12 bancali di dimensioni 120 x 80 cm. In questo caso il viaggio da effettuare sarà pari a 20 km poiché l'azienda di produzione si trova a Spalato.

### 10.3.1.2 TRASPORTO VIA MARE

Dopo aver raggiunto il porto di Spalato i vari materiali devono essere portati nel luogo di cantiere, sull'isola di Vis. Per fare ciò è necessario utilizzare un trasporto via mare, considerando però che nel porto di Vis non è consentito l'attracco di navi cargo di dimensioni maggiori a 150 m di lunghezza, essendo il livello dell'acqua piuttosto basso in prossimità della baia.

Si sceglie dunque un traghetto-cargo roll on-roll off di dimensioni ridotte, sul quale è possibile trasportare anche un autoarticolato all'interno del quale è caricato il materiale utile per la costruzione della struttura del progetto.

Anche in questo caso il numero di viaggi non dipenderà tanto dal peso totale da trasportare ma dagli ingombri degli elementi. Di conseguenza si può assumere che saranno necessari 4 viaggi per il trasporto del materiale ligneo totale, mentre un solo trasporto per gli elementi di fondazione della copertura.

Nella tabella sottostante si riportano tutti i dati relativi al tipo di mezzo navale scelto.

<b>CLASS</b>		<b>PROPULSION</b>	
The vessel meets requirements of Lloyd's Register of Shipping for the class notation: LR5 +100 A1 +LNC Roll on/Roll off Passenger/Vehicle Ferry, Specified Roam Service, IWS		Two (2) Marine Propulsion Engines of 671 kW each; Two (2) Diesel Generators of 150 kW each; One (1) Harbor/Emergency Generator of 114 kW; Two (2) CP Propellers; Power Management System; Integrated Automatic System.	
<b>MAIN PARTICULARS</b>		<b>DECK EQUIPMENT</b>	
Length overall	35.50 m	One (1) hydraulically operated ramp at stern for loading and unloading of cars and lorries;	
Length of car deck	37.50 m	One (1) electrically operated vertical anchor winch;	
Breadth moulded	8.00 m	Two (2) electrically operated capstans;	
Depth moulded	4.20 m	Two (2) hydraulically operated flap ladders;	
Roll load draft	3.05 m	Two (2) hydraulically operated hatch covers;	
Speed (at 85% of MCR)	12 kn	Car loading system	
Passengers	30		
Cars on Main Deck	9 or 1 (only 30 t)		
G.T.	351 t		
Deadweight	172 t		
<b>PASSENGER AREAS</b>		<b>OWNER</b>	
One (1) air conditioned passenger saloon (handicapped suitable)		Shetland Islands Council (UK)	
<b>LIFE SAVING EQUIPMENT</b>		<b>YEAR OF DELIVERY</b>	
Two (2) MEG evacuation systems;		2013	
One (1) FRB boat;			
One (1) Lifeboat davit;			

### 10.3.1.3 TRASPORTO AL CANTIERE

Gli elementi trasportati all'interno della baia mediante il traghetto-cargo devono essere poi portati nella zona di cantiere ed essere stoccati in appositi spazi.

Per il prelievo del materiale dal mezzo navale al sito di cantiere si utilizzano degli elevatori che possano sollevare i bancali su cui sono disposti tutti gli elementi.

Al di sotto si riportano i dati relativi al mezzo elevatore scelto per il prelievo e lo spostamento del materiale che arriva al porto.

- Tipologia: frontale a 4 ruote;
- portata nominale: 4000 kg;
- sollevamento: il mezzo in questione è in grado di sollevare il materiale fino a 4050 mm;
- gommatura: superelastica;
- attrezzature: traslatore idroguida.



## 10.4 LE FASI DI CANTIERE

Dopo una prima descrizione di tutti gli elementi componenti la parte portante dell'edificio si è ritenuto opportuno parlare dell'organizzazione del cantiere stesso per comprendere in quale modo può avvenire il montaggio della struttura in Cross-Lam.

Nel capitolo seguente si intende dunque descrivere brevemente le azioni di montaggio di tutta la parte strutturale dell'edificio. In particolare le fasi principali verranno illustrate e descritte in modo dettagliato per meglio comprendere la sequenza di costruzione della struttura del progetto.

Nel cantiere si hanno elementi di struttura molto differenti tra loro che quindi richiedono una accurata specializzazione degli operai coinvolti nel montaggio della struttura. Le strutture presenti nel progetto si possono suddividere nei tre macro blocchi qui elencati:

1. elementi strutturali in calcestruzzo;
2. elementi strutturali in Cross-Lam;
3. elementi strutturali a graticcio

Ognuno di questi macro settori deve essere preso in considerazione in ciascuno dei due blocchi individuati con la disarticolazione spaziale effettuata in precedenza. Questo significa che ognuna delle imprese costruttrici specializzata nelle opere strutturali dovrà lavorare sia per il blocco 1 che per il blocco 2, che si trovano rispettivamente a Sud e a Nord della strada carrabile.

Il materiale da costruzione sarà quindi stoccato in entrambi i lotti, con le apposite precauzioni, in modo tale da rendere più semplice la posa degli elementi strutturali necessari. Nella zona a Sud dell'area di pertinenza del progetto in particolare, è presente un vasto prato non utilizzato che può essere sfruttato per depositare il materiale prima che esso venga impiegato nella costruzione della struttura.

In particolare nelle pagine seguenti si mostreranno 6 fasi di costruzione della parte strutturale dell'edificio, a partire dal sistema di fondazione per poi passare agli elementi verticali in pannelli pieni e a quelli costituiti da un sistema a graticcio ed infine i pannelli di copertura.

Si rappresenteranno in dettaglio anche tutte le opere provvisorie necessarie durante la costruzione del progetto: in particolare si necessiterà di un sistema di ponteggio specifico che garantisca il posizionamento delle falde secondo un'inclinazione corretta.

Le fasi che si intende argomentare sono le seguenti:

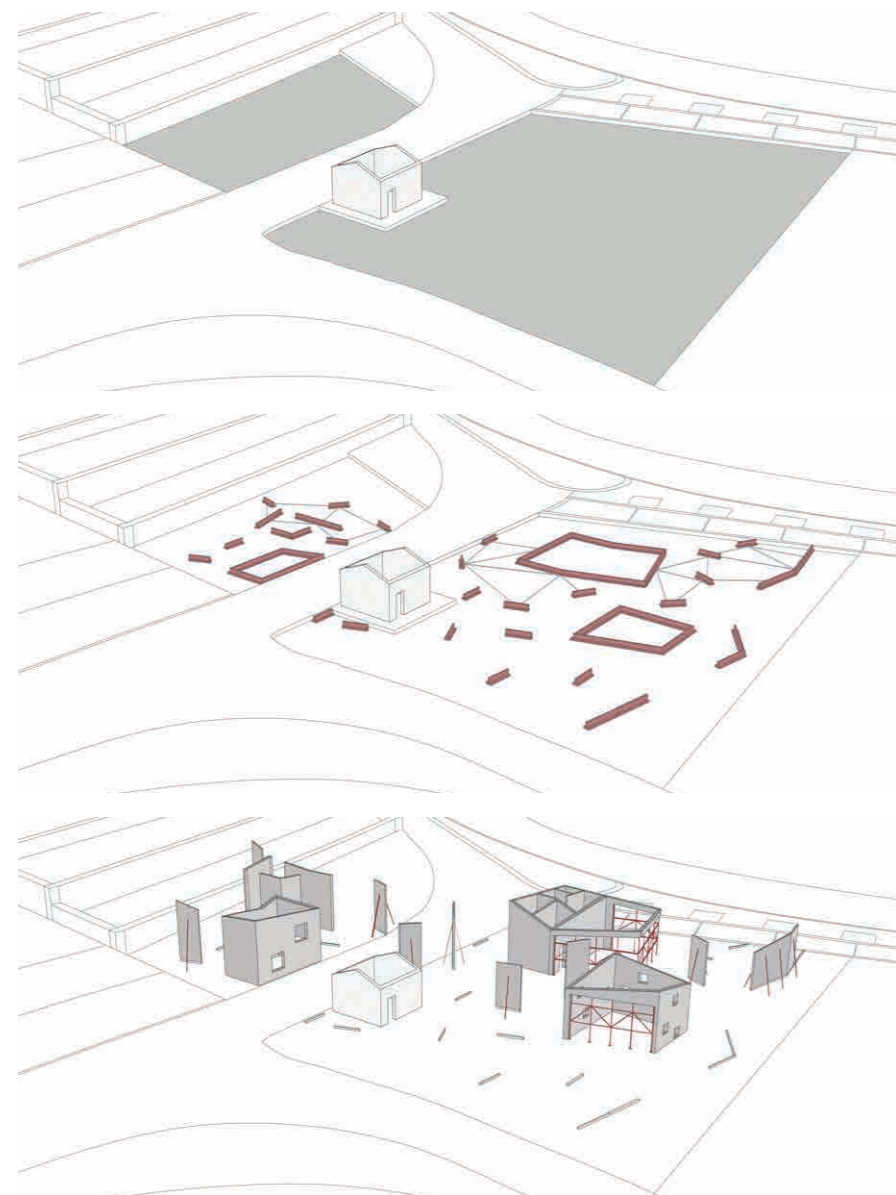
- FASE 1: scavo;
- FASE 2: fondazioni;
- FASE 3: rinterro ed elementi pieni;
- FASE 4: elementi a graticcio;
- FASE 5: copertura;
- FASE 6: completamento della struttura.

Si deve specificare che i pannelli che compongono le singole pareti, i setti e i triangoli di copertura, non sono costituiti sempre da un singolo pannello, motivo per il quale è necessario che questi siano assemblati precedentemente, in modo tale da rendere più semplice ma soprattutto più rapida la posa in opera. Così facendo, gli elementi lignei possono essere sollevati mediante l'utilizzo di un'autogrù ed essere collocati in modo celere e preciso.

Anche gli elementi a graticcio vengono utilizzati già assemblati e quelli che li prevedono sono già arricchiti dalla presenza dei pannelli di irrigidimento in OSB.

In seguito si illustrano le fasi di cantiere





### FASE 1: SCAVO

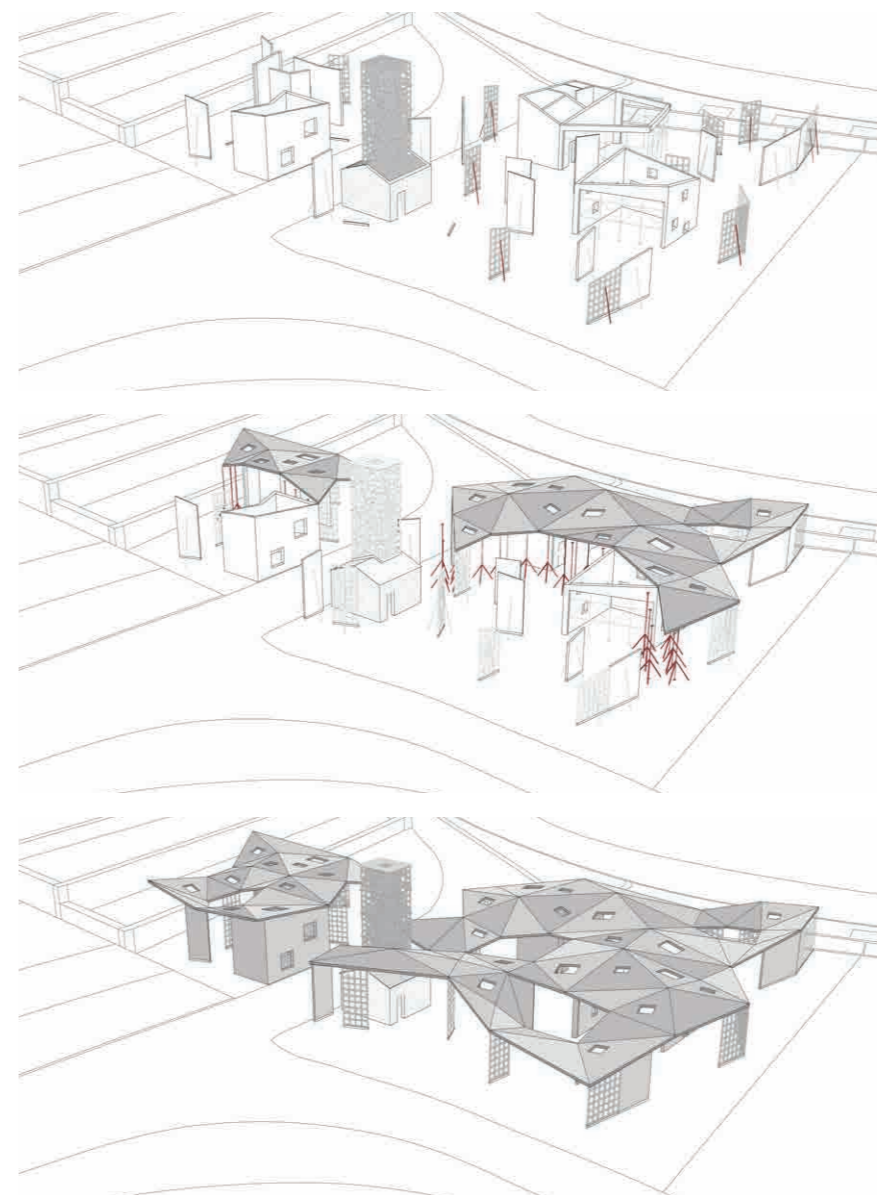
Nella prima fase di costruzione dell'edificio rientra l'operazione di asportazione del terreno, per poter collocare così le fondazioni. È opportuno sottolineare che lo scavo viene realizzato sulla totalità dell'area da costruire ponendo però attenzione alla preesistenza dell'edificio in pietra che si desidera mantenere così come si presenta all'interno del progetto. In figura si può osservare l'ampiezza dell'area scavata a Nord ma soprattutto a Sud della strada carrabile. La profondità di scavo è di 40 cm a partire dalla quota della strada stessa che se moltiplicata per l'area interessata produce un volume di circa 700 m<sup>3</sup> di terreno, che verrà posizionato a Sud della superficie di scavo nell'area di stoccaggio dedicata.

### FASE 2: FONDAZIONI

La seconda fase è quella relativa al posizionamento delle fondazioni della struttura. Si nota come ogni setto ed ogni edificio preveda, logicamente, la presenza di un plinto isolato in calcestruzzo. Le fondazioni utilizzate per i setti e gli edifici di progetto sono di tipo nastriforme: in particolare ogni plinto ha una sezione a T rovescia ed una lunghezza fissa di 2,10 m per i setti verticali, variabile per le pareti degli edifici. I plinti sono in calcestruzzo armato e vengono forniti già pronti per l'uso in quanto sono prefabbricati. Questi sono poi collegati tra di loro grazie a cavi in acciaio di diversa lunghezza che fungono da puntoni e tiranti permettendo di rendere più stabile il sistema di fondazione nei confronti delle forze orizzontali.

### FASE 3: RINTERRO ED ELEMENTI PIENI

Dopo il posizionamento dei plinti di fondazione si passa alla fase di rinterro per creare un piano di lavoro per la successiva costruzione dell'edificio. Si procede dunque con la parte portante verticale che viene posizionata in corrispondenza dei basamenti stessi. In particolare si prevede la posa dapprima delle pareti degli edifici, in quanto risultano più ingombranti e in seguito la collocazione dei setti singoli. È opportuno evidenziare che per l'esecuzione di questa fase è necessario disporre di una struttura ausiliaria che collabori nel mantenere i vari elementi verticali in una posizione corretta. Per ogni pannello di Cross-Lam si utilizzano quindi degli elementi in acciaio con la funzione di puntelli.



### FASE 4: SETTI A GRATICCIO

Dopo il posizionamento degli elementi pieni, si procede col collocamento degli elementi a graticcio, alcuni dei quali presentano anche degli elementi di irrigidimento in materiale OSB. Anche questi, così come i pannelli pieni in Cross-Lam devono essere sorretti da puntelli in acciaio che ne garantiscano il posizionamento e la stabilità strutturale. Inoltre si procede con la costruzione del faro, costituito da una doppia scatola in elementi in legno a graticcio: è importante che questo sia eretto prima della costruzione della copertura per una maggiore facilità di montaggio e movimentazione degli elementi in quota. Terminata la struttura a graticcio si procederà con il posizionamento della copertura in lamiera dell'edificio in pietra.

### FASE 5: COSTRUZIONE DELLA COPERTURA

Terminata la fase di montaggio di tutti gli elementi strutturali verticali presenti nel progetto, è possibile procedere con la costruzione della parte portante orizzontale. Per ottenere un lavoro che sia il più preciso possibile la copertura deve essere montata connettendo le superfici a due a due. Questo implica predisporre delle strutture apposite che abbiano una duplice funzione: la prima di sostenere provvisoriamente i pannelli Cross-Lam di copertura e la seconda di conferire l'inclinazione corretta per il successivo posizionamento delle falde. Mano a mano che la copertura riesce a scaricare il peso sui setti, i puntelli possono essere smontati e posti dove necessario fino al completamento di essa.

### FASE 6: COMPLETAMENTO DELLA STRUTTURA

Nella figura a lato è possibile osservare la fase finale del montaggio della parte strutturale del progetto. In particolare si mostra il completamento della copertura che è costituita da tutti i pannelli Cross-Lam precedentemente posizionati. In particolare, si nota come in questo caso si siano potuti togliere tutti gli elementi in acciaio che costituiscono le strutture provvisorie utili soltanto per la fase di montaggio delle falde. Con la conclusione del tetto si concludono quindi tutte le fasi di montaggio legate alla parte strutturale del progetto. Si tralasciano invece gli aspetti relativi alla conclusione del progetto nel suo complesso, che prevederebbero l'installazione dei serramenti, le finiture esterne e la pavimentazione.





# CAPITOLO 11

## ESPERIENZE FORMATIVE

11.1 L'Esperienza PCV .....	451
11.2 PCV XVIII Edizione.....	454
11.2.1 L'Esperienza a Vis.....	454
11.2.2 Childrens' Theatre - Vis Pavillion.....	455
11.2.3 La Fase Primordiale Del Progetto Velika .....	456
11.3 Il Percorso Formativo.....	458
11.3.1 Favara .....	459
11.3.2 Studio Azzurro - Palazzo Reale Milano .....	462
11.3.3 Visita al Cantiere City Life .....	463
11.3.4 Vis, Croazia .....	464
11.3.5 Venezia.....	468
11.3.6 "Dalla Didattica alla Costruzione" .....	470
11.3.7 Visita al Cantiere di Villazzano .....	471
11.3.8 Revisione Critica con Cino Zucchi.....	472
11.3.9 Visita all'Azienda Riva1920 .....	473
11.3.10 Il Prototipo Graticciato .....	474

# 11.1

## L'ESPERIENZA PCV

Il progetto di tesi Velika nasce grazie alla partecipazione al Premio Compasso Volante, concorso di progettazione per studenti nato all'interno della facoltà di Ingegneria Edile-Architettura nel 1999 dalla stretta collaborazione del Politecnico di Milano, con i professori Ettore Zambelli, Giuseppe Turchini e Marco Imperadori, affiancati da altre prestigiose università europee e asiatiche.

Il Premio Compasso Volante trae l'ispirazione del suo nome da un geniale disegno del famoso artista e illustratore Guido Scarabottolo. Il disegno rappresenta un compasso con le braccia in bilico verso l'alto, che crea l'ombra del lago di Como con i suoi due rami dietro di esso. Questa immagine combina al meglio l'amore per l'arte e le materie scientifiche, rappresentate allegoricamente dalla bussola e rimanda ai luoghi in cui ha avuto luogo la formazione degli studenti.

L'obiettivo principale del Compasso Volante è permettere agli studenti un approccio alla progettazione architettonica combinata con i temi di innovazione tecnologica. I ragazzi selezionati partecipano a workshop internazionali che li mettono in stretto contatto con studenti di altre culture.

Ogni anno il Compasso Volante coinvolge studenti e professori in diversi temi e contesti sempre nuovi. Il concept creativo del progetto e la sua trasformazione da disegno a costruzione concreta deriva da un continuo dialogo tra le parti coinvolte in questi workshop. Le differenti università in gioco condividono una concezione comune di architettura e al suo stretto rapporto con l'innovazione tecnologica. Il lavoro di progettazione, unito all'opportunità di scambi culturali ricchi, è in definitiva la vera forza di questo evento e il suo segreto di longevità.



Figura 513\_Simbolo del Compasso Volante, disegno di Guido Scarabottolo



La partecipazione al Compasso Volante ha permesso ai ragazzi di poter partecipare ad attività extra-curricolari, inerenti a vari ambiti non solo strettamente connessi alla progettazione, che sono stati di supporto soprattutto alle fasi preliminari di questo lavoro di tesi, ma hanno anche contribuito alla formazione universitaria e personale di ciascuno dei partecipanti. La possibilità di incontrare persone provenienti da paesi con un background differente ha configurato il Premio Compasso Volante come esperienza "totalizzante", in ogni suo aspetto. Questo giudizio fa riferimento soprattutto all'esperienza vissuta in loco durante il settembre 2016, con la formazione di una rete di conoscenze, d'incontri e di esperienze.

La XVIII edizione del Premio Compasso Volante ha visto coinvolte diverse università come la Keio University, l'università della Lubiana, il Politecnico di Milano, il laboratorio della Keio University Co+labo presieduto dal professor Radovic. Particolare ringraziamento va al centro di ricerca e sviluppo "Anatomija Otoka" che ha reso possibile questa esperienza. Per quanto riguarda i maggiori sponsor e fornitori di materiale per le iniziative bisogna doverosamente citare FLA-FederLegnoArredo, Paganoni Importlegno S.p.A.



Figura 514\_Ettore Zambelli, fondatore del Premio Compasso Volante



Figura 515\_Sopralluogo all'area di progetto Prilovo



Figura 516\_I partecipanti alla XVIII edizione PCV durante il workshop a Favara, Sicilia





# 11.2

## PCV XVIII EDIZIONE

### 11.2.1 L'ESPERIENZA A VIS

La XVIII edizione del Compasso Volante ha avuto come destinazione Vis, una piccola isola appartenente alla nazione della Croazia. Nello specifico, l'oggetto di discussione è stato la piccola penisola di Prilovo dove si trova un monastero francescano munito di un rappresentativo campanile, punto di riferimento per gli abitanti dell'isola. Nella sponda sinistra del lotto trova spazio la spiaggia di Prilovo, distesa di ghiaia lunga 150 m, divisa da molte piattaforme balneari. Il mare in questa zona è poco profondo e presenta un fondo roccioso. Nella parte retrostante rispetto al mare vi è una strada caratterizzata da aree verdi e sedute, oltre che da un parco giochi e alcuni posti auto. Molte imbarcazioni sostano in prossimità di questa zona, infatti nel lato della penisola verso il centro della baia della città di Vis, al riparo dalla corrente, sono presenti diversi moli per piccole imbarcazioni.

L'esperienza Compasso Volante ha permesso a quattro gruppi della facoltà di Ingegneria Edile-Architettura di Lecco di compiere numerosi sopralluoghi durante la permanenza in Croazia nel settembre 2016. Gli studenti hanno visitato non soltanto il luogo di progetto, ma anche Vis e Komiza, le città principali dell'isola.

Peculiarità della città di Vis è la presenza di numerose abitazioni che risultano essere abbandonate allo stato di degrado. Proprio questo tema è stato oggetto di intenso dibattito all'interno del workshop "Anatomy of Island 2016", al quale i dodici ragazzi del Compasso Volante della facoltà di Ingegneria Edile-Architettura hanno partecipato durante la permanenza sull'isola nel settembre 2016.



Figura 517\_Scorci dell'isola di Vis

### 11.2.2 CHILDRENS' THEATRE - VIS PAVILLION

Il Childrens' Pavillion, realizzato a Vis in occasione del workshop Anatomy of Islands a settembre 2016, costituisce un'opera aperta alla comunità e indirizzata in particolare agli studenti della scuola elementare della città di Vis. La sua costruzione si è resa possibile grazie alla straordinaria collaborazione e al lavoro di professori e studenti di istituzioni internazionali quali il Politecnico di Milano, l'università Keio di Tokyo e la facoltà di architettura dell'Università di Lubiana, oltre che al supporto di varie compagnie private. Il progetto prende spunto dalle caratteristiche tradizionali della casa del tè giapponese, di dimensioni generalmente ridotte e contraddistinta da numerose aperture, immersa nella natura con la quale ha un intrinseco rapporto esemplificato da uno spazio di contemplazione chiamato Engawa.

L'estetica nipponica non pregiudica un'estrema flessibilità di utilizzo, incoraggiata dalla posizione rivolta al giardino degli ulivi del complesso scolastico di Vis. Idealmente l'edificio può essere utilizzato come aula lettura o teatro all'aperto ed è pensato come un'architettura leggera e mobile.

La soluzione adottata per la struttura sfrutta la tecnica ormai consolidata dello studio di architettura KMDW di Tokyo. L'innovazione dei tradizionali incastri in legno giapponesi ha portato ad un sistema di elementi modulari e componibili, ricavati dall'intaglio di pannelli in plywood tramite macchinari CNC. La fase di progettazione ha permesso di ottimizzare dimensione e layout dei pezzi, riducendo al minimo gli sprechi di materiale. Completato il taglio, la struttura può essere assemblata a secco.

La semplicità del sistema di montaggio, che non prevede l'utilizzo di connettori metallici, rende la struttura intuitiva e realizzabile da chiunque. I pannelli in plywood di Pino Russo sono stati generosamente offerti da FederLegnoArredo, mentre il trasporto è stato possibile grazie all'azienda Paganoni Importolegno S.p.A.. I pannelli sono quindi stati imballati in Italia, trasportati in Slovenia, dove è avvenuto il taglio ed infine inviati in Croazia per l'assemblaggio. Questo aspetto di internazionalità e co-partecipazione è stata la filosofia che ha caratterizzato tutta la storia del padiglione, dalla prima fase di ideazione e progettazione, alla definizione del dettaglio esecutivo, all'organizzazione e gestione dei materiali, al trasporto e infine alla costruzione.



Figura 518\_Childrens' Theatre a Vis in occasione del workshop Anatomy of Island



### 11.2.3 LA FASE PRIMORDIALE DEL PROGETTO VELIKA

Il lavoro presentato in occasione dell'esperienza Compasso Volante, a settembre 2016, è stato un punto di partenza per questa tesi di laurea. Tuttavia è bene specificare che il progetto presentato per l'occasione è nato prima di aver effettuato un sopralluogo sull'isola e dunque ha inevitabilmente subito delle forti modifiche.

Per lo studio del luogo ci si è basati su differenti documenti trovati sul web piuttosto che libri di storia o guide turistiche, per riuscire, anche a distanza, a comprendere quali fossero i caratteri peculiari del contesto da dover considerare in fase di progettazione. In particolare sono emersi fin da subito due elementi fondamentali dei quali si è poi tenuto conto anche nelle fasi successive al sopralluogo sull'isola: il primo è la natura, che rappresenta la forza della penisola di Prilovo, il secondo è la presenza di diversi reperti archeologici presenti in essa. Da qui si è sviluppata poi la necessità di pensare a un sistema di fondazione leggero facilmente rimovibile e che non andasse ad intaccare l'entità del patrimonio esistente.

Sin dal principio si è immaginata l'installazione sulla penisola di una grande copertura in Cross-Lam, che ospitasse al di sotto piccoli edifici con diverse funzioni sia per gli abitanti dell'isola sia per i turisti: tra queste sono presenti un infopoint con relativo bike sharing, una sala business, uno spazio espositivo ed un complesso per la ristorazione. Tuttavia queste funzioni sono state in parte modificate dopo il sopralluogo, poiché non idonee al tipo di persone che frequentano l'isola. Si è pensato in particolare di eliminare l'edificio ospitante la sala conferenze, sostituendolo con una piccola palestra adibita ad attività fisica leggera.

Oltre agli edificati nuovi di progetto, nell'area erano presenti altre due costruzioni, di cui non si avevano informazioni sullo stato di conservazione. Uno di questi, avente una funzione di bar è collocato nella parte a Sud-Est dell'area, mentre l'altro, utilizzato come deposito, è situato nel punto opposto, all'angolo a Nord-Ovest. In prima istanza si era deciso di mantenere entrambi gli edifici cambiando la funzione di quello situato a Nord, per dargli maggiore valore: infatti da deposito è stato trasformato in una sorta di luogo di meditazione, il "Tempio delle Sirene" ospitante all'interno varie installazioni tecnologiche. Entrambi questi edifici riqualificati sono caratterizzati dalla medesima copertura in lamiera in zinco-titanio, che inoltre richiama la tettoia presente su uno dei moli della penisola che si è pensato di

riqualificare in modo tale che fungesse da punto panoramico sulla città di Vis, situata dall'altra sponda della baia. Dopo aver osservato lo stato di conservazione degli edifici si è deciso di mantenere solo il deposito, poiché l'altra costruzione risultava essere del tutto fatiscente.

Importanza rilevante sin dal principio del progetto è stata l'attenzione allo spazio pubblico esterno sormontato dalla copertura. Realtà fondamentale del progetto, per poter creare un polo attrattivo sulla penisola, è stata l'organizzazione dello spazio all'aperto, con la creazione di piazze e percorsi che potessero invogliare i visitatori dell'area a sostare al di sotto della copertura.

La copertura costituisce l'elemento principale del progetto: essa è formata da differenti falde costituite da pannelli in Cross-Lam di forma triangolare di differenti inclinazioni e si estende lungo gran parte dell'area verde della penisola. Essa è sostenuta da elementi in Cross-Lam che quindi hanno una funzione strutturale importante, in quanto le dimensioni della copertura sono significative. molta attenzione è stata inoltre posta allo studio della luce, non solo all'interno degli edifici, ma anche all'esterno, motivo per il quale su di essa sono stati inseriti dei patii e dei fori quadrati che permettessero il passaggio dei raggi solari al di sotto della grande copertura in Cross-Lam.

Sempre relativamente alla copertura si è pensato sin da subito all'utilizzo di un tetto verde, caratterizzato da un sistema di vegetazione tipo Sedum, pianta grassa che non necessita di ingenti quantitativi d'acqua per vivere e che inoltre potesse permettere al progetto di mimetizzarsi, per lo meno dall'alto, col contesto naturale caratterizzante la penisola.

Si può così concludere che molti aspetti relativi alle prime fasi di progettazione si sono mantenuti nel corso dell'iter progettuale che ha condotto al complesso architettonico finale. Tuttavia, si sono poi considerati molti aspetti che in fase primordiale erano stati trascurati o ai quali si era conferita poca importanza. Questo ha portato soprattutto a cercare di conferire maggiore importanza al contesto valorizzando la naturalezza del paesaggio stesso che è ciò che conferisce bellezza al tutto.

A lato si riportano le due tavole raffiguranti il progetto iniziale, che sono state presentate per il concorso del compasso volante.





# 11.3

## IL PERCORSO FORMATIVO

Il concorso Premio Compasso Volante, nello specifico la XVIII edizione a cui abbiamo avuto l'opportunità di partecipare, ci ha permesso di intraprendere un percorso formativo ricco di esperienze che hanno aiutato la nostra crescita professionale permettendo di arricchire il nostro bagaglio culturale.

Abbiamo avuto la grande opportunità di assistere ad importanti workshop che ci hanno permesso di capire come sia fondamentale in questo ambito riuscire a comunicare il progetto in modo chiaro e completo consentendoci quindi di implementare la nostra capacità di esposizione.

Le varie attività svolte nel corso delle esperienze ci hanno permesso di entrare in contatto con diverse culture e studenti provenienti da diverse parti del mondo. I laboratori didattici hanno come regola principale la formazione in gruppi misti, ossia costituiti da ragazzi provenienti da differenti università: questo ci ha permesso di collaborare con designer, architetti, ingegneri che hanno avuto un percorso formativo più o meno distante dal nostro e che hanno quindi sviluppato modalità di lavoro diverse.

L'esperienza Compasso Volante ci ha dato l'opportunità, viaggiando, sia di conoscere nuove realtà interessanti, prima a noi ignote, come Favara e Vis, sia di rivisitare luoghi tipici della cultura italiana come la Sicilia o Venezia.

La partecipazione a queste numerose attività extra-curricolari ha arricchito in maniera non indifferente il nostro bagaglio culturale e soprattutto le nostre capacità in ambito di progettazione e definizione dei problemi complessi.

Da queste opportunità abbiamo tratto, soprattutto, la dimensione pratica di questo lavoro, distaccandoci per un attimo dalla realtà meramente scolastica e didattica, per compiere il "salto di qualità" all'interno del nostro percorso di formazione, al fine di renderlo il più completo e ricco possibile.

La dimensione del lavoro di gruppo, elemento imprescindibile per questo tipo di professione, è stata alla base di qualsiasi tipo di attività e inoltre, il fatto di collaborare con persone di culture, tradizioni e storie diverse ha permesso un confronto più significativo e un interscambio culturale di singolare importanza.

Il momento più gratificante di questo percorso è stata l'opportunità fornitaci dal Professor M. Imperadori, docente al Politecnico di Milano, in occasione del MadeEXPO 2017. Allo stand della azienda VELUX abbiamo avuto la grande occasione di presentare il nostro progetto di tesi "Velika" all'Architetto Cino Zucchi, il quale si è mostrato molto interessato e propositivo al dialogo. Il maestro ci ha fornito rilevanti consigli non soltanto per il progetto in corso ma ci ha illustrato una modalità di approccio alle problematiche di questo lavoro.



Figura 519\_I partecipanti alla XVIII edizione PCV

### 11.3.1 FAVARA

#### ALLA SCOPERTA DELLA SICILIA

Il primo viaggio dell'esperienza Compasso Volante ha avuto come meta l'isola della Sicilia e in particolar modo Agrigento. Dapprima abbiamo visitato la Riserva Naturale delle Saline di Trapani e il relativo museo, per poi recarci sull'Isola di Mozia che ci ha permesso di entrare in contatto con i resti dell'antica città fenicia. Altra tappa suggestiva del viaggio è stata la Scala dei Turchi, luogo segnato dalle passate



Figura 520\_Tour del territorio siciliano

incursioni saracene, arabe e turche. L'esperienza più stimolante si è avuta nella Valle dei Templi, con la visita dei parecchi templi dorici del periodo ellenico. In particolare ci siamo recate nella zona dove sorge l'Akraga Shelter, costruzione nata dal workshop "Architecture for Archeological Sites", in cui alcuni nostri colleghi hanno proposto una soluzione riguardo alla conservazione di opere archeologiche. L'esperienza del viaggio in Sicilia si è conclusa con la scoperta del comune di Gibellina, che con la ricostruzione dopo il terremoto del Belice del 1968, si è trasformato in un museo "en plein air", toccante intervento artistico a scala urbana.



## FARM CULTURAL PARK

Durante il mese di Aprile siamo stati ospitati da Andrea Bartoli e Florinda Saieva all'interno di una realtà siciliana che ha l'obiettivo di una riqualificazione urbana all'insegna di arte, cultura, musica e del vivere insieme. "Stiamo provando a costruire un pezzo di mondo migliore, una piccola Comunità impegnata ad inventare nuovi modi di pensare, abitare e vivere" ci spiega Florinda al momento dell'accoglienza. Farm Cultural Park è un centro culturale indipendente, dove arte e cultura sono degli

strumenti nobili per dare alla città di Favara una nuova identità e una dimensione di futuro. All'interno di Farm Cultural Park prende vita "Farm XL", spazio culturale più importante all'interno di questa realtà, dove si concretizzano esibizioni, installazioni e progetti culturali che mutano due volte l'anno. Tra le strade di Favara si riconosce questo nucleo vitale composto da sette cortili caratterizzati da una tinteggiatura esterna a strisce diagonali bianche e nere, opera dell'artista Make. La cultura diventa, all'interno di Farm, strumento nobile per la rigenerazione di un territorio capace di dare ad una città senza passato, un presente ed un futuro.



Figura 521\_La realtà di Favara in provincia di Agrigento, Sicilia

## RIUTILIZZO DEL LEGNO DI SCARTO

Al fine di creare un link tra la realtà di EXPO 2015 con il padiglione del Giappone, il Polo territoriale di Lecco e Favara, sono stati installati degli elementi in legno che riproducono la facciata stessa del padiglione, nata da un progetto dell'architetto Kitagawara. In particolar modo l'installazione di Favara, generosamente fornita dalla società Galoppini Legnami, prende il nome di Byobu, nome che identifica il tipico paravento giapponese, utilizzato per separare e delimitare spazi privati. Occasione

per cogliere l'eredità lasciata dall'esposizione milanese, ha suscitato interesse nei cittadini siciliani. Durante i giorni trascorsi all'interno della realtà di Farm, abbiamo preso parte ad un workshop riguardante il riutilizzo del legno di scarto. Sono state progettate alcune panchine: una che ricorda la conformazione di un pianoforte, uno sgabello a forma di stella, delle sedute parallelepipede. Inoltre abbiamo sfruttato la presenza di cubi di legno scavati al loro interno per creare dei vasi contenenti fiori ed essenze profumate come il basilico. Questi elementi sono stati disposti in modo tale da comporre la sigla di Farm Cultural Park (FCP).



Figura 522\_Laboratorio di riutilizzo di legni di scarto all'interno della Farm Cultural Park, Favara, Sicilia, 20-24 Aprile 2016



### 11.3.2 STUDIO AZZURRO - PALAZZO REALE MILANO

L'attività di conoscenza non si limita all'esplorazione di nuovi luoghi e città, ma combina anche la visita di mostre interattive. Durante il luglio 2016 a Palazzo Reale, a Milano, si è tenuta un'esposizione di Studio Azzurro, dove il tema è stato la proposta di "immagini sensibili". In particolar modo la mostra propone materiale raccolto in trentacinque anni di lavoro, seguendo un taglio cronologico che permette di orientarsi nella trasversalità dei lavori realizzati da Studio Azzurro a partire dalla

sua fondazione. A ogni opera è dedicata un'ampia scheda che raccoglie strumenti progettuali, backstage, fotografie ed anche materiale inedito. La peculiarità di questa esperienza si presenta nella dimensione interattiva che essa fornisce al visitatore, proponendo vere e proprie opere d'arte in cui si è chiamati ad interagire ad esempio bussando su un tavolo, calpestando delle proiezioni a terra, toccando degli schermi. L'aspetto cronologico della mostra permette di cogliere la crescita del lavoro dello Studio nel passare degli anni, notando il grande apporto e sviluppo raggiunto dalla tecnologia e l'evoluzione delle installazioni stesse.

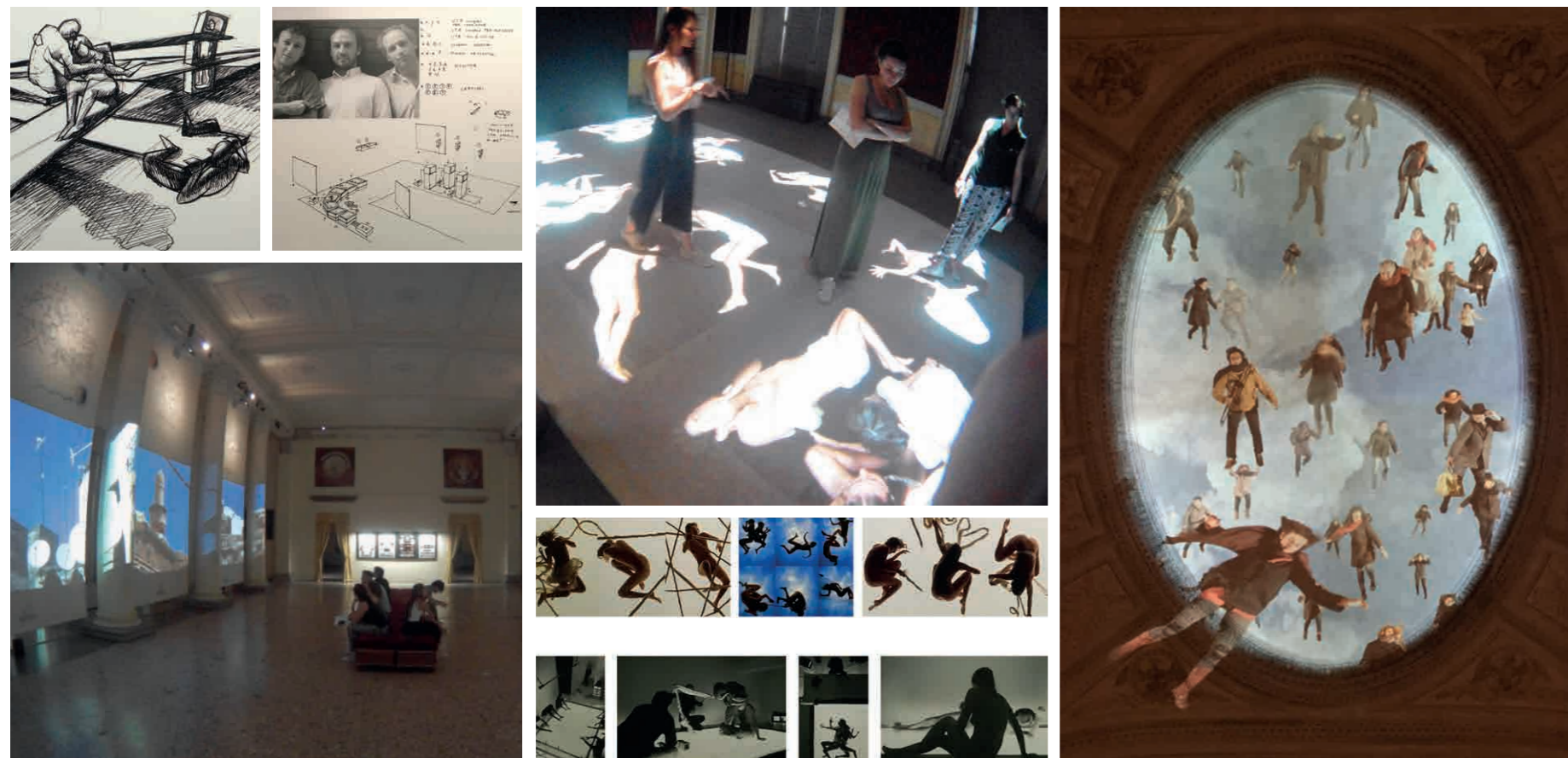


Figura 523\_Visita all'esposizione interattiva di Studio Azzurro a Palazzo Reale, Milano, 29 Luglio 2016

### 11.3.3 VISITA AL CANTIERE CITY LIFE

Il 29 luglio 2016 abbiamo avuto la grande opportunità di accedere come visitatori ad un cantiere di una torre in costruzione. In particolare l'oggetto in esame è la "Torre Hadid", uno dei tre grattacieli, il secondo per altezza, previsti nel progetto CityLife, il cui scopo è la riqualificazione della zona dell'ex Fiera di Milano. Una volta completato, l'edificio diventerà la sede degli uffici di Milano del Gruppo Generali. Abbiamo assistito ad una lezione introduttiva ed esplicativa delle

modalità di progettazione, soprattutto per quanto riguarda il progetto esecutivo. La torre, progettata dall'architetto Zaha Hadid, si svilupperà per 44 piani e avrà un'altezza complessiva di 185 m. Ha suscitato particolare interesse in noi studenti l'intervento dell'ing. Andrea Vanossi, il quale si è focalizzato sul sistema di posa della facciata, descrivendo i problemi riscontrati in fase di messa in opera delle vetrate caratterizzanti l'edificio. La giornata si è conclusa con un tour tra le architetture residenziali già completate a CityLife, ponendo attenzione alla gestione degli spazi comuni e ad uso pubblico, così come al sistema di giardini e arredo urbano.



Figura 524\_Visita al cantiere della Torre Hadid, CityLife, Milano, 29 luglio 2016



### 11.3.4 Vis, CROAZIA

#### WORKSHOP "ANATOMY OF ISLANDS"

Nel corso degli anni e con il susseguirsi dei workshop, più di 100 studenti hanno lavorato per la riqualificazione ed il rinnovo delle architetture dell'isola e per la tutela del vastissimo e inestimabile patrimonio archeologico presente in essa. Durante il settembre 2016 abbiamo partecipato al workshop riguardante l'anatomia delle isole, organizzato dal Professor Darko Radovic della Keio University di Tokyo. L'attività

prevedeva una combinazione tra momenti didattici con lezioni frontali da parte di professori provenienti da diverse università e un'attività di gruppo tra studenti che aveva come obiettivo la produzione di un filmato. Gli allievi, sono stati suddivisi in diversi gruppi, ad ognuno dei quali è stato attribuito il compito di presentare attraverso un cortometraggio la propria visione ottimistica per il futuro sostenibile di Vis. L'obiettivo del lavoro è stato quello di indagare a fondo le problematiche dell'isola, analizzando in particolare la questione della viabilità, lo smaltimento dei rifiuti e il recupero delle abitazioni abbandonate.



Figura 525\_Momenti di partecipazione al workshop "Anatomy of Islands"

### Costruzione del Padiglione

Il Childrens' Pavillion, come precedentemente accennato è stato realizzato a Vis in occasione del workshop Anatomy of Islands a settembre 2016 con l'intento di rappresentare un piccolo edificio aperto alla comunità isolana e rivolto soprattutto agli studenti della scuola elementare di Vis, situata accanto al luogo in cui sorge il padiglione. Durante la permanenza sull'isola abbiamo potuto osservare le fasi finali di realizzazione dell'edificio, poiché la costruzione di esso aveva già preso inizio la

settimana precedente rispetto al nostro arrivo. Inoltre questa occasione si è rivelata per noi come un momento di crescita in quanto ci siamo trovate a collaborare con altri gruppi di lavoro, formati da studenti stranieri, per poter proseguire con la costruzione del padiglione e per poterlo concludere in poche settimane. Ci siamo occupate di svariate cose tra cui la sistemazione della ghiaia attorno all'edificio, la verniciatura di alcuni elementi di legno piuttosto che la preparazione dei pannelli di copertura. Il lavoro finale è stato molto apprezzato dalla comunità dell'isola, che ha partecipato in modo attivo al momento della cerimonia di inaugurazione.



Figura 526\_Costruzione del Childrens' Pavillion, Vis, Croazia



## SOPRALLUOGO ALL'AREA DI PROGETTO A VIS

In occasione della partecipazione al workshop organizzato a Vis, abbiamo avuto modo di effettuare diversi sopralluoghi nel sito di progetto. Prilovo è una piccola penisola vicino alla cittadina di Vis, nella quale è situato un monastero francescano diventato simbolo dell'isola stessa. Nella sponda sinistra del lotto si trova la spiaggia di Prilovo, distesa di ghiaia lunga 150 m, divisa da molte piattaforme balneari. Il mare in questa zona è poco profondo e può presentare fondo roccioso. Nella parte

a Nord della penisola è presente una strada che costeggia il mare arricchita da aree verdi e sedute, oltre che da un parco giochi e da alcuni posti auto. Vicino alla spiaggia ci sono inoltre campi di beach volley e calcetto. Molte imbarcazioni sostano in prossimità di questa zona, infatti nel lato della penisola verso il centro della baia della città di Vis, al riparo dalla corrente, ci sono diversi moli. Le suggestioni del luogo ci hanno fatto intendere la necessità di un'attenta progettazione per quanto riguarda la salvaguardia della naturalezza del territorio e il rispetto per i bagnanti, offrendo allo stesso tempo tutti i servizi che ad oggi risultano essere mancanti.



Figura 527\_Visita all'area di progetto nella penisola di Prilovo, Vis, Croazia

## ESPOSIZIONE DEL PROGETTO VELIKA

E' stata organizzata una serata dedicata all'esposizione dei quattro progetti dei gruppi partecipanti al Premio Compasso Volante. L'attività di ricerca, progettazione e restituzione grafica ha preso piede a partire dal mese di marzo. Per quanto riguarda le linee guida forniteci dal bando di workshop, esse sono perfettamente coerenti con la morfologia del sito. Durante la serata di esposizione dei progetti si è potuto avere un dibattito con coloro che hanno assistito alla spiegazione di essi

e dunque è stata un'esperienza costruttiva perché ci ha portato ad approfondire ulteriormente quali fossero i punti di forza e di debolezza di Velika riscontrati da persone che non sono state coinvolte nella fase di progettazione stessa. In particolare i consigli e le osservazioni fornite si sono incentrate sul tipo di funzioni attribuite agli edifici: questo perché la maggior parte dei partecipanti all'esposizione erano abitanti dell'isola di Vis e come tali, sono coloro che vivendo davvero in quella realtà possono meglio comprendere le necessità dei cittadini e il tipo di attrazioni di cui l'isola può aver bisogno.



Figura 528\_Mostra espositiva a Vis dei quattro progetti del concorso Compasso Volante XVIII edizione



### 11.3.5 VENEZIA

#### WORKSHOP “L’ACCIAIO PER IL SOCIALE”

In occasione della Biennale di Venezia abbiamo partecipato ad un workshop riguardante il tema dell'acciaio. Inizialmente ci siamo recati alla mostra “GangCity” che trattava i temi e le problematiche delle periferie urbane degradate fornendo l'ipotesi di eventuali metodologie di intervento al fine di riqualificarle. Dopo la visita si sono poi susseguiti una serie di interventi riguardanti temi diversi. Il dibattito

è iniziato con un intervento di Anna Mercè, la quale ha presentato il progetto del team di Renzo Piano G124, per la riqualificazione della periferia di Maghera. Il prof. Marco Imperadori ha fornito un excursus dei suoi progetti in cui l'acciaio si presenta come materiale dominante. Alessio Pesenti, marketing manager di Nord Zinc S.p.A., ha sottolineato l'importanza dei trattamenti anticorrosivi di protezione dell'acciaio, evidenziando le tecnologie sviluppate dall'azienda. La giornata si è conclusa con l'intervento Giancarlo Zema, a capo dell'omonima azienda specializzata in progetti urbani eco-sostenibili, tra cui prende piede il famoso “Lotus”.

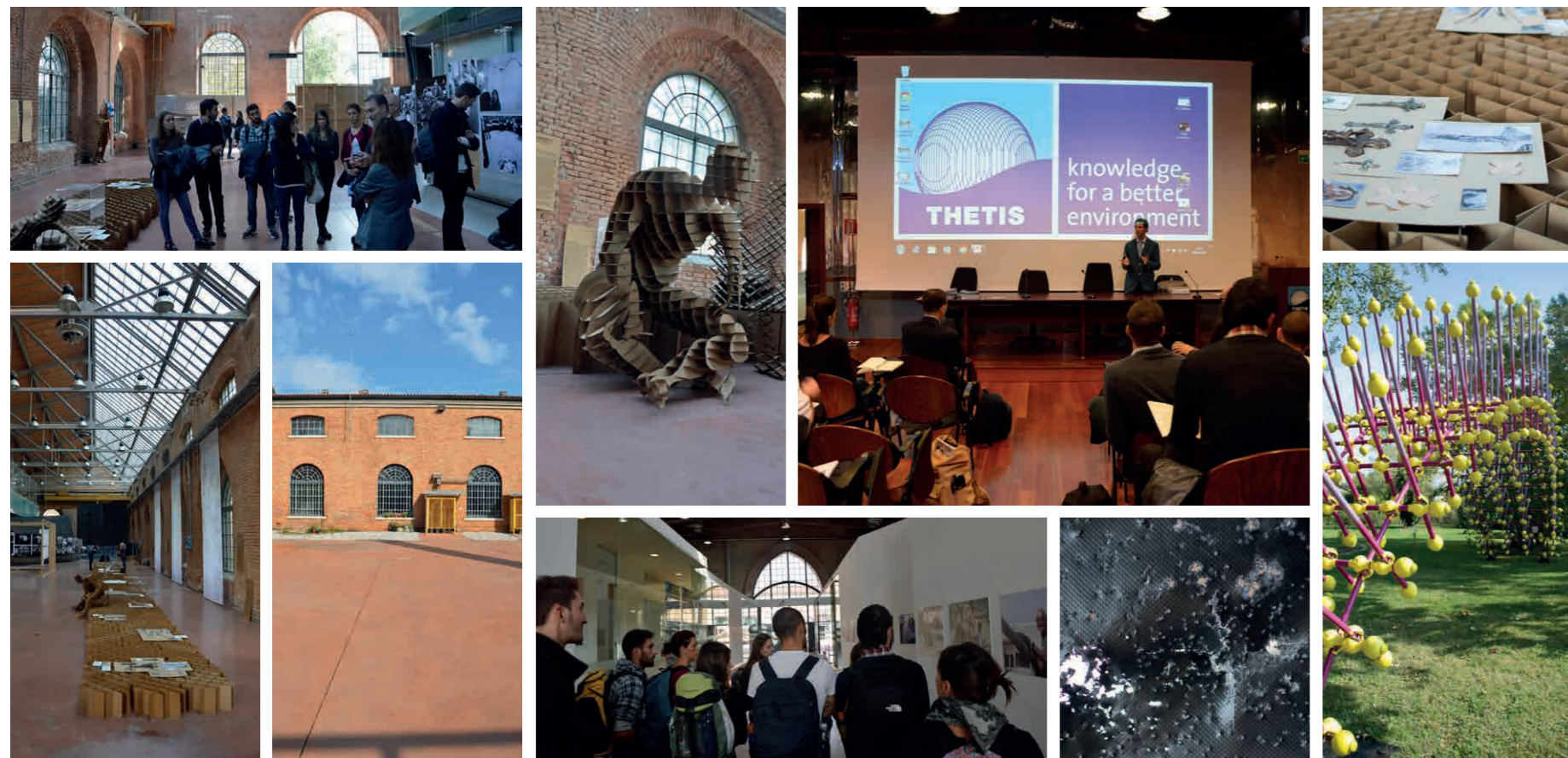


Figura 529\_Momenti del workshop “L'acciaio per il sociale”, Venezia, 18 Ottobre 2016

### BIENNALE DI VENEZIA

La permanenza a Venezia ci ha permesso di visitare la Biennale di Venezia 2017, curata da Christine Macel. Il tema scelto per questa edizione della mostra è “VIVA ARTE VIVA”. L'esposizione si sviluppa non su un tema circoscritto ed esaurito in poche stanze, ma in una sequenza di padiglioni, di luoghi che si susseguono come l'esperienza di un viaggio. Prendono piede anche installazioni all'aria aperta, non sempre racchiuse quindi nei padiglioni appositi. A seguito del tour abbiamo colto

l'occasione per esplorare la città veneziana. Siamo entrati nel negozio Olivetti, che venne progettato nel 1958 da Carlo Scarpa su incarico di Adriano Olivetti. Interessante perché all'interno vengono superate le dimensioni ridotte dell'ambiente, collocato in piazza San Marco. Scarpa ha creato un'opera di grande respiro e trasparenza. Grazie al preciso controllo del disegno progettuale, modernità architettonica e tradizione veneziana convivono con grande armonia nel negozio stessi, dando vita a “uno dei più limpidi capolavori dell'architettura contemporanea”.



Figura 530\_Visita alla Biennale di Venezia e Museo Olivetti, 19 Ottobre 2016



### 11.3.6 "DALLA DIDATTICA ALLA COSTRUZIONE"

La XVIII edizione del Compasso Volante ha sviluppato quattro progetti per un intero semestre, consolidando le prospettive e le vetrine conquistate dalla manifestazione nelle precedenti edizioni. Il tutto è stato condotto seguendo un'impronta internazionale, attraverso workshop didattici, oltre che con l'elaborazione delle proposte progettuali. Il programma funzionale del concorso, come di consueto, ha puntato alla progettazione di un edificio efficiente dal punto di vista energetico,

innovativo e tecnologico. Il Workshop Internazionale "Compasso Volante - Ettore Zambelli" - XVIII Edizione, dopo una serie di eventi intermedi, ha trovato il suo momento di sintesi con l'organizzazione di una mostra, tenutasi mercoledì 23 novembre 2016 presso il Museo dell'Industria e del Lavoro - Archivio Giovanni Sacchi di Sesto San Giovanni. L'evento si è identificato come l'occasione per mostrare non solo i progetti del Compasso Volante, ma anche i due workshop di costruzione C-ASA (Lecco) e CHILDREN'S THEATRE (Vis).

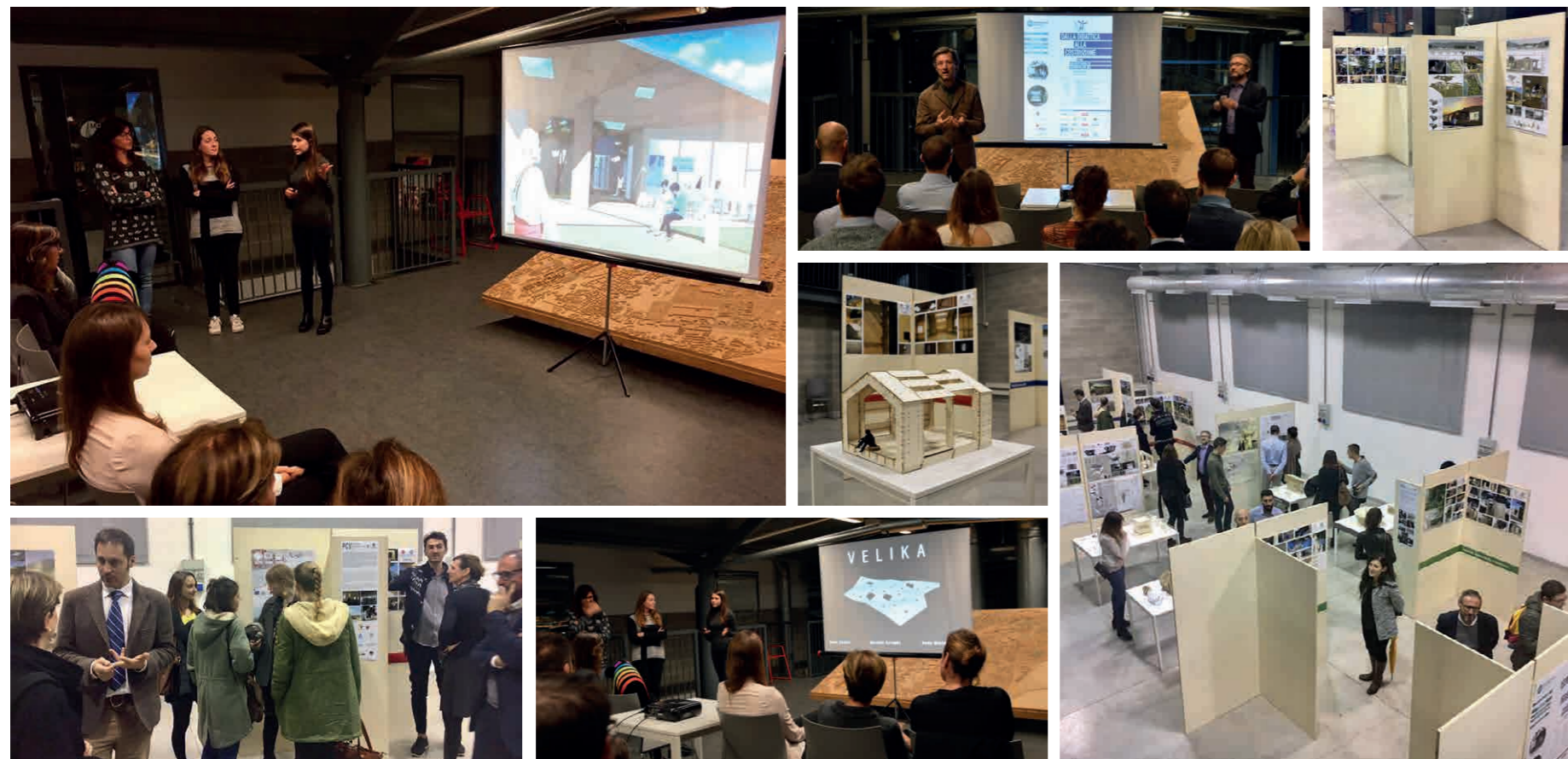


Figura 531\_Esposizione del progetto Velika in occasione dell'inaugurazione dello spazio MIL, Milano, 23 Novembre 2016

### 11.3.7 VISITA AL CANTIERE DI VILLAZZANO

In data 21 febbraio 2017 abbiamo visitato il cantiere di Ri-Legno a Villazzano, in provincia di Trento. Il caso in esame è stato interessante come primo approccio al problema dello sviluppo di una scocca interna antisismica. I committenti, al fine di riqualificare l'abitazione esistente, hanno introdotto una sotto-struttura interna composta da travetti di 10 x 5 cm a interasse di 60 cm con interposto isolante in lana di roccia di spessore pari a 10 cm. Il tutto è contenuto da un pannello di OSB

di 15 mm, rivestito da una lastra in cartongesso. Lo spessore del pannello è stato dimensionato in modo tale che la sua robustezza potesse contrastare l'eventuale caduta di massi dalla parete preesistente. Si identifica proprio nell'OSB stesso l'elemento che permette di evitare eventuali danni. La realizzazione della scocca è posta all'interno dell'edificio risultando quindi non visibile dall'esterno e non entrando in contatto con le costruzioni adiacenti. La scocca non ha funzione portante per le pareti perimetrali dell'abitazione ma riesce comunque ad auto-sostenersi.



Figura 532\_Visita al cantiere di Villazzano, Trento, 21 Febbraio 2017



### 11.3.8 REVISIONE CRITICA CON CINO ZUCCHI

In occasione del MADE Expo tenutosi dal 8 all'11 marzo 2017 abbiamo avuto l'opportunità di presentare il nostro progetto di tesi ad un illustre architetto. Nel padiglione VELUX sono stati organizzati diversi "talk show" inerenti ai temi di architettura e luce, uno dei quali tenuto dall'architetto Cino Zucchi che ha letteralmente affascinato gli spettatori con il suo intervento "Luce e materia: l'architettura come amplificatore meteorologico". Fra le architetture da lui progettate

e citate durante l'esposizione, vi sono il Centro Direzionale Lavazza che aprirà a breve a Torino, l'edificio per uffici U15 A Milano e il Salewa Headquarters a Bolzano. A seguito dell'intervento abbiamo esposto il progetto di tesi all'architetto, che, entusiasta, ci ha fornito consigli ed impressioni sul lavoro. I suggerimenti ricevuti sono stati utili sia per la prosecuzione della tesi sia perché ci ha indirizzato verso una corretto e complesso approccio al metodo progettuale. Nella stessa giornata il progetto è stato esposto anche all'architetto Nicola Saraceno, noto conduttore di programmi televisivi riguardanti il tema attuale della ristrutturazione di abitazioni.



Figura 533\_Discussione del progetto di tesi Velika con l'Architetto Cino Zucchi e con l'architetto Nicola Saraceno, 9 Marzo 2017

### 11.3.9 VISITA ALL'AZIENDA RIVA1920

Data la materia della nostra tesi, non poteva mancare la visita alle unità produttive dell'azienda Riva1920, promotrice del "Made in Italy" di ottima qualità.

Tutto nasce nel 1920 a Cantù, nel cuore della Brianza, in una piccola bottega artigianale a conduzione familiare fondata da Nino Romano e specializzata nella produzione di arredi in legno massello dallo stile classico. Ad oggi l'azienda vanta una collaborazione con oltre 100 designers che cercano di dare "forma" e

a questo splendido materiale che è il legno, proponendo sul mercato oggetti di estremo valore e pregio. L'azienda si articola in tre differenti unità produttive in cui si lavorano diversi tipi di legno, dal materiale di deforestazione, al cedro per l'oggettistica, il legno kauri per i tavoli pregiati e le briccole veneziane, che rientrano nel progetto di riutilizzo di materiale ligneo di scarto. Ogni elemento è sottoposto a dettagliate verifiche di conformità qualitativa e funzionale al quale si aggiunge l'impiego di collanti vinilici e finiture ad olio e cera naturale, garanzia di un prodotto 100% naturale.



Figura 534\_Visita all'azienda Riva1920, 6 Giugno 2017



### 11.3.10 IL PROTOTIPO GRATICCIATO

#### TAGLIO CNC PRESSO RI-LEGNO S.R.L.

L'aspetto di sintesi del lavoro di tesi ha trovato compimento nella realizzazione di un prototipo a graticcio in legno di larice. Esso vuole riprodurre la natura degli elementi di sostegno verticali presenti all'interno del progetto Velika. Per la griglia di base, su cui poi verranno installati gli irrigidimenti in OSB, abbiamo avuto il supporto tecnico da parte dell'azienda Ri-Legno.

Dopo aver discusso riguardo alla natura e alle dimensioni dell'oggetto da realizzare con gli esperti in materia Ing. Lavinia Sartori e Giulio Franceschini, siamo giunti alla definizione della geometria. Si è proceduto ad un taglio CNC (Computer Numerical Control), ovvero mediante l'ausilio di un macchinario che, partendo da un file vettoriale, riproduce gli elementi.

Gli assi opportunamente sagomati sono stati introdotti all'interno della macchina levigatrice al fine di rendere la superficie liscia e priva di schegge.



Figura 535\_Taglio degli elementi verticali e orizzontali del prototipo a graticcio presso il centro di taglio dell'azienda Ri-Legno a Cavedine (Trento)

### ASSEMBLAGGIO DEL PANNELLO CON IRRIGIDIMENTI OSB

Il processo di assemblaggio del pannello graticciato si è diviso in due momenti principali: una prima giornata dedicata al taglio degli OSB, trattamento dei legni di larice e tinteggiatura degli irrigidimenti, una seconda giornata dedicata all'assemblaggio. Il taglio dei pannelli di compensato è stato eseguito a mano con seghetto elettrico e rifinito con smerigliatrice orbitale. Sono stati prodotti 14 elementi convessi e 14 elementi concavi. Il graticcio in legno di larice è stato opportunamente

trattato con una prima mano di impregnante ad acqua per proteggere il materiale dai tarli e dalle muffe e rendere omogenea la superficie chiudendo le porosità del legno per far aderire meglio la vernice. La finitura ultima si è ottenuta con una mano di vernice protettiva anti corrosione e anti degrado dalle intemperie. I pannelli in OSB sono stati verniciati con smalto per legno, al fine di ottenere compattezza della finitura e dare il colore desiderato, ovvero bianco, blu e azzurro.

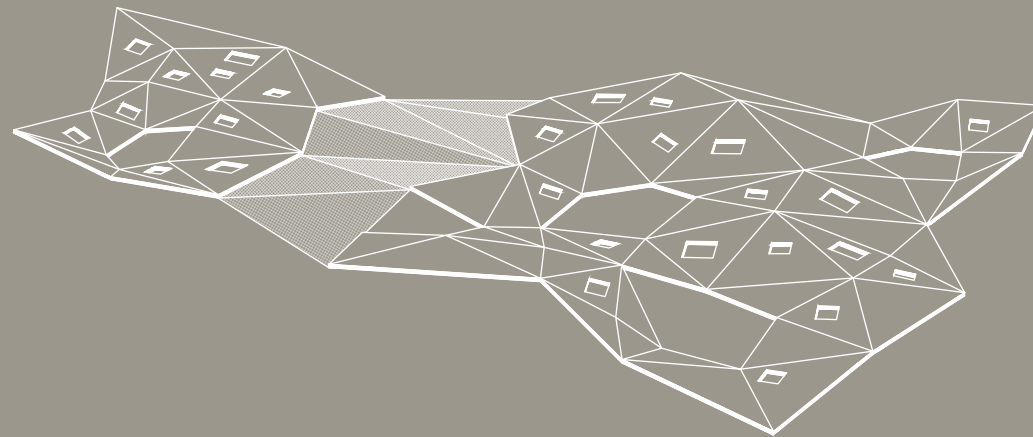
Gli irrigidimenti sono stati poi assemblati al pannello graticciato con l'ausilio di viti.



Figura 536\_Assemblaggio del pannello graticciato









## CONCLUSIONI

A chiusura del lavoro di tesi illustrato si ritiene opportuno ed interessante avanzare delle brevi considerazioni al fine di effettuare una verifica del raggiungimento degli obiettivi prefissati. Tali riflessioni vertono sugli aspetti maggiormente significativi del progetto, ossia i medesimi che caratterizzano la filosofia di insegnamento di questa università. La facoltà di Ingegneria Edile – Architettura, infatti, vuole insegnare a concepire una metodologia di progettazione integrata e completa. Un lavoro per definirsi compiuto deve comprendere l'interesse del processo, dalla scala urbana a quella di dettaglio, passando per la verifica strutturale ed impiantistica. Durante il percorso di studi, i professori trasmettono l'interesse e la passione per l'architettura che si possa realmente costruire, oltre che immaginare, propendendo sempre più verso metodi e materiali del futuro, arrivando così ad una progressiva acquisizione di competenze multidisciplinari nell'ambito ingegneristico ed architettonico.

In quest'ottica, il presente elaborato affronta in primo luogo l'approccio urbanistico e territoriale, ponendo particolare attenzione al contesto paesaggistico e alla cultura locale. Velika, nel complesso, si prefigge l'intento di riqualificare uno spazio urbano e di raccogliere funzioni di condivisione e socialità per gli abitanti del luogo e per i turisti dell'isola.

La permanenza a Vis ci ha permesso di entrare in contatto con le usanze locali e cogliere le vere necessità culturali e paesaggistiche, potendo così ideare un progetto che rispettasse e valorizzasse l'ambiente. Questo aspetto di contatto con la realtà progettuale è stato di grande ausilio durante le prime fasi di progettazione, dove sono stati messi in discussione i primordiali ragionamenti sulla natura dell'ambiente croato da esaminare. L'iter progettuale è stato infatti scandito da fasi alternate di ideazione e verifica di quanto prodotto, al fine di convalidare o migliorare le ipotesi formulate. La struttura architettonica è stata quindi rivisitata e plasmata per rispondere alle esigenze di tipo energetico, ambientale, strutturale, tecnologico

e prestazionale, che hanno portato alla definizione di un progetto completo e coerente in ogni sua parte.

Lo studio teorico e i riscontri pratici che hanno accompagnato questo lavoro di tesi sono stati finalizzati alla conoscenza degli aspetti più intrinseci della tematica del legno. Gli approfondimenti hanno incrementato la padronanza e la dimestichezza nella risoluzione di criticità più generali, al fine di risolvere problematiche di tipo strutturale e conservativo di questo materiale.

L'interfaccia diretta con l'azienda Ri-Legno S.r.l. si è presentata come un'opportunità significativa grazie alla quale si è potuto realizzare il prototipo di un setto con struttura a graticcio con irrigidimenti. Questa esperienza ha consentito un approccio al materiale e al contempo ha fornito la possibilità di discutere con professionisti riguardo a scelte critiche strutturali del progetto di tesi.

Giunti a conclusione di questo percorso si può affermare che la concezione di un edificio nasce da un'esperienza nei luoghi in cui esso sorgerà e dall'interazione con le persone che dovranno farne uso, aspetti che dunque devono essere oggetto di riguardo da parte dei progettisti durante tutto il periodo di lavoro.

Quest'analisi trasversale ha permesso di maturare una profonda consapevolezza delle complessità che un progetto può presentare in ogni sua parte. Aspetto peculiare maturato in questi mesi di lavoro è l'importanza della visione d'insieme dalla quale il progettista, in qualità di governatore dell'elaborato architettonico, non deve mai distogliere l'attenzione.

Una difficoltà di questo lavoro infatti è stata sicuramente la necessità di sviluppare una capacità di coordinamento e gestione dei molteplici aspetti che la materia in esame propone: le esigenze degli utenti, il rispetto del contesto, l'ideazione e coesione del progetto architettonico, le analisi strutturali e tecniche sul costruito, l'integrabilità impiantistica e la validità energetica.

L'elaborato di tesi si è posto come uno spunto progettuale dove poter mettere in pratica tutte le conoscenze apprese durante gli anni di studio, applicandole in modo sinergico per raggiungere un risultato il più organico possibile. Per tale motivo il lavoro presentato vuole fornire al lettore uno strumento per la comprensione globale del progetto, che prenda in considerazione tutti gli aspetti fondamentali del mondo dell'edilizia.

# BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

## 1 ARCHITETTURA E ISOLA

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

ClusterPavilions, Expo Milano 2015, Mondadori, 2014

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<https://www.youtube.com/watch?v=nDz3p0V4Yvl&app=desktop>

<http://www.expo2015.org/archive/it/esplora/cluster/sole-mare-e-cibo.html>

## 2 IL CONTESTO

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A. Petacco, La storia ci ha mentito, Milano 2014, Arnoldo Mondadori Editore

I. Montanelli, L'Italia del Settecento, Milano 2011, RCS Libri

G. Scotti, Racconti garibaldini. Jugoslavia 1943-1945, Giulio Einaudi Editore, Tregnano, 2013

G. Scotti, L'arcipelago di Luce. Viaggio nelle isole della Dalmazia centrale, Bologna 2007, Edizioni Diabasis

A. Marzo Magno, Il leone di Lissa, Milano 2003, Il Saggiatore

E. Hosch, Storia dei paesi balcanici: dalle origini ai giorni nostri, Giulio Einaudi Editore, Torino, 2005

T. Livio, La Storia Romana, Giuseppe Antonelli Editore, Venezia, 1841

The Island of Vis, Biseri Jardana (The art of travel series), Zagabria, 2004

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://viaggi.corriere.it/viaggi/vacanze/croazia-isola-vis/>

<http://popolazione.population.city/croazia/>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Lingua\\_croata/](https://it.wikipedia.org/wiki/Lingua_croata/)

<https://www.viamichelin.it/web/Sito-Turistico/>

<http://www.visinfo.org/it/isola-di-vis/>

<http://www.grasshopper3d.com/>

<http://www.climieviaggi.it/clima/croazia>

## 3 IL PROGETTO ARCHITETTONICO

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A. Betsky, Atsushi Kitagawara architects, Falk Jaeger Berlin: Jovis, 2013

A. Campioli, A. Zanelli, Architettura tessile: progettare e costruire membrane e scocche, Il sole-24 ore, Milano, 2009

B. Forster, M. Mollaert, A. Zanelli, Progettare con le membrane : tensostrutture e pressostrutture, materiali e tecnologie : con esempi a colori di progetti realizzati, Maggioli, 2007

H. J. Schock, G. Pizzetti, A. M. Zorgno Trisciuglio, Atlante delle tensostrutture, UTET, Torino, 2001

## 4 IL LEGNO

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

F. Laner, Il legno lamellare: il progetto, Habitat legno, Edolo, 1988

M. Caironi, L. Bonera, Il legno lamellare: il calcolo, Habitat legno, Edolo, 2001

F. Zago, Il legno di conifera: la deformazione differita, Habitat legno, Edolo, 1993

P. Lavisci, La progettazione delle strutture di legno. Eurocodice 5 e norme tecniche per le costruzioni, Il Sole 24 Ore, Il edizione, 2010

Edifici a struttura di legno. Progettazione e realizzazione, Lampi di Stampa, 2012

Durabilità e manutenzione delle strutture di legno, Lampi di Stampa, 2012

J. Natterer, T. Herzog, M. Volz, Holzbau Atlas, R. Muller, 1991

T. Schrentewein, Casa Clima. Costruire in legno, Edition Raetia, 2008

G. Schickhofer, A. Bernasconi, Pannelli di legno. Prestazioni, misure, impieghi nell'edilizia, promo\_legno, 2008

A. Bernasconi, L'altro massiccio. Costruire in X-Lam, La sostenibile leggerezza del legno, promo\_legno 2010

Fabio Bianconi, Marco Filippucci, Paolo Verducci, Architetture dal Giappone: disegno, progetto e tecnica, Gangemi, 2006

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

[http://tedlearning.scuole.provincia.modena.it/pluginfile.php/32685/mod\\_resource/content/1/Legno%20%28approfondimento%20Zanichelli%29.pdf](http://tedlearning.scuole.provincia.modena.it/pluginfile.php/32685/mod_resource/content/1/Legno%20%28approfondimento%20Zanichelli%29.pdf)

[www2.ing.unipi.it/~a005843/.../legno/Il%20Legno1.ppt](http://www2.ing.unipi.it/~a005843/.../legno/Il%20Legno1.ppt)

## 5 LA STRUTTURA

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

M. Di Prisco, Progetto di Strutture, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, A. A. 2015-2016

Massimiliano Zacchetto, Una procedura numerica per il progetto di edifici in X-Lam, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, 2015

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://www.engineering3d.it/analisi-fem.html>

<http://abaqus.software.polimi.it/v6.14/books/usi/default.htm>

<http://www.harpaceas.it/midas/>

### RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI EN 1995, Eurocodice 5 - Progettazione delle strutture di legno;

UNI EN 338 - Legno strutturale classi di resistenza;

UNI EN 1194 - Strutture in legno: legno lamellare incollato. Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici;

UNI EN 14080 - Strutture in legno: legno lamellare e legno massiccio incollato;

CNR DT 206/2007 - Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e il controllo delle strutture in legno;

CNR DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

## 6 IL FARO PANORAMICO

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

P. Inzerilli, La villa imperiale di Katsura attraverso la tradizione letteraria giapponese, attraverso la tradizione letteraria giapponese

K. Tange, Katsura. Tradition and Creation in Japanese Architecture, Yale University Press, 1960

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://faraone.it/>

<http://www.rilegno.org/>

## 7 STRATEGIE TECNOLOGICHE

### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

G. Masera, Progettazione degli Elementi Costruttivi, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, A. A. 2012-2013

M. Imperadori, A. Senatore, Schematic design. Tecniche ed esempi di comunicazione del progetto, Il Sole 24 Ore, 2008

F. Galmozzi, Laboratorio di sintesi su progetto di servizi tecnologici, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, A. A. 2013-2014

### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://www.velux.it/professionisti/libreria-tecnica>



<http://www.novair.it/index.php?lang=it>

#### RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI EN ISO 6946: “Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza termica e trasmittanza termica – Metodo di calcolo”

UNI EN ISO 13786: “Prestazione termica dei componenti per l’edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo”

UNI EN ISO 13788: “Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità superficiale critica e condensazione interstiziale – Metodo di calcolo”.

DPR 2 aprile 2009 n. 59: Rendimento energetico in edilizia

## 8 ILLUMINOTECNICA

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

M. Imperadori, Progettazione e Innovazione Tecnologica, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, A. A. 2015-2016

Il vetro ed il serramento, Finistral, 2009

#### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://www.velux.it>

<http://lucenergia.velux.it/blog/fattore-medio-di-luce-diurna-approfondimento>

<http://diva4rhino.com/>

## 9 ENERGIA

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

G. Salvalai, Energy Efficient Building, Facoltà di Ingegneria Edile-Architettura, Politecnico di Milano, A. A. 2015-2016

M. Baggio, Analisi del fabbisogno energetico nella ristrutturazione di un involucro edilizio con l’applicazione di serramenti prestazionali in PVC, vetrate isolanti e pompa

di calore, Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria: dipartimento di tecnica e gestione dei sistemi industriali, 2013

G. Salvalai, 2020 Edifici ad energia quasi zero (nZEB), Maggioli Editore, 2015

P. V. Nielsen, Fluidodinamica computazionale applicata alla progettazione della ventilazione, Flaccovio Dario, Aicarr, 2009

A. Belleri, G. Chiesa, Ventilative cooling potential tool, Energy in Buildings and Communities Programme

#### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://www.meteonorm.com/>

<http://www.mygreenbuildings.org/wp-content/uploads/2009/12/Modelli-di-Comfort-Termico-PMV-e-Adattivo.pdf>

<http://web.mit.edu/parmstr/Public/Documentation/06-MultizoneBuilding.pdf>

<http://www.ansys.com/Products/Fluids/ANSYS-Fluent>

#### RIFERIMENTI NORMATIVI

D.M. 26/6/2009 – Ministero dello Sviluppo Economico. Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici

D.P.R. 2 aprile 2009, n. 59. Regolamento di attuazione dell’articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia

LEGGE 3 agosto 2013, n. 90. Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63. Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell’edilizia per la definizione delle procedure d’infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale

UNI EN ISO 7730: Ergonomia degli ambienti termici. Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale

UNI EN 15251: Criteri per la progettazione 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

## 10 ERGOTECNICA

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

A. Gottfried, G. M. Di Giuda, Ergotecnic Edile, Esculapio, 2012

A. Gottfried, G. M. Di Giuda, Ergotecnic edile. Progettazione e programmazione operativa ed economica. Direzione dei lavori, contabilità e collaudi. Scelta delle macchine, Hoepli, 2013

A. Gottfried, G. M. Di Giuda, Progettazione e gestione della sicurezza nei cantieri edili, Utet Scienze Tecniche, 2011

#### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<https://www.sigmanest.com/it/>

## 11 ESPERIENZE FORMATIVE

#### RIFERIMENTI SITOGRAFICI

<http://www.compassovolante.polimi.it/>

<http://www.farmculturalpark.com/>

<http://www.studioazzurro.com/>

<http://www.anatomija-otoka.com/hr/2016/>

<http://www.gangcity.it/>

[http://www.archiportale.com/news/2017/03/product-design-news/cino-zucchi-incanta-la-platea-dei-talk-di-architettura-e-luce\\_56914\\_66.html](http://www.archiportale.com/news/2017/03/product-design-news/cino-zucchi-incanta-la-platea-dei-talk-di-architettura-e-luce_56914_66.html)

<https://www.riva1920.it/it/home/>

# INDICE DELLE FIGURE

Figura 1_Scorcio verso il porto di Vis.....	19
Figura 2_Abitazione isolata in pietra sulle coste di Vis.....	20
Figura 3_Torre quadrangolare al porto di Vis.....	22
Figura 4_Monastero prossimo all’area di progetto .....	22
Figura 6_Rovine di un vecchio edificio sulle rive di Komiza .....	23
Figura 5_Architettura in pietra in una caletta di Vis.....	23
Figura 7_Una copertura in legno sul mare.....	25
Figura 8_Scorci della città di Vis .....	29
Figura 9_Mappa della città greca.....	30
Figura 10_Schema della città greca di Issa .....	30
Figura 11_Vigneti.....	31
Figura 12_Campi di ulivi.....	31
Figura 13_Pianta di Lavanda.....	31
Figura 14_Incisione di una liburna.....	32
Figura 15_Necropoli di Martvilo, unico cimitero ellennistico pervenuto in Croazia .....	32
Figura 16_Mappa dei possedimenti della Roma Repubblicana in Italia .....	34
Figura 17_Chiesa di San Silvestro a Bisevo.....	35
Figura 18_Dominio della Serenissima.....	35
Figura 19_Raffigurazione iconografica del combattimento navale di Lissa .....	36
Figura 20_Schieramento navale della battaglia di Lissa.....	38
Figura 21_Manovra navale della battaglia di Lissa .....	38
Figura 22_Condizioni del trattato di Londra.....	39
Figura 23_Partigiani della Brigata Garibaldi.....	40
Figura 24_Prof. Joško Božanic.....	41
Figura 25_Baie dell’isola di Vis, sotto vista del Monte Hum dalla città di Komiza.....	43

Figura 26_Collocazione della città di Vis.....	44
Figura 27_Elementi tipici della città di Vis .....	44
Figura 28_Collocazione della città di Komiza .....	45
Figura 29_Elementi tipici della città di Komiza .....	45
Figura 30_Collocazione dei villaggi.....	46
Figura 31_Elementi tipici dei villaggi presenti nell’isola di Vis .....	46
Figura 32_Pianta di ulivo.....	48
Figura 33_Flora e fauna tipica dell’isola di Vis .....	49
Figura 34_Dati mensili di temperatura dell’aria, umidità relativa, velocità del vento.....	52
Figura 35_Analisi annuale delle temperature dell’isola di Vis.....	52
Figura 36_Analisi giornaliera delle temperature dell’isola di Vis.....	52
Figura 37_Giornata estiva a Cut, quartiere della città di Vis .....	53
Figura 38_Studio dell’irraggiamento diffuso e globale .....	53
Figura 39_Analisi annuale e mensile della velocità e direzione del vento.....	54
Figura 40_Foglio di lavoro in Ladybug (Grasshopper) .....	55
Figura 41_Anziani autoctoni dell’isola di Vis.....	57
Figura 42_Processo di distillazione dell’acquavite, tipica bevanda croata.....	58
Figura 43_Gajeta Falkusa.....	59
Figura 44_Prodotti tipici dell’isola di Vis a base di lavanda.....	61
Figura 46_Monaco del monastero di Prilovo .....	62
Figura 45_Monastero di Prilovo .....	62
Figura 48_I tre dialetti croati .....	63
Figura 47_Necropoli di Martvilo nell’isola di Vis .....	63
Figura 49_Terme Romane nella città di Vis .....	64
Figura 50_Vista aerea del monastero francescano della penisola di Prilovo.....	64
Figura 51_Faro di Host a sinistra, Faro di Stoncica a destra .....	65
Figura 52_Patrimonio custodito all’interno del museo archeologico.....	65
Figura 53_Sede del museo della pesca nella torre di Komiza.....	66
Figura 54_La natura della penisola di Prilovo.....	67
Figura 56_Il traghetto Jadrolinija.....	68
Figura 55_La penisola di Prilovo al momento dell’arrivo del traghetto.....	68
Figura 57_Rappresentazione grafica dello spostamento del porto.....	69

Figura 58_Viabilità sull’isola: i principali percorsi.....	70
Figura 59_Natura incontaminata rappresentativa di Vis.....	75
Figura 60_Pietra porosa trovata sulla spiaggia a Prilovo in rapporto con la copertura...76	
Figura 61_Vista del mare aperto dalla spiaggia di Vis .....	78
Figura 62_Planivolumetrico rappresentativo L’inserimento urbanistico.....	79
Figura 63_Relazione con il monastero e la città greca.....	80
Figura 64_Vincoli per l’edificato.....	80
Figura 65_Demolizione e riqualificazione di edifici esistenti.....	81
Figura 66_Impianto dell’edificato.....	81
Figura 67_Vincoli per la definizione della forma della copertura.....	82
Figura 68_Prime fasi di definizione della copertura.....	83
Figura 69_Raggiungimento della forma finale della copertura.....	83
Figura 70_Giochi di luce e genesi del pattern della cupola del Louvre di Abu Dabhi.....	84
Figura 71_Progetto architettonico Metropol Parasol a Siviglia .....	85
Figura 72_Sezione orizzontale che mostra la disposizione dei setti .....	86
Figura 73_Schema strutturale degli elementi di setti e copertura .....	87
Figura 74_Schema esplicativo delle parti rappresentative della copertura .....	87
Figura 75_Schema del percorso solare.....	88
Figura 76_Schema delle aree verdi mantenute nel progetto .....	89
Figura 77_Schema illustrativo della permeabilità del progetto.....	89
Figura 78_Masterplan del progetto inserito nella penisola di Prilovo.....	90
Figura 79_Il progetto mimetico.....	91
Figura 80_Schema funzionale .....	92
Figura 81_Esplosivo .....	93
Figura 82_Sezione ambientale.....	94
Figura 83_Attacco a terra.....	95
Figura 84_Sezione prospettica.....	96
Figura 85_Planimetria della copertura.....	97
Figura 86_Tappe del percorso sensitivo .....	98
Figura 87_Piante ed essenze aromatiche presenti nel percorso sensoriale.....	99
Figura 88_Planimetria del percorso sensoriale attraverso diversi tipi di vegetazione.....	100
Figura 89_Meditazione nel giardino delle essenze.....	101

Figura 90_Vigneto adiacente all’area di progetto.....	102
Figura 91_Il profumo di lavanda .....	103
Figura 92_Vigneto dell’isola di Vis fotografato a fine settembre .....	104
Figura 93_Campo di lavanda in piena fioritura.....	105
Figura 94_Distesa di lavanda non fiorita .....	105
Figura 95_Principali materiali utilizzati all’interno del progetto .....	106
Figura 96_Vista assonometrica .....	107
Figura 97_Riferimenti cromatici del contesto .....	108
Figura 98_Lo sguardo verso il porto.....	109
Figura 99_Strati del legno.....	113
Figura 100_Proprietà meccaniche .....	114
Figura 101_Variazioni dimensionali del legno dovute all’umidità .....	115
Figura 102_Attacco del legno da parte degli insetti.....	116
Figura 103_Degradi del legno ed eventuali protezioni .....	117
Figura 104_Atelier Zumthor: legno non trattato che presenta segni dell’invecchiamento....	119
Figura 105_Trasformazione subita dal legno durante un incendio .....	120
Figura 106_Sezione del legno interna non bruciata .....	121
Figura 107_Velocità di carbonatazione di alcune essenze del legno.....	122
Figura 108_Struttura di un pannello Cross-Lam a 5 strati.....	124
Figura 109_Pannelli Cross-Lam da 5 strati e 3 strati.....	125
Figura 110_Esempio applicativo del Cross-Lam .....	126
Figura 111_Esempi di costruzioni in Cross-Lam durante le fasi di cantiere .....	129
Figura 112_Atsushi Kitagawara.....	130
Figura 113_Diverse tipologie di incastro nella struttura a Mengoshi tridimensionale....	131
Figura 114_Differenti tipologie di incastri del sistema “Mengoshi” di Kitagawara.....	132
Figura 115_Incastri dei pannelli graticciati con sistema “Mengoshi” di Kitagawara.....	132
Figura 116_Differente risposta sismica tra il sistema tradizionale e “Mengoshi” .....	133
Figura 117_Ki No-Kuni Information Pavilion.....	134
Figura 118_Gifu Academy of Forest Science and Culture .....	135
Figura 119_Kaisho Forest View Tube.....	135
Figura 120_Rappresentazione della pericolosità sismica nel territorio italiano e croato	145



Figura 121_Rappresentazione della pericolosità sismica nel territorio croato.....	146
Figura 122_In alto comportamento a piastra, in basso comportamento a lastra .....	164
Figura 123_Discretizzazione di un elemento strutturale secondo mesh .....	165
Figura 124_Dimensioni delle diverse tipologie di setti analizzati agli elementi finiti .....	166
Figura 125_Effettiva distribuzione delle differenti tipologie di sostegno verticale .....	167
Figura 126_Rappresentazione della mesh.....	168
Figura 127_Rappresentazione della mesh.....	168
Figura 128_Definizione delle proprietà del materiale.....	169
Figura 129_Individuazione degli output di analisi.....	169
Figura 130_Rappresentazione del carico applicato in direzione X.....	170
Figura 131_Rappresentazione degli spostamenti in direzione X con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN.....	171
Figura 132_Rotazioni attorno all'asse X.....	172
Figura 133_Rotazioni attorno all'asse Y.....	172
Figura 134_Forze di reazione in direzione X.....	173
Figura 135_Forze nella sezione in direzione X.....	173
Figura 136_Raffigurazione dei momenti $M_x$ .....	173
Figura 137_Raffigurazione dei momenti $M_y$ .....	173
Figura 138_Rappresentazione delle tre tipologie di irrigidimento analizzate.....	174
Figura 139_Rappresentazione delle condizioni di carico e incastro a terra.....	174
Figura 140_Rappresentazione degli spostamenti in direzione X con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN in sommità dei setti.....	175
Figura 141_Rappresentazione del carico applicato in direzione X.....	176
Figura 142_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Y con l'applicazione di una forza unitaria di 1kN, a lato una vista laterale per capire il rapporto delle tre deformate con l'indeformata .....	177
Figura 143_Rotazioni attorno all'asse X.....	178
Figura 144_Rotazioni attorno all'asse Y.....	178
Figura 145_Forze di reazione in direzione Y.....	179
Figura 146_Forze nella sezione in direzione Y.....	179
Figura 147_Raffigurazione dei momenti $M_x$ .....	179
Figura 148_Raffigurazione dei momenti $M_y$ .....	179
Figura 149_Costruzione del modello semplificato .....	180

Figura 150_Delineazione della mesh.....	181
Figura 151_Determinazione degli incastri a terra .....	181
Figura 152_Imposizione dei carichi di progetto.....	182
Figura 153_Spostamenti in direzione Z.....	183
Figura 154_Momenti flettenti $M_x$ .....	183
Figura 155_Momenti flettenti $M_y$ .....	183
Figura 156_Momenti torcenti $M_{xy}$ .....	183
Figura 157_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della copertura .....	184
Figura 158_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della copertura .....	185
Figura 159_Determinazione del comportamento a lamina.....	186
Figura 160_Determinazione degli incastri a terra .....	187
Figura 161_Momenti $M_y$ .....	187
Figura 162_Momenti $M_{yy}$ .....	187
Figura 163_Rappresentazione degli spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della copertura.....	188
Figura 164_Rappresentazione degli spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della copertura.....	189
Figura 165_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento $M_{yy}$ .....	190
Figura 166_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento $M_{xx}$ .....	190
Figura 167_Spostamenti in direzione Z del primordiale progetto (vista 1).....	192
Figura 168_Spostamenti in direzione Z del primordiale progetto (vista 2).....	192
Figura 169_Individuazione delle aree deboli della copertura.....	193
Figura 170_Setti pieni e a graticcio presenti nel progetto primordiale .....	193
Figura 171_Implementazione di setti pieni, a graticcio ed irrigiditi .....	193
Figura 172_Definizione della geometria per il modello strutturale completo .....	194
Figura 173_Individuazione degli incastri a terra.....	194
Figura 174_Rotazioni in direzione X.....	195
Figura 175_Momenti flettenti $M_x$ .....	195
Figura 176_Momenti flettenti $M_y$ .....	195
Figura 177_Momenti torcenti $M_{xy}$ .....	195

Figura 178_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della struttura completa .....	196
Figura 179_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso isotropo della struttura completa .....	197
Figura 180_Individuazione dei sistemi di riferimento locali .....	198
Figura 181_Determinazione del comportamento a lamina.....	198
Figura 182_Rotazioni in direzione X.....	199
Figura 183_Momenti flettenti $M_x$ .....	199
Figura 184_Momenti flettenti $M_y$ .....	199
Figura 185_Momenti torcenti $M_{xy}$ .....	199
Figura 186_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della struttura completa.....	200
Figura 187_Rappresentazione degli spostamenti in direzione Z sotto il carico di peso proprio e neve per il caso ortotropo della struttura completa.....	201
Figura 188_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento $M_{yy}$ .....	202
Figura 189_Distribuzione delle sollecitazioni dovute al momento $M_{xx}$ .....	202
Figura 190_Verifica degli sforzi agenti sulla struttura .....	203
Figura 191_Definizione dello Step "Frequency".....	204
Figura 192_Definizione dei valori di spettro di risposta orizzontale e verticale .....	205
Figura 193_Definizione dello Step "Response Spectrum" .....	205
Figura 194_Spostamenti risultanti dal 2° modo di vibrare.....	206
Figura 195_Spostamenti risultanti dal 13° modo di vibrare .....	206
Figura 196_Spostamenti risultanti dal 25° modo di vibrare .....	206
Figura 197_Spostamenti risultanti dal 78° modo di vibrare .....	206
Figura 198_Analisi dei dati derivati dalla simulazione sismica con Abaqus CAE.....	207
Figura 199_Percentuale di massa partecipante al variare del modo di vibrare .....	207
Figura 200_Velocità risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse X ..208	
Figura 201_Velocità risultante dalla componente sismica orizzontale secondo asse Y...208	
Figura 202_Accelerazione dalla componente sismica orizzontale secondo asse X.....209	
Figura 203_Accelerazione dalla componente sismica orizzontale secondo asse Y.....209	
Figura 204_Definizione della geometria del setto pieno in Cross-Lam .....	210
Figura 205_Rappresentazione delle c.c. imposte nell'analisi di Buckling .....	211
Figura 206_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-estremo libero .....	211

Figura 207_Rappresentazione delle c.c. imposte nell'analisi di Buckling .....	212
Figura 208_Analisi di Buckling per il setto a graticcio per incastro-estremo libero.....	212
Figura 209_Rappresentazione delle c.c. imposte nell'analisi di Buckling .....	213
Figura 210_Analisi di Buckling per graticcio irrigidito per incastro-estremo libero.....	213
Figura 211_Definizione dello schema statico per le analisi incastro-manicotto.....	214
Figura 212_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-manicotto .....	214
Figura 213_Analisi di Buckling per il setto a graticcio per incastro-manicotto.....	215
Figura 214_Analisi di Buckling graticcio irrigidito per incastro-manicotto .....	215
Figura 215_Definizione dello schema statico per le analisi incastro-manicotto.....	216
Figura 216_Analisi di Buckling per il setto pieno per incastro-manicotto .....	216
Figura 217_Output dell'analisi di Buckling per la struttura totale.....	217
Figura 218_Dimensioni del plinto di fondazione .....	219
Figura 219_Componenti di peso utili alle verifiche geotecniche.....	219
Figura 220_Rappresentazione tridimensionale sistema di fondazione di un setto .....	220
Figura 221_Individuazione delle diverse tipologie di connessione .....	221
Figura 222_Parete in Cross-Lam soggetta a forza orizzontale (vento o sisma) .....	222
Figura 223_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti parete-parete.....	222
Figura 224_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti solaio-solaio.....	223
Figura 225_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti d'angolo.....	223
Figura 226_Rappresentazione delle diverse tipologie di giunti parete-parete incrocio ..224	
Figura 227_Conessioni per pannelli in Cross-Lam .....	224
Figura 228_Rappresentazione delle falde considerate per il calcolo della connessione.227	
Figura 229_Schematizzazione della connessione tra falde di copertura e sistema provvisorio di posizionamento mediante piastra metallica removibile .....	229
Figura 230_Prilovo e le luci della notte.....	234
Figura 231_Sezione orizzontale.....	235
Figura 232_Prospetto Sud .....	235
Figura 233_Pavimentazione delle terme romane.....	236
Figura 234_Definizione del pattern utilizzato.....	236
Figura 235_Combinazioni dei pattern per gli irrigidimenti.....	237
Figura 236_Prospetto di una facciata della torre .....	237
Figura 237_Interno della Villa Imperiale di Katsura, Kyoto .....	238

Figura 238_Studio della cromia degli irrigidimenti.....	238
Figura 239_Prospetto frontale con rivestimento in lastre di vetro.....	239
Figura 240_Tipologia di agganci metallici per la parete vetrata.....	240
Figura 241_Esplosivo esplicativo del sistema di fissaggio.....	240
Figura 242_Spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve.....	242
Figura 243_Sforzi principali sotto il carico di peso proprio e neve.....	242
Figura 244_Spostamenti in direzione z sotto il carico di peso proprio e neve.....	243
Figura 245_Sforzi principali sotto il carico di peso proprio e neve.....	243
Figura 246_Rappresentazione tridimensionale del pannello da realizzare.....	244
Figura 247_Macchinario di taglio a controllo numerico.....	247
Figura 248_Levigatrice.....	247
Figura 249_Impregnazione e finitura dei travetti in legno di larice.....	248
Figura 250_Taglio e levigatura dei pannelli OSB.....	248
Figura 253_Tinteggiatura dei pannelli OSB.....	249
Figura 251_Tinteggiatura dei pannelli OSB.....	249
Figura 252_Disposizione degli elementi colorati nel graticcio.....	249
Figura 254_Prototipo ultimato.....	251
Figura 255_Schematic design riferito alla stagione invernale.....	256
Figura 256_Schematic design riferito alla stagione estiva.....	257
Figura 257_Tabella di qualità prestazionale presa da normativa.....	259
Figura 258_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.....	263
Figura 259_Andamento della temperatura durante il giorno.....	264
Figura 260_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.....	266
Figura 261_Andamento della temperatura durante il giorno.....	267
Figura 262_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.....	269
Figura 263_Andamento della temperatura durante il giorno.....	270
Figura 264_Profilo di pressioni e temperatura nei mesi di gennaio e di luglio.....	272
Figura 265_Andamento della temperatura durante il giorno.....	273
Figura 266_Unità Trattamento Aria utilizzata nel progetto di NOVAIR.....	290
Figura 267_Diagramma psicometrico del recupero di calore sensibile e di umidità assoluta.....	292
Figura 268_Diagramma psicometrico del riscaldamento sensibile.....	292

Figura 269_Diagramma psicometrico di umidificazione.....	293
Figura 270_Diagramma psicometrico del recupero di calore sensibile e di umidità assoluta.....	294
Figura 271_Diagramma psicometrico di raffreddamento e deumidificazione.....	295
Figura 272_Diagramma psicometrico di post-riscaldamento.....	295
Figura 273_Componenti facenti parti della U.T.A. di progetto.....	297
Figura 274_Componenti facenti parti della U.T.A. di progetto.....	297
Figura 275_Schema sui sistemi radianti, preso da manuale tecnico di Giacoklima.....	298
Figura 276_Impianto della copertura con l'impianto fotovoltaico posizionato.....	301
Figura 277_Proiezione orizzontale della copertura.....	302
Figura 278_Superficie orizzontale esposta e disposizione dei pluviali.....	302
Figura 279_Creazione di una superficie di base unica.....	308
Figura 280_Introduzione della griglia mediante il software Diva For Rhino.....	308
Figura 281_Rappresentazione del modello completo prima della simulazione.....	309
Figura 282_Assegnazione dei materiali mediante il software Diva.....	309
Figura 283_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura totalmente opaca.....	310
Figura 284_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con patii.....	310
Figura 285_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con parte filtrante e aperture zenitali.....	311
Figura 286_Raffigurazione dell'illuminamento: copertura con alberi.....	311
Figura 287_Raffigurazione dell'FLD <sub>m</sub> : copertura totalmente opaca.....	312
Figura 288_Raffigurazione dell'FLD <sub>m</sub> : copertura con patii.....	312
Figura 289_Raffigurazione dell'FLD <sub>m</sub> : copertura con parte filtrante e aperture zenitali.....	313
Figura 290_Raffigurazione dell'FLD <sub>m</sub> : copertura con alberi.....	313
Figura 291_Rappresentazione del flusso luminoso incidente sulla superficie vetrata.....	315
Figura 292_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint.....	316
Figura 293_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	316
Figura 295_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	316
Figura 294_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	316
Figura 296_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	316
Figura 297_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint.....	317
Figura 298_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	317

Figura 300_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	317
Figura 299_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	317
Figura 301_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	317
Figura 302_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint.....	318
Figura 303_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	318
Figura 305_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	318
Figura 304_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	318
Figura 306_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	318
Figura 307_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio infopoint.....	319
Figura 308_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	319
Figura 310_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	319
Figura 309_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	319
Figura 311_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	319
Figura 312_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar.....	320
Figura 313_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	320
Figura 315_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	320
Figura 314_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	320
Figura 316_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	320
Figura 317_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar.....	321
Figura 318_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	321
Figura 320_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	321
Figura 319_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	321
Figura 321_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	321
Figura 322_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar.....	322
Figura 323_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	322
Figura 325_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	322
Figura 324_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	322
Figura 326_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	322
Figura 327_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio bar.....	323
Figura 328_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	323
Figura 330_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	323
Figura 329_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	323

Figura 331_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	323
Figura 332_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga.....	324
Figura 333_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	324
Figura 335_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	324
Figura 334_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	324
Figura 336_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	324
Figura 337_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga.....	325
Figura 338_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	325
Figura 340_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	325
Figura 339_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	325
Figura 341_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	325
Figura 342_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga.....	326
Figura 343_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	326
Figura 345_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	326
Figura 344_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	326
Figura 346_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	326
Figura 347_Visualizzazione dell'apporto di luce all'interno dello spazio sala yoga.....	327
Figura 348_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	327
Figura 350_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	327
Figura 349_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	327
Figura 351_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	327
Figura 352_Strategie progettuali per il monitoraggio del comfort interno.....	328
Figura 353_Renderizzazione dello spazio Bar.....	330
Figura 354_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	330
Figura 356_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	330
Figura 355_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	330
Figura 357_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	330
Figura 358_Renderizzazione dello spazio Infopoint.....	331
Figura 359_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	331
Figura 361_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	331
Figura 360_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	331
Figura 362_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	331



Figura 363_Renderizzazione dello spazio sala yoga.....	332
Figura 364_Vetro singolo - T <sub>L</sub> =88%.....	332
Figura 366_Vetro triplo prestazionale con Krypton - T <sub>L</sub> =47%.....	332
Figura 365_Vetro doppio basso emissivo - T <sub>L</sub> =65%.....	332
Figura 367_Presenza di tende oscuranti - T <sub>L</sub> =20%.....	332
Figura 368_Esposizione e collocazione degli edifici al di sotto della copertura.....	337
Figura 369_Sezione orizzontale del Bar.....	338
Figura 370_Divisione dell'edificio Bar in zone climatiche.....	338
Figura 371_Modello in Sketch-up per l'edificio Bar.....	339
Figura 372_Modello in Sketch-up del Bar con la copertura schermante.....	339
Figura 373_Zona 1: cucina.....	340
Figura 374_Zona 2: bagno.....	340
Figura 375_Zona 3: sala.....	341
Figura 376_Simulation Studio: file climatico.....	341
Figura 377_Temperatura media mensile durante l'anno solare.....	342
Figura 378_Temperatura media giornaliera durante l'anno solare.....	342
Figura 380_Escursione termica durante il mese più freddo e più caldo dell'anno.....	343
Figura 379_Umidità relativa media mensile durante l'anno solare.....	343
Figura 382_Relazione tra umidità relativa e temperatura: grafico a dispersione.....	344
Figura 381_Relazione tra umidità relativa e temperatura: grafico a linee.....	344
Figura 383_Direzione del vento.....	345
Figura 384_Intensità del vento.....	345
Figura 385_Radiazione solare diretta media mensile.....	346
Figura 386_Relazione tra radiazione diretta oraria e temperatura oraria.....	346
Figura 388_Relazione tra radiazione diretta e temperatura: giorno 4 febbraio.....	347
Figura 387_Relazione tra radiazione diretta e temperatura: giorno 29 luglio.....	347
Figura 389_Interfaccia del programma TRNBuild.....	349
Figura 390_Interfaccia del programma Simulation Studio.....	349
Figura 391_Stratigrafia C.O. 01.....	350
Figura 392_Stratigrafia C.O. 02.....	351
Figura 393_Stratigrafia C.O. 02 A.....	351
Figura 394_Stratigrafia C.V. 01.....	352

Figura 395_Stratigrafia C.V. 01 A.....	352
Figura 396_Stratigrafia P.V. 01.....	353
Figura 397_Stratigrafia P.V. 01 A.....	353
Figura 398_Umidità relativa media mensile.....	356
Figura 399_Umidità relativa: mesi di settembre-ottobre-novembre.....	357
Figura 400_Radiazione media mensile.....	357
Figura 401_Temperatura media mensile nell'intero edificio.....	358
Figura 402_Temperatura media mensile nelle tre zone.....	358
Figura 403_Temperatura media giornaliera: settimana 1-7 febbraio.....	359
Figura 404_Temperatura media giornaliera: settimana 25-31 luglio.....	359
Figura 405_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio.....	360
Figura 406_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio.....	360
Figura 407_Stratigrafia C.O. 02 B.....	361
Figura 408_Umidità relativa media mensile.....	362
Figura 409_Temperatura media mensile.....	363
Figura 410_Umidità relativa con ventilazione e vetri variabili.....	365
Figura 411_Umidità relativa: mesi di settembre-ottobre-novembre.....	365
Figura 412_Radiazione solare media mensile nell'intero edificio.....	366
Figura 413_Radiazione solare nella zona 3.....	366
Figura 414_Radiazione solare media giornaliera: settimana 1-7 febbraio.....	367
Figura 415_Radiazione solare media giornaliera: settimana 25-31 luglio.....	367
Figura 416_Radiazione solare: giorno 4 febbraio.....	368
Figura 417_Radiazione solare: giorno 29 luglio.....	368
Figura 418_Relazione tra temperatura media mensile e temperatura ambientale.....	369
Figura 419_Relazione tra temperatura media mensile e radiazione media mensile.....	369
Figura 420_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio.....	370
Figura 421_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio.....	370
Figura 422_Temperatura media mensile nelle tre zone.....	371
Figura 423_Temperatura media mensile con ventilazione variabile.....	371
Figura 424_Temperatura media giornaliera: settimana 1-7 febbraio.....	372
Figura 425_Temperatura media giornaliera: settimana 25-31 luglio.....	372
Figura 426_Temperatura oraria: giorno 4 febbraio.....	373

Figura 427_Temperatura oraria: giorno 29 luglio.....	373
Figura 428_Dispensio energetico in un soggetto adulto.....	375
Figura 429_Valori metabolici per varie attività.....	376
Figura 430_Valori di resistenza al vestiario.....	376
Figura 431_PMV: scala di valori.....	378
Figura 432_Relazione tra gli indici PMV e PPD.....	378
Figura 433_Umidità relativa media mensile nelle tre zone.....	383
Figura 434_Relazione tra radiazione solare e temperatura.....	383
Figura 435_Temperatura oraria: settimana 1-7 febbraio.....	384
Figura 436_Temperatura oraria: settimana 25-31 luglio.....	384
Figura 437_Temperatura media mensile nelle tre zone.....	385
Figura 438_Modello statico: edificio con vetri singoli.....	386
Figura 439_Modello adattivo: edificio con vetri singoli.....	386
Figura 440_Modello statico: ottimizzazione 1.....	387
Figura 441_Modello adattivo: ottimizzazione 1.....	387
Figura 442_Valori percentuali di comfort e discomfort: edificio con vetri singoli.....	388
Figura 443_Valori percentuali di comfort e discomfort.....	388
Figura 445_Valori del fabbisogno energetico: edificio con vetri singoli.....	389
Figura 444_Valori del fabbisogno energetico: ottimizzazione 1.....	389
Figura 446_Fabbisogno energetico: edificio con vetri singoli.....	390
Figura 447_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 1.....	390
Figura 448_EPH: edificio con vetri singoli-ottimizzazione 1.....	391
Figura 449_Bilancio energetico: edificio con vetri singoli - ottimizzazione 1.....	391
Figura 450_Modello statico: ottimizzazione 2.....	394
Figura 451_Modello adattivo: ottimizzazione 2.....	394
Figura 452_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione 2.....	395
Figura 453_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 2.....	395
Figura 454_EPH: ottimizzazione 1-ottimizzazione 2.....	396
Figura 455_Bilancio energetico: ottimizzazione 2.....	396
Figura 456_Percentuale di schermatura dei vetri.....	397
Figura 457_Funzionamento degli impianti durante l'anno.....	398
Figura 458_Fabbisogno riscaldamento e raffrescamento ottimizzazione 2-3.....	398

Figura 459_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione 3.....	399
Figura 460_Fabbisogno energetico: ottimizzazione 3.....	400
Figura 461_EPH: ottimizzazione 2-3.....	400
Figura 462_Bilancio energetico: ottimizzazione 3.....	401
Figura 463_Caratteristiche del modello finale.....	402
Figura 464_Modello statico: ottimizzazione finale.....	403
Figura 465_Modello adattivo: ottimizzazione finale.....	403
Figura 466_Valori percentuali di comfort e discomfort: ottimizzazione finale.....	404
Figura 467_Valori percentuali di comfort e discomfort con orari ristretti: ottimizzazione finale.....	404
Figura 468_Fabbisogno energetico: ottimizzazione finale.....	405
Figura 469_EPH: ottimizzazione 3-ottimizzazione finale.....	405
Figura 470_EPH: ottimizzazione finale.....	406
Figura 471_Bilancio energetico: ottimizzazione finale.....	406
Figura 472_Stima del consumo energetico degli edifici di progetto.....	409
Figura 473_Parametri per calcolo del raffrescamento mediante ventilazione naturale.....	410
Figura 474_Potenziale raffrescamento tramite ventilazione: valori orari mensili.....	411
Figura 475_Potenziale raffrescamento tramite ventilazione: valori percentuali medi annuali.....	411
Figura 476_Mesh dell'edificio.....	412
Figura 477_Velocità delle particelle: frame 1.....	413
Figura 480_Velocità delle particelle: frame 8.....	413
Figura 478_Velocità delle particelle: frame 2.....	413
Figura 481_Velocità delle particelle: frame 16.....	413
Figura 479_Velocità delle particelle: frame 4.....	413
Figura 482_Velocità delle particelle: frame 24.....	413
Figura 483_Moto dell'aria all'interno dell'edificio.....	414
Figura 484_Dimensione dei pannelli standard in Cross-Lam.....	419
Figura 485_Taglio per l'elemento triangolare con orientamento parallelo e casuale.....	420
Figura 486_Possibili orientamenti dell'elemento triangolare nel pannello Cross-Lam.....	420
Figura 487_Percentuale di materiale aggiuntiva per il taglio degli elementi triangolari.....	421
Figura 488_Sfrido in fase di taglio per elementi triangolari di inclinazione differente.....	421

Figura 490_Interfaccia di SIGMANEST, importazione del file .dxf.....	422
Figura 489_Pollilinee importate dal file .dxf in SIGMANEST .....	422
Figura 492_Impostazioni date al programma per poter svolgere il calcolo.....	423
Figura 491_Elementi ordinati secondo l'orientamento possibile .....	423
Figura 494_Pannello entro il quale predisporre i pezzi elencati a destra.....	423
Figura 493_Fine del processo di calcolo: pannello con elementi all'interno.....	423
Figura 495_Prima pagina del PDF che il programma SIGMANEST propone come risposta al calcolo dei triangoli in copertura .....	425
Figura 496_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura .....	426
Figura 497_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura .....	427
Figura 498_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura .....	428
Figura 499_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura .....	429
Figura 500_Pannelli totali che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per i triangoli di copertura .....	430
Figura 501_Pagina 14 delle 22 estratte dal programma SIGMANEST svolgendo la simulazione lasciando la rotazione libera.....	431
Figura 502_Prima pagina del PDF che il programma SIGMANEST propone come risposta al calcolo dello sfrido delle pareti e i setti pieni in Cross-Lam.....	433
Figura 503_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam .....	434
Figura 504_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam .....	435
Figura 505_Differenti pannelli che mostrano la modalità di taglio ottimizzata dal programma SIGMANEST per le pareti e i setti in Cross-Lam .....	436
Figura 506_Disarticolazione spaziale dell'edificio in quattro blocchi .....	438
Figura 507_Disarticolazione tecnologica dell'edificio .....	439
Figura 508_Chiusura orizzontale: solaio controterra .....	440
Figura 509_Chiusura orizzontale: copertura verde isolata.....	440
Figura 510_Chiusura verticale isolata .....	440
Figura 511_Tabella riassuntiva pesi totali da trasportare.....	442
Figura 512_Dimensioni autoarticolato a quattro assi.....	443

Figura 513_Simbolo del Compasso Volante, disegno di Guido Scarabottolo.....	451
Figura 514_Ettore Zambelli, fondatore del Premio Compasso Volante .....	452
Figura 515_Sopralluogo all'area di progetto Prilovo .....	452
Figura 516_I partecipanti alla XVIII edizione PCV durante il workshop a Favara, Sicilia..	452
Figura 517_Scorci dell'isola di Vis.....	454
Figura 518_Childrens' Theatre a Vis in occasione del workshop Anatomy of Island .....	455
Figura 519_I partecipanti alla XVIII edizione PCV .....	458
Figura 520_Tour del territorio siciliano .....	459
Figura 521_La realtà di Favara in provincia di Agrigento, Sicilia .....	460
Figura 522_Laboratorio di riutilizzo di legni di scarto all'interno della Farm Cultural Park, Favara, Sicilia, 20-24 Aprile 2016.....	461
Figura 523_Visita all'esposizione interattiva di Studio Azzurro a Palazzo Reale, Milano, 29 Luglio 2016.....	462
Figura 524_Visita al cantiere della Torre Hadid, CityLife, Milano, 29 luglio 2016.....	463
Figura 525_Momenti di partecipazione al workshop "Anatomy of Islands" .....	464
Figura 526_Costruzione del Children's Pavillion, Vis, Croazia.....	465
Figura 527_Visita all'area di progetto nella penisola di Prilovo, Vis, Croazia.....	466
Figura 528_Mostra espositiva a Vis dei quattro progetti del concorso Compasso Volante XVIII edizione.....	467
Figura 529_Momenti del workshop "L'acciaio per il sociale", Venezia, 18 Ottobre 2016	468
Figura 530_Visita alla Biennale di Venezia e Museo Olivetti, 19 Ottobre 2016.....	469
Figura 531_Esposizione del progetto Velika in occasione dell'inaugurazione dello spazio MIL, Milano, 23 Novembre 2016.....	470
Figura 532_Visita al cantiere di Villazzano, Trento, 21 Febbraio 2017.....	471
Figura 533_Discussione del progetto di tesi Velika con l'Architetto Cino Zucchi e con l'architetto Nicola Saraceno, 9 Marzo 2017 .....	472
Figura 534_Visita all'azienda Riva1920, 6 Giugno 2017.....	473
Figura 535_Taglio degli elementi verticali e orizzontali del prototipo a graticcio presso il centro di taglio dell'azienda Ri-Legno a Cavedine (Trento) .....	474
Figura 536_Assemblaggio del pannello graticciato .....	475



## RINGRAZIAMENTI

VELIKA è stata occasione di confronto e discussione con professionisti che ci hanno avviato al mondo della progettazione. I nostri ringraziamenti vanno a coloro che hanno contribuito alla nostra crescita personale e professionale.

Si ringrazia in primo luogo il Professor Marco Imperadori, per il tempo dedicatoci durante il percorso di tesi.

Un grazie particolare ai Professori Gabriele Masera e Manuela Grecchi per aver condiviso con noi il viaggio del Compasso Volante 2016.

Un sentito ringraziamento all'Ingegnere Giulio Zani per la pazienza, la costanza e la fiducia nelle nostre capacità.

Per la disponibilità e i numerosi consigli durante lo sviluppo delle analisi energetiche un riconoscimento al Professor Graziano Salvalai.

Grazie al Professor Ferruccio Galmozzi per l'aiuto nella gestione degli aspetti impiantistici in fase progettuale.

Un ringraziamento speciale l'azienda Ri-Legno, in particolare l'Ing. Giulio Franceschini e l'Ing. Lavinia Sartori, per il supporto tecnico e i preziosi suggerimenti.

*Anna Corati*

*Martina Sciepli*

*Anna Maria Stella*

