



POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Tesi di Laurea Specialistica a Ciclo Unico in Ingegneria Edile - Architettura

Anno accademico 2017/2018

Relatore: Prof. Gabriele Masera
Co-relatori: Prof. Giulio Zani
Prof.ssa Valentina Serra

Tesi di: Massimo Fontana 818348
Matteo Pegorin 817981
Francesco Quattrone 818022

THULE

Studio di un polo scientifico ad alta efficienza energetica in Islanda con particolare attenzione all'utilizzo di involucri adattivi, materiali innovativi ed energie rinnovabili.



POLITECNICO
MILANO 1863

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Tesi di Laurea Specialistica a Ciclo Unico in Ingegneria Edile - Architettura

Anno accademico 2017/2018

Massimo FONTANA¹, Matteo PEGORIN¹, Francesco QUATTRONE¹,
Gabriele MASERA², Giulio ZANI³, Valentina SERRA⁴

(1) Laureando in Ingegneria Edile Architettura, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano

(2) Professore associato, Dipartimento di Architettura, Ingegneria delle Costruzioni e Ambiente Costruito, Politecnico di Milano

(3) Ricamatore universitario, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano

(4) Professore associato, Dipartimento Energia, Politecnico di Torino

ABSTRACT

Thule

ovvero: studio di un polo scientifico ad alta efficienza energetica in Islanda con particolare attenzione all'utilizzo di involucri adattivi, materiali innovativi ed energie rinnovabili.

La tesi propone l'ideazione e il dimensionamento di un edificio ad uso non residenziale in climi estremi. La fase iniziale della ricerca ha visto lo sviluppo del progetto architettonico di un centro poli-scientifico con annesse funzioni secondarie quali servizi di ristoro e aule di ricerca. Il sito di studio, definito tramite un bando internazionale di architettura, si trova affacciato sul lago Mývatn, nell'Islanda nord-orientale. Tale sito è stato oggetto di un sopralluogo estivo e di uno invernale. Durante lo svolgimento del progetto sono stati coinvolti e consultati sia professori della facoltà sia professionisti del settore.

Il centro poli-scientifico, denominato Thule, parte dai concetti di efficienza energetica e di rispetto del caratteristico ambiente naturale islandese. Esso si inserisce sulle rive del lago più famoso del Paese, circondato da un complesso di guest house per esploratori. Verso nord l'edificio si fonde completamente con il verde circostante, mentre si erge con imponenti vetrate sul lato meridionale. Questa scelta è stata dettata sia da valutazioni energetiche e illuminotecniche sia dalla volontà di separare nettamente l'ambiente pubblico da quello prettamente residenziale. Rimane sempre ben distinguibile nel paesaggio la struttura troncoconica che emerge dal terreno, destinata ad ospitare un telescopio astronomico per consentire lo studio dell'intera volta celeste. All'interno del centro poli-scientifico, un ampio ambiente espositivo su due piani si distribuisce attorno alla sfera del planetario. Il corpo ovest, illuminato maggiormente nelle tarde ore del pomeriggio, è adibito a servizio ristoro e ad aule di ricerca.

Durante la fase di definizione progettuale, sono state sviluppate specifiche analisi per poter assicurare il soddisfacimento di tutte le normative e dei più alti livelli di comfort. L'analisi urbanistica e la tecnica SWOT hanno evidenziato l'importanza e il rispetto del territorio. Le indagini preliminari hanno fatto emergere i materiali tipicamente prodotti e utilizzati in Islanda, così come le particolari metodologie costruttive. L'analisi strutturale ha permesso di dimensionare piastre in calcestruzzo armato e coperture reticolari spaziali con luci e carichi elevati. L'analisi energetica, congiuntamente a quella illuminotecnica, ha permesso di calcolare il bilancio energetico. Successivamente si è dimensionato un sistema geotermico a bassa entalpia e un parco eolico ad asse verticale di bassa potenza.

Dal punto di vista sperimentale si è inoltre sviluppata in laboratorio una matrice cementizia fibrinforzata ad altissime prestazioni, armata con reti in fibra di vetro. Il risultato di tale studio ha permesso di realizzare in scala reale pannelli sottili che possano resistere ad alti valori di sforzo e, al contempo, a lunghi cicli di gelo e disgelo. In ultimo, la particolarità del percorso solare islandese ha richiesto lo sviluppo di facciate dinamiche che permettessero un controllo della sola frazione visibile della luce incidente, lasciando inalterata la frazione infrarossa. Ciò è stato ottenuto grazie all'utilizzo di particolari cristalli liquidi termotropici, in grado di cambiare il proprio ordine molecolare in base alla temperatura a cui sono sottoposti. Il mutamento del grado di ordine comporta una variazione delle leggi ottiche di trasmissione, riflessione e diffusione per diverse lunghezze d'onda della luce incidente.

La costruzione così ottenuta consiste quindi in un complesso di oltre 2500 m², organico con il proprio contesto ed estremamente performante dal punto di vista energetico ed illuminotecnico. La fase sperimentale è stata conclusa con ottimi risultati tecnici, tanto che se ne prospetta una possibile pubblicazione scientifica. Il progetto ha riscontrato l'interesse degli studi professionali interpellati, pertanto si ipotizza una futura collaborazione basata sugli elaborati proposti.

Thule

or: Design of an energy-efficient science building in Iceland with special attention to adaptive skins, innovative materials and renewable energy.

Thule is a project investigating the design of non-residential buildings in extreme climate environments, in the north-east of Iceland. The first phase of the project focuses on defining the architectural design of a science centre and its annexed facilities as research halls and a restaurant. An international architecture competition set the location and the scenario of this project. A summer and a winter inspection on-site have been conducted to evaluate the area. A panel of professors and professionals has been involved in the design phase of this project.

The design concept of the scientific centre combines energy efficiency and respect of the surrounding nature of Iceland. Thule is located in the natural area of Mývatn, on the shore of the most famous lake of the country, consisting in a main building designated as science centre, surrounded by the guesthouses for travellers. From the North side, the building merges itself with the green grass of the countryside, while on the South side big windows rise imposing. This design choice comes from two ruling reasons: to maximize the energy and the incoming light and to clearly divide the residential area from public spaces. In the middle of the site, a truncated-cone structure arises from the ground, making itself visible from anywhere. Inside, a telescope allows the visitor to observe the night Sky. In the main building, a wide exhibition space encloses the sphere of the planetarium. The Western part of the building, hosting a restaurant and some research rooms, is characterized by a late-afternoon natural illumination.

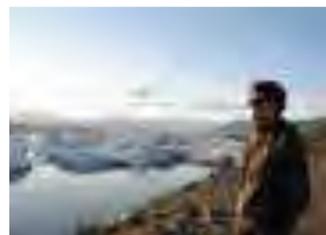
The building has been engineered through specific analysis in order to ensure the fulfilment of all the regulations and the highest standards of comfort. The urban planning and the SWOT technique highlighted the relevance of respecting the land. The introductory studies stood out the Icelandic most common materials and building techniques. The structural analysis allowed the design of a plate and a space-truss roof with high load values and span. The energy analysis, together with the light analysis, made possible to evaluate the energy consumption of the whole building. At the end, a low temperature geothermal system combined with a vertical-axes low power wind farm has been calculated.

In the experimental phase, a high-performance innovative textile reinforced concrete (TRC), reinforced with a resistant glass fibre fabric, was developed and tested. Thanks to the innovative material, it was possible to study and test new thin panels for the façade. They are able to resist under high load value and long freezing – thawing cycles. Lastly, due to the particularity of the sun path in Iceland during the year, it was necessary to design an innovative dynamic façade. The smart glass is able to convert the direct visible light into a scattered light, but it allows the infrared wavelength to come inside. The effect is obtained using a thermotropic liquid crystal dissolved in polymeric material that are able to change their molecular order as a result of a thermal change. The alteration of the inner layout entails a change in the optical laws of transmission, refraction, and scattering, for each different wavelength of the incident light.

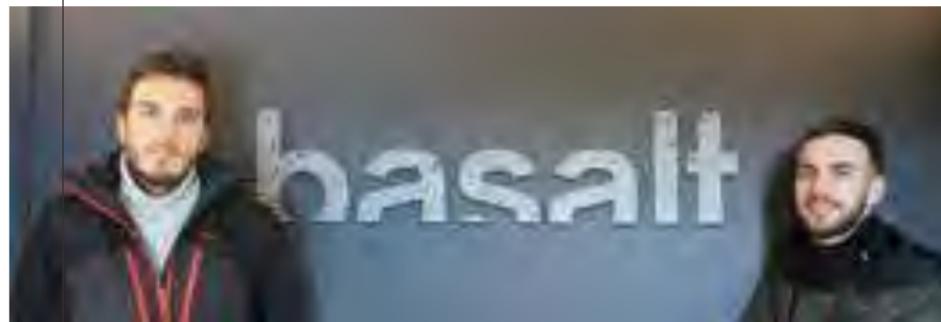
The net internal floor area of the designed building is over 2500 square meters. It is consistent with the surrounding and it is highly energy performant and light efficient. The experimental phase has been concluded with excellent technical results and promising future development. A scientific paper publication has been taken into account. The project also raised the interest of the involved professionals and a future collaboration based on this research is assumed.



Consegna concorso INLR
15/05/2018



Inizio attività di laboratorio
04/10/2018



Visita Osservatorio Astronomico Schiapparelli
07/10/2018

Sopralluogo invernale
03/02/2019

Incontro LEAPfactory
26/02/2019



12/12/2017
Assegnazione tema di Tesi

13/02/2018
Iscrizione al concorso INLR

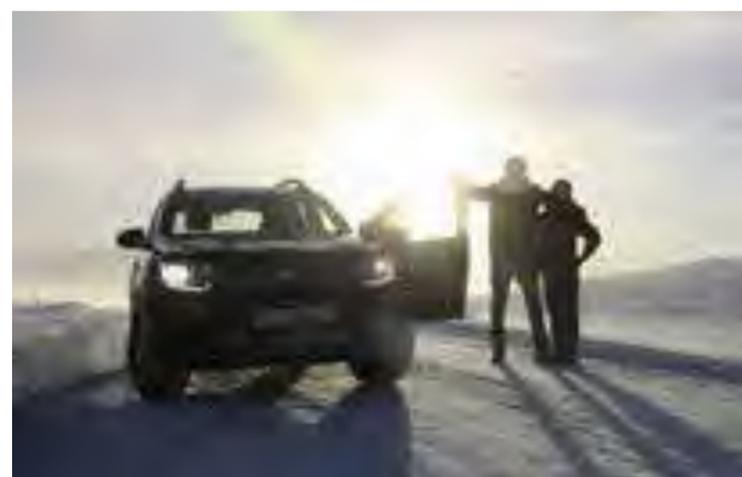
Consegna del corso di Gestione dei Progetti Complessi
13/07/2018



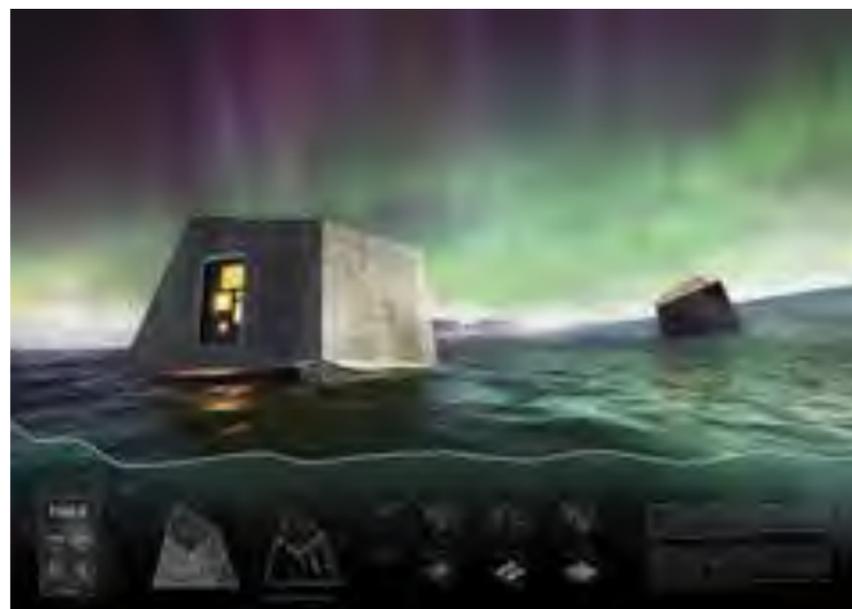
14/08/2018
Sopralluogo estivo



31/01/2018
Incontro Basalt Architects



28/03/2019
Fine attività di laboratorio



23/03/2019
Incontro Osservatorio Astronomico di Brera

INDICE

| | |
|--|-----------|
| ANALISI TERRITORIALE | 1 |
| La localizzazione geografica | 2 |
| Storia e tradizioni | 4 |
| Analisi geomorfologica | 6 |
| Il lago Mývatn | 10 |
| Punti di interesse | 16 |
| L'area di progetto | 20 |
| Il nostro sopralluogo estivo | 22 |
| Il nostro sopralluogo invernale..... | 24 |
| Le ore di luce | 28 |
| Il clima..... | 32 |
| SWOT..... | 36 |
| GESTIONE DEL PERCORSO PROGETTUALE | 39 |
| Introduzione al corso..... | 40 |
| Stakeholders | 42 |
| Obiettivi strategici e specifici..... | 46 |
| Concept..... | 52 |
| Variabili e alternative..... | 62 |
| Matrici alternative-alternative..... | 64 |
| Matrice obiettivi-alternative | 68 |
| WBS..... | 70 |
| RAM | 72 |
| Diagramma PERT..... | 74 |
| Diagramma GANTT | 76 |
| Aree di rischio..... | 80 |
| CONCORSO I.N.L.R. | 83 |
| L'iscrizione al bando di concorso | 84 |
| Collocazione e richieste del bando | 86 |
| Il lotto di progetto | 88 |
| Il progetto..... | 90 |
| Le tavole | 92 |

| | |
|--|------------|
| PROGETTO ARCHITETTONICO | 101 |
| Masterplan..... | 102 |
| Concept..... | 106 |
| Distribuzione interna | 110 |
| La progettazione di un osservatorio astronomico..... | 114 |
| La visita all'Osservatorio Schiapparelli..... | 118 |
| Rivestimenti esterni..... | 120 |
| Rivestimenti interni..... | 124 |
| STUDIO DEI PANNELLI DI RIVESTIMENTO | 137 |
| L'attività di laboratorio | 138 |
| La resistenza al gelo e disgelo | 166 |
| La modellazione ad elementi finiti..... | 170 |
| PROGETTO STRUTTURALE | 177 |
| Azioni sulle costruzioni | 178 |
| Analisi dei carichi | 180 |
| Azione sismica..... | 186 |
| Azione del vento..... | 194 |
| Azione della neve..... | 200 |
| Combinazioni delle azioni | 202 |
| Dimensionamento delle strutture | 206 |
| La reticolare spaziale di copertura..... | 220 |
| La piastra in calcestruzzo armato | 240 |
| Considerazioni geotecniche | 242 |
| Analisi sismica..... | 244 |
| La sfera geodetica del planetario..... | 252 |
| PROGETTO TECNOLOGICO | 261 |
| I materiali della tradizione | 262 |
| I materiali dell'innovazione..... | 264 |
| Le soluzioni tecnologiche | 266 |
| La disarticolazione tecnologica | 284 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| PROGETTO ENERGETICO | 287 |
| Schematic design..... | 288 |
| Le strategie energetiche..... | 290 |
| Le strategie impiantistiche..... | 296 |
| Protocollo Active House..... | 306 |
| COMFORT LUMINOSO | 309 |
| Studio illuminotecnico..... | 310 |
| IL problema dell'abbagliamento..... | 322 |
| Lo scattering..... | 324 |
| La facciata dinamica..... | 326 |
| INDICE DEI RIFERIMENTI | 335 |
| Bibliografia..... | 336 |
| Sitografia..... | 338 |
| Indice delle figure..... | 340 |
| RINGRAZIAMENTI | 344 |

ALLEGATI

01. Inquadramento Islanda
02. Inquadramento Mývatn
03. Materplan
04. Planivolumetrico
05. Pianta piano interrato
06. Pianta piano terra
07. Pianta piano primo
08. Pianta piano secondo
09. Pianta piano terzo
10. Sezione A-A'
11. Sezione B-B'
12. Sezione C-C'
13. Sezione D-D'
14. Prospetti Sud e Nord
15. Prospetti Est e Ovest
16. Pianta strutturale fondazioni
17. Pianta strutturale piano terra
18. Pianta strutturale piano primo
19. Pianta strutturale copertura
20. Piastra in calcestruzzo armato
21. Armature controvento
22. Chiusure orizzontali
23. Chiusure verticali
24. Partizioni
25. Blow-up e nodi sezione A-A'
26. Blow-up e nodi sezione B-B'
27. Blow-up e nodi sezione C-C'
28. Blow-up e nodi sezione D-D'
29. Pianta piano interrato - impianti
30. Pianta copertura - impianti
31. Schematic design estate
32. Schematic design inverno

351



ANALISI TERRITORIALE

Il progetto di tesi prevede la progettazione di un polo scientifico energeticamente efficiente nei pressi del lago Mývatn, una delle zone di maggior interesse turistico nel nord dell'Islanda, a ridosso del circolo polare artico. Esso è caratterizzato da panorami particolarmente scenografici attorno al quale si trovano molte delle attrazioni turistiche della regione.

LA LOCALIZZAZIONE GEOGRAFICA

L'Islanda è una nazione insulare dell'Europa settentrionale situata nell'Atlantico tra il Mare di Norvegia, lo stretto di Danimarca e l'oceano aperto, spingendosi dai 63° N di latitudine fino al Circolo Polare Artico. L'isola, pur distando appena 300 km dalle coste della Groenlandia e ben 900 da quelle scozzesi, per cultura, lingua, popolazione, si presenta come uno Stato dai tratti nettamente europei. Tali tratti, specificamente nordici, sono conseguenza dei suoi primi colonizzatori che provenivano dalla Scandinavia e che sino agli inizi del secolo scorso hanno mantenuto il controllo sull'Islanda. La posizione geografica di ponte tra Europa e Nordamerica e la sua peculiare economia, basata quasi esclusivamente sulle risorse ittiche, ne fanno un Paese solo parzialmente integrato con il sistema politico-economico europeo e spiegano perché l'Islanda non abbia aderito all'UE.



ISLANDA (LÝÐVELDIÐ ÍSLAND)

Superficie: 102.819 km²
Capitale: Reykjavík
Divisione amministrativa: regioni (8)
Popolazione: 338.349 abitanti (Eurostat 2017)
Lingua: islandese
Religione: protestanti (86,8%), cattolici (2,4%), altri (10,8%)
Unità monetaria: corona islandese
Indice di sviluppo umano: 0,968 (1° posto)
Confini: oceano Atlantico
Membro di: CdE, EBRD, EFTA, NATO, NC, OCDE, ONU, OSCE, WTO

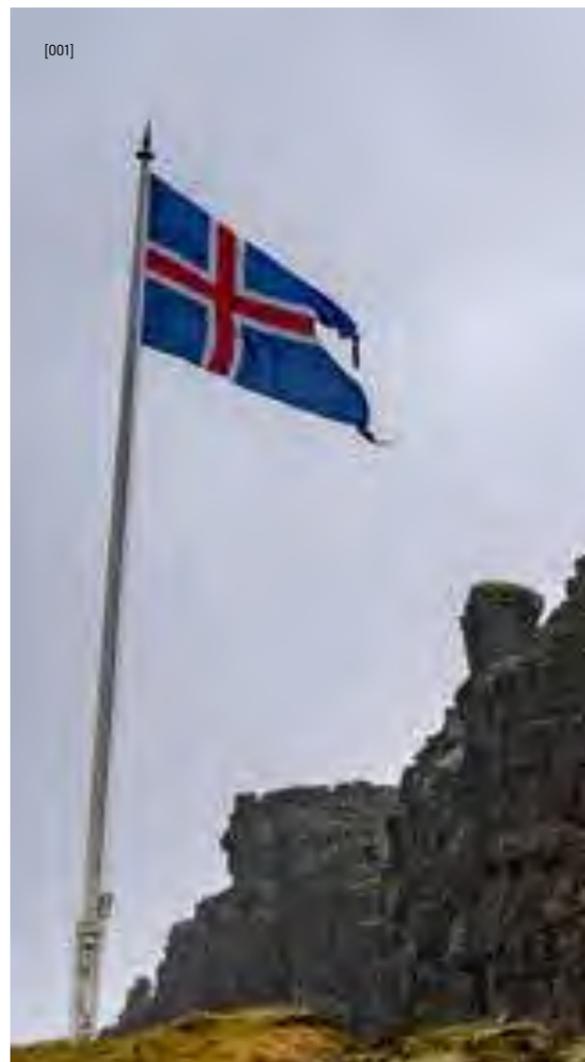
STORIA E TRADIZIONI

Data la sua posizione marginale rispetto alle principali rotte marittime, l'Islanda rimase a lungo disabitata. Solo nel sec. IX vi giunsero alcuni monaci irlandesi, seguiti da gruppi di popolazioni vichinghe norvegesi, ai quali si deve il primo stabile insediamento dell'isola. Si calcola che già agli inizi del 900 vi fossero circa 25.000 abitanti.

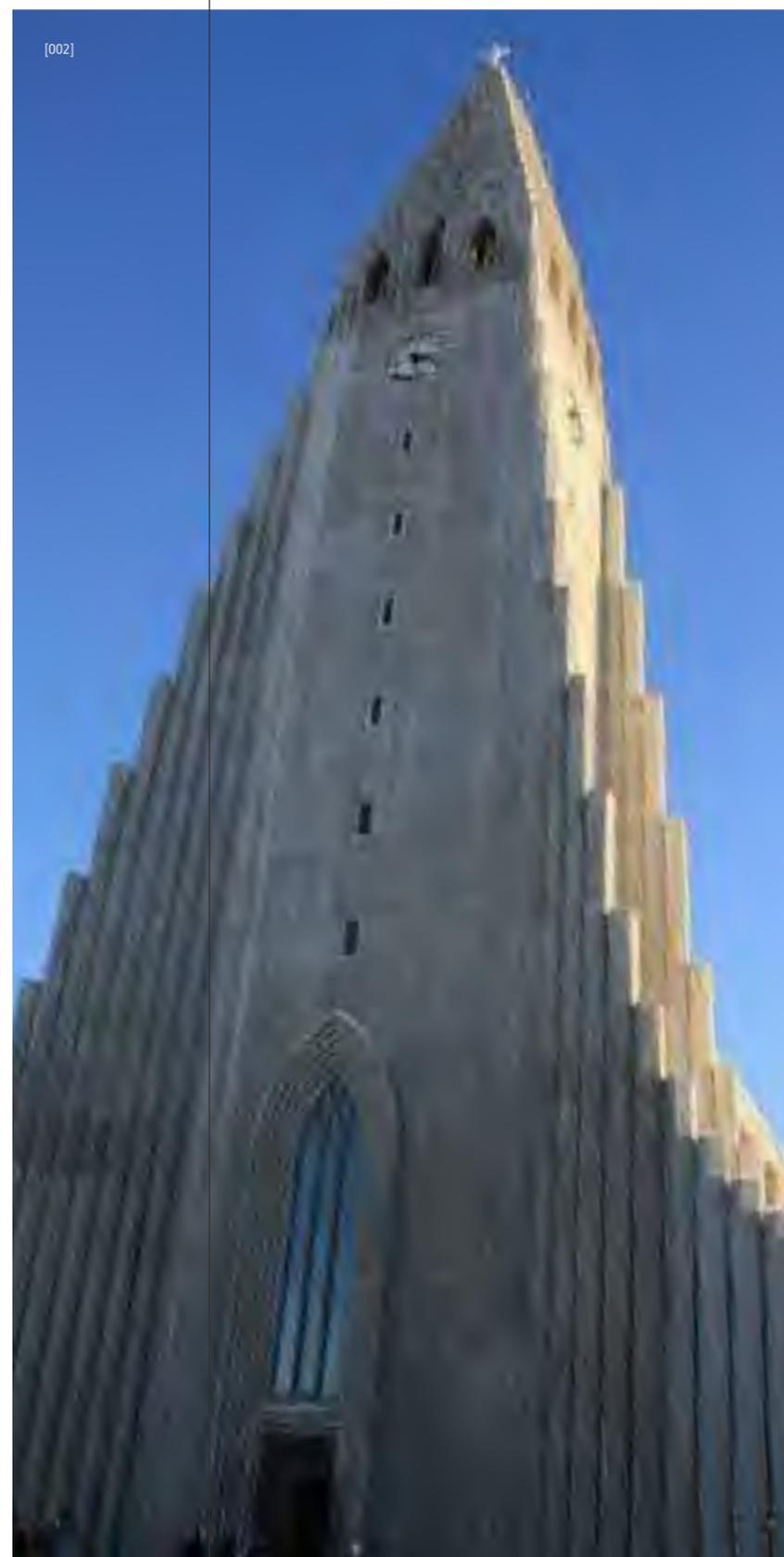
Grazie ai numerosi commerci con la Norvegia, l'Islanda godette di una certa prosperità che ne favorì l'aumento della popolazione, ma il successivo dominio danese causò un ristagno economico e demografico: alla fine del sec. XIX gli islandesi erano appena 80.000.

La conquista dell'autonomia e della piena indipendenza nel 1918 ha segnato le tappe della ripresa del Paese, passato dai 120.000 abitanti del 1930 ai 254.000 del 1989 e agli oltre 293.000 del 2004.

L'Islanda registra ad oggi una delle più basse densità di popolazione in Europa (3 ab./km²), ma il tasso di crescita annua è in continuo aumento, con un incremento naturale che si aggira intorno all'8,4‰ (2007). L'urbanizzazione è iniziata negli anni Quaranta del Novecento e ad oggi il 92% della popolazione vive nelle città. Reykjavík, con i suoi 196.564 abitanti, è l'unica vera area urbana del Paese.



[001]



[002]

L'aspro territorio islandese ha visto nascere nel corso dei secoli una cultura fiera e indipendente, fatta di allevatori e pescatori ma anche di coraggiosi guerrieri e gente operosa, giunti in un Paese giovane e da colonizzare dove ancora oggi è possibile ammirare più che le vestigia di antiche abitazioni vichinghe delle quali sono rimaste solo le fondamenta, solidi insediamenti di fattorie dal tetto di torba, trasformate ormai in musei di arti e tradizioni popolari. Gli abitanti islandesi si considerano un'unica grande famiglia e non hanno cognome, distinguendosi per il patronimico che prevede il suffisso -son (figlio) per i maschi, -dottir (figlia) per le femmine. Infatti solo il 10% della popolazione ha un vero cognome, che in genere risale all'epoca della colonizzazione.

La vita in Islanda ha ancora, in gran parte, accento patriarcale. La bassa stagione caratterizzata da lunghe notti e condizioni atmosferiche avverse hanno fatto della casa il centro naturale dell'esistenza.

La tipica abitazione islandese è una masseria circondata da uno spiazzo erboso (tūn) e il podere (jord) è delimitato da un terrapieno.

Le case moderne, generalmente rivestite di lamiera colorata, sono confortevoli e molto riscaldate o dall'acqua calda dei geysir o da grandi stufe di maiolica, e sono sparse su un territorio dove in pratica mancano collegamenti. Ogni casa è quindi attrezzatissima per garantire la sopravvivenza in caso di isolamento della stessa dalle aree limitrofe.

Da maggio a ottobre invece, quando il giorno è perenne, la vita è animatissima, specie nella capitale e nei pochi altri centri del Paese: cittadine da 2 a 10.000 abitanti circa. La gente di sera affolla i Bakarj, locali tra il caffè, il bar e il ristorante, dove si beve, si mangia, si conversa e si leggono i giornali.



[003]

ANALISI GEOMORFOLOGICA

L'Islanda è una terra relativamente giovane e soggetta a periodici cambiamenti a causa dell'attività vulcanica e sismica. Essa rappresenta infatti la parte emergente di una vasta piattaforma sottomarina formatasi nella sezione settentrionale della Dorsale Medio Atlantica, ma al contempo è una terra prevalentemente montuosa e ricoperta di ghiacciai, i più vasti d'Europa: non a caso il suo nome significa "terra dei ghiacci". Vulcanesimo e glacialismo abbinati e parimenti grandiosi sono dunque i due tratti fondamentali della geomorfologia islandese e caratterizzano i paesaggi naturali di quest'isola.

Il vulcanesimo, che si distingue per numero (oltre 200 crateri) e varietà di forme, tra cui i geyser e le sorgenti di acqua calda, rappresenta una delle principali caratteristiche e ricchezze del Paese.

I ghiacciai, dall'aspetto di enormi cupole ghiacciate, sono ancora molto estesi: occupano un'area di 13.000 km² di cui ben 8456 spettano al Vatnajökull, nel sud-est dell'isola.

Essenzialmente montuosa, l'Islanda presenta una serie di pianori, sormontati da vulcani e da calotte ghiacciate. Le coste, per lo più alte e rocciose, sono variamente articolate e spesso incise da profonde insenature, simili ai fiordi norvegesi.

La vegetazione dell'Islanda è di tipo artico europeo: muschi e licheni sono la prevalente copertura vegetale dell'Islanda settentrionale, mentre le aree erbose, i pascoli e le brughiere, importanti per l'allevamento, si concentrano lungo le coste meridionali dell'isola. La foresta, che in epoca storica ricopriva il territorio, è completamente scomparsa. Sono stati avviati, a partire dagli anni Settanta del Novecento, alcuni programmi di riforestazione con betulle, salici e abeti (0,3% della superficie), presenti nelle più riparate e temperate regioni sudoccidentali.



STATO Islanda
REGIONE Norðurland eystra
COMUNE Skútustaðir
LOCALITÀ Reykjahlíð
COORDINATE 65°39'N 16°55'W

Gli unici mammiferi indigeni sono la volpe dell'Artico, che popolava l'isola già all'epoca dei primi insediamenti umani, e l'orso polare, che dalla vicina Groenlandia saltuariamente raggiunge l'isola su banchi di ghiaccio galleggianti, creando qualche problema alla popolazione. Tra gli animali introdotti dall'esterno vi sono la renna, il visone e il topo selvatico. Sull'isola non vivono né rettili né anfibi, mentre sono ospitate ca. 100 specie di uccelli. Diverse colonie di anatre hanno il loro habitat naturale intorno al lago Mývatn, nella regione del nord-est, dove è situata l'area di progetto.

Tra i pesci di acqua dolce ci sono anguille, salmoni, trote e salmerini alpini. Le pescose acque marine sono popolate da merluzzi e aringhe.

Le comunicazioni terrestri interne sono rese difficili, in vari punti quasi impossibili, per la presenza di grandi masse glaciali; mancano totalmente le ferrovie, ma esiste una rete stradale, che effettua l'intero periplo dell'isola ed è percorsa da regolari servizi di autobus. I commerci interni, in particolare per le merci pesanti, sono principalmente svolti dalle navi, che esercitano il cabotaggio tra la capitale Reykjavík e i principali centri costieri.

Per quanto riguarda l'architettura, fin dal sec. XVI gli edifici islandesi erano costruiti in uno stile molto simile a quello scandinavo, utilizzando come materia prima il legno nonostante il suo territorio potesse garantire una grande abbondanza di roccia vulcanica. Dopo qualche secolo caratterizzato dall'assenza di segnali di cambiamento, gli anni Cinquanta videro l'avvento del design che ha introdotto linee, forme e materiali nuovi (pietra, vetro, calcestruzzo e acciaio) in campo architettonico. I più interessanti edifici, che vanno dallo stile neoclassico a quello contemporaneo, sono concentrati a Reykjavík.



IL LAGO MÝVATN

Situato nei pressi della località Reykjahlíð, nella regione di Nord-Est, il Mývatn con i suoi 37,3 km² di superficie e massimo 4,5 m di profondità è il quarto lago naturale in ordine di grandezza dell'Islanda. Si trova a circa 100 km a est di Akureyri, ad una cinquantina di km da Húsavík sulla costa settentrionale dell'Islanda.

Il lago è posizionato in un'area estremamente vulcanica e ha visto nel recente passato, dal 1975 al 1984, nove eruzioni. Sulle sponde del lago si possono ammirare strabilianti formazioni laviche create dalle colate incandescenti a contatto con l'acqua fredda che in alcune zone hanno formato strutture alte decine di metri, dette "castelli neri" per il colore della roccia lavica, oppure labirinti in cui si diramano piacevoli sentieri a contatto con questa natura estrema. In altre zone del lago vi sono formazioni laviche dette "pseudo-crateri" create da violente esplosioni della lava bollente sopra i 1000-1100 °C spinta con forza nell'acqua fredda. Queste impressionanti formazioni si distribuiscono attorno al lago e al suo interno, dando origine ad una cinquantina di isole che caratterizzano ancor di più il territorio.

Poco distante dal lago corre la faglia che divide le placche continentali d'Europa e America, la Dorsale Medio Atlantica, che da questa regione del nord attraversa tutta l'isola, proseguendo poi sul fondo dell'oceano per tutto l'Atlantico. Essa è in perenne attività allontanando Europa e America al ritmo di dieci-venti millimetri l'anno.

Tra il 1724 ed il 1729, una fase di parossismo vulcanico, che fu chiamata "il Fuoco di Mývatn", provocò la formazione di una linea di fessura lunga oltre 90 chilometri, larga dieci e profonda due.

Il Mývatn è un lago eutrofico: le sue acque sono ricchissime di nutrienti, il contenuto di fosfati è il doppio rispetto alla media mondiale delle acque di lago, ma la condizione di eutrofia, di per sé neutra, può scatenare effetti a catena che hanno ripercussioni negative sull'ecosistema. Ad esempio qui accade che la forte concentrazione di nutrienti produce eccessive fioriture algali che riducono la quantità di ossigeno nelle acque e che creano sacche di acqua deossigenata in alcune zone del lago: paradossalmente, la conseguenza dell'eccesso di nutrienti nelle acque è la scomparsa della vita. Uccelli e insetti, però, vivono nell'aria, dove di ossigeno ce n'è a sufficienza. La zona è nota per la presenza di una quindicina di specie di anatre che affollano in colonie di centinaia o addirittura migliaia di individui le acque del lago. Gli insetti si nutrono spesso delle alghe affioranti e dei prodotti della loro putrefazione e si riproducono con facilità: nel Mývatn ce ne sono milioni, soprattutto mosche e zanzare. D'altronde lo dice il nome stesso: Mývatn, significa infatti "lago degli insetti".

Il lago e le paludi che lo circondano sono un'oasi di verde ed azzurro nel mezzo dei campi di lava. Il lago infatti è qui da sempre, ma non con questa conformazione. Lo specchio d'acqua che esisteva in precedenza fu inghiottito e ricoperto da una colata lavica ed i monti a forma conica che si trovano lungo le rive ed in acqua, sono in realtà pseudocrateri, formati quando questa grande massa lavica entrò in contatto con l'acqua ed interagì con essa.



[005]



[004]

IL LAGO MÝVATN

Il lago Mývatn e la regione del fiume Laxá sono state identificate come aree protette dalla legge n. 97 del 9 giugno 2004. L'obiettivo della normativa è quello di promuovere la conservazione naturalistica secondo i principi dell'evoluzione sostenibile, di garantire la protezione della diversità biologica della regione e di proteggere le formazioni geologiche e il paesaggio, soprattutto da un punto di vista sociologico ed estetico. Le restrizioni attuali riguardano tutte le aree comprese nei 200 metri dalla sponda del lago, i fiumi, le sorgenti e alcune zone umide di forte caratterizzazione naturalistica.

Il lago Mývatn e il fiume Laxá compaiono nell'elenco delle zone umide di maggior importanza internazionale stilato dalla Convenzione di Ramsar del 2 febbraio 1971, primo vero trattato intergovernativo globale riguardante la conservazione e la gestione degli ecosistemi naturali. L'Agenzia islandese per l'ambiente è responsabile della sorveglianza delle aree protette attorno al lago e assicura che il suo particolare ecosistema non sia disturbato.



PROBLEMI AMBIENTALI

Le principali questioni ambientali nell'area del Mývatn sono legate alla produzione di energia e all'erosione del suolo. Piani per centrali elettriche di grandi dimensioni nel fiume Laxá hanno portato ad una disputa nel 1970 e alla successiva protezione legale della zona. La centrale geotermica Krafla, pur essendo l'unica fonte di energia elettrica della regione, ha un notevole impatto su un paesaggio che deve essere assolutamente preservato e protetto.

Le cause di molti fenomeni di erosione del terreno degli ultimi anni sono molto probabilmente legate all'interazione tra i cambiamenti atmosferici e l'intensa attività vulcanica nel ghiacciaio Vatnajökull, nel sud dell'Islanda.

ECONOMIA E INDUSTRIA

La pastorizia è stata la più importante fonte di sostentamento per secoli, ma anche lo sfruttamento delle risorse naturali della zona ha una lunga storia. Infatti zolfo e carbone venivano estratti in abbondanza ed esportati dalle aree termali locali, come Námafjall e le miniere di Fremrinámur, e dalle colline Jarðbaðshólar.

Oggigiorno il Mývatn è una delle destinazioni turistiche più popolari in Islanda, pertanto basa quasi esclusivamente la propria economia offrendo un'ampia varietà di servizi legati al turismo.

TRASPORTI

Gli unici collegamenti possibili per raggiungere il lago Mývatn, così come per tutto il territorio islandese, sono quelli stradali. La Hringvegur (strada 1) tocca le sue sponde a nord e a ovest, mentre la strada 848 fa il giro delle sponde rimanenti. Durante la bassa stagione, caratterizzata da nevicate molto frequenti, queste due strade principali vengono periodicamente controllate dai servizi di pulizia nazionali che ne garantiscono la percorribilità, mentre i collegamenti minori risultano pressoché inaccessibili.

Il servizio di autobus nazionale, attraverso la linea 56, permette l'accesso al luogo attraverso mezzi pubblici. Sono infatti presenti due fermate: una a sud del Mývatn e una a nord-est, nei pressi del centro urbano di Reykjahlíð.

È inoltre presente un piccolo aeroporto cittadino, utilizzato prevalentemente per servizi di soccorso aereo e per brevi voli turistici durante la stagione estiva.



PUNTI DI INTERESSE

Reykjahlöð, con i suoi 300 abitanti circa, è il principale centro abitato vicino al lago Mývatn e si incontra lungo la Hringvegur. L'attività è orientata molto al turismo, legato alle bellezze naturalistiche del lago e suoi dintorni e può essere un'ottima base logistica per esplorare l'intera Islanda nord orientale.

Krafla, un vulcano lungo le cui pendici di palagonite risaltano i pennacchi bianchi delle fumarole. Su un altipiano, poco prima della vetta, è situata la stazione geotermica di Kröflustöð, ricavata dallo sfruttamento di undici fumarole da cui riesce a generare una potenza di 60 Megawatt.

Viti, il "cratere dell'inferno", con il suo diametro di 320 metri, si formò all'inizio del Fuoco di Mývatn, nel 1724. Oggi al posto dell'inferno c'è un paesaggio contraddistinto dal cratere pieno d'acqua e da colori che ricordano un atollo, ma tutt'intorno invece del corallo c'è lava, palagonite e polvere.

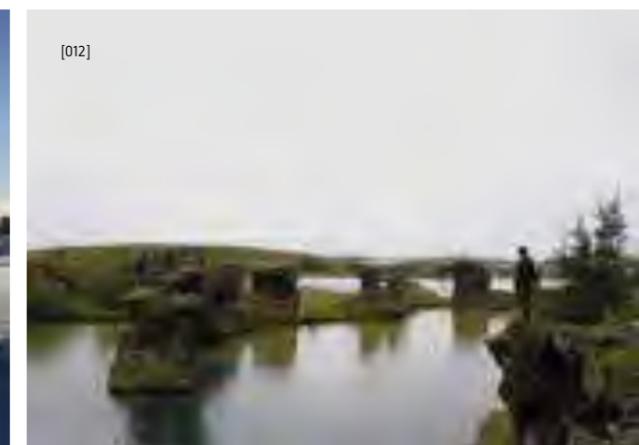
Dimmuborgir, il cui nome significa Fortezza Oscura, è un labirinto di formazioni laviche posto sulla sponda orientale del lago Mývatn. Queste si sono formate circa 2000 anni fa a seguito di un'eruzione che, a causa di uno sbarramento naturale, ha formato un lago di lava nell'omonimo bacino Dimmuborgir. Quando lo sbarramento ha ceduto, la lava fusa ha defluito verso l'esterno, lasciandosi dietro una distesa di rocce di forma simile a torri, archi e grotte.

Nella mitologia islandese, Dimmuborgir è ritenuto un luogo di connessione tra il mondo degli uomini e quello degli inferi, un luogo abitato da elfi e troll, che mette in correlazione la nostra dimensione con quelle invisibili alle persone.

Hverfjall, uno dei più belli e simmetrici crateri esistenti sulla terra: profondo circa 140 metri e con un diametro di 1000 metri, è uno dei più grandi al mondo. Questo cratere si formò 2700 anni fa durante un'apocalittica eruzione e dall'orlo del cratere si può capire bene la potenza dell'esplosione.

Hverir, pozze di fango di Hverarond, uno dei maggiori campi geotermici di zolfo e si trova a circa 6 km dal lago Mývatn. Si tratta di una vasta area di solfatare, pozze di fango ribollente dal colore grigio-blu e dall'odore acre di zolfo. La loro formazione è dovuta alle acque sotterranee che penetrano in profondità in prossimità del magma. Qui il calore le trasforma in vapore che fuoriesce in superficie a temperature prossime ai 200°C.

Hofdi, situato lungo la strada che costeggia il lago Mývatn, è uno dei pochissimi parchi d'Islanda ricchi di alberi e di altri esemplari di flora autoctona. Molto particolare proprio per questa sua unicità, presenta all'interno del bosco alcuni sentieri che portano sulla riva del lago e da qui si possono ammirare delle particolari formazioni laviche che emergono imponenti dalle acque.





01.
Reykjahlíðarkirkja
Chiesa
a 1700 m



02.
Hike&Bike
Noleggio biciclette
a 1600 m



03.
Samkaup Strax
Negozio alimentari
a 1400 m



04.
Skristofa Skútustaðahrepps
Ufficio comunale
a 1500 m



05.
Mývatnssveit Golf club
Campo da golf
a 2400 m



06.
IMS Sport Center
Centro sportivo
a 2200 m



07.
Mývatn Car Rental
Autonoleggio
a 1800 m



08.
Grjótagjá
Grotta sotterranea
a 3400 m



ANALISI TERRITORIALE

L'AREA DI PROGETTO

Il sito in cui è collocato il progetto di Tesi si trova sulla costa Nord-Est del lago Mývatn, a poche centinaia di metri dal centro abitato di Reykjahlíð e da alcune delle più importanti attrazioni locali. Esso si presenta con un'aspetto peninsulare, caratterizzato dalla presenza della strada 848 a Est e confinante con le sponde del lago negli altri lati.

Dal punto di vista altimetrico, il lotto ha un andamento collinare. La quota minima è di 272 m sul livello del mare, in corrispondenza delle acque del lago Mývatn, mentre la quota massima è circa di 288 m nel punto centrale della collina. L'unica eccezione ad una vasta distesa d'erba verde è data dalla presenza di alcuni arbusti vicino al confine orientale che, assieme ai campi lavici e alle rocce tipiche dei paesaggi locali, formano una barriera naturale continua lungo il lato strada che ne impedisce la vista diretta.

[021]



ANALISI TERRITORIALE

IL NOSTRO SOPRALLUOGO ESTIVO

Dal sopralluogo effettuato nel mese di Agosto, essenziale per comprendere la natura del luogo, è risultato evidente come la zona sia di forte attrazione turistica. Le numerose attrazioni naturalistiche presenti nell'intorno del lago creano infatti un afflusso di persone non proporzionale al limitato numero di abitanti presenti nella località di Reykjahlíð e nei dintorni.

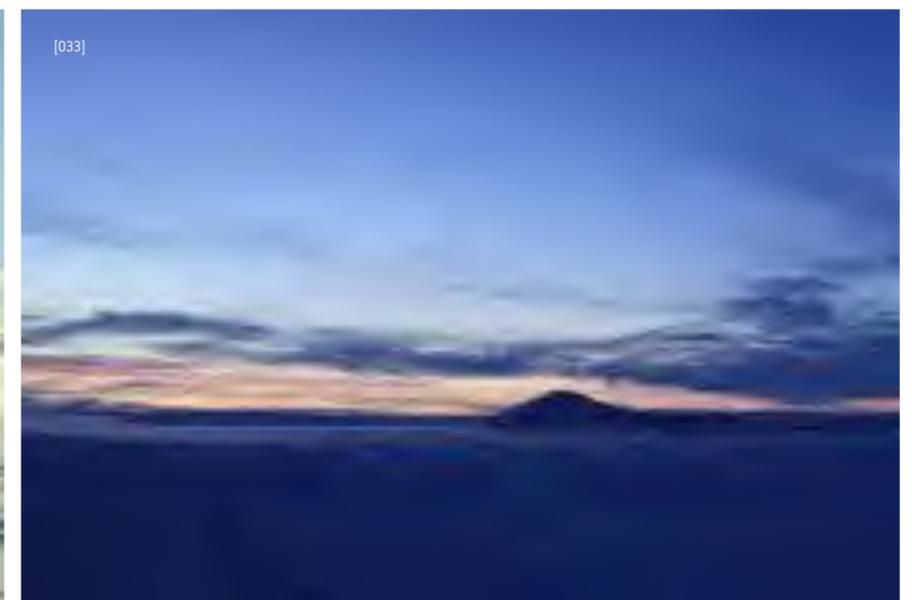
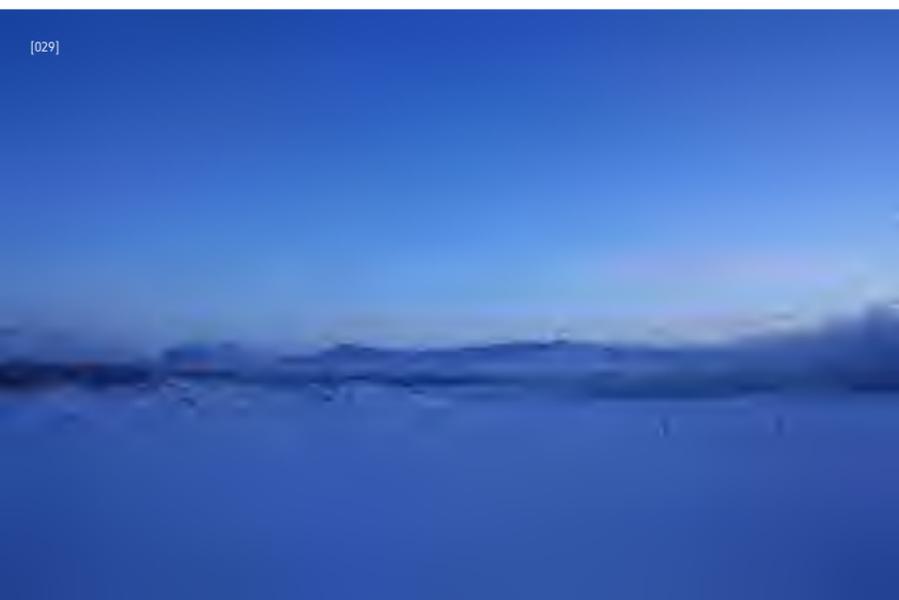
Il lotto risulta accessibile unicamente da due sentieri sterrati a ridosso della strada, uno a sud e uno a nord. Il manto erboso, come in tutto il resto del paese, è caratterizzato da zolle fortemente irregolari, non coltivato e lasciato a vegetazione spontanea. L'erba essiccata in questa stagione viene raccolta e immagazzinata in balle di fieno per il sostentamento dei numerosi allevamenti presenti in loco. Gli spettacolari orizzonti che si possono ammirare dall'area, pur essendo la giornata prevalentemente nuvolosa, denotano la mancanza di catene montuose di altezza significativa nelle immediate vicinanze. Questo porta l'area ad essere poco protetta dalle correnti e dunque soggetta a forti e frequenti raffiche di vento durante tutto l'arco dell'anno.



IL NOSTRO SOPRALLUOGO INVERNALE

Un secondo sopralluogo, nel mese di Febbraio, è stato particolarmente utile per apprendere le nette differenze che caratterizzano i due periodi dell'anno nelle regioni settentrionali dell'Islanda. Durante la bassa stagione infatti il nord dell'Islanda rimane quasi completamente abbandonato da abitanti locali e turisti, il che conferisce all'area un aspetto ancora più selvaggio e di totale immersione nella natura.

Le corte giornate con la luce del sole molto bassa e le nebbie fitte conferiscono alla zona un fascino e un'atmosfera indescrivibile, quasi da paesaggio artico. Il lago si presenta completamente ghiacciato e innevato, fatta eccezione per alcune zone in cui la corrente o le sorgenti geotermali presenti riescono a far intravedere lo specchio d'acqua. Una di queste si trova esattamente a nord dell'area di progetto e crea un leggero banco di nebbia lungo tutto l'arco della giornata. Si generano pertanto panorami molto diversificati tra loro grazie al variare della luce e dell'intensità della foschia, con continue variazioni cromatiche che si riflettono in maniera complementare sulla neve fresca, rivestendo interamente il lotto.





LE ORE DI LUCE

La luce in Islanda è una delle caratteristiche più peculiari del paese durante tutto l'anno. L'area di progetto, trovandosi appena sotto al circolo polare artico, è caratterizzata da lunghe giornate estive con molta luce e giornate brevi nei periodi invernali.

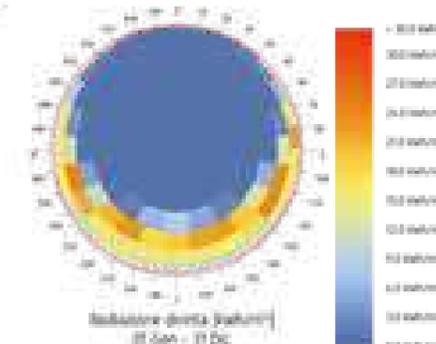
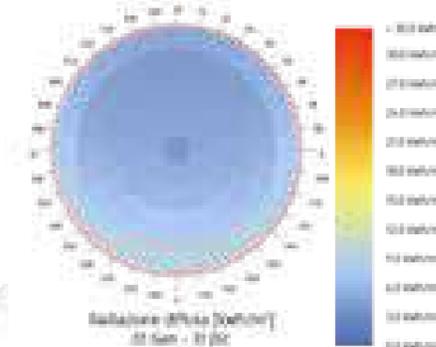
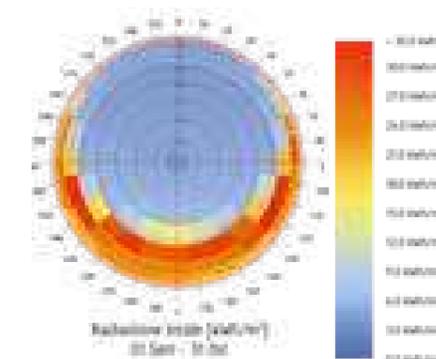
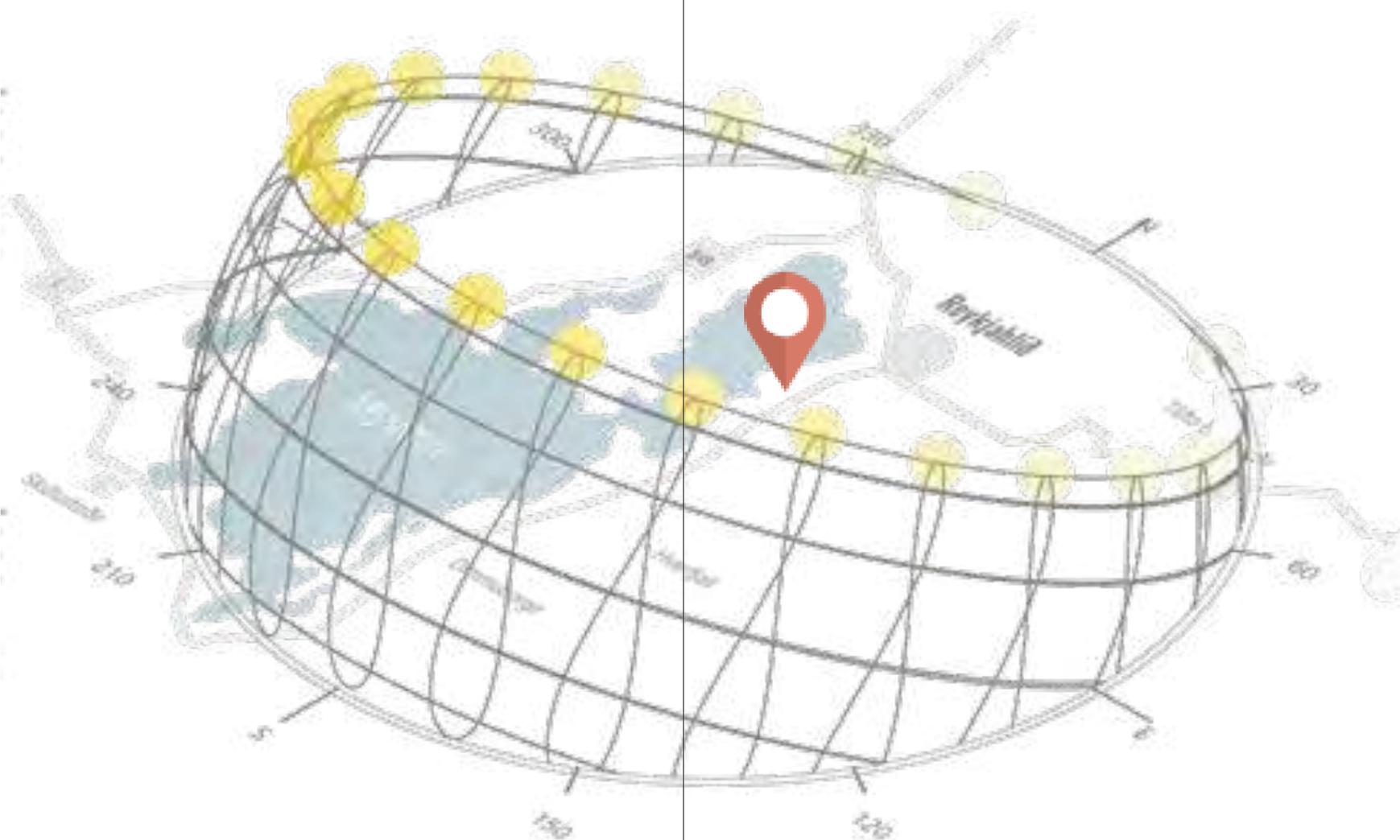
Da metà maggio a metà luglio un vero e proprio buio notturno è quasi inesistente ed in generale nei mesi estivi le lunghe giornate regalano tempo aggiuntivo per godere di questi luoghi magnifici.

Di contro, nei mesi invernali le ore di luce scarseggiano ma permettono anche di ammirare lunghe albe e tramonti che sprigionano colori e atmosfere surreali.

Le regioni del nord Islanda, più favorevoli dal punto di vista climatico ed essendo esposte verso nord, risultano le più appropriate e soddisfacenti per godere di panorami fantastici, sia d'estate che di inverno.

Alba e tramonto a Reykjavík:

| | | |
|-------------|-------|-------|
| 1 gennaio | 11:19 | 15:44 |
| 1 febbraio | 9:55 | 17:16 |
| 1 marzo | 8:21 | 18:49 |
| 1 aprile | 6:42 | 20:23 |
| 1 maggio | 5:00 | 21:52 |
| 1 giugno | 3:15 | 23:39 |
| 1 luglio | 3:06 | 23:56 |
| 1 agosto | 4:35 | 22:31 |
| 1 settembre | 6:16 | 20:36 |
| 1 ottobre | 7:37 | 18:56 |
| 1 novembre | 9:24 | 16:57 |
| 1 dicembre | 10:46 | 15:47 |



[037]

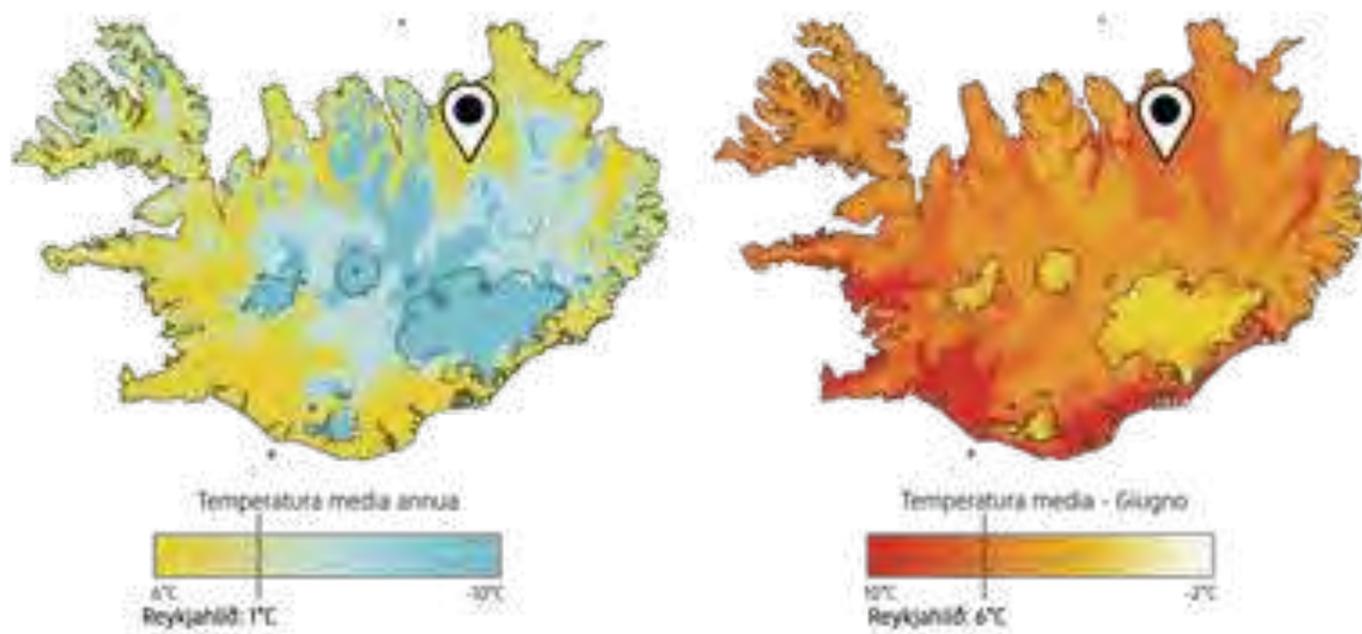


Una menzione speciale per la luce Islandese va infine al magnifico spettacolo dell'**Aurora Boreale**, che si verifica quando il vento solare investe lo strato dell'atmosfera terrestre noto come ionosfera. Questo fenomeno meraviglioso si manifesta solitamente da settembre ai primi di aprile.

Le zone attorno al lago Mývatn, presentando valori di precipitazioni annua molto bassi, sono annoverate tra le migliori mete d'Islanda da cui poter ammirare lo spettacolo delle aurore boreali con cielo privo di annvolamenti.

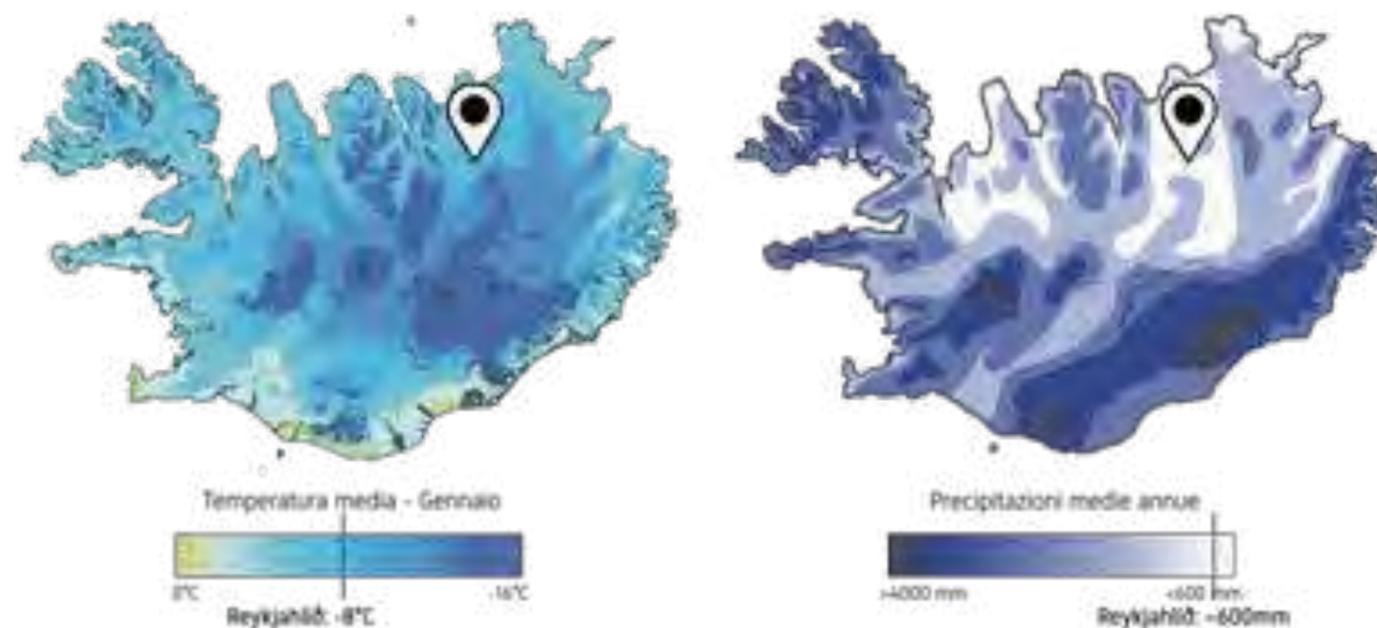
IL CLIMA

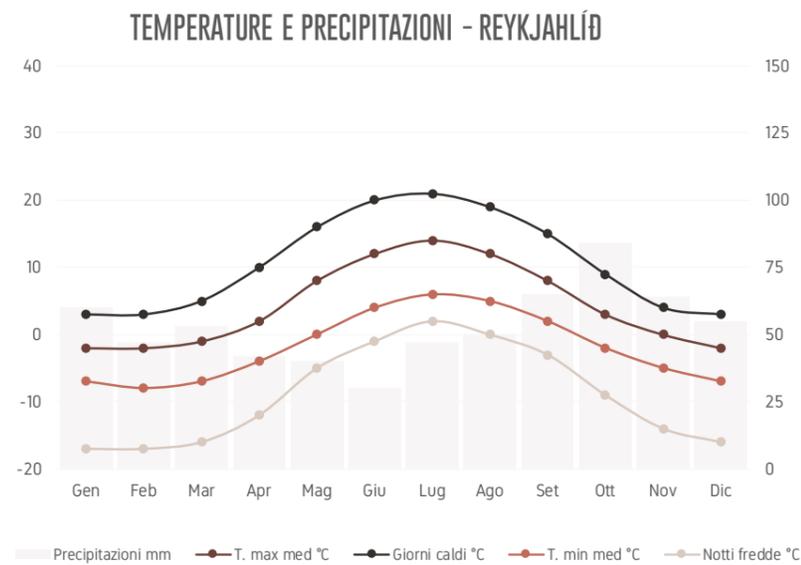
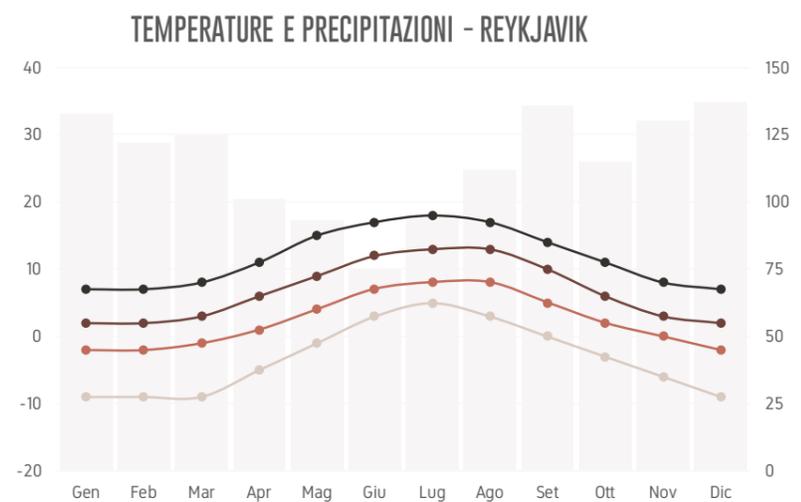
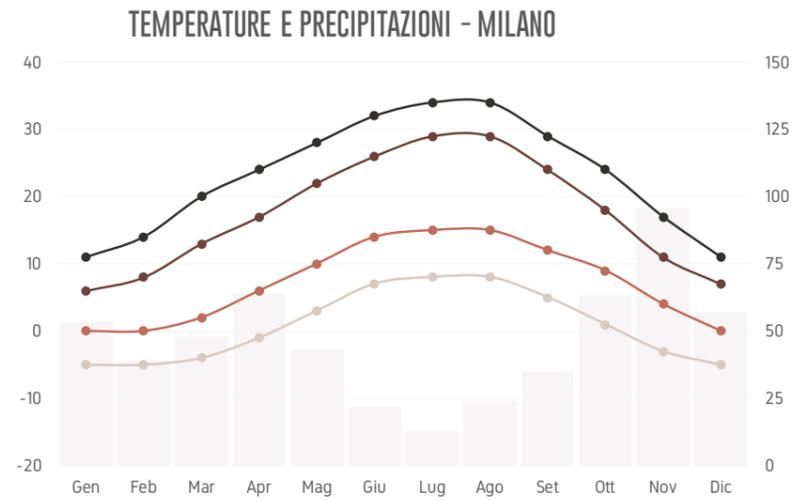
Sottoposta a influssi polari e atlantici, l'Islanda presenta un clima oceanico di tipo temperato freddo; le estati sono fresche (registrando valori medi di 10-11 °C) mentre gli inverni, a dispetto della latitudine, risultano piuttosto miti (medie attorno a 0 °C). Le influenze polari, preponderanti nel nord e nel centro del Paese, determinano in tali aree inverni più rigidi, estati molto brevi e scarse piogge (400 mm annui); per contro, nelle regioni meridionali, i venti di sud e sud-ovest mitigano le temperature e apportano copiose precipitazioni, sino a 1200 mm annui. Contribuisce ad accentuare il contrasto tra la sezione settentrionale e quella meridionale del Paese la corrente del Golfo, che con alcuni rami lambisce le coste occidentali e meridionali, innalzando le temperature invernali, ma risulta anche fonte di nebbie fitte e persistenti.



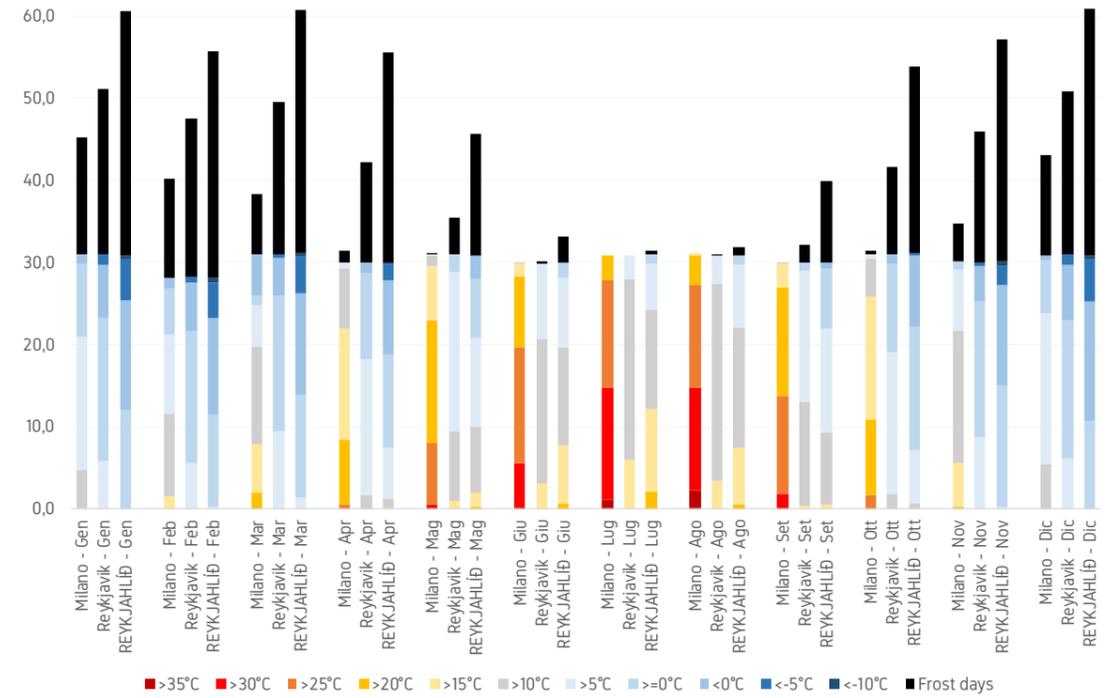
L'area di progetto, situata nel nord-est dell'isola presenta condizioni climatiche non così estreme come in altre zone a latitudini simili. Le temperature minime invernali a Reykjavík arrivano a valori di -2°C di massima e -8°C di minima nel mese di febbraio. In estate invece, le temperature sono decisamente basse. Si raggiungono a luglio temperature che oscillano tra i +6°C e i 14°C di minima e massima.

Anche le precipitazioni presentano valori abbastanza singolari rispetto al resto della superficie nazionale. La località in cui è collocato il lotto di progetto presenta infatti valori di precipitazioni annua di circa 600mm, molto inferiori rispetto a quelli nel sud del Paese





CONFRONTO TEMPERATURE



Nei grafici a lato si riporta un confronto tra le città di Milano, città italiana di riferimento, Reykjavík, capitale e simbolo dell'Islanda e Reykjavík, località più vicina al sito di progetto.

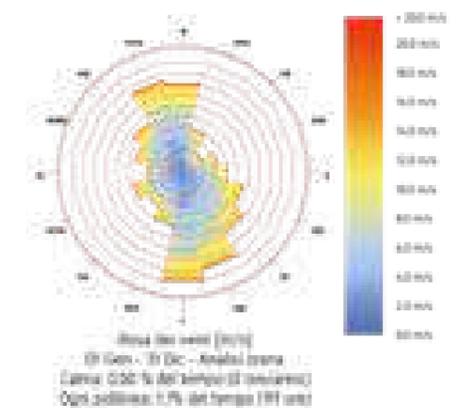
Come si può vedere anche dal confronto delle temperature qui sopra, i dati statistici confermano quanto detto nelle pagine precedenti, con le temperature che a Reykjavík tendono a raggiungere anche valori di -20°C nelle stagioni più fredde e indici di piovosità molto più simili a quelli del nord Italia che non al resto del paese.

È di particolare interesse anche la distribuzione del vento sul sito. Tali valori sono stati ricavati dal file climatico fornito dalla società MeteoNorm per la cittadina di Reykjavík.

Di fianco, si riporta il grafico della distribuzione del vento per ogni direzione cartesiana e suddivisa in 16 intervalli. Ogni polilinea rappresenta il raggiungimento della quota di 99 ore all'anno (1.1% del tempo), mentre la legenda raffigura l'intensità dell'aria spirante. La calma è calcolata come 0 ore all'anno.

La rosa dei venti mostra come la direzione prevalente del vento sia da sud verso nord, in parte spostata verso est. Anche la direzione opposta è molto significativa, e più concorde con la vicinanza del sito al mare. Si può quindi concludere che il vento soffi prevalentemente sull'asse Nord-Sud.

In seguito, si farà riferimento a tali dati per il dimensionamento del mini parco eolico.



S

STRENGTHS

Assenza di competitor locali
 Zona a forte attrazione turistica
 Collegamento diretto alla rete stradale
 Cielo prevalentemente sereno
 Sfruttamento energia geotermica

W

WEAKNESS

Distanza dai grandi centri abitati
 Accessibilità complessiva limitata
 Mesi di quasi totale isolamento
 Condizioni climatiche sfavorevoli

O

OPPORTUNITIES

Cambiamento climatico - caldo
 Paese in forte crescita demografica
 Inquinamento luminoso nullo
 Possibile riuso di materiali locali

T

THREATS

Cambiamento climatico - nuvolosità
 Possibili calamità naturali
 Vicinanza sponde del lago Mývatn
 Vicinanza centro abitato in espansione
 Impatto ambientale di un cantiere edile

GESTIONE DEL PERCORSO PROGETTUALE

La definizione architettonica dell'edificio ha visto una prima fase di analisi della metodologia progettuale riguardo i possibili stakeholders, gli obiettivi strategici e specifici e il concept gestionale di progetto. Si sono infine analizzate le variabili e le possibili alternative in gioco, ricorrendo all'utilizzo di matrici, WBS, RAM, diagrammi PERT e GANTT.

INTRODUZIONE AL CORSO

Il lavoro svolto durante il corso di Gestione dei Progetti Complessi con i Professori Matteo Ruta e Alessandro Sala è risultato particolarmente utile per affrontare nella maniera più corretta la pianificazione del progetto di tesi.

Sono stati prodotti diversi elaborati che hanno permesso di valutare e comprendere l'organizzazione e la programmazione che un Project Manager regola al principio di ogni attività progettuale. Questi hanno portato a considerare, inoltre, le difficoltà che poteva presentare la gestione delle risorse e tutte le incognite che hanno una possibile ricaduta sulla terna riguardante costo, qualità e tempo.

L'individuazione degli stakeholders e la ricerca di un contesto progettuale verosimile e attuabile in maniera concreta è stato sicuramente il punto di svolta di questa indagine, in quanto ci si è resi conto delle necessità di avere una relazione diretta con tutte le figure coinvolte non solo nella fase di progettazione, ma anche e soprattutto con chi dovrà interfacciarsi con il progetto durante il suo funzionamento a regime.

Una volta definite le dinamiche presenti tra i diversi soggetti, infatti, si riescono ad inquadrare maggiormente le difficoltà che interessano l'ambito lavorativo del progettista e soprattutto a dare delle indicazioni mirate sui metodi di risoluzione.

L'analisi degli obiettivi, delle variabili e delle alternative è stata sviluppata parallelamente alla partecipazione del concorso internazionale I.N.L.R. (Iceland Northern Lights Rooms) che ha fatto da scenario per questo corso e che sarà approfondito nei capitoli successivi. La contemporaneità delle due attività ci ha permesso di effettuare scelte architettoniche più accurate e mirate e che seguono una logica ben precisa, così da realizzare un progetto che fosse consono con gli obiettivi che ci eravamo prefissati. Di fatto, possiamo dire che si è trattato della concretizzazione di tutti gli studi e le analisi effettuate durante il corso permettendoci non solo di immaginare le scelte che stavamo effettuando ma di vederle effettivamente realizzate.



STAKEHOLDERS

Gli Stakeholders, ossia i portatori di interesse, sono tutte quelle figure che, direttamente o indirettamente, sono coinvolte nel processo di realizzazione del progetto. Essi rappresentano dei vincoli nella progettazione in quanto dalle loro esigenze, dai loro obiettivi e dal conseguente loro soddisfacimento dipende il successo o l'insuccesso del progetto.

Operativamente si è proceduto in un primo momento con la suddivisione dell'opera in tre fasi:

- fase di progettazione
- fase di realizzazione
- fase di esercizio

In seguito, sono stati individuati tutti gli stakeholders associati temporalmente alle differenti fasi. Sono stati inseriti all'interno di un diagramma che presenta sulle ascisse l'influenza e sulle ordinate l'interesse in modo tale da verificare quali tra di essi sono quelli maggiormente influenti o portatori di interesse e conseguentemente a quali verrà dato maggiore o minore peso. Questa fase è utile per indirizzare il progettista sulla giusta strada, fornendo le indicazioni per le future scelte da intraprendere in modo tale da soddisfare, per quanto possibile, le aspettative e le esigenze degli interessati.



Entrando nel particolare dell'individuazione degli stakeholders, nella prima fase, quella di progettazione, troviamo:

- il team di progetto, che ricopre un ruolo importante sia a livello di influenza che di interesse in quanto attore diretto nella progettazione con alto potere decisionale a livello di scelte architettoniche, tecnologiche e prestazionali.
- I committenti, che in questo caso coincidono con i finanziatori del progetto, sono rappresentati da una famiglia, proprietaria del lotto. Anche in questo caso si tratta di una figura di elevato peso in quanto in assenza dei finanziatori un progetto non si può realizzare.
- Le associazioni partner che comprendono: il Politecnico di Milano, l'università che sostiene economicamente il team di progetto; Bee Breeders, ossia l'organizzazione ideatrice del bando di concorso INLR che dà indicazioni sugli indirizzi di progetto; Le associazioni locali che sponsorizzano le attività del luogo e che offrono spunti al team di progettazione nelle scelte.



PROGETTAZIONE

ESECUZIONE

ESERCIZIO



La seconda fase è quella di realizzazione del progetto in cui, oltre alle figure sopra citate che rimangono attive, se ne aggiungono delle nuove:

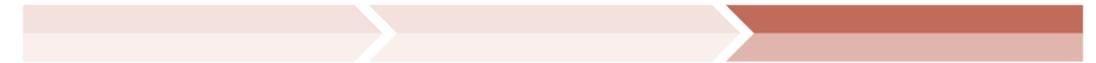
- Le imprese di costruzione e quelle di trasporto e smaltimento che ricopriranno un ruolo attivo in fase operativa.
- La comunità locale che sarà interessata indirettamente durante la realizzazione del progetto in cantiere (movimento di mezzi, rumori di cantiere, ecc.)
- La parte legale per le verifiche e i controlli in cantiere e per l'eventuale risoluzione di eventi che ne richiedano la presenza.



PROGETTAZIONE

ESECUZIONE

ESERCIZIO



L'ultima fase è quella di esercizio in cui il progetto è ultimato e può quindi entrare in funzione. In questo caso non saranno più presenti figure come il team di progetto, il Politecnico di Milano, le imprese e gli organizzatori del concorso Bee Breeders che hanno terminato i loro compiti. Subentreranno:

- Gli impiegati che si possono suddividere in gestori e dipendenti e che troveranno lavoro all'interno delle nuove funzioni pubbliche realizzate.
- I fruitori (ospiti e turisti) che una volta terminato il progetto visiteranno l'area per usufruire delle funzioni pubbliche o per alloggiare nel nuovo complesso di casette per godere dello spettacolo delle aurore.



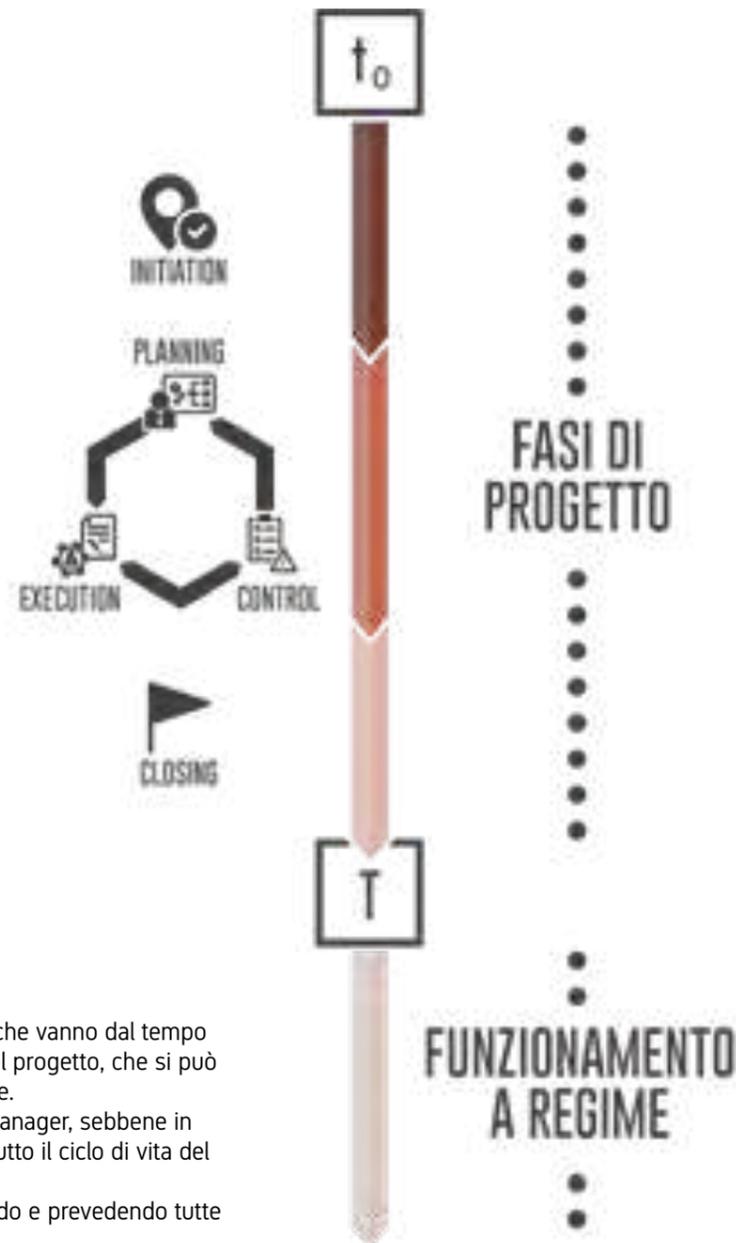
OBIETTIVI STRATEGICI E SPECIFICI

La fase dell'initiation è quella che porta il progettista ad identificare le esigenze e verificare la reale fattibilità del progetto.

La fase di planning consiste nell'identificazione dei requisiti di progetto e delle tempistiche. Risulta sempre connessa con le fasi di execution e control, atte a identificare e misurare rischi e potenziali problemi, per poter rimettere il progetto in linea con i propri obiettivi.

La fase di closing formalizza i risultati emersi e conclude tutte le attività, al fine di garantire la corretta realizzazione dell'output di progetto.

A conclusione delle diverse fasi di progettazione, che vanno dal tempo t_0 al tempo T, inizia il vero e proprio ciclo di vita del progetto, che si può definire come il periodo di funzionamento a regime. Questa fase non è più responsabilità del Project Manager, sebbene in fase progettuale si tenga in forte considerazione tutto il ciclo di vita del prodotto. Egli deve quindi lavorare in feedforward, anticipando e prevedendo tutte le possibili esigenze per il futuro.



I principali obiettivi del progetto sono conseguenti alle esigenze degli stakeholders. Sono state ipotizzate quelle che potrebbero essere le richieste degli individui e degli enti che partecipano al progetto, in particolare si è andati ad individuare per ognuna delle figure coinvolte nella progettazione quelli che sono i loro obiettivi strategici o di continuità, al fine di determinare obiettivi specifici per ciascuno di essi.

Ciò significa trovare una ricaduta dal punto di vista progettuale delle necessità dei vari stakeholders, ossia di quegli aspetti che possono avere rilevanza per le scelte da effettuare in fase di progettazione. Gli obiettivi specifici rappresentano le strategie che il progettista intende attuare al fine di soddisfare le necessità degli stakeholders. Essi devono essere ben definiti e quantificabili in quanto, alla fine della fase di progettazione, se soddisfatti, rappresentano una garanzia della buona riuscita del progetto.

Una volta comprese le logiche di funzionamento di un progetto, la figura del Project Manager assume un ruolo ancora più importante, in quanto garante del soddisfacimento di obiettivi prefissati inerenti alla fase di funzionamento a regime (obiettivi strategici) attraverso decisioni precedenti, frutto delle analisi iniziali (obiettivi specifici).

Nelle pagine seguenti verranno elencati gli obiettivi di continuità dei vari stakeholders e i relativi obiettivi specifici, identificati attraverso le precise caratteristiche date dall'acronimo SMART, ovvero Specifici, Misurabili, Attribuibili, Realistici e legati al Tempo.

COMMITTENTI E FINANZIATORI

| OBIETTIVI STRATEGICI | OBIETTIVI SPECIFICI |
|--|---|
| Avere una nuova residenza personale ad uso familiare | Realizzazione di un edificio residenziale privato certificato per efficienza energetica e comfort |
| Espansione proprietà tramite nuovi edifici ricettivi | Realizzazione di alloggi per turisti all'interno del lotto di proprietà certificati per efficienza energetica e comfort |
| Guadagno economico dato dagli affitti dei nuovi alloggi | Adottare soluzioni tecnologiche che permettano l'affitto degli alloggi ad un prezzo competitivo per il mercato locale |
| Spese contenute | Realizzazione di edifici che comportino costi ridotti durante il loro ciclo di vita |
| Evitare eccessivi cambiamenti nella morfologia del terreno | Adottare soluzioni reversibili con impronta a terra contenuta |



BEE BREEDERS

| OBIETTIVI STRATEGICI | OBIETTIVI SPECIFICI |
|--|--|
| Realizzazione di guest house mobili con vista sulle aurore boreali | Realizzazione di alloggi per turisti dotati di camere da letto mobili con ampie aperture vetrate sopra i 2m, certificati per efficienza energetica e comfort |
| Realizzazione residenza permanente per i gestori | Realizzazione di un edificio residenziale privato certificato per efficienza energetica e comfort |
| Realizzazione spazi accessori ad uso pubblico | Creazione di spazi di funzione non ricettiva e servizi che garantiscano la fruibilità da parte di 100 persone |
| Rispetto delle direttive per la realizzazione di edifici ad alta efficienza energetica | Ottenere una certificazione energetica per edifici sostenibili che non eccedano i 15 kWh/m ² a |



Comunità di
Skútustaðir

| OBIETTIVI STRATEGICI | OBIETTIVI SPECIFICI |
|---|---|
| Rispetto dei regolamenti edilizi locali riguardo alla sicurezza | Garantire strutture che rispettino le normative antisismiche e di sicurezza |
| Tutela del paesaggio | Utilizzo di materiali e tecnologie a basso impatto ambientale |
| Garantire una crescita economica del territorio comunale | Creazione di spazi di interesse pubblico e servizi che garantiscano la fruibilità da parte di 100 persone |



| OBIETTIVI STRATEGICI | OBIETTIVI SPECIFICI |
|--|---|
| Aumentare l'appeal turistico della regione | Creazione di spazi di interesse pubblico e servizi che garantiscano la fruibilità da parte di 100 persone |

CONCEPT



Una volta individuati i principali stakeholders e a seguito i loro obiettivi e vincoli che pongono al progettista, è risultato necessario ricercare un concept che racchiudesse al suo interno tutte le caratteristiche che necessariamente dovranno essere presenti all'interno del progetto per renderlo efficace e funzionale. Il concept deve quindi essere una guida, un punto di riferimento per il progettista, che dovrà accompagnare il progetto lungo tutte le fasi decisionali.

Nel caso del progetto in questione, sono stati analizzati i principali obiettivi da conseguire e da questi è stata intrapresa una ricerca di parole chiave che potessero fare da guida per il progetto. Le parole trovate sono poi state raggruppate in un unico simbolo tipico della tradizione islandese: il Vegvisir.



Questo sigillo runico, che veniva tracciato per non perdere la strada e sapersi orientare anche nel cattivo tempo, viene da noi reinterpretato come guida per la più corretta e, in generale, migliore realizzazione del progetto. Sono stati così sostituiti i bracci runici del Vegvisir con le parole chiave, in modo tale da segnare un tracciato fisso da seguire.

Le otto parole sono state estrapolate anche da aforismi riguardanti la vera protagonista del progetto, ovvero la Natura vista in tutte le sue parti. Infatti il Vegvisir può anche stare ad indicare il mezzo di collegamento tra l'uomo e il contesto paesaggistico in cui si colloca, andando ad aiutare il progettista e tutti gli utenti coinvolti nelle scelte preliminari, consapevoli del fatto che le bellezze naturalistiche presenti sono il vero vincolo da conservare e rispettare.

S
I
C
U
R
V E G V I S I R
Z
Z
A

SICUREZZA

L'Islanda è un paese dal forte rischio sismico in quanto attraversata dalla dorsale medio atlantica che caratterizza l'intera isola con una grande quantità di vulcani. Per questo motivo bisognerà prestare molta attenzione, in fase progettuale, alla stabilità delle strutture e alla sicurezza degli edifici.

S
I
C
U
R
V E G V I S I R
Z
Z
A
I
N
V
I
O
L
A
T
A

INVOLATA

in quanto il lotto di progetto, ma più in generale l'Islanda, presentano vasti ambienti naturali lasciati allo stato selvaggio e poco intaccati dall'intervento antropico; pertanto il progetto in questione dovrà impattare il meno possibile sull'ambiente naturale del luogo sfruttando soluzioni tecnologiche leggere e materiali il più possibile naturali, lasciando così la natura inviolata.

La natura si mostra mediante tutte le sue opere
e rimane pur sempre impenetrabile, **inviolata**,
indecifrata nella sua essenza

Henri-Frédéric Amiel

S
I
C
U
R
I
N
A
V
E
G
V
I
S
I
R
Z
I
M
Z
O
O
A
L
N
A
T
I
A
T
A

ARMONIA

dal momento in cui, come detto, il lotto di progetto è caratterizzato da una vasta distesa naturale composta da prati e dal grande lago Mývatn, il nuovo intervento dovrà inserirsi nel contesto in maniera leggera, creando una condizione di armonia tra l'edificato e la natura.

S
I
C
U
R
I
N
O
S
A
V
E
G
V
I
S
I
R
Z
I
E
M
Z
O
R
O
A
L
V
N
A
T
A
R
E
A
E

OSSERVARE

una delle azioni principali su cui si fonda il progetto, in quanto, come accennato nel capitolo introduttivo, le guest houses che verranno realizzate dovranno essere allo stesso tempo dei piccoli osservatori per garantire la vista sullo spettacolo delle aurore boreali, uno dei fenomeni più suggestivi ai quali si può assistere in natura.

Niente mi rende così felice come **osservare** la natura dipingere quello che vedo

Henri Rousseau

S
 I
 C
 N U I O
 O R N S A
 V E G V I S I R
 I Z I E M
 T Z O R O
 À A L V N
 A A I
 T R A
 A E

NOVITÀ

in quanto essendo un progetto di nuova realizzazione dovrà essere anche innovativo dal punto di vista delle scelte tecnologiche. Bisognerà difatti puntare su pacchetti costruttivi prestanti e un uso dei materiali intelligente per ottenere degli edifici che garantiscano un alto grado di comfort e un'alta efficienza dal punto di vista energetico.

S
 I
 L
 E
 N
 Z
 I
 O
 N U I N O
 O R N Z S A
 V E G V I S I R
 I Z I O E M
 T Z O R O
 À A L V N
 A A I
 T R A
 A E

SILENZIO

poiché essendo la natura con le sue viste e i suoi paesaggi il vero protagonista del progetto, bisognerà fare in modo che le funzioni realizzate nell'area non siano "rumorose" e che la scelta della soluzione per il movimento delle cassette risulti anch'essa silenziosa, in modo tale lasciare al centro i suoni della natura.

In natura tutto parla, nonostante il suo apparente
silenzio

Hazrat Inayat Khan

S I
 I E L
 C N E
 N U E I N O
 O R R N Z S A
V E G V I S I R
 I Z I I O E M
 T Z A O R O
 À A L V N
 A A I
 T R A
 A E

ENERGIA

essendo l'efficienza energetica uno dei punti chiave del progetto, bisognerà trovare le soluzioni migliori per garantirla, sfruttando fonti energetiche rinnovabili come ad esempio il geotermico, molto diffuso in Islanda a causa della sua favorevole conformazione geologica, il fotovoltaico, il solare termico o altre ancora.

S I
 I E L C
 C N E A
 N U E I N O M
 O R R N Z S M A
V E G V I S I R
 I Z I I O E N M
 T Z A O R O O
 À A L V N
 A A I
 T R A
 A E

CAMMINO

inteso sia come cammino fisico delle casette, in quanto uno dei requisiti richiesti dal bando è che siano mobili, sia come cammino introspettivo dell'uomo, che attraverso i sensi, quello della vista in particolare, entrerà in contatto con la natura, trovando nel nuovo progetto un luogo in cui entrare in simbiosi col paesaggio.

Che gran paternità quella degli alberi, che
 fanno dare a ciascuno dei loro rami un
cammino verso la luce

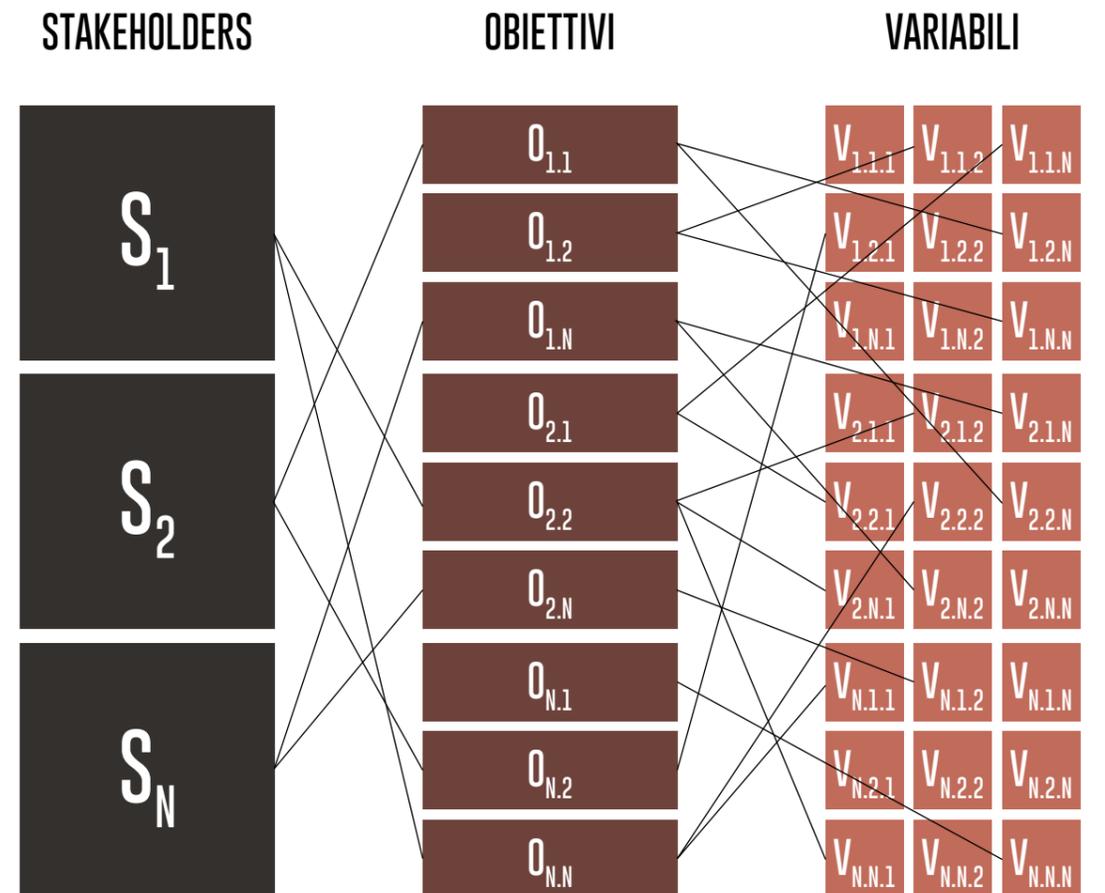
Lorenzo Oliván

VARIABILI E ALTERNATIVE

Dopo aver definito gli obiettivi specifici del team di progetto, si passa all'individuazione e all'analisi delle variabili decisionali e delle relative alternative.

Le variabili rappresentano il modo in cui si può raggiungere un dato obiettivo specifico; in altre parole consistono nelle decisioni che il progettista dovrà affrontare per il soddisfacimento di un dato obiettivo. Le alternative invece rappresentano delle scelte parametriche associate alle rispettive variabili e, come dice la parola stessa, la preferenza di una di esse esclude tutte le altre. La scelta delle alternative porterà in seguito alla definizione degli elementi guida che non potranno mancare all'interno del progetto.

Accade talvolta che, per un determinato stakeholder, alcuni obiettivi strategici non abbiano una diretta ricaduta progettuale o che più obiettivi strategici, anche riferiti a differenti stakeholder, ricadano in un unico obiettivo specifico. Allo stesso modo alcuni obiettivi possono presentare le medesime variabili e alternative, come riportato nello schema concettuale della pagina a fianco.



MATRICI ALTERNATIVE-ALTERNATIVE

Individuate le variabili e le alternative di progetto, bisogna ora capire quali di esse rappresentano la migliore soluzione al fine del raggiungimento degli obiettivi prefissati. Bisognerà pertanto, in primo luogo, verificare la compatibilità delle varie alternative. Per fare ciò viene creata una matrice per metterle a confronto le une con le altre e verificare il grado di compatibilità.

Nel caso specifico del progetto si è optato per una suddivisione degli edifici da realizzare in tre blocchi in base alla funzione per agevolare il confronto tra le alternative ed evitare di avere situazioni di incompatibilità in casi in cui le alternative si riferissero ad edifici differenti.

Sono state quindi realizzate tre matrici alternative-alternative, consultabili negli allegati e di cui verranno riportati degli stralci esemplificativi: una per le guest houses, una per la host house e una per gli edifici con funzioni pubbliche. Nelle matrici verrà indicato col colore verde quando due alternative risultano compatibili tra di loro, col rosso nel caso in cui ci sia una situazione di incompatibilità e col colore grigio nel caso in cui la scelta di un'alternativa risultasse indifferente per l'altra. Ovviamente non sono state messe a confronto le alternative delle medesime variabili e nel caso in cui, alcune alternative, risultassero indifferenti a tutte le altre, si è deciso di non mostrarle nella matrice.

HOSTHOUSE

| Realizzazione di edifici che comportino costi ridotti durante il loro ciclo di vita | | Realizzazione di un edificio residenziale privato certificato per efficienza energetica e comfort | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|---|------------------|-------|------------------------------------|--------------|--------------|---|-----------------|------------------|-------|--|
| | | V11 | | | V12 | | | V13 | | | | |
| | | Tecnologie d'involucro opache | | | Tecnologie d'involucro trasparenti | | | Comportamento rispetto all'ambiente esterno | | | | |
| | | Sistemi massivi | Sistemi elastici | Misto | Vetro singolo | Vetro doppio | Vetro triplo | Totamente ermetico | Dinamico attivo | Dinamico passivo | Misto | |
| V04 | Qualità dei materiali | Pregiati ad alte prestazioni | | | | | | | | | | |
| | | Comuni a basse prestazioni | | | | | | | | | | |
| | | Misto | | | | | | | | | | |
| V05 | Modalità di costruzione | A secco (veloce) | | | | | | | | | | |
| | | A umido (lenta) | | | | | | | | | | |
| | | Misto | | | | | | | | | | |

Entrando nel merito della host house, per esempio, tra le varie alternative, quelle che rispondevano meglio ai requisiti di compatibilità e di efficienza sono la scelta di materiali pregiati ad alte prestazioni che comportano un alto costo iniziale ma un risparmio nel tempo a livello energetico e di manutenzione; la modalità di costruzione a secco con tipologia strutturale a telaio; la scelta di non prevedere spazi interrati e di sfruttare il geotermico come fonte di energia principale.

GUESTHOUSE

| Realizzazione di edifici che comportino costi ridotti durante il loro ciclo di vita | | V02 | | V03 | | Realizzazione di alloggi per turisti certificati per efficienza energetica e comfort | | | Realizzazione di alloggi per turisti dotati di camere da letto spostabili | | | | | | | | | |
|---|------------------------|-----|--|-----|--|--|------------------|-------|---|---------|--------|---------------------------|----------|--------------|------------------------------|------------------|--|--|
| | | | | | | V11 | | | V19 | | | V20 | | | | | | |
| | | | | | | Tecnologie d'involucro opache | | | Sistema di movimentazione | | | Sistema di motorizzazione | | | | | | |
| | | | | | | Sistemi massivi | Sistemi elastici | Misto | Ruote | Cingoli | Binari | Via aerea | A traino | Non previsto | Motore a combustione interno | Motore elettrico | | |
| Metrazure | Sotto 25 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tra 25 e 50 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tra 50 e 100 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sopra 100 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tecnologia costruttiva | Tradizionale | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Struttura/Rivestimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Misto | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Per quanto riguarda le guest houses, la soluzione che maggiormente soddisfa gli obiettivi a livello di composizione è quella di avere edifici separati piuttosto che un blocco residenziale unico in quanto per potersi spostare è necessario un peso ridotto. Sempre per lo stesso motivo, per quanto riguarda l'altezza massima, tra le varie soluzioni si decise per un piano fuori terra poiché questo comportava perso ridotto e maggior facilità nella movimentazione.

Nel particolare delle modalità di spostamento, il motore elettrico per quanto riguarda la motorizzazione e i cingoli sono tra le scelte maggiormente compatibili e che meglio rispondevano ai requisiti di silenzio e di basso impatto ambientale imposti dal concept. Altra soluzione selezionata sempre per la necessità dello spostamento di tali casette è quella di non avere fondazioni in quanto avrebbero compromesso la funzione. Queste sopra riportate sono alcune tra le scelte di alternative più vincolanti.

PUBLIC SPACES

| Realizzazione di edifici che comportino costi ridotti durante il loro ciclo di vita | | V02 | | V03 | | Creazione di spazi di funzione non ricettiva e servizi che garantiscano la fruibilità da parte di 100 persone | | | | Garantire strutture che rispettino le normative antisismiche e di sicurezza | | | | | | | | |
|---|------------------------|-----|--|-----|--|---|-------------|------------|-------|---|-----------------------|-------|-------------------------|--------------|-------|-------|--|--|
| | | | | | | V25 | | | | V26 | | | V27 | | | | | |
| | | | | | | Tipologia funzionale | | | | Tipologia di struttura | | | Tecnologie di struttura | | | | | |
| | | | | | | Educativa | Commerciale | Ricreativa | Mista | Telajo | Pannelli autoportanti | Misto | Acciaio | Calcestruzzo | Legno | Misto | | |
| Metrazure | Sotto 25 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tra 25 e 50 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Tra 50 e 100 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Sopra 100 mq | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tecnologia costruttiva | Tradizionale | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Struttura/Rivestimento | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Misto | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Per gli edifici adibiti a funzioni pubbliche una delle variabili più importanti riguarda l'accessibilità per disabili che deve essere garantita. A tal proposito nella scelta sull'aver o meno una pavimentazione esterna per i percorsi si è optato per il sì e una delle più compatibili risultava quella sopraelevata. Anche in questo caso la fonte energetica migliore ricade sul geotermico con produzione di calore senza emissioni.

Per la variabile della modalità costruttiva il sistema S/R è da preferirsi, mentre per l'altezza massima la scelta migliore è due piani fuori terra, al fine di garantire un basso impatto visivo.

Bisogna precisare che le scelte delle alternative effettuate non derivano puramente da ragionamenti matematici, bensì sono una conseguenza dei risultati forniti dalle matrici insieme alle scelte personali del progettista.

MATRICE OBIETTIVI-ALTERNATIVE

| | V03 | | | V10 | | | | | | V11 | | |
|---|------------------------|------------------------|-------|---------------------------------|--------------|--------|------------|----------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|
| | Tecnologia costruttiva | | | Fonti energetiche | | | | | | Tecnologie d'involucro opache | | |
| | Tradizionale | Struttura/Rivestimento | Misto | Allacciamento alla rete esterna | Fotovoltaico | Eolico | Geotermico | Solare termico | Misto | Sistemi massivi | Sistemi elastici | Misto |
| Realizzazione di un edificio residenziale privato certificato per efficienza energetica e comfort | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Realizzazione di alloggi per turisti all'interno del lotto di proprietà certificati per efficienza energetica e comfort | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Adottare soluzioni tecnologiche che permettano l'affitto degli alloggi ad un prezzo competitivo per il mercato locale | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Realizzazione di edifici che comportino costi ridotti durante il loro ciclo di vita | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Adottare soluzioni reversibili con impronta a terra contenuta | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Realizzazione di alloggi per turisti dotati di camere da letto spostabili | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Realizzazione di alloggi per turisti con ampie aperture vetrate sopra i 2 metri dal piano di calpestio | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Realizzazione di alloggi per turisti certificati per efficienza energetica e comfort | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Creazione di spazi di funzione non ricettiva e servizi che garantiscano la fruibilità da parte di 100 persone | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Ottenere una certificazione energetica per edifici sostenibili che non eccedano i 15 kWh/m ² a | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Garantire strutture che rispettino le normative antisismiche e di sicurezza | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Utilizzo di materiali e tecnologie a basso impatto ambientale | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| HOSTHOUSE | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| GUESTHOUSES | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| PUBLIC | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| CONCEPT | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| TEMPO | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| COSTO | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |

Una seconda tipologia di matrice è quella che mette a confronto le alternative direttamente con gli obiettivi specifici per analizzare e verificare quali di esse risultano maggiormente adatte per ogni obiettivo. In questo caso, come si può vedere dallo stralcio di matrice lato, è stata realizzata una scala di quattro colori (verde, giallo, arancione, rosso) per indicare il grado di compatibilità, dal più alto al più basso, ed è stato utilizzato anche in questo caso il colore grigio per le situazioni di indifferenza. È stata poi eseguita una media dei valori per dare indicazioni più precise sulle scelte rispetto alle varie tipologie di edifici.

Oltre al confronto tra obiettivi e alternative, sono stati inseriti nella matrice dei fattori che influenzano notevolmente le scelte progettuali; si tratta del concept, del fattore costi e del tempo. Sono state così messe a confronto le varie alternative con questi elementi per verificarne il grado di compatibilità.

Infine, sono state analizzate contemporaneamente le due tipologie di matrici: quella obiettivi-alternative e quella alternative-alternative. In questo modo sono state individuate le alternative migliori per ogni obiettivo e allo stesso tempo si è verificato se la scelta di una data alternativa ne escludesse delle altre, anche in base alle risposte derivanti dalla consultazione del concept.

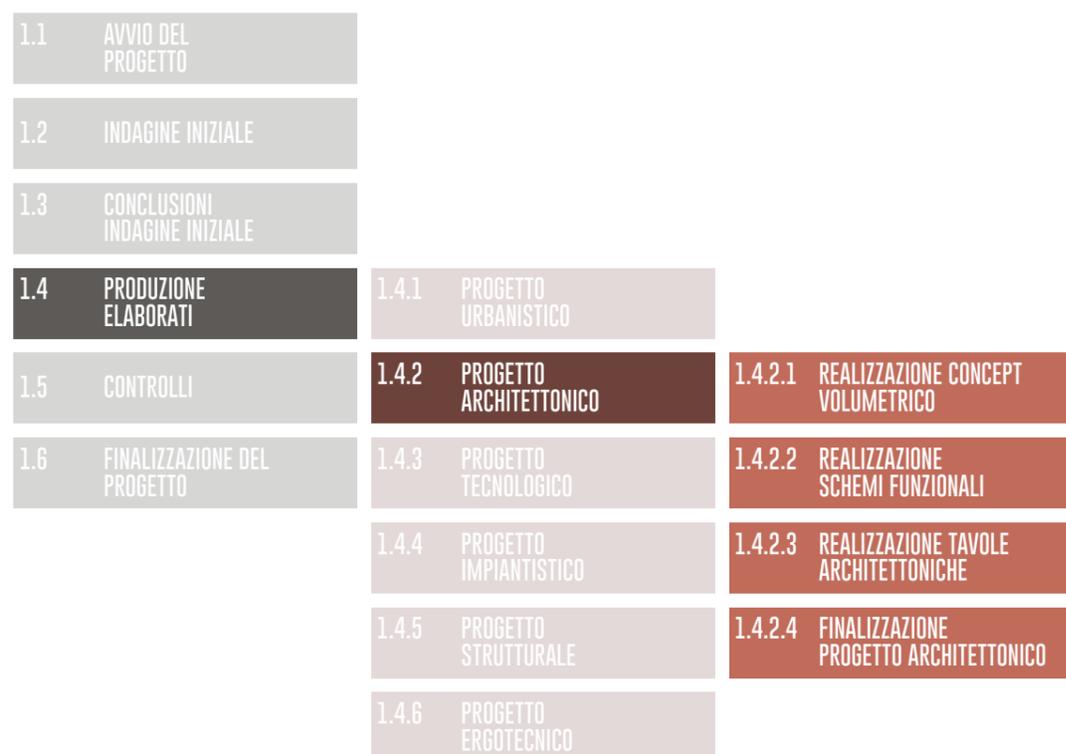
Si è così arrivati alle conclusioni elencate in precedenza, andando a scegliere, ove possibile, le alternative che risultavano maggiormente plausibili e compatibili per la realizzazione del progetto.

I risultati emersi sono stati quindi inseriti in tre nuove matrici riepilogative, in cui sono state selezionate esclusivamente le alternative meglio rispondenti alle analisi effettuate in precedenza.

In queste tabelle vi è dunque una netta prevalenza di alternative compatibili tra loro, che rappresentano le possibili scelte che saranno a discrezione del progettista.

WBS

La WBS (Work Breakdown Structure) è uno strumento che permette di suddividere il progetto in tutte le fasi necessarie per il suo completamento secondo un ordine gerarchico. Entrando nello specifico del WBS dictionary, ogni attività verrà caratterizzata da un codice, dal titolo, dalla descrizione, dagli input, gli output, l'effort, ossia la durata dell'attività, e dalle risorse necessarie. L'input di un'attività sarà output di un'altra attività che la precede temporalmente.



1.4.2.3 REALIZZAZIONE TAVOLE ARCHITETTONICHE

| PLANIVOLUMETRICO | PIANTE ARCHITETTONICHE | SEZIONI ARCHITETTONICHE | PROSPETTI ARCHITETTONICI |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| PLANIVOLUMETRICO FASE 1 | PIANTE FASE 1 | SEZIONI FASE 1 | PROSPETTI FASE 1 |
| PLANIVOLUMETRICO FASE 2 | PIANTE FASE 2 | SEZIONI FASE 2 | PROSPETTI FASE 2 |
| PLANIVOLUMETRICO FASE 3 | PIANTE FASE 3 | SEZIONI FASE 3 | PROSPETTI FASE 3 |

FASI
 PARTI
 RILASCI PROGRESSIVI

Come detto precedentemente, la disarticolazione delle attività viene eseguita secondo un ordine gerarchico. Questa suddivisione può seguire delle logiche differenti:

- per parti, ossia una divisione in sub attività che compongono un dato elemento e che sono slegate tra loro dal punto di vista temporale;
- per fasi, in cui le attività dipendono le une dalle altre secondo rapporti di precedenza e successione temporale;
- per rilasci progressivi, che consiste nella disarticolazione di una attività in più fasi dello stesso tipo. Per l'assegnazione delle durate di ogni attività è stata eseguita una stima sulla base dell'esperienza personale e di confronti; lo stesso vale per l'assegnazione delle risorse.

Per lo studio in questione è stato preso in considerazione il progetto preliminare di cui è stata eseguita la disarticolazione.

In un primo momento è stato suddiviso il progetto in macro attività, come visibile dallo schema della pagina qui a fianco:

- la fase di avvio del progetto che comprende la definizione del team di progetto;
- la fase di indagine iniziale che a sua volta è suddivisa negli studi della storia del luogo, dello stato dell'arte, del contesto e dalle attività di sopralluogo;
- una fase conclusiva dell'indagine iniziale in cui vengono analizzati gli elaborati prodotti e in seguito viene fatta una riunione conclusiva;
- la fase di produzione degli elaborati di progetto; la più duratura tra tutte, che comprende il progetto urbanistico, il progetto architettonico, quello tecnologico, gli impianti, le strutture e un accenno di ergotecnica;
- una fase di controlli finali;
- la fase di finalizzazione del progetto che comprende l'uniformazione e la stampa degli elaborati e la successiva consegna.

La disarticolazione è stata eseguita seguendo le logiche della divisione per parti, fasi e per rilasci progressivi fino ad arrivare a un sesto livello di WBS.

RAM

A seguito della disarticolazione con la WBS dictionary e una volta che sono state definite le risorse da assegnare ad ogni singola attività, si passa all'assegnazione dei compiti, dei ruoli e delle responsabilità attraverso lo strumento denominato RAM (Responsability Assignment Matrix).

La matrice si può distinguere in matrice debole e matrice forte da cui poi si individua la responsabilità del PM (Project Manager) che può essere di tipo leggero, medio o pesante. Il PM leggero si occupa della gestione del tempo, delle durate e delle scadenze (facilitatore). Il PM medio presidia oltre che il tempo anche i costi, quindi si occupa della gestione delle risorse e del budget (negoziatore e pianificatore). Il PM pesante invece presidia tempo, costi e qualità (decisore). Nel caso in esame il Project manager è di tipo medio, che andrà a gestire le varie categorie di lavorazioni attraverso una struttura a matrice.

I ruoli e le responsabilità che vengono assegnate ad ogni risorsa per le varie attività seguono il codice RASCI-VSi dove:

R (Responsible): è il responsabile e si occupa del controllo e della verifica dello svolgimento delle attività;

A (Accountable): è l'esecutore dell'attività;

S (Support): è una figura che supporta e assiste il responsabile dell'attività;

C (Consulted): è una figura che viene consultata e interpellata per avere consigli sulle scelte da prendere;

I (Informed): è una persona che viene informata sulle decisioni prese in una specifica attività;

V (Verifier): Colui che controlla e verifica il rispetto dei criteri di accettazione di una data attività;

Si (Signatory): La figura che convalida l'attività a seguito della verifica.

Nella pagina a lato viene riportato uno stralcio della RAM riferita al progetto preliminare analizzato.

| COUDE | ATTIVITÀ | PROJECT MANAGER | ARCHITETTO | DISEGNATORE | REGOLISTA | INGEGNERE EDILE | INGEGNERE STRUTTURISTA | INGEGNERE IMPIANTISTA | URBANISTA | INGEGNERE IDRAULICO | INGEGNERE GEOTECNICO | STORICO | GEOMETRA | INGEGNERE ENERGETICO |
|-----------|--|-----------------|------------|-------------|-----------|-----------------|------------------------|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------|---------|----------|----------------------|
| 1.1.1 | DEFINIZIONE DEL TEAM DI PROGETTO | R,A | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C | C |
| 1.2.1.1 | RICERCA DOCUMENTI STORICI | | | | | | | | | | | R,A | | |
| 1.2.1.2 | REDAZIONE DEGLI ELABORATI STORICI | I | I | | | | | | | | | R,A | | |
| 1.2.2.1.1 | STUDIO DI PROGETTI ESISTENTI | | R,A | | | | | | | | | | | |
| 1.2.2.1.2 | STUDIO DELLE TECNICHE COSTRUTTIVE LOCALI | | A,S | | | R | | | | | | | | |
| 1.2.2.1.3 | STUDIO DELLE PRODUZIONI LOCALI | | A,S | | | R | | | | | | | | |
| 1.2.2.1.4 | STUDIO DELLE TIPOLOGIE EDILIZIE LOCALI | | R,A | | | | | | | | | | | |
| 1.2.2.2 | REDAZIONE DEL REPORT DELLO STATO DELL'ARTE | I | R,A | | | S | | | | | | | | |
| 1.2.3.1 | INDAGINI URBANISTICHE | | | | | | | | R,A | | | | | |
| 1.2.3.2 | INDAGINI TOPOGRAFICHE | | | | | | | | | | | | R,A | |
| 1.2.3.3 | INDAGINI GEOTECNICHE | | | | | | | | | | R,A | | | |
| 1.2.3.4 | INDAGINI IDROGEOLOGICHE | | | | | | | | | R,A | S | | | |
| 1.2.3.5 | INDAGINI SISMICHE | | | | | | R,A | | | | | | | |
| 1.2.4.1 | FASE DI RILIEVO | | A | | | | | | | | | | | R |
| 1.2.4.2 | REDAZIONE DEGLI ELABORATI DEL RILIEVO | I | R,A | | | | | | | | | | | S |
| 1.3.1 | ANALISI DEGLI ELABORATI DI INDAGINE INIZIALE | | R,A | | | | C | | C | C | C | C | | |
| 1.3.2 | RIUNIONE SULL'INDAGINE INIZIALE | R,A | R | | | | R | | R | R | R | R | R | |

DIAGRAMMA PERT

Partendo dalla WBS è possibile ricavare informazioni che consentono di rappresentare i collegamenti tra le varie attività attraverso i modelli reticolari: in particolare l'individuazione dei predecessori (input), consente di fare delle considerazioni circa la durata delle attività, permettendo in seconda analisi di andare a correggere e ottimizzare la distribuzione delle risorse e la successione delle attività con l'obiettivo di gestire meglio i costi.

Il modello reticolare sviluppato segue la modalità con attività sui nodi, che possiede una stima sul lasso di tempo di inizio e di fine.

La logica di successione tra le diverse attività è rappresentata attraverso frecce che legano i diversi nodi secondo la successione cronologica di input e output.

È possibile quindi evidenziare le relazioni di precedenza che intercorrono tra le varie fasi determinando l'inizio, e di conseguenza anche la fine di ogni singolo WP (Work Package). Nel caso in cui un'attività abbia più predecessori, il suo inizio coinciderà con la fine dell'attività che termina più tardi.

Nel modello reticolare studiato, l'attività è rappresentata sotto forma di nodo e possiede una stima sul tempo di inizio (ES: Early Start, LS: Late Start) e di fine (EF: Early Finish, LF: Late Finish) possibili per la relativa attività.

Questi valori introducono quindi uno SLACK, dato dalla differenza dei valori di Late Start e di Early Start o di Late Finish e di Early Finish.

$$STACK = LF - EF = LS - ES$$

Le attività che si susseguono nella rete senza presentare margini di flessibilità, avendo SLACK nullo, vanno a costituire un cammino critico.

Le attività invece che non stanno sul percorso critico possono slittare di un tempo pari al loro valore di SLACK.

Possono quindi essere determinate due situazioni estreme per la pianificazione, del tipo ASAP (as soon as possible) pianificando tutto il prima possibile, oppure ALAP (as late as possible) azzerando tutti i valori di slittamento.

Quest'ultimo metodo consente di livellare le risorse necessarie alla realizzazione delle attività, ma genera un livello di rischio massimo in termini di costi.



Per diagramma di PERT (Project Evaluation and Review Technique) si indica lo strumento di valutazione e revisione del progetto che, sotto un aspetto temporale, definisce le successioni logiche e le durate delle singole attività individuate attraverso la WBS.

Negli allegati digitali viene riportato lo schema Pert finale, redatto a seguito delle diverse ottimizzazioni apportate, con indicati i codici WBS delle relative attività.

Si può notare anche dallo stralcio di reticolo visibile nel grafico qui sopra una notevole presenza di attività critiche parallele tra loro, che testimoniano l'uso per gran parte delle fasi del progetto preliminare della metodologia ASAP.

In generale vi è uno sviluppo predominante, anche in termine di durate, di attività parallele tra loro, eccezion fatta per le verifiche e la fase di consegna finale e per la classica conformazione ad imbuto che si viene a creare tra la fase relativa alle indagini iniziali e l'inizio della produzione degli elaborati di progetto.

DIAGRAMMA GANTT

Il diagramma Gantt è invece una rappresentazione dell'organizzazione progettuale che viene trasferita su un piano cartesiano contenente i diversi Work Packages nelle ordinate e la scala temporale nelle ascisse. Si riesce pertanto a visualizzare concretamente la contemporaneità delle attività di progettazione e ad individuare eventuali conflitti.

In questo tipo di elaborazione è meno evidente il legame logico e critico tra le attività, ma emerge nell'asse temporale anche una visualizzazione concreta del possibile slittamento, ovvero la potenzialità dell'attività di scorrere in avanti nel tempo senza inficiare sulla durata dell'intero progetto.

In primo luogo si è proceduto alla realizzazione di un Gantt che tenesse in considerazione i dati base provenienti da WBS, RAM e reti: si è ottenuto un grafico che non considera la sovrallocazione delle risorse e non è stato ottimizzato con alcuna tecnica.

Si è notato subito che molte risorse, specialmente le figure professionali interne al team di progetto, sono state sovrallocate: il Gantt è stato quindi ottimizzato sia in termini di risorse, sia sfruttando lo slack di certi WP oppure allungando i tempi di completamento di altre attività. L'analisi del percorso critico e delle relazioni tra attività ha permesso di ottimizzare il cronoprogramma mantenendo pressoché invariata la durata complessiva richiesta per la realizzazione del progetto.

Riassumendo le tempistiche emerse nelle differenti analisi:

- Gantt a risorse infinite: 100 gg
- Gantt a risorse unitarie: 119 gg
- Gantt ottimizzato: 100 gg

Le figure coinvolte nella fase di progettazione preliminare sono state dunque selezionate e discretizzate in maniera tale da coinvolgere un numero adeguato di risorse umane per lo sviluppo del progetto, minimizzando il più possibile i tempi di esecuzione delle attività.

In particolare si è andati dapprima a suddividere le risorse interne al Team di Progetto da quelle esterne, mentre in seconda analisi ad individuare il numero esatto di risorse richieste per ciascun tipo di lavorazione, tenendo come base di partenza la percentuale di lavoro precedentemente inserita nella RAM.

Team di progetto

- 1 Project Manager
- 2 Architetti
- 3 Disegnatori
- 2 Ingegneri edili

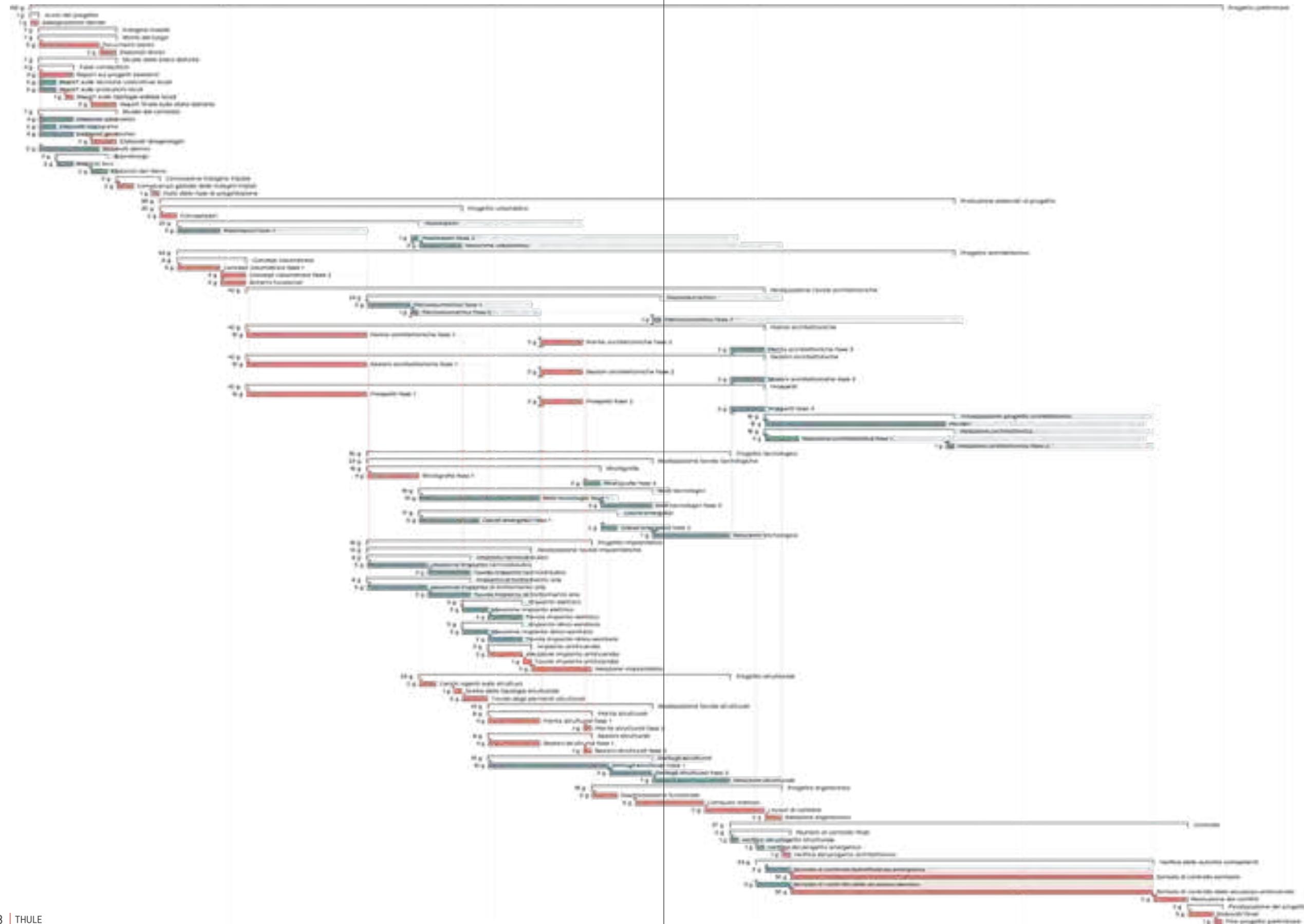
Figure esterne

- 1 Renderista
- 1 Storico
- 1 Geometra
- 1 Urbanista
- 2 Ingegneri strutturisti
- 2 Ingegneri impiantisti
- 1 Ingegnere idraulico
- 1 Ingegnere geotecnico
- 1 Ingegnere ergotecnico

Figure ed enti per la verifica e la certificazione

- Certificatore energetico
- Certificatore sismico
- Associazione sanitaria
- Vigili del fuoco

Nella pagina successiva viene riportato solo il diagramma Gantt ottimizzato, in quanto anche le altre due analisi risultavano caratterizzate dal medesimo cammino critico.



AREE DI RISCHIO

Una volta che è stata determinata la durata del progetto, bisogna preoccuparsi dei rischi che potrebbero incorrere nelle varie attività e che potrebbero quindi comportare ritardi nelle fasi progettuali o eventualmente un aumento dei costi. Si è proceduto quindi con l'analisi delle possibili aree di rischio analizzando la WBS. Nello specifico sono state prese in considerazione le attività collocate sul cammino critico o quelle che presentano un margine di slittamento relativamente basso, in quanto un eventuale ritardo di tali attività potrebbe comportare un aumento della durata complessiva del progetto. Per ogni attività selezionata è stata definita una scala di priorità che va da 1 a 5 e che deriva dal prodotto tra la l'indice di probabilità di avvenimento del rischio, espresso in percentuale, e l'impatto che provocherebbe, in termini di costi e tempi, nel caso in cui si verificasse (in scala da 1 a 5). Per rispondere a tali elementi di rischio che potrebbero recare dilatazioni di tempi e costi vi sono due possibili approcci. Il primo, più ottimistico, viene definito reattivo, e prevede possibili rimedi e modalità di gestione della crisi una volta che questa si è verificata. Si tratta quindi di una soluzione ex post che viene utilizzata maggiormente per le aree di rischio con bassa percentuale di probabilità. Il secondo approccio invece, più pessimistico, è di tipo proattivo in cui si prevedono le cause del rischio e si adottano quindi ex ante, soluzioni per ridurle o eliminarle del tutto.

A lato viene riportata una tabella con le tre attività più esemplificative, ritenute di maggiore importanza in quanto aventi alti valori di priorità.

Ad esse è stata associata una descrizione dell'area di rischio, la probabilità di avvenimento P e l'indice di impatto I che vanno a determinare la priorità; per ognuna sono poi state identificate le soluzioni di gestione del rischio, con relativa risorsa che ne gestisce la correzione ed infine i risultati che tali accorgimenti potrebbero o meno causare in termini di variazione di P e I.

| ATTIVITÀ | AREA DI RISCHIO | PRIORITÀ (Pxl) | GESTIONE DEI RISCHI | RISORSA | CONSEGUENZA DEL RISCHIO | RISULTATI DELLA PREVENZIONE |
|--|---|----------------|--|-------------------------|--|----------------------------------|
| Realizzazione conceptplan | Difficoltà nel trovare un'idea di progetto convincente e univoca che soddisfi il team di progetto | 0,3 x 5 = 1,5 | Prevenzione: in seguito alla fase di studio e analisi iniziale, stilare un elenco preciso, dettagliato e condiviso dai membri del team di progetto con l'individuazione degli obiettivi cardine che il progetto deve assolutamente conseguire. Correzione: riunire nuovamente i tecnici che si sono occupati delle indagini iniziali e focalizzare gli obiettivi prioritari definiti in accordo comune | Project Manger | Possibile dilatazione dei tempi di progetto in una fase già molto critica in quanto non vi è la presenza di attività parallele contemporanee | Probabilità - 20% |
| Realizzazione piante architettoniche fase 2 | Problemi di incompatibilità con gli studi successivi alla fase 1 della realizzazione delle piante | 0,6 x 4 = 2,4 | Prevenzione: prevedere la produzione di report intermedi sull'aggiornamento degli aspetti tecnici relativi alla fase 1 di progettazione che verranno analizzati e discussi collettivamente durante riunioni periodiche. Correzione: adeguare le piante architettoniche alle nuove indicazioni fornite dagli elaborati tecnici emersi | Architetto, Disegnatore | Possibile ritardo nell'inizio della fase 2 e conseguente dilatazione dei tempi di progetto | Probabilità - 30% impatto - 2 |
| Controllo e verifica dei conflitti | Problemi dovuti al rilevamento di conflitti e incongruenze tra le differenti parti all'interno del progetto | 0,4 x 5 = 2 | Prevenzione: prima della fase di produzione degli elaborati di progetto redigere un documento esplicativo contenente gli accorgimenti grafici e l'impaginazione da adottare, in modo tale da avere un prodotto finale uniforme. I vari componenti del team inoltre si preoccupano di produrre report intermedi per ogni fase, da condividere e analizzare in modo tale da rimanere continuamente aggiornati sullo status progettuale. Correzione: Il Project Manager redige un piano operativo in cui vengono elencate tutte le correzioni da attuare sul progetto in modo tale da avere un programma organizzato che riduca i tempi di aggiustamento | Project Manager | Ritardi nei tempi di consegna del progetto | Probabilità - 30% impatto - 3 |



CONCORSO I.N.L.R.

Il sito di progetto e il contesto progettuale sono stati definiti attraverso un bando di concorso internazionale. Attraverso la produzione di quattro tavole, veniva richiesta la progettazione di piccoli moduli residenziali in grado di muoversi liberamente sulle rive del lago Mývatn per poter godere delle aurore boreali. Il concorso si è concluso con una menzione come "shortlisted".

L'ISCRIZIONE AL BANDO DI CONCORSO

Fin dal primo giorno in cui si è cominciato a pensare alla tesi, l'obiettivo è stato quello di sviluppare le competenze verso un nuovo tipo di progettazione, che si allontanasse da ciò che era stato affrontato negli ultimi anni durante gli studi accademici. Si voleva infatti ricercare un ambito di progettazione che fosse distante dalle aree mediterranee, sempre scelte come siti di riferimento. Si è quindi ricercato, e successivamente scelto, un bando di concorso che potesse soddisfare tali esigenze e che facesse da punto di partenza per il lavoro di tesi. Il sito di progetto doveva trovarsi in un territorio con condizioni climatiche estreme, in modo tale da studiare e analizzare nuove tecnologie di involucro che rispondessero al meglio a requisiti e condizioni di quel genere.

Il risultato è stato ritrovato tramite Bee Breeders, una società che organizza concorsi di architettura a livello Internazionale. Nel gennaio del 2018 è stato infatti pubblicato su tale piattaforma un bando di concorso intitolato I.N.L.R. (Iceland Northern Lights Rooms) che sembrava soddisfare tutti i requisiti scelti. Nel progetto veniva richiesto di progettare delle unità abitative leggere e spostabili e di presentare tutto il lavoro in massimo quattro tavole A2.

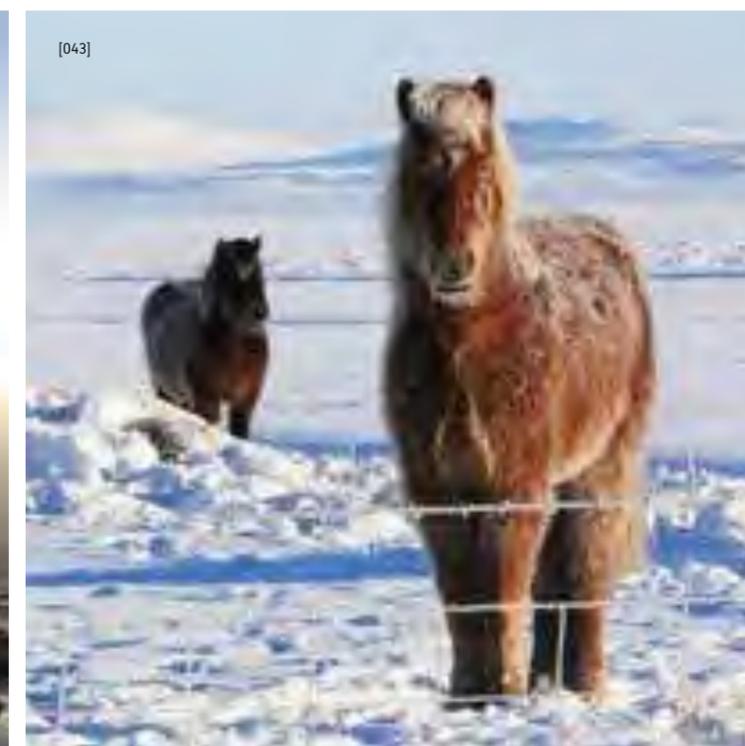
Grazie a questo concorso, è stato quindi possibile far coincidere l'aspetto di apprendimento didattico fuori dalla propria comfort zone insieme al tema di tesi proposto, ossia la progettazione di un edificio ad alte prestazioni energetiche con applicazione dello studio di involucri adattivi. Ovviamente, durante il concorso sono stati studiati solo alcuni degli aspetti della tesi, successivamente approfonditi ed implementati durante la preparazione dell'elaborato finale.



COLLOCAZIONE E RICHIESTE DEL BANDO

Islanda: terra del ghiaccio e del fuoco. Un'isola caratterizzata dai paesaggi più unici e suggestivi al mondo. È possibile trovare vulcani attivi, ghiacciai, montagne, laghi, cascate, fiordi e una ristretta varietà di flora e fauna che ha resistito al freddo e ai forti venti. L'Islanda è una nazione a bassissima densità abitativa ed è quindi prevalentemente occupata da natura incolta. Proprio per questo motivo, il cielo non è corrotto dalle luci artificiali e dall'inquinamento antropico, riuscendo ad attirare i viaggiatori provenienti da tutto il mondo alla ricerca delle stelle e, soprattutto, delle spettacolari aurore boreali. Tale fenomeno, chiamato "northern lights", è generato dal vento solare che interagisce con la ionosfera terrestre e riesce così ad illuminare il cielo islandese con varietà di forme e colori.

Il concorso di progettazione I.N.L.R richiedeva la realizzazione del concept architettonico di un complesso turistico formato da alcune guest houses e un edificio ricettivo, denominato host house. Le guest house dovevano essere a sufficienza per ospitare fino a 20 visitatori in totale, con un massimo di quattro persone ciascuna. Esse dovevano essere progettate in modo da rendere possibile il movimento all'interno del lotto dell'intera struttura o almeno parte di essa, rendendole prive di fondazioni permanenti. L'intento era quello di permettere ai residenti di godersi appieno la vista sulle aurore boreali. Il design delle casette doveva essere semplice e in armonia con il territorio ed avere ampie superfici trasparenti da cui godere della vista verso l'esterno. Inoltre, i visitatori dovevano avere a disposizione un'area comune di ristoro, separata dalle residenze, dotata di sala da pranzo e cucina, in grado di accoglierli tutti contemporaneamente. Per quanto riguarda la progettazione della residenza permanente, destinata ai proprietari del lotto e alle loro famiglie, veniva lasciata la libertà di scelta se idearla separatamente, e quindi distaccata dalle guest houses, oppure integrarla con altri ambienti. Inoltre, essa doveva essere dotata di camera da letto, soggiorno, bagno e una piccola cucina. Oltre alla progettazione obbligatoria di queste due categorie di ambienti, host house e guest houses, veniva lasciata libertà ai partecipanti di progettare ulteriori spazi, come ad esempio una terrazza coperta per l'estate o un fienile per i 10 cavalli islandesi del proprietario.



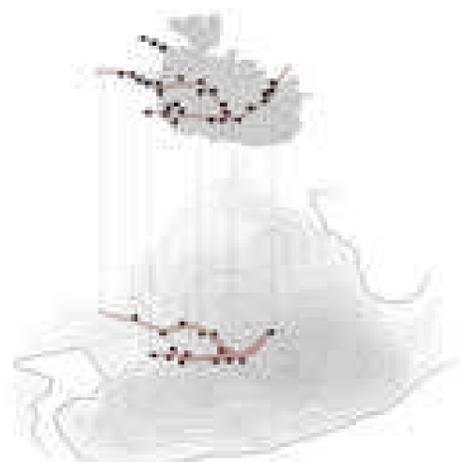
CONCORSO I.N.L.R

IL LOTTO DI PROGETTO

Il lotto di progetto di 9 ettari è situato nella regione nordorientale dell'Islanda, sul lato opposto dell'isola rispetto alla capitale Reykjavík. Questo terreno, totalmente naturale, si trova nei pressi del Mývatn, un lago poco profondo non molto distante dal vulcano Krafla. Il lago è stato creato da una grande eruzione di lava basaltica avvenuta circa 2300 anni fa. Grazie alla sua presenza, il terreno circostante rimane umido e permette la nidificazione di uccelli acquatici, come ad esempio le tipiche anatre islandesi, monitorate periodicamente dal 1975 dalla stazione di ricerca Mývatn. Come detto in precedenza, il sito si trova nelle immediate vicinanze della dorsale medio atlantica e a causa delle bellezze naturali presenti e del delicato ecosistema della regione, è vietata la costruzione di edifici entro 200 metri dalla costa.



IL PROGETTO



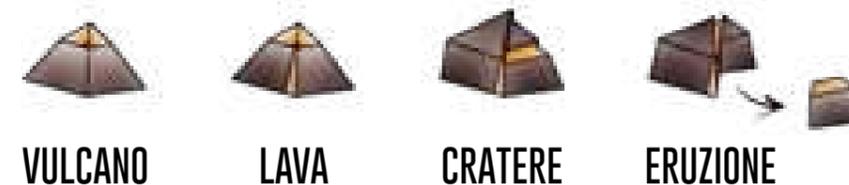
25 milioni di anni fa, l'Islanda ha iniziato a dividersi a causa della dorsale di Reykanes e una catena di vulcani distribuiti lungo l'intera isola ha incominciato a delinearsi. Negli anni successivi i due elementi contrastanti, fuoco e ghiaccio, continueranno a sovrapporsi, cercando di dominare il Paese.

Thule prende il nome dalla mitologia islandese, ricordando quel lembo di terra fatta di solo ghiaccio e fuoco, sperduta all'estremo nord dell'Oceano Atlantico, incarnando così la storia morfologica dell'isola. Il masterplan di progetto riprende l'impronta della dorsale medio atlantica, posizionando gli edifici del lotto in maniera chiara e decisa. I due bracci della dorsale diventano nel progetto due percorsi distinti: il primo è aperto a tutti e vi si distribuiscono i vari edifici con funzioni pubbliche. I principali edifici ideati sono una piccola sauna, un falò coperto, un punto di sosta per i viandanti e un ristorante.

Vi si trova inoltre la host house dei proprietari, adibita anche a info point per turisti. L'altro ramo è più intimo e riservato e vi si posizionano le residenze destinate agli ospiti. Quasi al termine del percorso, i due bracci si congiungono a formare un unico percorso che porta al centro scientifico.

Qui si possono trovare le funzioni pubbliche come un osservatorio astronomico, un planetario e un museo delle scienze. Quest'ultimo edificio è stato trascurato in fase di concorso ma rappresenta l'oggetto della presente tesi, debitamente approfondito e definito in tutte le sue parti.

Per quanto riguarda il concept delle residenze, anche in questo caso si è voluto riprendere la dorsale medio atlantica. Si sono immaginate infatti le casette come tanti piccoli crateri dove ognuna porta il nome di uno dei vulcani islandesi. La morfologia dei vulcani è stata reinterpretata in chiave architettonica: il cratere diventa una grande vetrata posta sopra la camera da letto per l'osservazione delle aurore, mentre delle vetrate a tagli verticali richiamano le colate laviche, garantendo l'illuminazione degli spazi giorno. Il concept continua, immaginando che di sera le case appaiano come vulcani in eruzione e che una parte di "lava", incomincia fluire nel lotto. Le camere da letto si muovono quindi liberamente sul terreno, potendo ricercare il punto di vista migliore per ammirare il cielo del nord. Per il rivestimento esterno sono state utilizzate delle doghe di legno sottoposte a pre-carbonizzazione superficiale, tecnica nata in Giappone per preservare il materiale dalle intemperie. Grazie a questa pratica, la finitura risulta più scura, richiamando con il suo pattern la lava basaltica tipica dei vulcani del territorio. Il modesto villaggio può ospitare fino a 20 ospiti in 8 residenze separate e autosufficienti. Esse si dividono in 6 casette per coppie e 2 più grandi per famiglie. All'interno delle residenze più modeste, si può trovare un soggiorno, un bagno privato con vasca idromassaggio, una piccola cucina e una camera da letto. Le casette più grandi sono provviste degli stessi ambienti con l'aggiunta di un'ulteriore camera da letto e di un piccolo loft.



Le camere mobili sono in grado di spostarsi per l'intero lotto e perfino di galleggiare sulle acque del lago Mývatn. Sono infatti equipaggiate di un sistema di galleggianti e di larghi cingoli alimentati da motori elettrici. Il sistema motorizzato è controllabile facilmente attraverso l'applicazione per smartphone "Thule", di apposita creazione.

Per quanto riguarda l'alimentazione energetica, ogni abitazione è dotata di pannelli fotovoltaici con accumulo elettrico. Nel momento in cui le camere da letto si separano dall'edificio, le batterie elettriche provvede a garantire il funzionamento del sistema di riscaldamento, all'illuminazione e al motore per gli spostamenti. Nelle residenze large, gli utenti hanno a disposizione un grande patio dove potersi rilassare al tiepido sole estivo o ammirare le neviccate invernali.

Tutti gli edifici sono progettati con materiali ecosostenibili: il legno viene utilizzato per la struttura, per la sottostruttura e per il rivestimento esterno. Pannelli riflettenti ad alte prestazioni, congiuntamente con pannelli in fibra di legno, garantiscono l'isolamento termico del fabbricato. Permettono inoltre di ottenere una riduzione dello spessore dei pacchetti tecnologici dell'involucro e pesi relativamente ridotti. Grazie alla bassa trasmittanza dei materiali e al guadagno energetico garantito dalla luce solare, gli edifici residenziali richiedono bassi valori di riscaldamento che viene provvisto dall'impianto geotermico a bassa temperatura. Sempre all'interno del villaggio, si trova un impianto di raccolta delle acque piovane, utilizzato per i bagni delle residenze e per l'irrigazione dei prati.

La residenza destinata ai proprietari del lotto, nonché gestori delle guest house, è pensata come un edificio che si erge dal terreno. Una rampa verde fa da copertura agli ambienti sottostanti e, allo stesso tempo, porta all'ingresso della residenza vera e propria. L'edificio può ospitare fino a cinque persone in due camere da letto separate. All'interno vi si trova un soggiorno, cucina open space, terrazza e un ampio bagno. Il piano inferiore è occupato dalla stalla per i cavalli e dal deposito per gli attrezzi. È stata inoltre ideata una stanza debitamente pensata per raccogliere gli escrementi degli animali. La reazione di decomposizione del compost così formato è fortemente esotermica. Il calore che si forma, congiuntamente al calore emanato dagli animali nella stalla, garantisce un contributo termico naturale agli ambienti sovrastanti, riducendo così il carico termico necessario all'intero edificio. Le pareti della stalla e dell'ambiente destinato al compost sono rivestite in mattoni di carbone naturale, materiale che trattiene i cattivi odori e che, una volta esausto, può essere riutilizzato per fertilizzare il terreno. Si instaura così un ciclo ecosostenibile continuo di trasformazione dell'energia.

Nelle pagine seguenti vengono mostrate le quattro tavole presentate al concorso.



THULE

WE'RE ALL ALLOWED TO DAYDREAM

THULE IS A CONCEPT FOR A FUTURE POLAR RESEARCH STATION. THE STATION IS DESIGNED TO BE A SELF-SUFFICIENT COMMUNITY THAT CAN OPERATE IN THE MOST EXTREME ENVIRONMENTS. THE STATION IS DESIGNED TO BE A SELF-SUFFICIENT COMMUNITY THAT CAN OPERATE IN THE MOST EXTREME ENVIRONMENTS. THE STATION IS DESIGNED TO BE A SELF-SUFFICIENT COMMUNITY THAT CAN OPERATE IN THE MOST EXTREME ENVIRONMENTS.





ELECTRIC SYSTEM



WATER SYSTEM



The house can be controlled via a mobile app with a built-in feature. Each of them has its own system with a control panel which is a living room. It is located with one of the bedrooms. One of the bedrooms is located in the house. The house has a double bedroom while the other has two double bedrooms and a living room. The house is built on a hillside to enjoy the best views and a comfortable lifestyle.

The house is designed to be able to move through the whole site and to use the house as a mobile app for the smartphone. Each house is equipped with a water system, a heating system and a battery. When the house is attached to the house, the electrical system supplies energy to the house, to the lights and to the tracks for the ground movement. At the bottom of the house, there are two floors of beds and a space for the kitchen and the oven.





- Structure
- Insulation
- Wall/Window
- Floor/Slab
- Staircase
- Roof
- Glass



The local climate can be up to 10 degrees in both different ways. Sustainability is a key for the design of the building. The design is based on the concept of a green building. The design is based on the concept of a green building. The design is based on the concept of a green building.





PROGETTO ARCHITETTONICO

Il progetto prevede la realizzazione di un centro poliscientifico con all'interno un planetario, un osservatorio astronomico e spazi dedicati all'esposizione, con annesse funzioni secondarie quali un ristorante e aule di ricerca. Il tutto è pensato per avere il minimo impatto sull'ambiente circostante e per massimizzare l'utilizzo della luce naturale e delle energie rinnovabili.

PROGETTO ARCHITETTONICO

MASTERPLAN

Il masterplan del progetto del centro poli-scientifico denominato Thule riprende quello realizzato per il concorso Iceland Northern Lights Rooms.

La linea guida è data dunque dalla dorsale medio atlantica, vasta catena vulcanica che si estende da sud del Polo Nord fino all'isola Bouvet (a sud-ovest del capo di Buona Speranza, Sudafrica). Essa attraversa quindi l'Islanda e ne caratterizza il territorio con la presenza di numerosi crateri vulcanici.

Il tracciato nord presenta pertanto due rami e scandisce i percorsi del masterplan e la distribuzione degli edifici nel lotto. Come spiegato in precedenza, le residenze realizzate durante la fase del concorso rappresentano tanti piccoli vulcani che si distribuiscono lungo il braccio a nord della dorsale, riservato prevalentemente agli ospiti. Lungo il secondo braccio invece, che garantisce l'accesso all'area sempre da nord, si trova la residenza dei proprietari del lotto. Dove i due percorsi si incontrano, la strada si allarga leggermente e si delinea il percorso che porta all'ingresso del centro scientifico Thule. Esso è collocato sul punto più alto del lotto e rappresenta la vera attrazione del progetto. L'accesso a questo edificio, oltre che dal percorso nord prevalentemente utilizzato dai residenti, è pensato da sud dove un sentiero collega la strada carrabile con l'ingresso principale.

All'inizio del percorso è stato previsto un parcheggio all'aperto, debitamente nascosto dalla presenza degli arbusti presenti nell'area. Da qui ha inizio una lunga promenade nella natura che, costeggiando il lago Mývatn e offrendo una serie di belvedere sul paesaggio circostante, conduce al fronte principale del centro scientifico.

Tutti i percorsi realizzati sono sterrati per evitare un eccessivo impatto ambientale. È fatta eccezione per l'ultimo tratto del percorso sud, realizzata in blocchi di calcestruzzo drenanti, che indirizza i visitatori agli ingressi principali dell'edificio.





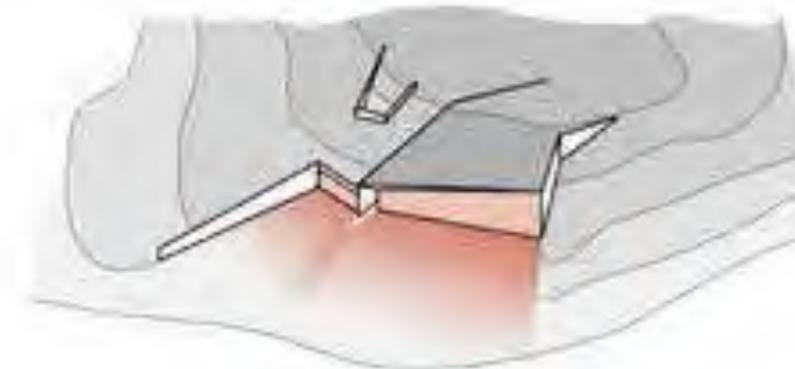
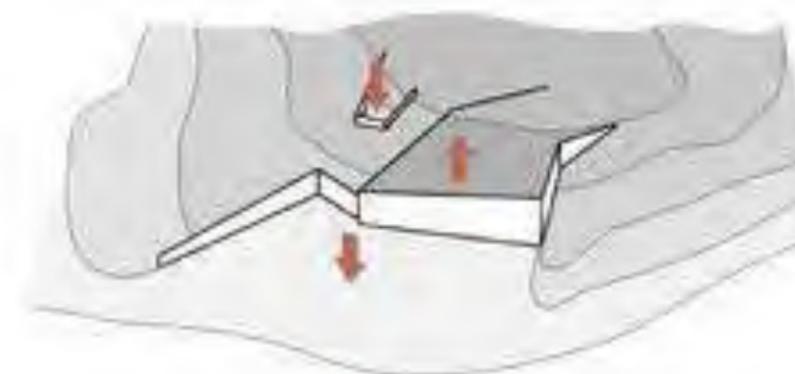
CONCEPT

Thule ospita diverse funzioni suddivise in due blocchi principali. Oltre al museo della scienza e del territorio locale, vi si trova un planetario, un osservatorio astronomico, un ristorante e delle aule di ricerca. L'edificio è idealmente attraversato dai percorsi della dorsale medio atlantica del masterplan e per questo motivo è stato pensato come una frattura nel terreno che si apre verso sud. I due volumi che compongono il fabbricato sono in gran parte scavati nel suolo mentre sono ricoperti totalmente dal verde in copertura, soluzione molto utilizzata in Islanda, come lo dimostrano le tradizionali case in torba, tipiche del territorio.

In questo modo, esso presenta due facce: da nord si mimetizza con la natura, nascondendosi in parte alla vista degli ospiti delle residenze. Dal lato sud l'impatto è totalmente differente e l'approccio non è più mimetico.

I due corpi si affacciano con grandi vetrate verso il lago Mývatn, garantendo così il massimo guadagno naturale di luce ed energia solare, oltre che viste mozzafiato sul paesaggio circostante.

Si designa così in maniera netta la presenza del centro scientifico ai visitatori che arrivano dalla strada principale. Rimane sempre ben visibile l'elemento troncoconico che ospita l'osservatorio astronomico. Esso infatti emerge dal terreno e svetta sul verde prato, ricordando il cratere di un vulcano.





DISTRIBUZIONE INTERNA

Arrivando da sud, il visitatore si troverà davanti alle grandi facciate vetrate dei due volumi che costituiscono l'edificio. Per quanto riguarda gli accessi, al piano terra, ne troviamo uno da nord riservato prevalentemente ai dipendenti e agli ospiti delle residenze e due sul lato sud che introducono separatamente al blocco del ristorante e alla grande hall dell'edificio principale.

Qui troviamo il welcome desk della reception, ma l'elemento che salta subito all'occhio è sicuramente la sfera del planetario, già visibile dall'esterno, che si sviluppa partendo dal piano interrato e che per metà volume di estende al piano terra.

Dalla hall, proseguendo per la visita del museo, si scende un sistema di rampe con le quali si attraversano diversi livelli fino ad arrivare al piano interrato. Questo spazio è adibito a sala espositiva e ospita l'accesso al planetario ed un blocco servizi. Una volta conclusa la visita al planetario, si risale al piano superiore sfruttando la rampa circolare che avvolge la sfera. Altrimenti è possibile risalire le scale a chiocciola o l'adiacente ascensore che collegano tutti i piani dell'edificio. Giunti di nuovo al piano terra è possibile recarsi direttamente verso il corpo Ovest, dove si trova un bookshop e un'area ristorante. Sono inoltre previsti numerosi servizi secondari come la cucina, il magazzino, gli spogliatoi e i bagni. Sempre su questo livello, si trovano anche delle aule dedicate alla ricerca, agli studi sismici e meteorologici, oltre che un'aula conferenze. Di fronte al bookshop vi è inoltre l'entrata da nord che è resa carrabile per facilitare lo scarico delle merci.

Sfruttando la grande scala circolare e l'ascensore è possibile raggiungere un soppalco interno al piano primo, da dove si può osservare la hall o, altrimenti, uscire direttamente sulla copertura verde che funge da terrazza panoramica.

Al piano ancora successivo si trova l'osservatorio astronomico. Una scala esterna crea un solco nell'edificio e permette di collegare direttamente l'area antistante l'edificio alla copertura del corpo ristorante.



L'intero edificio sarà completamente aperto al pubblico nei mesi caldi, contraddistinti da un'affluenza turistica maggiore. Nel periodo invernale invece, a causa delle condizioni meteorologiche e della riduzione nel numero di viaggiatori che si inoltrano nel nord dell'Islanda, si è previsto in una chiusura parziale dell'edificio. Esso verrà aperto su prenotazioni in occasione di visite all'area museale. Il corpo ristorante e le aule di ricerca proseguiranno normalmente con le loro attività.







LA PROGETTAZIONE DI UN OSSERVATORIO ASTRONOMICO

Nelle seguenti pagine di approfondimento verranno analizzate e discusse la progettazione e le modalità di costruzione di un osservatorio astronomico moderno ad uso di ricerca o didattico per visite serali. Sono state prese in considerazione con particolare attenzione le prestazioni richieste del telescopio, degli strumenti e delle relative apparecchiature ausiliarie, nonché le tecniche strutturali comuni e le applicazioni pratiche nel processo di progettazione.

Molti osservatori sono progettati ignorando le tematiche più importanti che stanno alla base di una costruzione così particolare, ossia le scelte da effettuare a seconda dell'uso effettivo del telescopio, l'accesso diretto allo strumento e le condizioni di visuale ottimale.

La visita presso l'Osservatorio Schiaparelli è stata di fondamentale importanza per constatare la reale difficoltà che si può manifestare durante la progettazione di un edificio paragonabile a quello trattato in questa tesi.



UBICAZIONE O POSIZIONAMENTO DEL TELESCOPIO

Il telescopio è normalmente spostato a sud della linea centrale della cupola (nell'emisfero settentrionale), così da avere lo spazio di lavoro principale nel quadrante a nord del telescopio. L'altezza della piattaforma su cui alloggia il telescopio deve essere correlata al piano di imposta della cupola e viene scelta per consentire al telescopio una visuale libera dai 7 ai 10 gradi sopra l'orizzonte. Per un osservatorio che viene utilizzato per il pubblico, l'altezza è molto importante e dipende dalla dimensione del telescopio e dagli utenti previsti.

COSTRUZIONE DEL PILONE

Normalmente il pilone è realizzato in cemento armato e la sua altezza è pari a quella che va dalla fondazione dell'edificio al telescopio, con la parte superiore della colonna che può essere rastremata al fine di ridurre il momento di inerzia e la massa termica. Le deviazioni importanti non sono, contrariamente a quanto si possa pensare, le traslazioni orizzontali, bensì le rotazioni di estremità superiore del pilone e la torsione dello stesso. Infatti, se il telescopio si limita a traslare, l'immagine, posta a distanza infinita, non si sposta nel campo visivo, mentre qualsiasi rotazione dello stesso produce movimento dell'immagine.

RIDUZIONE DELLE VIBRAZIONI

Le scosse sismiche si accoppieranno a quelle del pilone del telescopio. Fortunatamente però, queste non si verificano abbastanza spesso da influenzare lo strumento durante il breve periodo di osservazione. Le vibrazioni prodotte da ascensori, macchine di riscaldamento, ventilazione e climatizzazione sono invece una delle principali preoccupazioni, così come la rotazione della cupola stessa. Il problema viene quasi completamente risolto attraverso la progettazione di un pilone isolato e strutturalmente indipendente dal resto dell'edificio. In questo modo, le uniche vibrazioni significative sono date dall'attacco a terra dello stesso a livello di fondazione. Per garantire l'isolamento anche delle vibrazioni indotte, è necessario lasciare uno spazio adeguato anche tra piattaforma e pavimento e tra i macchinari di costruzione e il piano calpestabile.

ACCESSIBILITÀ AL PIANO DI OSSERVAZIONE

Per i telescopi di piccole e medie dimensioni, l'altezza del telescopio dal pavimento di solito non consente una porta di dimensioni complete tra il pavimento e la trave anulare che supporta la cupola. Occorre quindi progettare l'accesso alla cupola utilizzando una porta di dimensioni standard ma posta ad un livello inferiore rispetto al piano di osservazione. Questo accorgimento richiede tuttavia alcuni gradini per arrivare al piano di calpestio.

Solo pochi osservatori astronomici soddisfano effettivamente tutti i requisiti, fornendo ad esempio accesso per portatori di handicap all'oculare del telescopio. La soluzione ottimale è la scelta di un oculare a relè articolato, che offre la massima praticità per l'uso visivo e che permette un vero accesso al telescopio per portatori di handicap. Una persona seduta su una sedia a rotelle in questo modo può semplicemente sollevare l'oculare e portarlo ai loro occhi per una corretta visione, indipendentemente dall'altezza del telescopio.

ACCORGIMENTI TECNOLOGICI

Per ottenere una buona visuale, l'osservatorio deve essere utilizzato ad una temperatura il più possibile simile a quella dell'aria esterna. Ciò richiede una generazione minima di calore all'interno dell'osservatorio, una buona ventilazione, basso isolamento termico e una bassa massa termica. La cupola deve essere inoltre chiusa in modo che, quando viene aperta il portellone, vi sia uno scambio d'aria minimo tra qualsiasi locale condizionato dell'edificio e lo spazio della cupola dell'osservatorio. È essenziale evitare che l'aria calda dell'edificio entri nell'osservatorio e danneggi la vista. Le pareti della cupola dovrebbero essere isolate all'interno in modo da vincere lo sbalzo termico e diventare una fonte di calore importante durante la notte. Un telescopio può pesare fino a 20.000 N e un pavimento in cemento può pesare facilmente il doppio di questa quantità. Anche i muri dell'edificio e altre strutture possono essere molto massicci. Questo è il motivo per cui l'osservatorio dovrebbe essere realizzato con struttura in acciaio mentre il pavimento dovrebbe essere in legno o con soletta in lamiera grecata collaborante, cercando di evitare il più possibile costruzioni con strutture massive. Anche i piloni possono essere fatti in acciaio, ma tendono ad essere molto più costosi e con una rigidità minore rispetto a quelli comuni in calcestruzzo armato. In linea generale si può affermare che minore sarà la massa totale della struttura, minore sarà la richiesta di flusso d'aria ottimale per il locale.



[058]



[059]



[060]

LA VISITA ALL'OSSERVATORIO SCHIAPPARELLI

Durante la giornata del 7 ottobre 2018 è stato organizzato un incontro presso la Cittadella di Scienze della Natura "Salvatore Furia", sulla cima del Parco Regionale Campo dei Fiori di Varese. Riccardo Luppi, uno dei soci responsabili del Centro, ha illustrato in modo formale e oggettivo le strutture e le strumentazioni presenti all'interno dell'Osservatorio Astronomico G.V. Schiaparelli.

Con le sue tre cupole, lo Schiaparelli è il maggiore osservatorio popolare in Italia. Esso è principalmente destinato all'osservazione pubblica, alle visite e alle esperienze didattiche, consentendo tuttavia anche una attività parallela di ricerca amatoriale di livello elevato. Costanti osservazioni di monitoraggio di asteroidi e di spettroscopia stellare rendono inoltre l'osservatorio uno dei più importanti poli scientifici a livello internazionale. Il Centro, frequentato settimanalmente da un gruppo di volontari, è divenuto nel corso degli anni sede di ricerca scientifica, sismica e botanica, ma è noto soprattutto per le sue previsioni meteo. La strada di accesso all'edificio principale, realizzata col lavoro manuale degli associati negli anni '60, ospita oggi un "Percorso del Sistema Solare" in scala, fruibile anche ai non vedenti. In generale, all'interno del complesso la passione esemplare e la competenza dei volontari che ci lavorano permette a chiunque di avvicinarsi alle meraviglie scientifiche alla meteorologia, creando un importante presupposto per una divulgazione di qualità.

Durante l'incontro sono stati segnalati diversi aspetti di fondamentale importanza che contraddistinguono la corretta progettazione architettonica di un osservatorio, il cui elemento più importante e problematico è senza dubbio il telescopio e l'ambiente in cui lo si va a collocare. Innanzitutto, la scelta della località in cui è situato il complesso deve essere pertinente a quei principi che sono cardine di un'adeguata osservazione della volta celeste, ovvero un ambiente isolato, privo di inquinamento luminoso e caratterizzato da cieli prevalentemente sereni. Le condizioni termoigrometriche all'interno della cupola devono essere inoltre il più possibile prossime a quelle esterne, con isolamento termico, ventilazione e colori di rivestimento delle pareti studiati al fine di rendere il locale adatto alle condizioni notturne della volta celeste. È stato inoltre possibile rendersi conto dell'importanza di spazi flessibili in grado di adattarsi ad esigenze variabili e delle molteplici opportunità che l'installazione di un telescopio ottico può portare. Infatti, data la necessità di un numero elevato di sensori, è possibile sfruttare questa strumentazione anche per rilevamenti sismici e meteorologici.

La visita è stata pertanto di forte spunto ed ha fatto accrescere l'interesse nella progettazione un complesso scientifico simile a quello presente all'Osservatorio Schiaparelli. Il progetto, come già accennato, ha poi previsto l'implementazione con un museo moderno, concepito come luogo per l'interattività e la sperimentazione diretta dei fenomeni astronomici e delle tecnologie tra esposizioni visive, mostre e laboratori scientifici.

RIVESTIMENTI ESTERNI

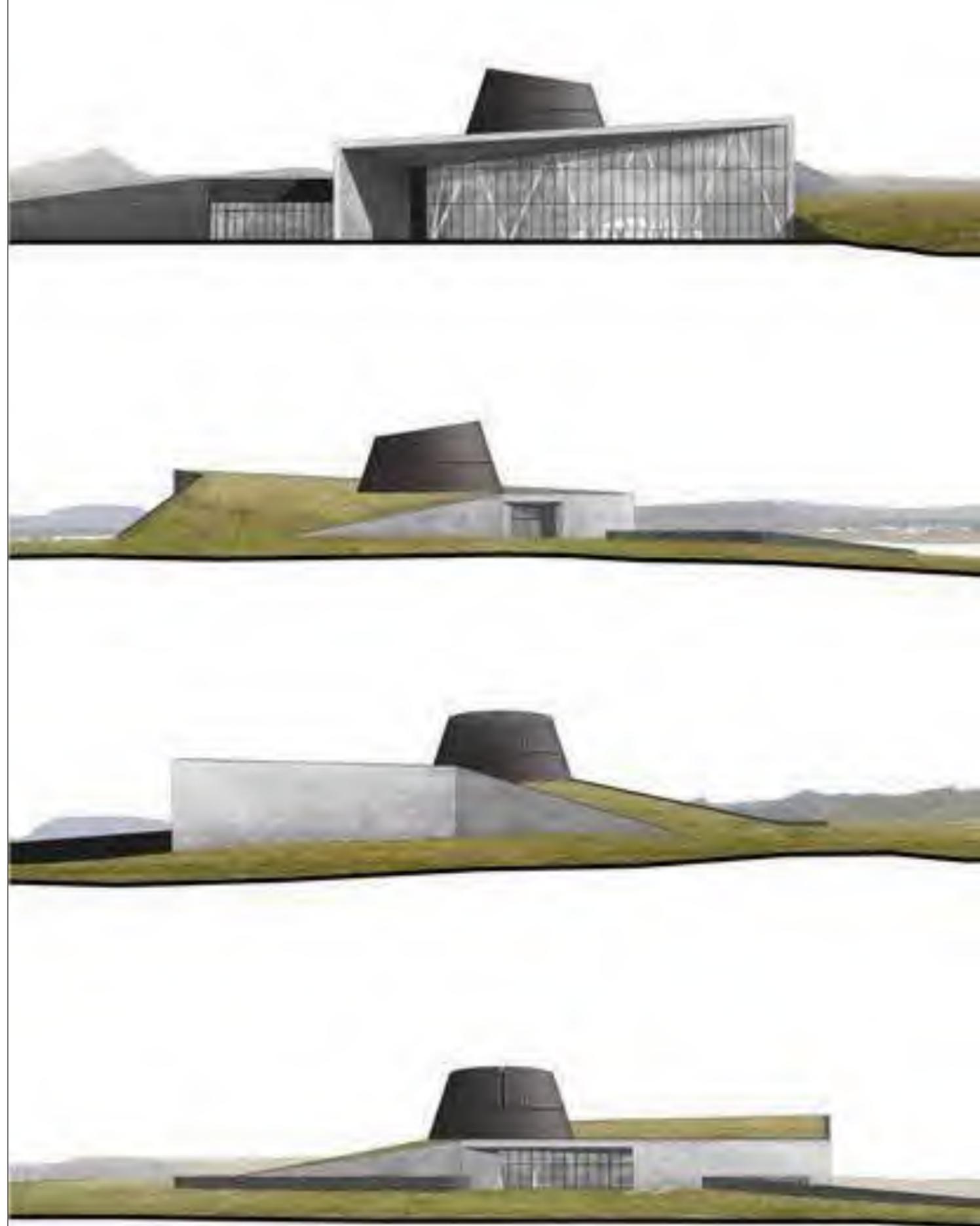
Per quanto riguarda il rivestimento esterno, si sono adottati principalmente due materiali, entrambi studiati appositamente per il contesto in cui il centro è posizionato.

Per l'edificio del corpo ristorante, di dimensioni più ridotte, si è pensato ad un rivestimento in gabion wall, riempito di pietra lavica locale di risulta dallo scavo. I colori sfumano dal grigio scuro al rossiccio. Dove necessario, il rivestimento in frammenti di lava sfusa funge anche da vero e proprio muro di contenimento per il terreno, in quanto l'edificio risulta completamente scavato nel suolo. Questa soluzione viene utilizzata anche per alcuni elementi del corpo museale anche se per la maggior parte dell'edificio si è adottata una soluzione diversa, che potesse resistere alle particolari condizioni di carichi gravitazionali e termici a cui è soggetto l'edificio.

Si è quindi sviluppata una soluzione di rivestimento in pannelli in calcestruzzo fibrorinforzato delle dimensioni di 30 x 120 cm. Questi pannelli sono stati oggetto di studio e sperimentazione presso il Laboratorio Materiali e Strutture in Calcestruzzo del Polo di Lecco. Attraverso varie prove di mix design e prove di carico, si è ottenuta la soluzione che meglio si adattasse al contesto e al clima islandese.

Per il corpo dell'osservatorio sono state invece utilizzate delle più classiche lamiere in zinco-titanio di colore grigio scuro a giunti verticali, soluzione anche in questo caso molto utilizzata nel territorio islandese per la realizzazione di edifici prevalentemente residenziali.

La gamma cromatica dell'intero progetto tende sui colori neutri, richiamando così la pietra lavica presente nel lotto e rendendo l'edificio mimetico con il paesaggio in cui è inserito.





PROGETTO ARCHITETTONICO

RIVESTIMENTI INTERNI

All'interno dell'edificio gli ambienti del corpo museale risultano molto suggestivi e legati al contesto paesaggistico circostante, grazie all'utilizzo di finiture e rivestimenti che richiamano anche in questo caso la pietra lavica tipica del luogo. È stato utilizzato il linoleum per il pavimento e delle lastre in gres con finitura che richiama la pietra per le pareti, mentre il controsoffitto è realizzato in pannelli sandwich microforati per l'assorbimento acustico. Anche in questo caso tutti i materiali sono sui toni del grigio; l'unico elemento che spicca all'interno della hall è la sfera del planetario, rivestita in pannelli sandwich di colore chiaro.

Per quanto riguarda il controllo della luce solare nel blocco espositivo, è stata lasciata volutamente come unica fonte l'enorme vetrata esposta a sud cosicché l'atrio d'ingresso risulta molto illuminato mentre la luce tenderà a diminuire man mano che si prosegue nella visita del museo creando così un percorso nel buio, sensazione accentuata anche dai rivestimenti di colore scuro, dove la sola luce, in questo caso artificiale, sarà affidata ai pannelli espositivi e agli schermi interattivi del museo.

Per il secondo blocco invece, oltre alla vetrata esposta a sud che garantisce l'illuminazione del ristorante, sono presenti anche dei lucernari per rendere gli ambienti del bookshop e delle aule di ricerca più luminosi e confortevoli. Esternamente questi lucernari fuoriescono per una certa altezza dal terreno per evitare di essere coperti dalla neve nei mesi invernali. Grazie ad una soluzione realizzata attraverso l'utilizzo del silicone strutturale, tali lucernari assumono una forma che richiama quella dei cristalli, riprendendo in un certo senso i cosiddetti diamanti di ghiaccio presenti nella Diamond Beach, una caratteristica spiaggia nera ricoperta di frammenti di ghiaccio presente nel sud dell'Islanda.





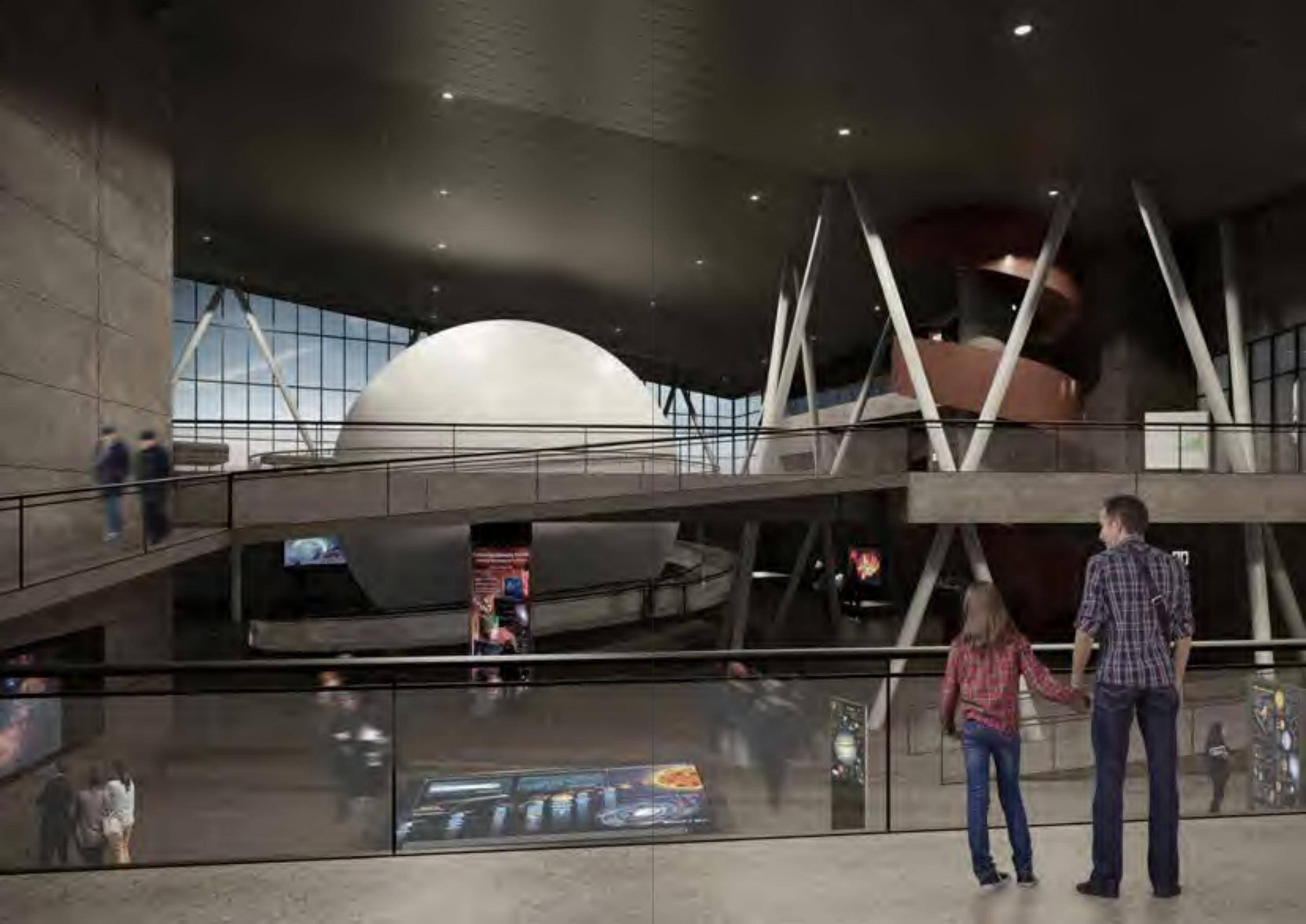


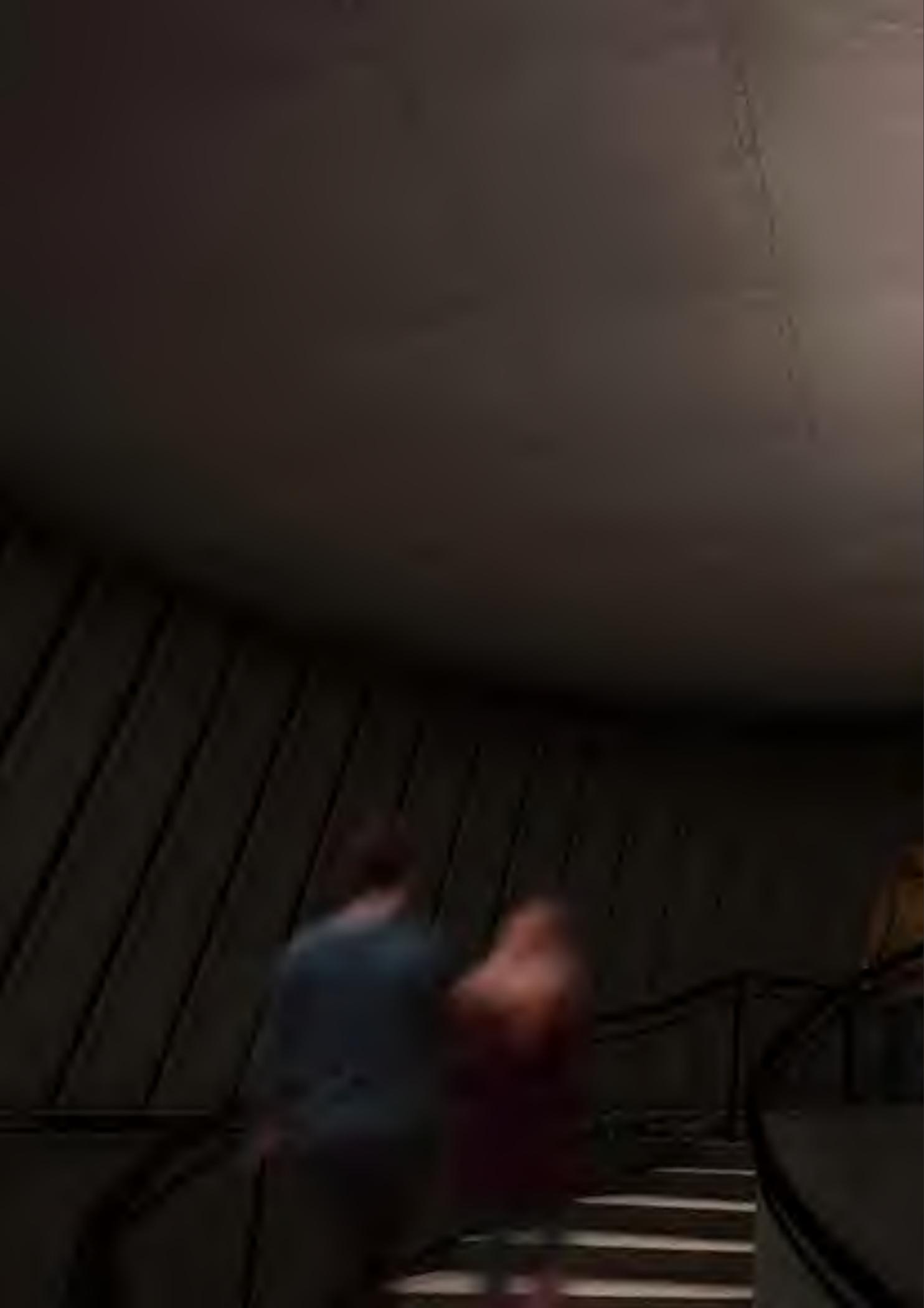
Per quanto riguarda gli ambienti del planetario e dell'osservatorio astronomico sono state effettuate scelte funzionali al tipo di architettura che si voleva creare, cercando di farli risaltare per forma e volume al fine di rimarcare la loro centralità nel progetto.

Nel planetario la calotta sferica e l'apparecchio di proiezione al centro della sala sono elementi essenziali di ogni planetario e permettono di riprodurre con accuratezza i fenomeni astronomici. La sfera è costituita da strati di materiali altamente performanti per cercare di risolvere i problemi acustici derivati dalla forma dello spazio interno. La sua struttura è in acciaio, mentre la parte interna corrispondente alla superficie di proiezione è costituita da dei profili circolari in legno, tra i quali è tesa una tela bianca. Lo stato esterno è invece formato da pannelli metallici microforati a doppia curvatura ed ha il particolare scopo di assorbire sia l'eco della voce dei relatori all'interno della sala che quello degli utenti esterni. Quest'ultimo funge anche da superficie di proiezione, con la presentazione di scene a tema scientifico apprezzabili a 360° passeggiandoci attorno.

L'osservatorio astronomico è naturalmente l'elemento architettonico dell'intero edificio che sventa più in alto in quanto, per avere una migliore esperienza, deve essere garantita una visuale completa della volta celeste e pertanto non vi devono essere ostacoli che ne intralcino la vista. Esso è costituito da un tronco di cono rivestito in lamiera zincata con copertura inclinata, che può ruotare di 360 gradi grazie ad un binario circolare posto alla base. All'interno lo spazio si sviluppa su due livelli ed è raggiungibile sia attraverso la scala circolare che tramite ascensore. Nel momento della visione notturna delle stelle, viene aperto meccanicamente un portellone che va dalla base di rotazione fino al centro della copertura per permettere una completa rotazione verticale di 90 gradi al telescopio in modo da coprire completamente l'intera volta.







STUDIO DEI PANNELLI DI RIVESTIMENTO

Tramite numerose prove in laboratorio Calcestruzzi, vengono progettati degli innovativi pannelli sottili in conglomerato cementizio. Grazie all'utilizzo di matrici fibrorinforzate e armature in rete in fibra di vetro, i pannelli sono in grado di resistere a grandi sforzi dovuti dal vento e a un gran numero di cicli di gelo e disgelo.

L'ATTIVITÀ DI LABORATORIO

Il materiale di rivestimento utilizzato nell'edificio è stato studiato presso il Laboratorio Materiali e Strutture in Calcestruzzo al Polo di Lecco del Politecnico di Milano. Infatti, grazie all'opportunità fornitaci dai Proff. Giulio Zani e Matteo Colombo, è stato possibile realizzare dei pannelli sottili in materiale cementizio di spessore 20 mm e testarne le capacità di resistenza meccanica. In seguito, si è studiato il comportamento a cicli di gelo e disgelo, condizione frequentemente riscontrabile nel nostro contesto di progettazione. Successivamente alle prove del solo composito cementizio, si sono aggiunte fibre in PVA e in fibra di vetro, rendendolo fibrorinforzato e, in ultimo, si sono armati i provini con un doppio layer di rete in fibra di vetro. Si è quindi studiato il comportamento dei diversi composti, per capire quali di questi si adattassero meglio alla realizzazione dei pannelli di facciata dell'edificio in esame.

Per la caratterizzazione dei materiali si sono realizzate:

- lastre di dimensione 400x70x20 mm da testare a rottura a flessione su 4 punti;
- travetti di dimensione 150x40x40 mm da testare a rottura a flessione su 3 punti (trazione indiretta) e a compressione;
- un provino circolare di diametro 270 mm per verificare il comportamento bidirezionale a flessione;
- due pannelli di dimensione 1200x300x20 mm, in scala 1:1 rispetto a quelli di progetto, da testare a rottura a flessione su 4 punti per comprendere le effettive potenzialità del prodotto finito.

Nel corso dei mesi, sono stati eseguiti i seguenti provini:

- provini con solo matrice
- provini con matrice + fibre di acciaio
- provini con matrice + fibre in PVA
- provini con matrice + fibre di vetro
- provini con matrice + doppia rete in fibre di vetro
- provini con matrice + doppia rete in fibre di vetro + fibre in PVA

A partire dal 4 ottobre 2018 è iniziata l'attività di laboratorio con la preparazione di due miscele consigliate dalla BASF, azienda fornitrice della matrice. Tali miscele vedono un diverso rapporto di acqua su composto premiscelato in base al comportamento richiesto, reoplastico o reodinamico. Ne è stato testato il comportamento con l'aggiunta di fibre plastiche in PVA, in vetro e in acciaio tipo 13/.20.

Le diverse prove hanno previsto l'utilizzo dei seguenti materiali:

- Matrice: S475PG
- Componente B: MasterEmaco A400
- Rete: vetro AR0770-A con appretto SBR
- Fibre (Vf=1.5%) in acciaio tipo DRAMIX OL 13/.20
- Fibre (Vf=1.5%) in PVA tipo MasterFiber 400
- Fibre (Vf=1.5%) in vetro tipo AR Cem-FIL MiniBar 24 mm





5 dicembre 2018

Si è deciso di provare un nuovo mix design, già testato dalla ditta BASF e di cui forniscono loro tutti i componenti base. Alla preparazione, avvenuta nella sala getti del Laboratorio Materiali e Strutture in Calcestruzzo a Lecco, è presente un addetto della ditta per controllare e discutere la resa della miscela.

Primo getto – 1 litro senza fibre

La ricetta usata in BASF, su getti da 6 litri, è la seguente:

| Volume | 1 | mc | 1 | l |
|----------------------|------|----|------|---|
| Cemento | 650 | kg | 650 | g |
| Loppa | 800 | kg | 800 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 10 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 243 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 287 | g |
| Acqua | 210 | kg | 210 | g |
| Additivo | 8 | kg | 8 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 35 | g |
| TOTALE | 2253 | kg | 2253 | g |

In questo caso, le fibre sono conteggiate al solo fine di formare il metro cubo totale.

Si decide di provare inizialmente con un getto di un litro, senza aggiungere le fibre e partendo con un quantitativo di superfluidificante pari a 8 g.

Si prosegue pesando i solidi e separatamente i liquidi. Successivamente, si mescolano i secchi e i liquidi e man mano si aggiunge superfluidificante.

I passaggi sono i seguenti:

1. 2 minuti Slow solo secchi
2. Aggiunta dei liquidi
3. 2 minuti Slow
4. 1 minuto Fast
5. Aggiunta di 3 g di superfluidificante
6. 1 minuto fast

7. Aggiunta di 3 g di superfluidificante e acqua per pulire il contenitore
8. 2 minuti fast
9. Aggiunta di 4 g di superfluidificante e acqua per pulire il contenitore
10. Aggiunta di 4 g di superfluidificante e acqua per pulire il contenitore
11. Aggiunta di 3 g di superfluidificante e acqua per pulire il contenitore
12. 3.30 minuti fast

In totale vengono utilizzati 25 g di superfluidificante pari a 25 kg/mc.

Tuttavia, il risultato finale non è soddisfacente. Questo è probabilmente da imputare al ridotto volume scelto per la miscela, alle numerose interruzioni per l'aggiunta di superfluidificante, al controllo del mix e, in ultimo, alla diversità tra l'impastatrice utilizzata in laboratorio e quella usata presso la BASF.

Il mix finale è il seguente.

| Volume | 1 | mc | 1 | l |
|----------------------|------|----|------|---|
| Cemento | 650 | kg | 650 | g |
| Loppa | 800 | kg | 800 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 10 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 243 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 287 | g |
| Acqua | 210 | kg | 210 | g |
| Additivo | 25 | kg | 25 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 35 | g |
| TOTALE | 2260 | kg | 2260 | g |

Secondo getto – 2 litri senza fibre

Si decide di ripetere la prova con un volume doppio del precedente, pari al massimo volume che la macchina impastatrice può supportare.

Constatato inoltre che una parte dei fluidi rimangono sulla superficie del contenitore, si decide di aumentarne leggermente le quantità. Infine, si decide di non fermare la macchina impastatrice.

Quindi i liquidi verranno aggiunti a macchina operante.



Mantenendo la macchina impastatrice sempre operante, si procede come segue:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 2 minuti Slow
4. 2 minuti Fast
5. Aggiunta di 7 g di superfluidificante
6. 3 minuti Fast
7. 1 minuto Slow
8. Aggiunta di 19 g di superfluidificante
9. 4 minuti Fast
10. 4 minuti Fast

L'aggiunta complessiva di superfluidificante è pari a 26 g per 2 l di composto. Il totale nel mix design è invece di 33 kg/mc. Al termine della prova, la pasta risulta avere una consistenza soddisfacente.

Il mix è il seguente:

| Volume | 1 | mc | 2 | l |
|----------------------|------|----|------|---|
| Cemento | 650 | kg | 1300 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1600 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 20 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 486 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 574 | g |
| Acqua | 215 | kg | 430 | g |
| Additivo | 33 | kg | 66 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 70 | g |
| TOTALE | 2273 | kg | 4546 | g |

Si prosegue quindi con la prova del minicono di Abrams che mostra un diametro nelle due dimensioni pari a 275 mm.

Si realizzano tre travetti da testare a maturazione completata, ossia dopo 28 giorni. Si realizzano inoltre tre provini per testare la resa estetica del materiale. La pasta viene gettata dentro a casseri circolari e come fondo cassero si utilizzano un foglio di carta vetrata, foglio di acetato e acciaio.

Terzo getto – 1.5 l con fibre PVA

Si ripete la prova con lo stesso mix design ottenuto dal getto precedente su un impasto di 1.5 l totali. In questo caso, si procederà inoltre all'aggiunta di fibre in PVA.

Il mix design risulta essere:

| Volume | 1 | mc | 1,5 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975,0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200,0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15,0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364,5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430,5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315,0 | g |
| Additivo | 33 | kg | 49,5 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 52,5 | g |
| TOTALE | 2268 | kg | 3403,5 | g |

Si procede come di seguito:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 2 minuti Slow
4. 5 minuti Fast
5. Aggiunta di 3 g di superfluidificante
6. 1 minuto Fast
7. 5 minuti Slow
8. 2 minuti Slow con aggiunta progressiva di fibre

Diametro della prova del minicono: 200x230 mm
Si realizzano tre travetti da provare a 28 giorni.



GETTI – PIASTRINE E TRAVETTI

12 dicembre 2018

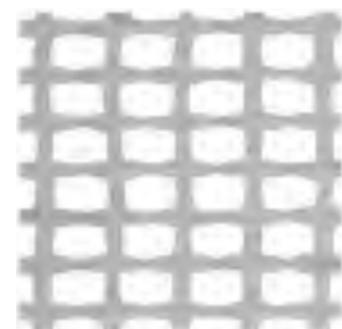
Si scasserano i getti realizzati la scorsa volta (5 dicembre 2018).

A partire dall'ultimo mix design, si preparano due composti con cui verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 piastrine rinforzate con rete + 1 travetto
- Getto n. 2: 1 piastrina rinforzate con rete + 2 travetti

Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 1.5 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975.0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200.0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15.0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364.5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430.5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315.0 | g |
| Additivo | 35 | kg | 52.5 | g |
| TOTALE | 2235 | kg | 3352.5 | g |



L'armatura di rinforzo di questi provini è una rete in fibra di vetro AR (Alkali resistant), materiale studiato per resistere agli alcali presenti nella matrice cementizia e negli impasti a base di calce, garantendo performance pressoché inalterate nel tempo

Nel caso in esame si utilizza un doppio strato di rete a maglia rettangolare 10x14.3 mm, posta rispettivamente a 1/3 e a 2/3 dello spessore totale del provino.

Come di consueto, si procede alla preparazione.

Primo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow + pausa
4. 2 minuti Fast + pausa
5. 2 minuti Slow + pausa
6. 1 minuto Fast + pausa
7. 1 minuto Slow + pausa

Si gettano le piastrine avendo cura di gettare prima una porzione di calcestruzzo, depositare un primo layer di rete, altro calcestruzzo, posizionare il secondo layer di rete e ricoprire con calcestruzzo.

Secondo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow
4. 2 minuti Fast + pausa
5. 2 minuti Slow + pausa
6. 1 minuto Fast + pausa
7. 1 minuto Slow + pausa

In questo caso, si posizionano prima i due layer di rete a secco e successivamente si riempie il cassero con il calcestruzzo.



13 dicembre 2018

Si scasserano i getti realizzati la scorsa volta (12 dicembre 2018).

A partire dall'ultimo mix design, si prepara un composto con cui verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 piastrene + 1 travetto

Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 1.5 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975.0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200.0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15.0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364.5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430.5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315.0 | g |
| Additivo | 35 | kg | 52.5 | g |
| TOTALE | 2235 | kg | 3352.5 | g |

Come di consueto, si procede alla preparazione.

Primo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow + pausa
4. 2 minuti Fast + pausa
5. 2 minuti Slow + pausa
6. 1 minuto Fast + pausa
7. 1 minuto Slow + pausa

19 dicembre 2018

Si scasserano i getti realizzati la scorsa volta (13 dicembre 2018).

A partire dall'ultimo mix design, si prepara un composto con cui verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 piastrene fibrorinforzate con fibre in PVA + 1 travetto

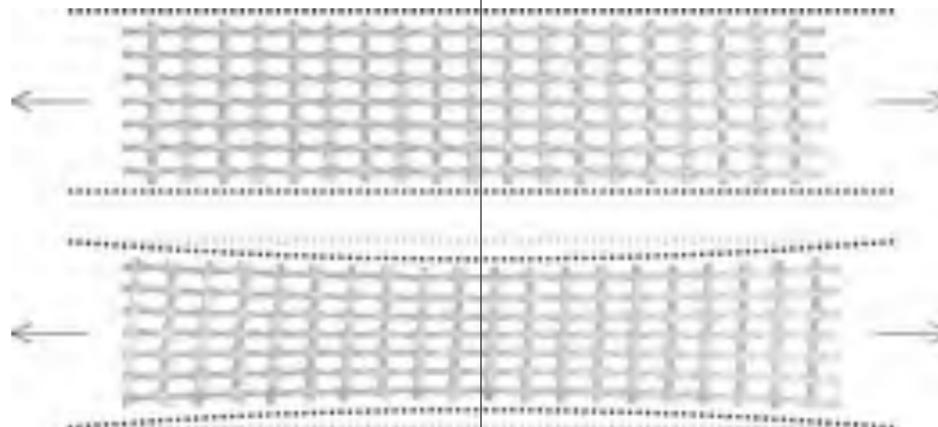
Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 1.5 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975.0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200.0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15.0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364.5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430.5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315.0 | g |
| Additivo | 35 | kg | 52.5 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 52.5 | g |
| TOTALE | 2270 | kg | 3405.0 | g |

Come di consueto, si procede alla preparazione.

Primo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow + pausa
4. 3 minuti Fast + pausa
5. 1 minuto Slow con aggiunta delle fibre in PVA + pausa
6. 1 minuto Fast + pausa



17 gennaio 2018

A partire dall'ultimo mix design, si prepara un composto con cui verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 piastrelle fibrorinforzate con fibre in PVA e rete + 1 travetto

Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 1.5 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975.0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200.0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15.0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364.5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430.5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315.0 | g |
| Additivo | 35 | kg | 52.5 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 52.5 | g |
| TOTALE | 2270 | kg | 3405.0 | g |

Come di consueto, si procede alla preparazione.

Primo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow + pausa
4. 3 minuti Fast + pausa
5. 1 minuto Fast + pausa
6. 1 minuto Slow con aggiunta delle fibre in PVA + pausa
7. 1 minuto Fast + pausa

18 e 24 gennaio 2018

A partire dall'ultimo mix design, si preparano due composti con cui verrà esaminato il comportamento delle fibre di vetro. In particolare verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 piastrelle fibrorinforzate con fibre in vetro MINIBARS + 1 travetto
- Getto n. 2: 2 piastrelle fibrorinforzate con fibre in vetro MINIBARS e rete + 1 travetto

Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 1.5 | l |
|-----------------------|---------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 975.0 | g |
| Loppa | 800 | kg | 1200.0 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 15.0 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 364.5 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 430.5 | g |
| Acqua | 210 | kg | 315.0 | g |
| Additivo | 35 | kg | 52.5 | g |
| Fibre MINIBARS | 56.49 | kg | 84.7 | g |
| TOTALE | 2298.16 | kg | 3447.2 | g |

Come di consueto, si procede alla preparazione.

Primo e secondo mix design:

1. 1 minuto Slow solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 4 minuti Slow + pausa
4. 3 minuti Fast + pausa
5. 1 minuto Fast + pausa
6. 1 minuto Slow con aggiunta delle fibre in vetro MINIBARS + pausa
7. 1 minuto Fast + pausa

Si gettano le piastrelle avendo cura di gettare prima una porzione di calcestruzzo, depositare un primo layer di rete, altro calcestruzzo, posizionare il secondo layer di rete e ricoprire con calcestruzzo.



PROVA DI FLESSIONE SU 4 PUNTI

Nelle settimane successive sono state testate le lastrine gettate in precedenza, previa maturazione a 28 giorni, con prova di flessione a rottura a 4 punti a controllo di spostamento (distanza coltelli di carico: 100 mm, distanza appoggio-coltello di carico: 150 mm).

Per la prova, si utilizza come strumentazione la macchina di carico Instron presente in laboratorio. Si utilizzano 3 LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) a 18 porte ad alta sensibilità.

La misurazione avviene tramite la conversione delle variazioni di campo elettromagnetico registrate dai trasduttori in $\mu V/V$, in percentuale di deformazione % (dato fisico) e secondo il legame lineare dato dal guadagno dello strumento.

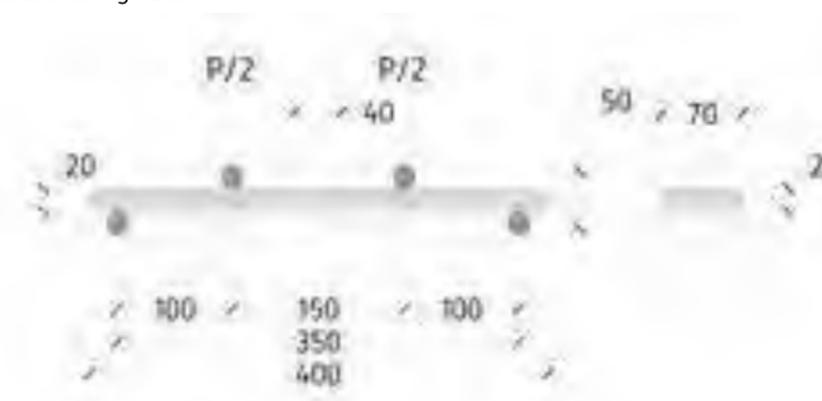
Preparazione della prova:

- Per ciascuna lastrina, di dimensione 400x70 mm, viene misurato lo spessore in 3 punti per lato (esterno, interno, esterno), 6 in totale, e si calcola lo spessore medio.
- Si traccia la posizione delle lame di carico e degli appoggi e si leviga leggermente con una lima, procedura che permette di superare gli eventuali assestamenti dovuti alla non omogeneità della superficie ed ottenere quindi curve più pulite.
- Si calcola la posizione in cui verrà la posizionata la strumentazione. In particolare, si posizionano due LVDT sul lembo teso della lastrina e un LVDT sul lembo compresso.
- Si prendono le misure relative alla strumentazione utilizzata, tenendo conto dell'eccentricità degli LVDT dalla superficie della lastrina e della distanza di riferimento degli LVDT (Gage length).
- Si posiziona la piastrina sulla macchina centrandola opportunamente e mettendo in bolla i coltelli di carico.



| PROVINO | Spessore medio | Larghezza media | Posizione rete inferiore | Posizione rete superiore |
|--------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| | mm | mm | mm | mm |
| BASF_1A_R | 18,91 | 70,61 | 11,3 | 16,5 |
| BASF_2A_R | 18,16 | 71,40 | 5,4 | 13,0 |
| BASF_3B_R | 17,31 | 70,28 | 5,5 | 10,0 |
| BASF_1A | 16,78 | 70,37 | - | - |
| BASF_2A | 17,54 | 70,99 | - | - |
| BASF_1A_F | 17,49 | 70,50 | - | - |
| BASF_2A_F | 18,24 | 70,72 | - | - |
| BASF_1A_R+F | 17,83 | 71,71 | 8,7 | 13,0 |
| BASF_2A_R+F | 18,16 | 70,24 | 6,5 | 12,5 |
| BASF_1A_FV | 17,14 | 70,33 | - | - |
| BASF_2A_FV | 17,37 | 71,59 | - | - |
| BASF_1A_FV+R | 19,13 | 70,03 | 5,3 | 15,2 |
| BASF_2A_FV+R | 19,04 | 71,68 | 11,3 | 15,7 |

La prova risulta così configurata:

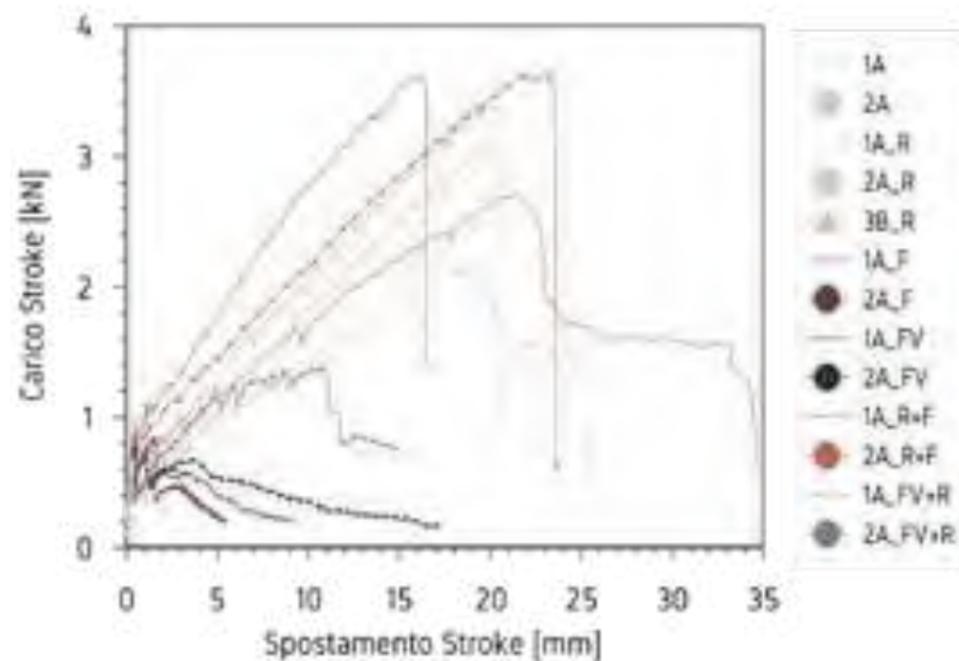




Esecuzione della prova:

1. La prova viene eseguita mettendo la piastrina in precarico a 0.2 kN circa. Questo valore viene poi annotato per ciascuna piastrina.
2. La prova viene fatta partire con una velocità pari a 0.002 mm/s fino alla prima fessurazione, poi viene aumentata a 0.004 mm/s. In caso di piastrine senza armatura e/o senza fibre, la prima fessurazione coincide con la rottura fragile della piastrina e quindi non si avrà il cambio di velocità.
3. La macchina restituisce i valori di tempo, carico, spostamento e i tre canali degli LVDT che vengono successivamente elaborati in Excel.

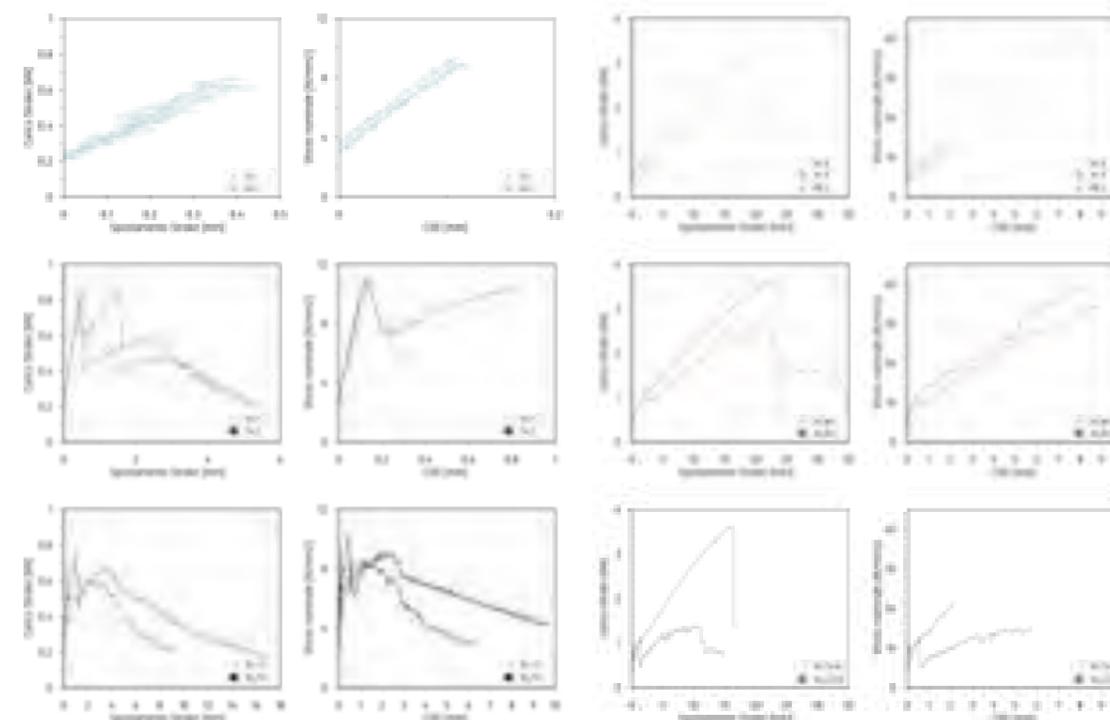
Si procede con la prova di tutte le lastrine, con i seguenti valori nel diagramma cartesiano Carico Stroke - Spostamento Stroke:

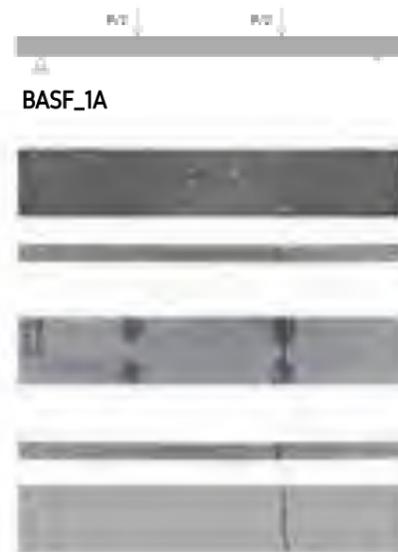


I risultati ottenuti mostrano come i valori di resistenza siano naturalmente molto inferiori nelle lastrine senza il doppio strato di armatura della rete in fibre di vetro. Dal contributo delle fibre si evidenzia comunque una notevole duttilità nei provini con sole fibre di vetro rispetto a quelle in PVA, dovuta soprattutto alla maggiore dimensione delle stesse.

Le difettosità di alcuni provini sono evidenti dal confronto con i getti effettuati nel medesimo giorno, dove si osserva in primo luogo come il posizionamento scorretto dello strato di rete inferiore influenzi i risultati dei provini coinvolti. Altri difetti che possono avere inciso sui risultati delle prove condotte sono attribuibili all'irregolarità geometrica dovuta al getto e alla conseguente localizzazione decentrata degli sforzi, oppure alla presenza di bolle d'aria.

Qui sotto vengono riproposti gli zoom relativi alle 6 diverse tipologie di combinazioni provate e i relativi diagrammi Sforzo nominale - COD (crack opening displacement):

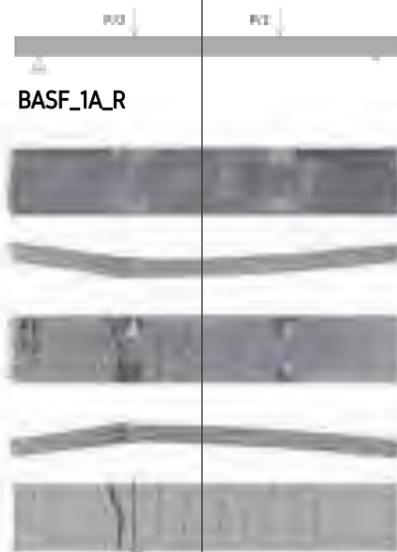




BASF_1A



BASF_2A



BASF_1A_R



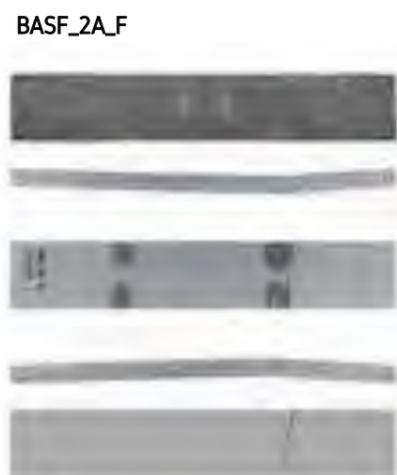
BASF_2A_R



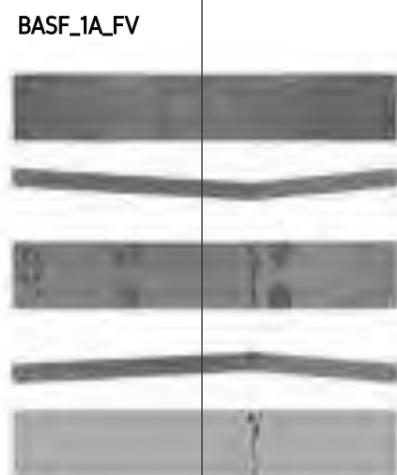
BASF_3B_R



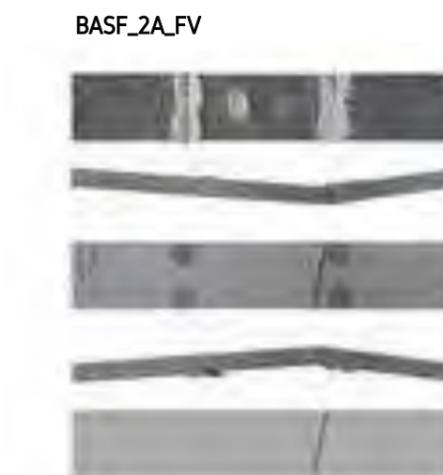
BASF_1A_F



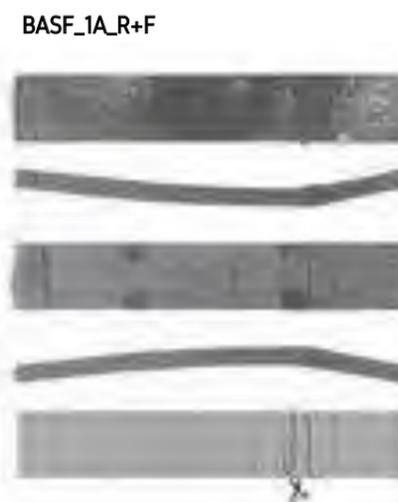
BASF_2A_F



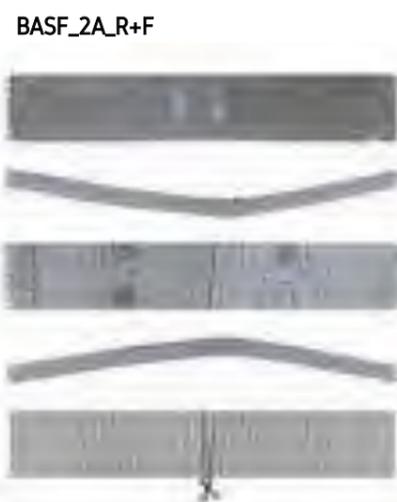
BASF_1A_FV



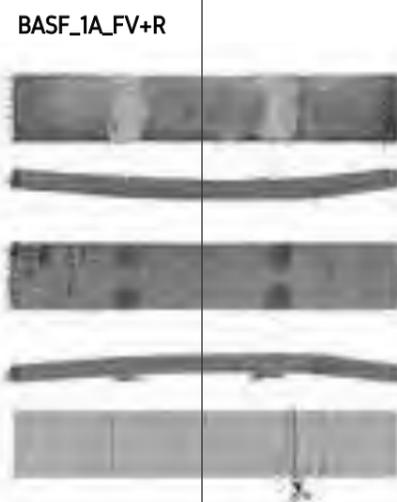
BASF_2A_FV



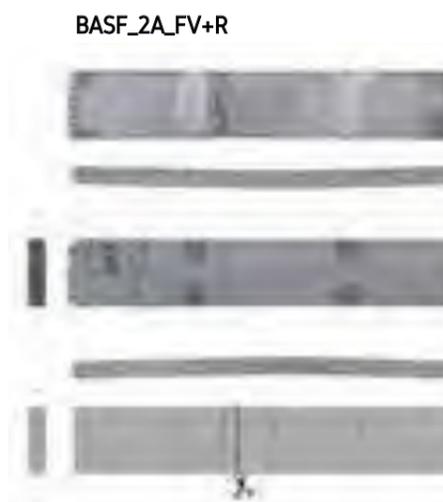
BASF_1A_R+F



BASF_2A_R+F



BASF_1A_FV+R



BASF_2A_FV+R

A conclusione di ciascuna prova di flessione si è andati ad analizzare le modalità di rottura, la posizione e la dimensione delle fessurazioni presenti. Si è inoltre tagliato il provino in prossimità della rottura per misurare il posizionamento effettivo della rete. Generalmente, la rottura avviene in corrispondenza dei coltelli di carico e soltanto più raramente all'interno. I casi in cui la rottura avviene fuori sono da attribuire alla difettosità.

Nei provini a sola matrice, la rottura è fragile in prossimità del coltello di carico, così come nel caso di aggiunta di fibre, la cui capacità di redistribuire è insufficiente a prevenire una rottura fragile. Discorso diverso per quanto riguarda le lastre armate, che grazie al contributo della rete raggiungono alti valori di spostamento e di carico massimo. L'aggiunta di fibre aiuta l'apertura di fessura, limitandone la dimensione specifica e totale.

Le fessure si presentano con un passo costante, confrontabile con quello della rete, che fornisce un'alta concentrazione degli sforzi da cui si forma la fessura. Infine, le fibre di vetro, pur avendo un comportamento migliore, presentano fenomeni di delaminazione lungo i piani in cui è disposta la rete.

Verranno pertanto utilizzati nei successivi getti dei provini le fibre in PVA.



PROVE DI FLESSIONE SU 3 PUNTI E DI COMPRESIONE

22 febbraio 2018

Si procede al calcolo dello spessore medio, misurando lo spessore dei travetti in 3 punti per lato. Al termine dei 28 giorni di maturazione, i travetti relativi ai getti già analizzati sulle deformazioni, sono stati testati a rottura per flessione (prova a 3 punti) in controllo di deformazione (precarico: 0,1 kN, velocità di deformazione: 0,0011 mm/sec) e a compressione in controllo di carico (velocità di carico: 2400 N/sec). Si ricorda che tali prove sono state effettuate su un numero ridotto di campioni, 3 nella giornata del 12/12/2018 su due getti (A e B), mentre 1 nelle rimanenti giornate.

| PROVINO | Data getto | l1 [mm] | l2 [mm] | l3 [mm] | Media l [mm] |
|--------------|------------|---------|---------|---------|--------------|
| Basf_1A | 12/12/2018 | 40,27 | 39,56 | 39,62 | 39,82 |
| Basf_2B | 12/12/2018 | 40,68 | 40,05 | 40,05 | 40,26 |
| Basf_3B | 12/12/2018 | 39,99 | 39,9 | 39,63 | 39,84 |
| Basf_1A_R | 13/12/2018 | 40,59 | 40,29 | 40,41 | 40,43 |
| Basf_1A_F | 19/12/2018 | 40,63 | 40,62 | 40,34 | 40,53 |
| Basf_1A_F+R | 17/01/2019 | 40,54 | 40,33 | 40,63 | 40,50 |
| Basf_1A_FV | 18/01/2019 | 38,78 | 39,11 | 38,71 | 38,87 |
| Basf_1A_FV+R | 24/01/2019 | 39,96 | 39,2 | 39,14 | 39,43 |

Nella tabella sottostante vengono confrontate le medie delle prove a flessione effettuate in controllo di deformazione e di quelle di compressione.

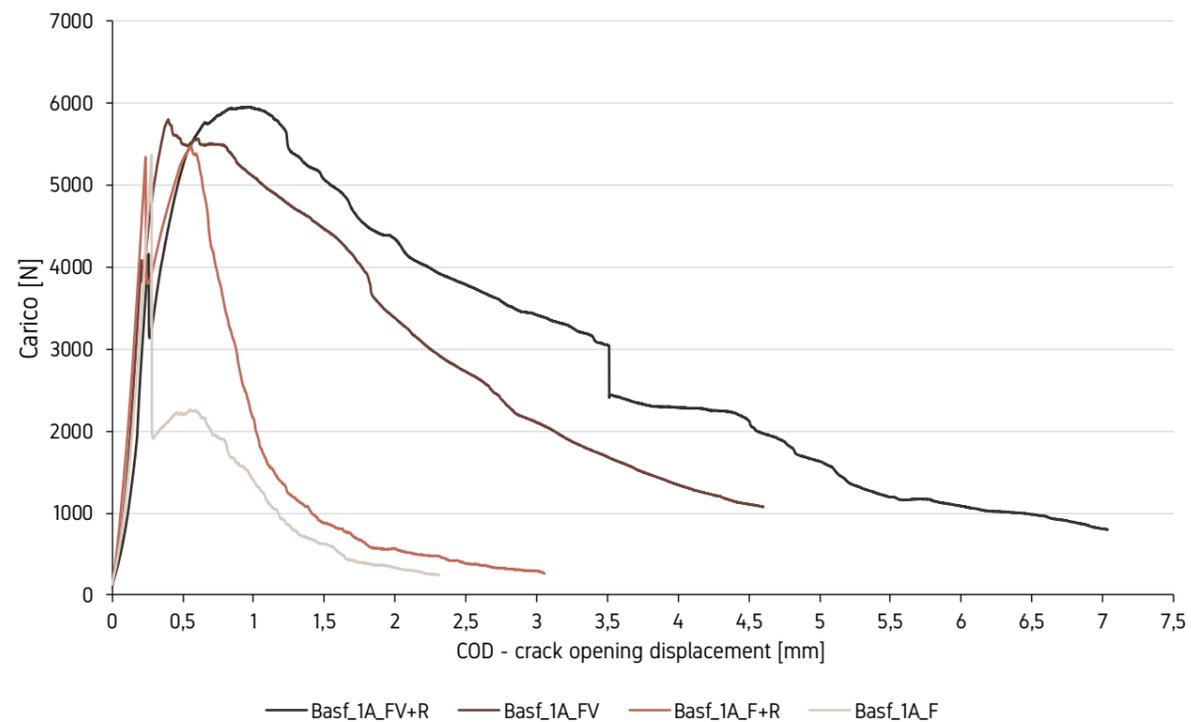
Tutti i provini mostrano valori di picco abbastanza simili, con discrepanze dovute più alla non omogeneità e alla maturazione che non al contributo dato dalle fibre.

Per la resistenza a compressione si nota una buona approssimazione tra i risultati di laboratorio e la curva descritta dalla norma, senza una notevole differenza tra le miscele con e senza fibre.

| PROVINO | Data prova | Pmax [N] | Mmax [N · mm] | fctf [MPa] | fctm [MPa] | Pmax [kN] | fcc [MPa] | fcm,av [MPa] |
|--------------|------------|----------|---------------|------------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| Basf_1A | 22/02/2019 | 4716,55 | 116734,61 | 10,99 | 3,80 | 146,60 | 92,05 | 90,98 |
| | | | | | | 143,21 | 89,92 | |
| Basf_2B | 22/02/2019 | 5021,84 | 124290,54 | 11,58 | 4,01 | 147,65 | 91,69 | 93,81 |
| | | | | | | 154,49 | 95,93 | |
| Basf_3B | 22/02/2019 | 4546,51 | 112526,12 | 10,59 | 3,66 | 146,78 | 92,11 | 90,06 |
| | | | | | | 140,25 | 88,01 | |
| Basf_1A_R | 22/02/2019 | 4038,89 | 99962,53 | 9,27 | 3,21 | 134,94 | 83,44 | 85,72 |
| | | | | | | 142,32 | 88,00 | |
| Basf_1A_F | 07/03/2019 | 5366,59 | 132822,98 | 12,29 | 4,25 | 157,21 | 96,97 | 96,18 |
| | | | | | | 154,65 | 95,39 | |
| Basf_1A_F+R | 07/03/2019 | 5340,88 | 132186,84 | 12,24 | 4,23 | 150,07 | 92,64 | 94,93 |
| | | | | | | 157,50 | 97,22 | |
| Basf_1A_FV | 01/03/2019 | 5798,51 | 143513,22 | 13,85 | 4,79 | 140,89 | 90,62 | 94,97 |
| | | | | | | 154,39 | 99,31 | |
| Basf_1A_FV+R | 06/03/2019 | 4158,41 | 102920,65 | 9,79 | 3,39 | 146,46 | 92,85 | 88,22 |
| | | | | | | 131,83 | 83,58 | |

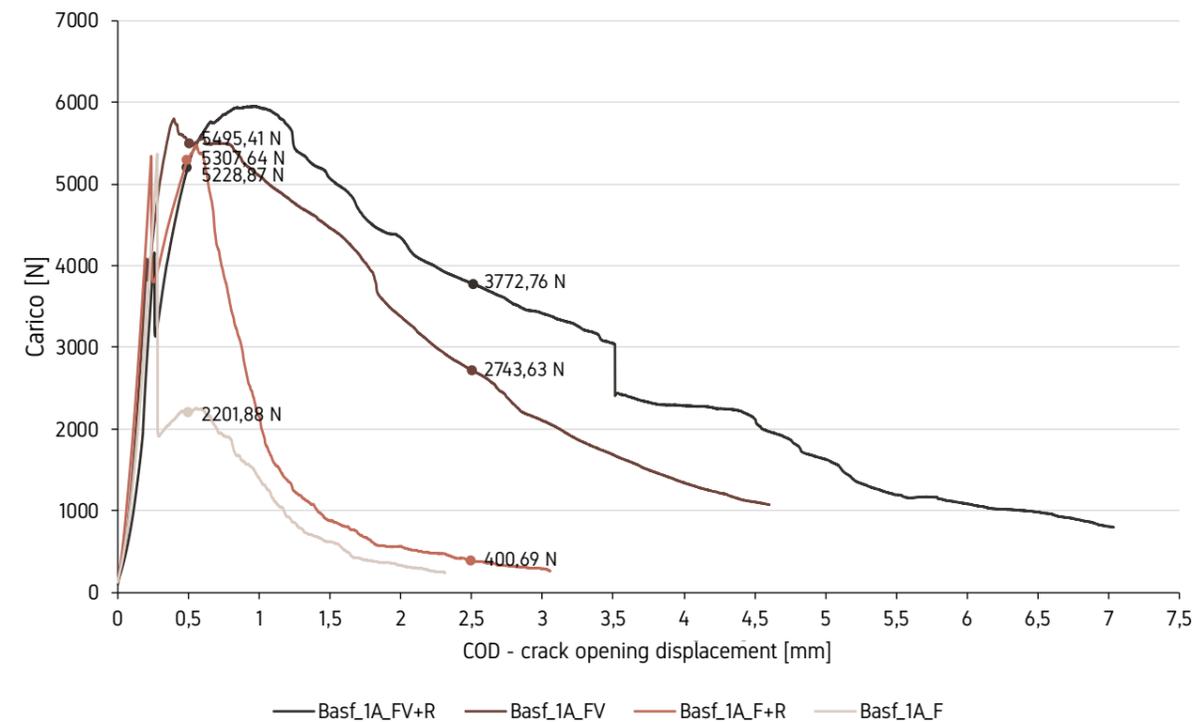


La prova di flessione su 3 punti permette di analizzare il comportamento post-picco e di confrontare il comportamento delle fibre in PVA e di quelle in vetro. Tutti i provini mostrano un ramo pressoché elastico fino al carico di rottura della matrice. Successivamente si registra una diminuzione del carico dovuta all'attivazione delle fibre. Se queste sono in numero sufficiente, è possibile che il comportamento post picco superi il carico di prima fessurazione, mostrando un comportamento incrudente. Al contrario, si verifica un comportamento tipo softening. Questa distinzione, oltre al rapporto volumetrico delle fibre, dipende anche dalla tipologia delle stesse. Al termine della prova le fibre risultano in parte rotte ed in parte sfilate, e le due parti del provino non completamente separate. Questo comportamento permette di evitare una rottura fragile che risulterebbe più pericolosa e meno controllabile.



Si vanno quindi ad individuare i valori di trazione dati dal contributo delle fibre rispettivamente a COD 0,5 e 2,5 mm di spostamento, valori stabiliti dalla normativa come di riferimento per SLE e SLU:

| PROVINO | $\omega_{0,5}$ [N] | $\omega_{2,5}$ [N] |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Basf_1A_F | 2201,88 | - |
| Basf_1A_F+R | 5307,64 | 400,69 |
| Basf_1A_FV | 5495,41 | 2743,63 |
| Basf_1A_FV+R | 5228,87 | 3772,76 |





LA COSTRUZIONE DEL PROTOTIPO E DEL PROVINO CIRCOLARE

1 marzo 2018

A partire dall'ultimo mix design, si prepara un composto che verrà preparato nel miscelatore da 40 l e successivamente verranno gettati i seguenti elementi:

- Getto n. 1: 2 prototipi in scala 1:1 dei pannelli (dim. 1200x300x20mm) con fibre in PVA e rete
- Getto n. 2: 1 provino circolare (ø540mm) con fibre in PVA e rete

Il mix design risulta quindi essere il seguente:

| Volume | 1 | mc | 30 | l |
|----------------------|------|----|--------|---|
| Cemento | 650 | kg | 19500 | g |
| Loppa | 800 | kg | 24000 | g |
| Sabbia fine | 10 | kg | 300 | g |
| Sabbia media | 243 | kg | 7290 | g |
| Sabbia grossa | 287 | kg | 8610 | g |
| Acqua | 210 | kg | 6300 | g |
| Additivo | 35 | kg | 1050 | g |
| Fibre PVA | 35 | kg | 1050 | g |
| TOTALE | 2270 | kg | 6800.0 | g |

Si procede alla preparazione, aggiungendo liquidi e fibre dall'alto con macchina operante:

1. 1 minuto solo secchi
2. Aggiunta di liquidi
3. 20 minuti + pausa
4. 3 minuti con aggiunta delle fibre in PVA
5. 10 minuto Fast + pausa

28 marzo 2018

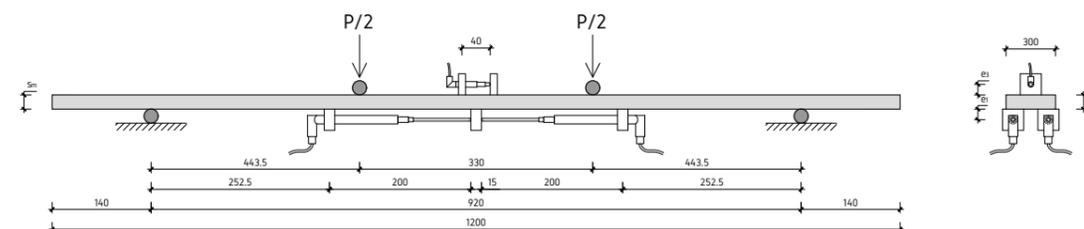
SET UP DELLA PROVA – LASTRE 1:1

Si procede alla preparazione della prima prova. Le lastre hanno una lunghezza di 1200 mm e una larghezza di 300 mm.

Analogamente a quanto fatto per le lastre provate in precedenza, si procede come segue:

- Si prendono gli spessori della piastra in otto punti (quattro per lato) e se ne ricava lo spessore medio, pari a 23.1 mm;
- Si segna la mezzeria, la distanza dei coltelli di carico e degli appoggi;
- Si incollano i supporti per un singolo LVDT sul lembo compresso;
- Si incollano 6 supporti per 4 LVDT sul lembo teso.

Lo schema risulta essere come quello mostrato in figura.





Si posiziona la lastra sotto le lame di carico, avendo cura di centrarla e mettendo in bolla le lame di carico. Si procede con il collegamento elettrico della strumentazione e si mette in precarico la macchina.

Il set up è così definito:

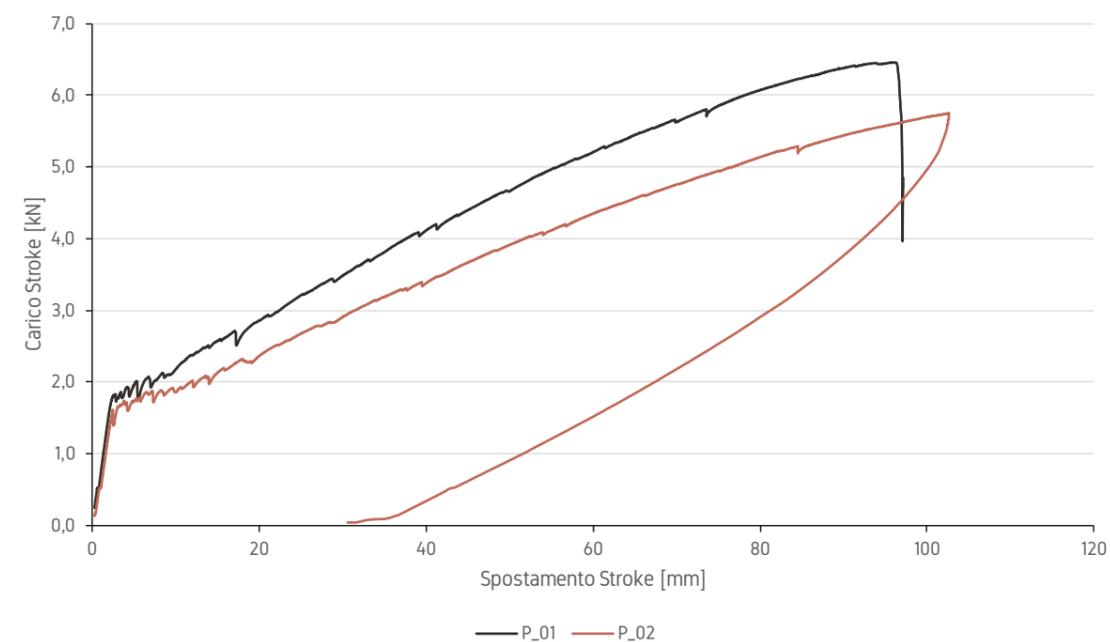
- Precarico: 0.200 kN
- Velocità iniziale: 0.002 mm/s
- Velocità post fessura: 0.004 mm/s
- Velocità finale: 0.01 mm/s

Si ripete la prova per entrambi i pannelli, si rielaborano i dati e si tracciano i grafici, visibili a lato.

La prima prova termina con una localizzazione della fessura che tuttavia non porta a rottura la piastra. La prova viene infatti terminata per raggiungimento dei limiti geometrici della macchina. La seconda lastra provata presenta un comportamento molto soddisfacente. Si flette infatti per oltre 100 mm, fessurando ma senza arrivare a localizzare. Il carico massimo raggiunto è pari a 5.7 kN. Anche in questo caso, si ferma la prova per raggiungimento dei limiti geometrici. Scaricando la lastra, essa tende a riprendere parzialmente la forma iniziale.

Si ripete la medesima prova con la seconda lastrina.

Carico Stroke - Spostamento



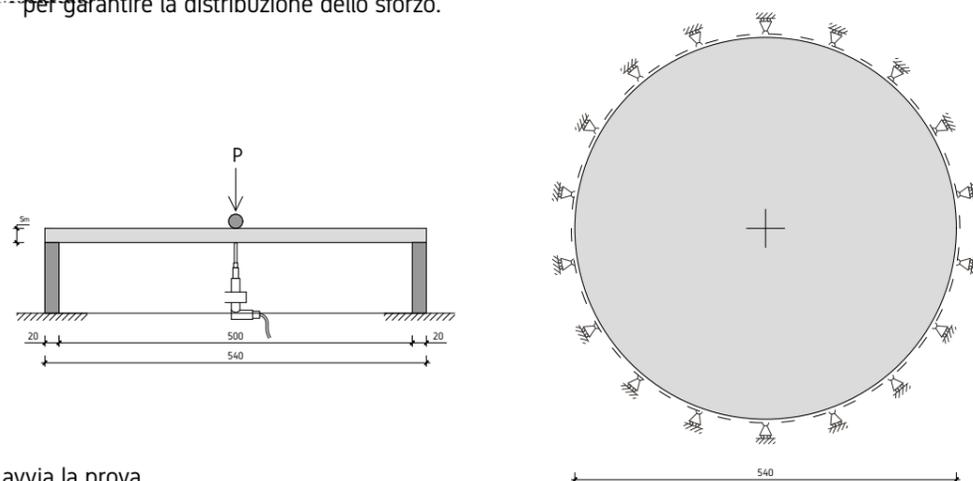


PIASTRA CIRCOLARE

La procedura descritta per la piastra in scala 1:1 è simile anche per la piastra circolare. La prova di questa piastra prevede l'appoggio della stessa su tutta la circonferenza e un carico concentrato centrale. Oltre al carico e allo spostamento della macchina, l'unico parametro che verrà misurato sarà lo spostamento fuori piano dovuto alla flessione. La misura verrà effettuata tramite LVDT ad asse verticale.

Si procede come segue:

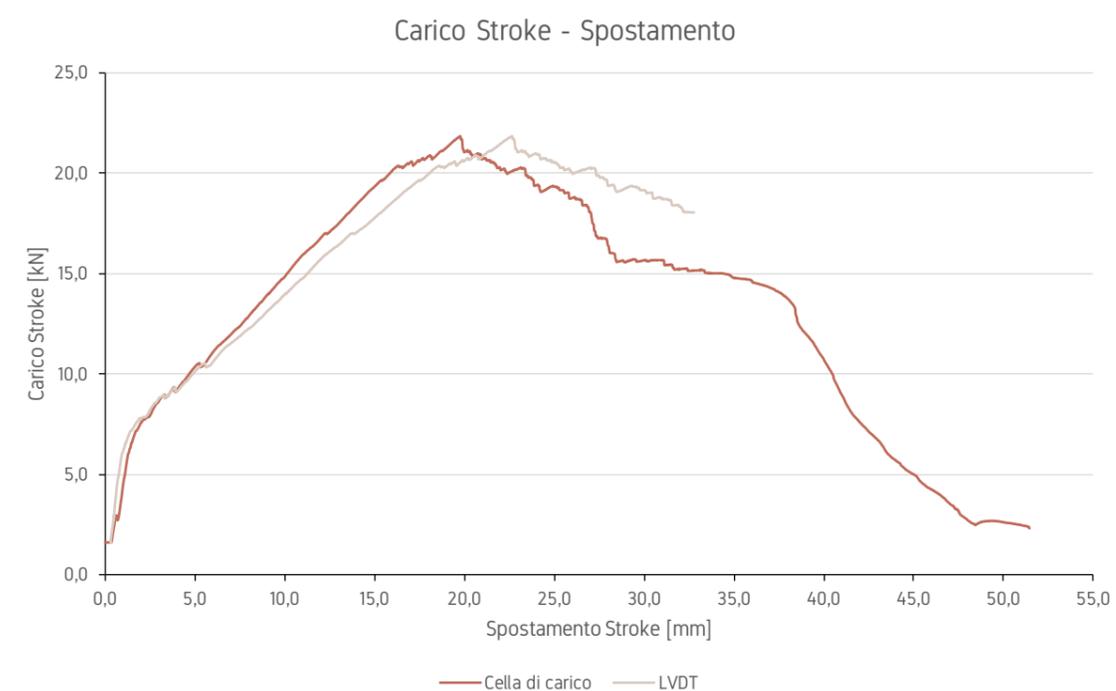
- Si prende lo spessore in otto punti;
- Si individua il centro della piastra ove si applicherà il carico;
- Si individua il centro della piastra inferiore e si posiziona un supporto per l'LVDT;
- Si posiziona la piastra sotto la macchina;
- Il diametro dell'elemento punzonante è pari a 100 mm. Viene posizionato un cuscinetto di neoprene per garantire la distribuzione dello sforzo.



Si avvia la prova.

Durante la prova, in controllo di spostamento, la piastra incomincia subito a flettersi e incomincia a fessurarsi sul lembo inferiore teso. Verso la fine, le fessure si protraggono al lembo superiore. Viene fermata la prova quando ormai l'elemento punzonante ha rotto la piastra e ci passa praticamente oltre. A prova conclusa, si rielaborano i dati.

Il carico massimo che la piastra riesce a supportare è pari a 22 kN e lo spostamento massimo registrato, prima di fermare la prova, è di 50 mm. Si riporta il grafico carico - spostamento della prova, con le curve relative alla misurazione dello spostamento della cella di carico e dell'LVDT.



LA RESISTENZA AL GELO E DISGELO

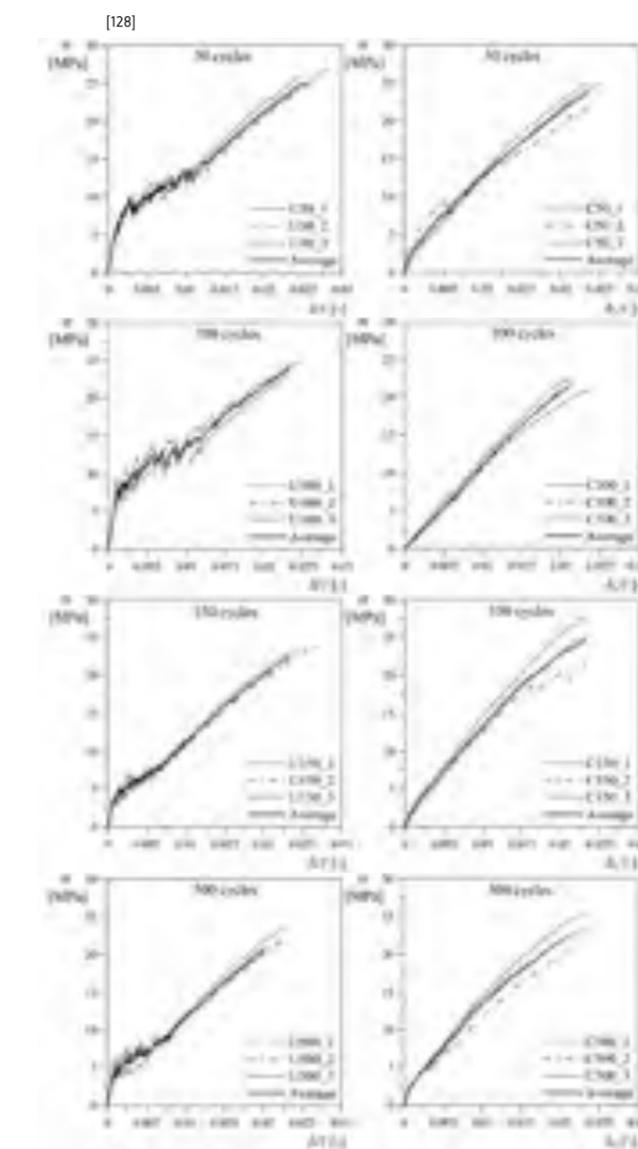
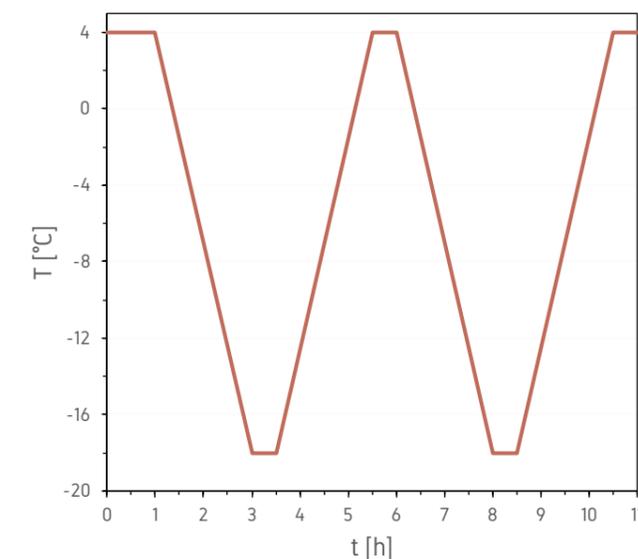
La caratterizzazione del materiale può essere inoltre testata sottoponendo i provini a cicli di gelo e disgelo. La prova infatti evidenzia la deteriorabilità del materiale sotto carichi termici naturali periodici che comportano il continuo passaggio dell'acqua da liquido a solido e viceversa. L'influenza di questa grave condizione ambientale può infatti influire in maniera negativa sulla duttilità e sulla durabilità del composito, soprattutto in ambienti costantemente esposti alle basse temperature come quelli islandesi. Al congelamento e allo scongelamento dell'acqua all'interno delle cavità del composito consegue una variazione di volume, e quindi di pressione interna. Tale forza può facilmente eccedere il valore di resistenza a trazione del materiale. L'espansione del volume d'acqua è legata principalmente alla permeabilità del calcestruzzo e alla conseguente espulsione del liquido eccedente. Un aumento del contenuto di umidità durante lo scongelamento accresce esponenzialmente il fenomeno e porta allo sviluppo di pressione osmotica interna.

Il lavoro è stato effettuato studiando analiticamente il comportamento a trazione di una matrice cementizia fibrinforzata simile a quella utilizzata durante il laboratorio. Nel caso in esame, tratto da una pubblicazione del 2015 dei Proff. I. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, sono stati trattati e testati tre campioni non fessurati (U) e altrettanti pre-fessurati (C). In questi ultimi, la presenza delle fessure facilita la penetrazione di acqua e di conseguenza la formazione di ghiaccio ogni qualvolta che le temperature lo permettono.

Risulta difficile valutare i cicli di gelo e disgelo che possano avvenire all'interno della lastrina in un certo arco temporale. È quindi altrettanto complicato definire la correlazione tra il numero di cicli da eseguire in laboratorio e la vita di servizio effettiva del materiale. Tuttavia, la capacità del calcestruzzo di resistere a un prestabilito numero di prove in laboratorio di gelo e disgelo è una certa indicazione del suo alto grado di durata in condizioni di servizio.

Dopo 28 giorni di maturazione, i campioni sono stati sottoposti a diversi cicli termici di gelo e disgelo secondo la Procedura A (ASTM C 666) della normativa. Il test prevede una variazione di temperatura tra i 4 °C e -18 °C, con una velocità di raffreddamento e riscaldamento pari a 11 °C/h. Per ciascuna delle due temperature estreme, è poi previsto un tempo di riposo di 30 min. Si veda il grafico esplicativo in alto. Durante la prova, ciascun campione è stato completamente circondato da uno strato di 2 mm di acqua durante ogni ciclo termico. Sono stati considerati diversi scenari e, in particolare, vengono qui riportati i diagrammi relativi a 50, 100, 150 e 500 cicli.

Dai risultati delle prove emergono dati molto interessanti. In primo luogo, i danni superficiali delle lastre in calcestruzzo si sono manifestati solamente dopo un alto numero di cicli. Nel caso delle lastre non fessurate, la perdita dello strato di malta dalla superficie laterale è stata osservata dopo 150 cicli, mentre dopo 500 cicli è stato visibile un leggero deterioramento della superficie superiore.



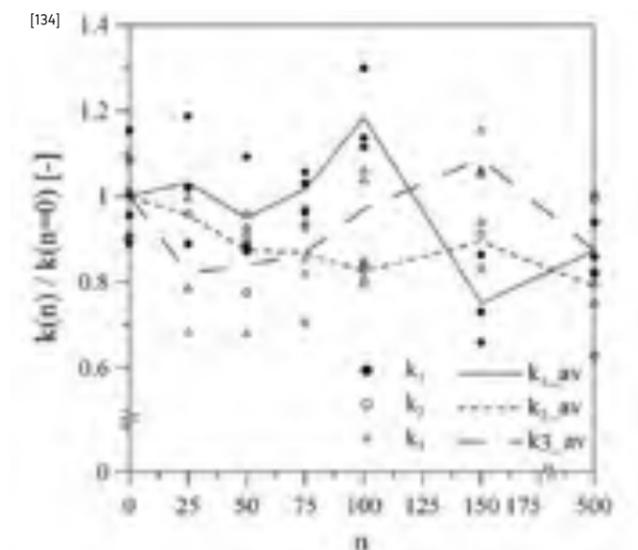
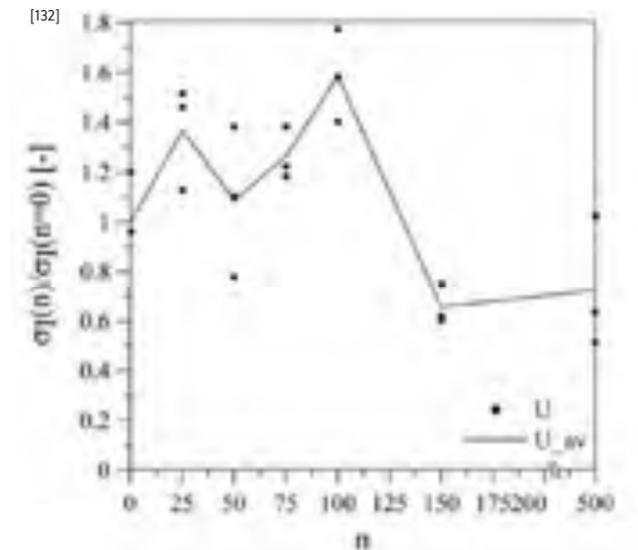
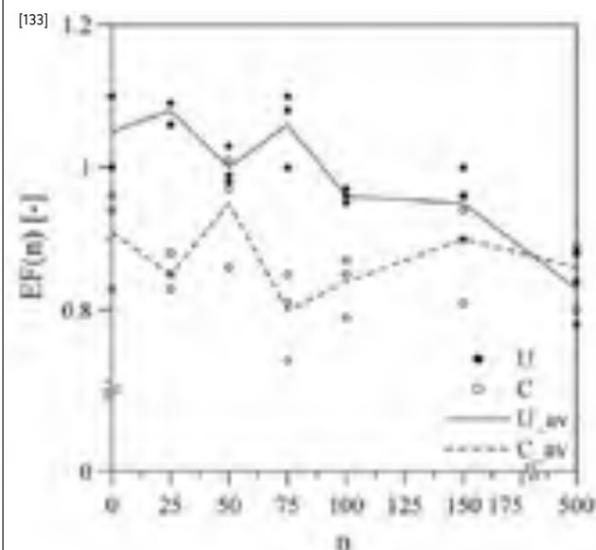
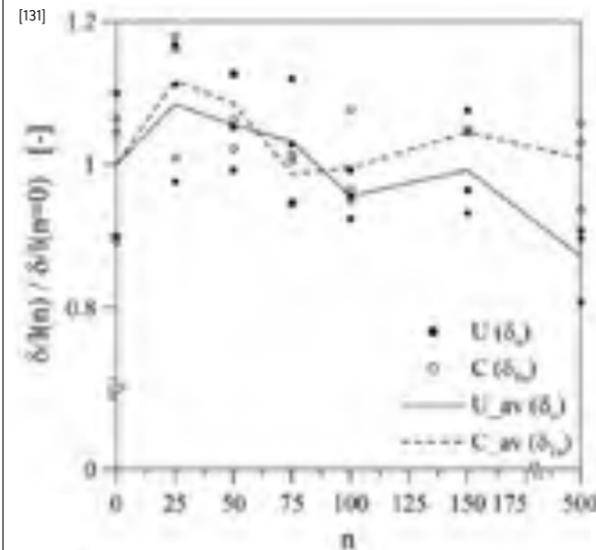
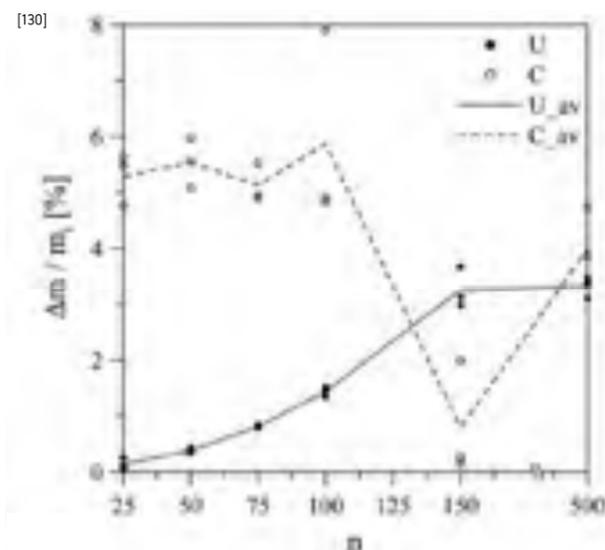
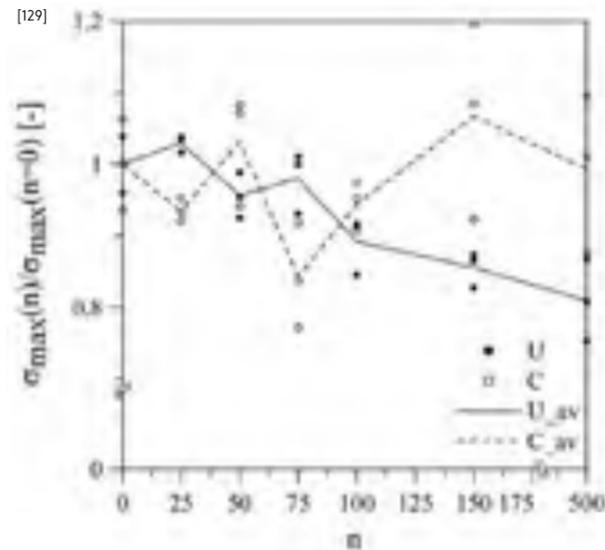
Il fenomeno è stato più evidente nei provini prefessurati, dove la superficie superiore ha evidenziato danni visibili già prima dei 100 cicli ed è cresciuta con l'aumentare del numero di cicli. Questo peggioramento ha causato una perdita di massa che verrà presa in considerazione durante le rielaborazioni dei dati e le analisi successive.

I grafici riportati a fianco mostrano l'andamento sforzo-deformazioni dei provini sottoposti a 50, 100, 150 e 500 cicli divisi in non fessurati, a sinistra, e prefessurati, a destra. È immediato notare come la lunghezza del ramo elastico, e quindi la rigidità iniziale, sia fortemente influenzata dal numero di cicli a cui è stato sottoposto il provino. Nel caso di provini non fessurati, il ramo iniziale tende ad accorciarsi all'aumentare dei cicli, mentre confrontando le due tipologie di provini, fessurati e non, il comportamento generale sembra avere una correlazione, stabilizzandosi a valori confrontabili.

L'evoluzione dei rami in post-fessurazione presenta invece differenze di rigidità dovute principalmente alla non perfetta aderenza nell'interfaccia tra rete, matrice e fibre e ai relativi sfilamenti. Questo è dovuto al fatto che entrambi i parametri sono regolati dallo stesso danno della matrice, ma anche che essi hanno la stessa sensibilità per il test in regime di eccentricità.

In conclusione, due diversi fenomeni governano il comportamento delle piastrene soggette a cicli di gelo e disgelo: i danni dovuti ai cicli termici e l'autoriparazione e la tarda idratazione causata dalla permanenza di acqua all'interno della matrice. A causa della prefessurazione, che permette ad un maggior quantitativo d'acqua di penetrare più a fondo nella matrice, il fenomeno di autoriparazione e di idratazione tardiva si registra maggiormente nei provini prefessurati. Tale condizione è inoltre ben visibile nell'aumento della massa.

1. Cicli termici superiori a 100 comportano una degradazione della matrice cementizio, arrivando fino al 40 % con l'aumentare dei cicli.
2. Nel caso di provini non fessurati, i cicli termici compromettono anche lo sforzo ultimo, probabilmente a causa della degradazione del legame della rete di irrigidimento con la matrice;
3. Nel caso di provini prefessurati, si registra un parziale miglioramento della perdita di rigidità iniziale per cicli termici superiori a 75, causato presumibilmente dai fenomeni di autoriparazione e idratazione tardiva;
4. Un recupero del legame si registra in corrispondenza di panorama fessurativo più denso e simile al passo della rete. Anche in questo caso, il motivo è imputabile ai fenomeni di autoriparazione e idratazione tardiva.



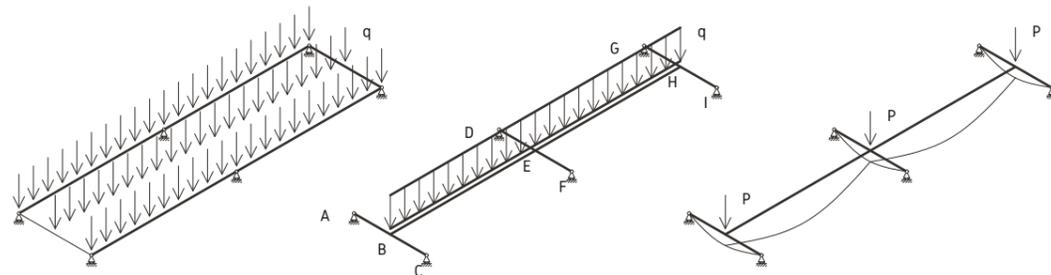
LA MODELLAZIONE AD ELEMENTI FINITI

Prima di procedere all'esame agli elementi finiti, si provvede a risolvere lo schema statico semplificato rappresentante il pannello sotto l'azione del vento.

In particolare, si considera una piastra sottile appoggiata su sei vincoli a cerniera e soggetta a un carico uniformemente distribuito sull'intera superficie. A favore di sicurezza, si considera il pannello maggiormente sollecitato, ossia quello posto ad altezza maggiore. L'entità del carico del vento è considerato come il massimo valore raggiunto dalla spinta del vento, pari a 2.042 kN/m².

Si riportano i valori principali:

- Dimensioni del pannello: $L \times l \times s = 1.20 \times 0.30 \times 0.02 \text{ m}$
- Carico distribuito sulla superficie: $q = 2.042 \text{ kN/m}^2$
- Modulo elastico del materiale: $E = 44140 \text{ MPa} = 4.414 \cdot 10^{-7} \text{ kN/m}^2$



Poiché la dimensione longitudinale è molto maggiore di quella trasversale, si ipotizza uno schema isostatico come quello raffigurato nell'immagine centrale, dove a tre aste semplicemente appoggiate a terra è incastrata un'asta centrale. Si ripartisce il carico come forza distribuita linearmente sull'asta in mezzeria, il quale produrrà un'azione di taglio e di momento, oltre che a deformare la stessa.

Le aste minori saranno poi soggette a carico concentrato in mezzeria con valore pari al taglio dell'asta longitudinale. È ragionevole pensare che la freccia totale del pannello sia data dalla sommatoria dei due contributi, allo stesso modo del momento flettente.

I valori di momento d'inerzia delle aste sono:

- Asta longitudinale: $J_{\text{long}} = (l \cdot s^3)/12 = (0.3 \cdot 0.02^3)/12 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$
- Asta trasversale di bordo: $J_{\text{tras,b}} = (L/4 \cdot s^3)/12 = (0.3 \cdot 0.02^3)/12 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$
- Asta trasversale centrale: $J_{\text{tras,c}} = (L/2 \cdot s^3)/12 = (0.6 \cdot 0.02^3)/12 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 = 2 \cdot J_{\text{tras,b}}$

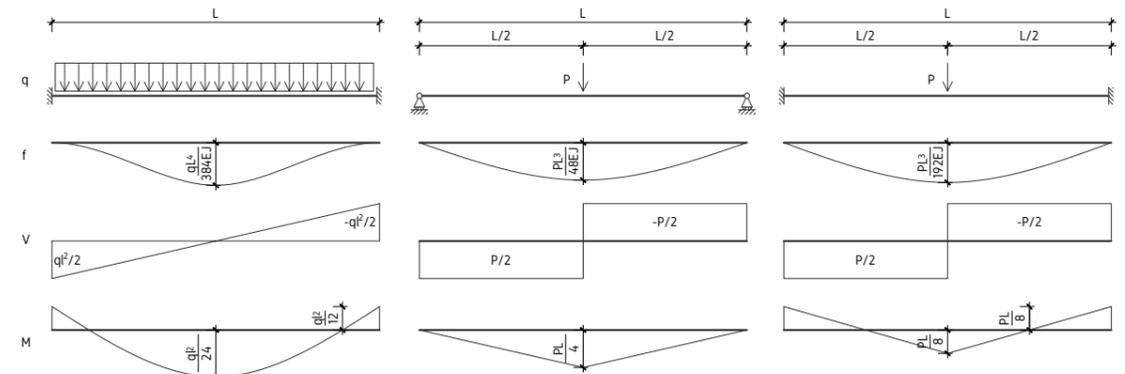


Figura 1

Figura 2

Figura 3

Si procede al dimensionamento considerando lo schema statico simmetrico e quindi schematizzabile come in figura 1, dove:

$$L = 0.6 \text{ m}$$

$$Q = q \cdot l = 2.042 \cdot 0.3 = 0.613 \text{ kN/m}$$

Si calcola il valore del taglio agli estremi e della freccia massima in mezzeria:

$$V = P_b = Q \cdot L / 2 = 0.613 \cdot 0.6 / 2 = 0.184 \text{ kN}$$

$$P_c = 2 \cdot P_b = 0.368 \text{ kN}$$

$$f' = (Q \cdot L^4) / (384 \cdot E \cdot J_{\text{long}}) = (0.613 \cdot 0.6^4) / (384 \cdot 4.414 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-7}) = 2.34 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0.023 \text{ mm}$$

Si considera ora l'effetto sulle aste trasversali, applicando lo schema statico in figura 2. Occorre dividere tra il caso dell'asta di bordo e quella centrale a causa della diversa rigidità delle stesse sul carico agente. Per entrambe si calcola la freccia:

$$f''_b = (P_b \cdot L^3) / (48 \cdot E \cdot J_{\text{tras,b}}) = (0.184 \cdot 0.3^3) / (48 \cdot 4.414 \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-7}) = 1.17 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 0.012 \text{ mm}$$

$$f''_c = (P_c \cdot L^3) / (48 \cdot E \cdot J_{\text{tras,c}}) = (2 \cdot P_b \cdot L^3) / (48 \cdot E \cdot 2 \cdot J_{\text{tras,b}}) = f''_b$$

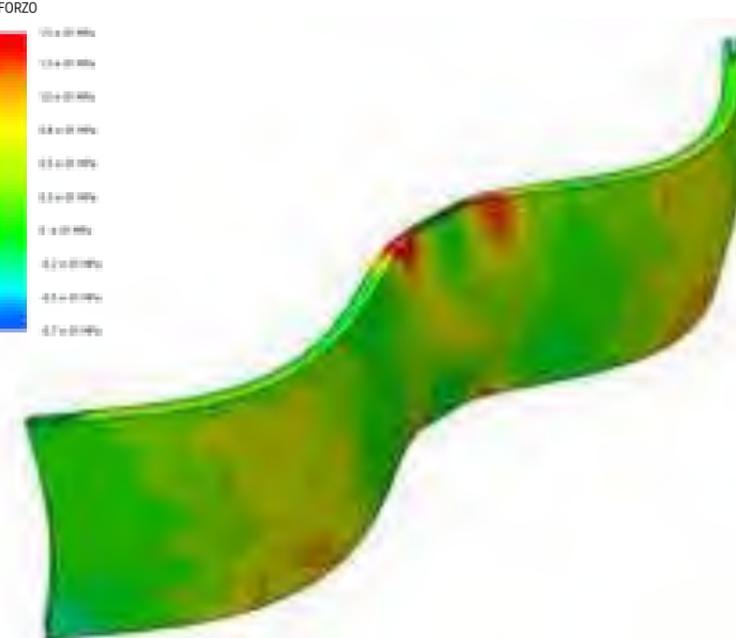
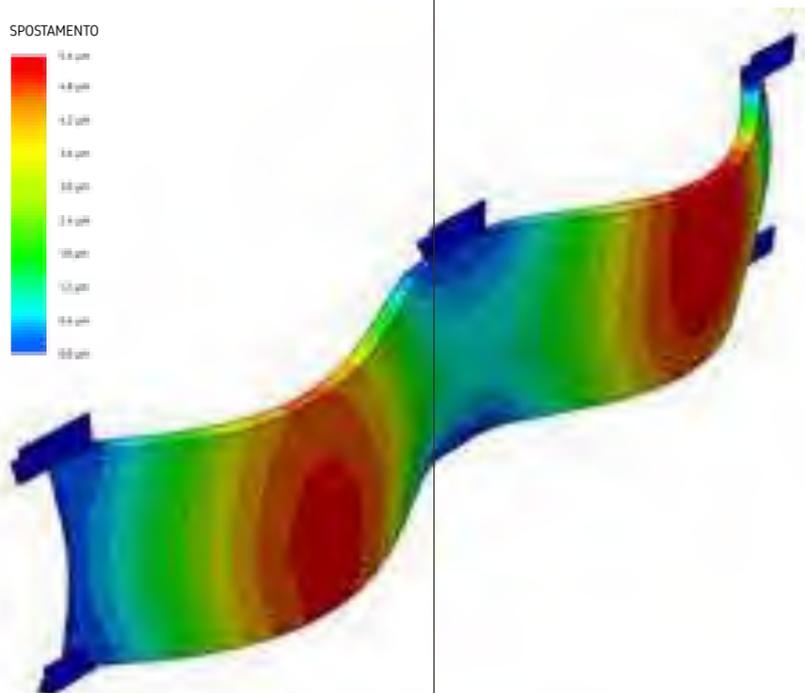
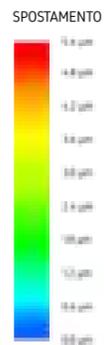
Il tipo di aggancio utilizzato per il pannello è probabilmente più simile ad un incastro che ad una cerniera. È quindi più corretto utilizzare uno schema statico come quello in figura 3, la cui freccia è un quarto di quella calcolata, ossia:

$$f'' = 0.003 \text{ mm}$$

La freccia totale massima, in corrispondenza della mezzeria (a $x = L/4$ e $x = 3L/4$ dello schema originale) vale:

$$f_{\text{tot}} = f' + f'' = 0.023 + 0.003 = 0.026 \text{ mm}$$

Che corrisponde a meno di 1/20000 della luce.



Quanto sopra calcolato è valido per un telaio piano isostatico, ma in caso di piastra va tenuto in considerazione l'effetto di redistribuzione degli sforzi e l'effetto irrigidente delle aste trasversali sulla freccia dell'asta longitudinale.

Si ricorre quindi alla modellazione e all'analisi agli elementi finiti con il software Abaqus.

All'interno del programma, si lavora principalmente sui seguenti moduli:

- PART: si importa il modello tridimensionale del pannello con tutte le componenti, ovvero l'elemento in calcestruzzo, i 6 profili di ancoraggio e le 6 tasche metalliche annegate nel pannello.
- MATERIAL: si inseriscono i dati riportati nelle pagine precedenti, dove le caratteristiche fisiche e meccaniche del materiale cementizio fibrorinforzato sono quelle emerse dalle prove in laboratorio.
- SECTION: si definiscono le sezioni dell'elemento con le relative caratteristiche geometriche.
- ASSEMBLY: si assemblano le varie parti del modello al fine di avere un unico sistema di riferimento.
- STEP: si configurano i relativi passaggi di analisi e le corrispondenti risposte richieste. In fase iniziale viene applicato solo il peso proprio del materiale, successivamente anche il carico dato dal vento.
- INTERACTION: si specificano le interazioni e le caratteristiche meccaniche fra le diverse parti del modello, definendo i vincoli di contatto fra le superfici. Il sistema riconosce in automatico le facce adiacenti tra loro e ne assegna i vincoli.
- LOAD E BCS: si definiscono i carichi e le condizioni al contorno agenti sul modello inserendo la forza peso propria del materiale e i valori di spinta del vento adottati nella pagina precedente.
- MESH: si suddivide il pannello in mesh di elementi finiti, avendo cura di rispettare il numero massimo di nodi disponibili per la versione accademica del software.
- JOB: una volta finiti tutti i processi che riguardano la definizione dei dati di input, si sottopone il modello ad analisi.

Il modulo di visualizzazione infine fornisce un'interfaccia grafica nella quale si osservano i risultati ottenuti dall'analisi agli elementi finiti. È possibile visualizzare la deformata del modello, gli stati tensionali e deformativi agenti in ogni direzione del sistema di riferimento, gli spostamenti e le forze nodali di ogni punto dell'elemento in ogni istante dello step di analisi.

Da questi risultati, si può vedere come il punto più critico sia in prossimità del vincolo centrale. Infatti, in questo punto, si verifica una concentrazione degli sforzi dovuta ai momenti riportati dalle mezzerie delle curve. Tuttavia, essendo in gioco forze piccole se confrontate con gli sforzi resistenti, non vi sono rischi di fessurazione. Per quanto riguarda la deformata, essa ripercorre l'andamento di una trave a due campate su tre appoggi. Lo schema utilizzato in Abaqus risulta infatti simmetrico e si poteva semplificare.

È interessante notare come la freccia massima, circa pari a 5 micron, risulti molto minore di quella calcolata per via analitica. Questo importante risultato è dovuto all'effetto a piastra che ripartisce gli sforzi in modo uniforme. Un ulteriore contributo è dovuto dall'effetto membranale abilitato in Abaqus. Nella modellazione viene infatti presa in considerazione l'effetto positivo delle deformazioni fuori piano, che tendono a far diminuire la freccia totale.

Si può quindi concludere che le analisi effettuate con Abaqus sono state congruenti con le prove sperimentali. Inoltre, la modellazione ai modelli finiti fornisce un interessante punto di partenza per future implementazioni, come lo studio dell'aderenza tra matrice e rete.



PROGETTO STRUTTURALE

L'inserimento del planetario all'interno dell'edificio ha richiesto un progetto strutturale piuttosto complesso. È stata infatti dimensionata ed ottimizzata una copertura reticolare spaziale per resistere ai grandi carichi, oltre che ad una piastra forata in calcestruzzo armato. In ultimo, si è dimensionata la sfera geodetica ospitante il planetario.

AZIONI SULLE COSTRUZIONI

L'edificio oggetto di studio è situato nell'Islanda settentrionale e pertanto è soggetto alle normative islandesi. Per il solo fine didattico della tesi, vengono utilizzate le Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti in Italia. Tuttavia, ove possibile, i valori di riferimento presenti nelle NTC verranno sostituiti da parametri riferiti al sito di progetto, pertanto non tabellati e adeguatamente giustificati.

Le normative di riferimento sono le seguenti:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018
- Eurocodici

il sito di progetto è identificato dai seguenti parametri geografici:

Stato: Islanda
 Regione: Norðurland eystra
 Città di riferimento: Reykjavíð
 Zona altimetrica: Riva di lago
 Latitudine: 65°37'55.6"N
 Longitudine: 16°55'44.1"W
 Altitudine: 780 m s.l.m.

VITA NOMINALE DI PROGETTO

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa 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.

La struttura in oggetto appartiene alla seconda categoria.

| Vita nominale | | | |
|---|-------|-----|------|
| Costruzioni temporanee e provvisorie | V_N | 10 | anni |
| Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari | V_N | 50 | anni |
| Costruzioni con livelli di prestazioni elevati | V_N | 100 | anni |

CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

| Coefficiente d'uso | | | |
|---|----|-----|-----|
| Classe d'uso I - Occasionale | CU | 0,7 | adm |
| Classe d'uso II - Normali affollamenti | CU | 1,0 | adm |
| Classe d'uso III - Affollamenti significativi | CU | 1,5 | adm |
| Classe d'uso IV - Funzioni pubbliche importanti | CU | 2,0 | adm |

Poiché l'edificio ospiterà un centro scientifico, la classe d'uso scelta è la classe III. Si ricava quindi il coefficiente d'uso $C_U = 1.5$

PERIODO DI RIFERIMENTO

Il periodo di riferimento è calcolato come il prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso. Si ottiene un periodo di riferimento pari a 75 anni.

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.5 = 75 \text{ anni}$$

ANALISI DEI CARICHI

Per l'analisi dei carichi si fa riferimento al §2.5 delle NTC18.

Le azioni sono classificate secondo la variazione della loro intensità nel tempo e si dividono in:

- permanenti (G): azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti nel tempo:
 - peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno, quando pertinente; forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno); forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo) (G1);
 - peso proprio di tutti gli elementi non strutturali (G2);
- variabili (Q): azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo:
 - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;
 - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura.
- eccezionali (A): azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura. Tali azioni non verranno prese in considerazioni in questa analisi.
- sismiche (E): azioni derivanti dai terremoti.

Si utilizzano le combinazioni caratteristiche, che saranno definite successivamente, con i relativi coefficienti ψ :

| Categoria/Azione variabile | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-------------|-------------|-------------|
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione | 0 | 0 | 0 |
| Vento | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Neve (a quota < 1000 m s.l.m.) | 0,5 | 0,2 | 0 |

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$Y_{G1} \cdot G_1 + Y_{G2} \cdot G_2 + Y_P \cdot P + Y_{Q1} \cdot Q_{k1} + Y_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + Y_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

CARICHI PERMANENTI

Le azioni permanenti da inserire nelle combinazioni legate all'azione gravitazionale sono determinate a partire dalle dimensioni geometriche e dai pesi dell'unità di volume dei materiali di cui è composta la costruzione sia nelle parti strutturali sia in quelle non strutturali: i pesi dell'unità di volume e i carichi pertinenti devono essere definiti a partire da fonti riconosciute.

I carichi sono in genere da considerare come applicati staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici devono essere debitamente valutati. Oltre che nella situazione definitiva d'uso, si devono considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione.

In fase di progetto, la robustezza dell'opera deve essere verificata imponendo azioni nominali convenzionali, in aggiunta alle altre azioni esplicitate (non sismiche e da vento), applicate secondo due direzioni orizzontali ortogonali e consistenti in una frazione dei carichi pari all'1%, al fine di verificare il comportamento complessivo.

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

Per la determinazione dei pesi propri strutturali (G_1) dei più comuni materiali si assumono i valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella §Tab. 3.1.I della NTC 2008. In alternativa, si fa riferimento alla scheda tecnica del particolare materiale.

CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Sono considerati carichi permanenti non strutturali i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti ed altro.

Essi devono essere valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi dell'unità di volume dei materiali costituenti. In linea di massima i carichi permanenti portati ed i carichi variabili potranno assumersi, per la verifica d'insieme, come uniformemente ripartiti.

Per la determinazione dei carichi agenti sulle strutture si è calcolato il peso delle stratigrafie, dividendo il peso portato da quello portante.

Questo valore, calcolato per ogni strato, si ottiene dalla seguente relazione:

$$P_a = \sum sp_i \cdot \gamma_i$$

dove:

| | |
|------------|---|
| P_a | peso per unità di superficie del materiale che compone lo strato i-esimo [kN/m ²] |
| sp_i | spessore dello strato i-esimo [m] |
| γ_i | peso specifico caratteristico del materiale [kN/m ³] |
| n | numero degli strati presenti |

Per il calcolo delle partizioni interne verticali la normativa prevede un metodo differente rispetto a quello sopra descritto, poiché si tratta di distribuire il carico lineare del pacchetto tecnologico (kN/m) lungo tutta la superficie del solaio.

Il peso della stratigrafia di ogni muro portato dal solaio viene calcolato tramite la formula:

$$G_2 = P_a \cdot h$$

dove:

| | |
|-------|--|
| G_2 | peso proprio per unità di lunghezza (carico lineare dell'elemento divisorio kN/m) |
| P_a | peso per unità di superficie del materiale che compone lo strato i-esimo kN/m ² |
| h | altezza della parete divisoria (m) |

Le partizioni interne sono degli elementi mutevoli che possono cambiare più volte durante il progetto e la vita dell'edificio; questa semplificazione permette dunque, supponendo un valore dato dalla normativa, di evitare di dover rieseguire ogni volta un calcolo strutturale. Questa procedura è ammissibile però soltanto nel caso in cui il peso della partizione non sia troppo elevato, in particolare deve essere minore di 5 kN/m.

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito g_{2k} , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_{2k} ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza G_2 delle partizioni nel modo seguente tramite il D.M.14.01.2008, paragrafo 3.1.3.1 per elementi divisori con :

| | |
|------------------------------|--------------------------------|
| $G_2 \leq 1,00$ kN/m: | $g_2 = 0,40$ kN/m ² |
| $1,00 < G_2 \leq 2,00$ kN/m: | $g_2 = 0,80$ kN/m ² |
| $2,00 < G_2 \leq 3,00$ kN/m: | $g_2 = 1,20$ kN/m ² |
| $3,00 < G_2 \leq 4,00$ kN/m: | $g_2 = 1,60$ kN/m ² |
| $4,00 < G_2 \leq 5,00$ kN/m: | $g_2 = 2,00$ kN/m ² |

In allegato e nei capitoli successivi sono riportate le stratigrafie di riferimento e i relativi valori numerici.

CARICHI VARIABILI

I carichi variabili comprendono i carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- Carichi verticali uniformemente distribuiti q_k [kN/m²]
- Carichi verticali uniformemente distribuiti Q_k [kN]
- Carichi orizzontali lineari H_k [kN/m]

Nel caso in esame, i carichi variabili che vengono presi in considerazione sono:

- Categoria A - Ambienti ad uso residenziale: Cat. A Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali
- Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento: Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento
- Categoria H - Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione
- Categoria I - Coperture praticabili

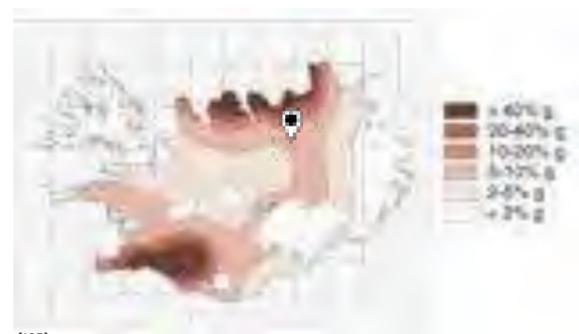
| Categoria/Ambiente | q_k [kN/m ²] | Q_k [kN] | H_k [kN/m] |
|---|-----------------------------------|------------|--------------|
| Categoria A - Ambienti ad uso residenziale | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| Categoria B - Uffici | 2,00 | 2,00 | 1,00 |
| Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento | 5,00 | 5,00 | 3,00 |
| Categoria D - Ambienti ad uso commerciale | 4,00 | 4,00 | 2,00 |
| Categoria E - Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale | $\geq 6,00$ | 7,00 | 1,00 |
| Categoria F - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso < 30 kN) | 2,50 | 2 x 10,00 | 1,00 |
| Categoria G - Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN) | 5,00 | 2 x 50,00 | 1,00 |
| Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione | 0,50 | 1,20 | 1,00 |
| Categoria I - Coperture praticabili | secondo categorie di appartenenza | | |
| Categoria K - Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...) | da valutarsi caso per caso | | |

AZIONE SISMICA

Le 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. La pericolosità sismica è definita come l'accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR. Secondo le NTC18, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, 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.

Per la caratterizzazione dell'azione sismica in Islanda, in particolare per l'entità dell'accelerazione al suolo, si fa riferimento alle mappe infografiche in accordo all'Eurocodice 8



[135]



[136]



[137]

Si deduce da tali mappe, riportate nella pagina precedente, che il sito di interesse è caratterizzato da un'accelerazione orizzontale al suolo compresa tra il 5% e il 10% di g con periodo di ritorno 475 anni.

Si utilizzerà la città di Pisa come riferimento italiano per riferirci all'azione sismica del sito in Islanda. Infatti tale città presenta un'accelerazione immediatamente superiore al limite sopra descritto, pari all'11.8% di g.

Si procede al calcolo del periodo di ritorno T_R del sisma partendo dalla probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R .

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR})$$

Si ricavano i seguenti periodi di ritorno per i diversi Stati Limite:

| Vita nominale | | SLO | SLD | SLV | SLC |
|----------------------------|--------------|-----|-----|-----|------|
| Probabilità di superamento | P_{VR} | 81% | 63% | 10% | 5% |
| Periodo di ritorno | T_R [anni] | 45 | 75 | 712 | 1462 |

I valori di accelerazione orizzontale massima al sito, di valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale sono così definiti:

| Stato Limite | | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|-------------|------|------|------|------|
| Accelerazione orizzontale massima | a_g [g] | 0,05 | 0,06 | 0,14 | 0,17 |
| Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale | F_0 [adm] | 2,55 | 2,57 | 2,39 | 2,39 |
| Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale | T_c^* [s] | 0,24 | 0,26 | 0,28 | 0,29 |

Per definire l'azione sismica di progetto sarebbero necessarie analisi specifiche. 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. Per il sito in oggetto si sceglie la categoria C, da cui si può calcolare il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s e C_c attraverso le seguenti formule:

$$S_s = 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot a_g/g \quad \text{se } 1,00 < S_s < 1,50$$

$$C_c = 1,05 \cdot (T_c^*)^{-3,3}$$

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

| Categoria di sottosuolo | | SLO | | SLV | | SLO | | SLC | |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | C_c | S_s | C_c | S_s | C_c | S_s | C_c | S_s |
| Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. | A | 1,00 | 1,0 | 1,00 | 1,0 | 1,00 | 1,0 | 1,00 | 1,0 |
| Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente tra 360 m/s e 800 m/s. | B | 1,46 | 1,2 | 1,44 | 1,2 | 1,42 | 1,2 | 1,41 | 1,2 |
| Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente tra 180 m/s e 360 m/s. | C | 1,67 | 1,5 | 1,64 | 1,5 | 1,59 | 1,5 | 1,59 | 1,5 |
| Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente tra 100 e 180 m/s. | D | 2,54 | 1,8 | 2,46 | 1,8 | 2,35 | 1,8 | 2,34 | 1,8 |
| Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. | E | 2,03 | 1,6 | 1,97 | 1,6 | 1,91 | 1,6 | 1,90 | 1,6 |

| Categorie topografiche | | S_T |
|---|----|-------|
| Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ | T1 | 1,0 |
| Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ | T2 | 1,2 |
| Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ | T3 | 1,2 |
| Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ | T4 | 1,4 |

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot T/T_B + a_g \cdot S \cdot (1 - T/T_B)$$

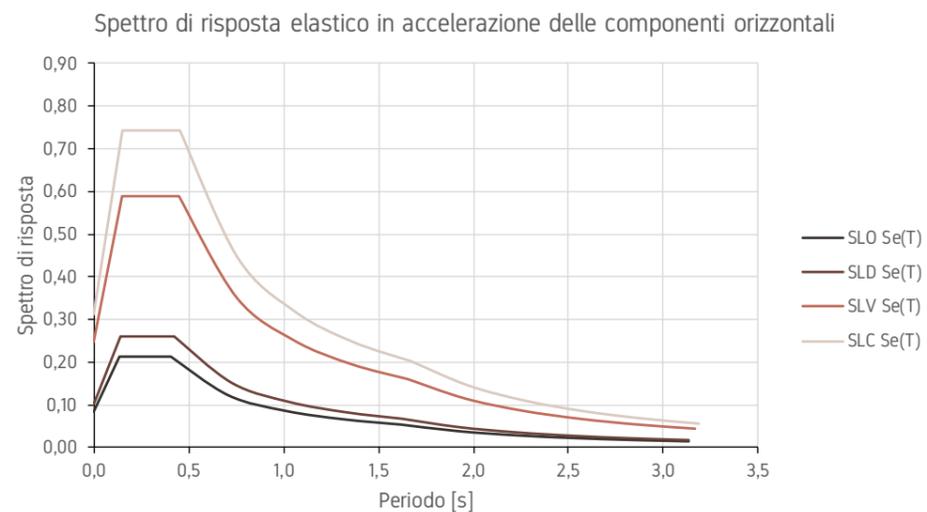
$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot T_C/T$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot T_C \cdot T_D/T^2$$

dove:

- T è il periodo proprio di vibrare [s];
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione: $S = S_s \cdot S_T = 1,8$
- S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica pari a 1,5;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,2;
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%. A favore di sicurezza, tale valore viene mantenuto costante uguale ad 1;
- g accelerazione gravitazionale pari a 9,81 m/s²;
- F_o è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro: $T_C = C_c \cdot T_c^*$;
- T_c^* è un coefficiente in funzione della categoria di sottosuolo visto in precedenza;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante: $T_B = T_c^*/3$;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione: $T_D = 4,0 \cdot a_g/g + 1,6$



In alto è riportato il diagramma spettrale di risposta elastica in accelerazione delle componenti orizzontali nei diversi Stati Limite:

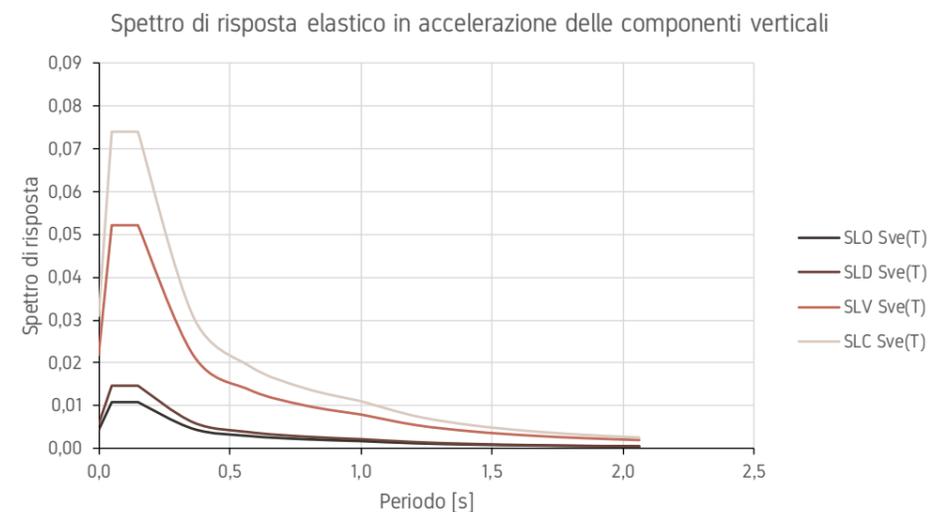
| Spettro di risposta elastico | | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---|-----------|------|------|------|------|
| Periodo inizio del tratto a velocità costante dello spettro | T_c [s] | 0,41 | 0,42 | 0,45 | 0,45 |
| Periodo inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante | T_b [s] | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,15 |
| Periodo inizio del tratto dello spettro a spostamento costante | T_d [s] | 1,62 | 1,62 | 1,66 | 1,67 |

Il fattore F_v che quantifica l'amplificazione spettrale massima in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale

| Fattore di amplificazione spettrale massima | F_v | 0,24 | 0,26 | 0,38 | 0,43 |
|---|-------|------|------|------|------|
| | | | | | |

Per il calcolo delle componenti verticali è necessario specificare che il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s in questo caso risulta pari a 1.

Pertanto il nuovo valore di S sarà: $S = S_s \cdot S_T = 1,2$



Analogamente a quanto fatto per la componente orizzontale, si studia quindi la componente verticale del sisma, ottenendo i seguenti valori di T, costanti in tutti gli Stati Limite:

| Componente verticale | | |
|---|-----------|------|
| Periodo inizio del tratto a velocità costante dello spettro | T_c [s] | 0,15 |
| Periodo inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante | T_b [s] | 0,05 |
| Periodo inizio del tratto dello spettro a spostamento costante | T_d [s] | 1 |

È immediato notare come la componente verticale sia piccola rispetto alla forza di gravità e alle forze in gioco sulla costruzione. Per tale motivo tale componente non verrà considerata.

Si confrontano gli spettri di risposta trovati manualmente in Excel con gli spettri di risposta forniti dal foglio Excel "Spettri-NTC ver 1.03" messo a disposizione dal Consiglio Superiore Lavori Pubblici. Questi ultimi spettri sono leggermente più bassi poiché si riferiscono alle vecchie NTC del 2008. Confrontando a mano i valori che sono cambiati (come ad esempio il coefficiente di sottosuolo) si può facilmente verificare che gli spettri sono tra loro congruenti.

La domanda sismica per strutture a comportamento sia non dissipativo, sia dissipativo, può essere ridotta utilizzando un opportuno fattore di comportamento q . I valori attribuibili a q variano in funzione del comportamento strutturale (dissipativo o non dissipativo) e dello stato limite considerati, legandosi all'entità delle plasticizzazioni riferite a ciascuno stato limite. Nel caso di comportamento strutturale dissipativo, il valore del fattore di comportamento q , da utilizzare per lo stato limite considerato e nella direzione considerata per l'azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità, dalle capacità dissipative del materiale e dai criteri di progettazione adottati. Le strutture possono essere classificate come appartenenti ad una tipologia in una direzione orizzontale e ad un'altra tipologia nella direzione orizzontale ortogonale alla precedente, utilizzando per ciascuna direzione il fattore di comportamento corrispondente. Il limite superiore q_{lim} del fattore di comportamento relativo allo SLV è calcolato tramite la seguente espressione:

$$q_{lim} = q_0 \cdot K_R$$

dove:

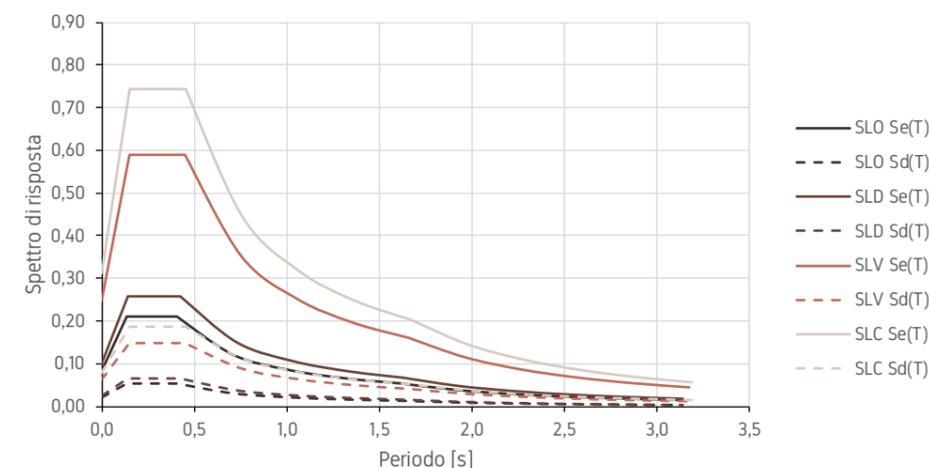
- q_0 è il valore base del fattore di comportamento allo SLV, i cui massimi valori sono riportati nella tabella S7.3.II delle NTC18, in dipendenza della Classe di Duttilità, della tipologia strutturale, del coefficiente λ e del rapporto α_v/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la plasticizzazione in un dato numero di zone dissipative e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;
- K_R è un fattore che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

L'edificio oggetto di studio presenta numerose pareti sismoresistenti in calcestruzzo armato. Le restanti pareti sismoresistenti in acciaio sono caratterizzate da controventi concentrici. Si attribuisce quindi al valore di base q_0 il valore di "strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva" per "costruzioni d'acciaio e composte di acciaio-calcestruzzo". q_0 assume quindi il valore di 4.0. Tuttavia, tale parametro sarà poi verificato ed eventualmente corretto dal software di analisi strutturale utilizzato. Poiché l'edificio oggetto di studio è sufficientemente regolare in altezza per rigidità e distribuzione dei pesi, si può ritenere che ricada nella condizione "costruzione regolare in altezza" e quindi il coefficiente K_R assume il valore costante di 1.

Il fattore di comportamento q assume quindi il seguente valore:

$$q = q_0 \cdot K_R = 4.0 \cdot 1.0 = 4.0 \text{ [adm]}$$

Spettro di risposta elastico comparativo delle componenti orizzontali



Al fine di eseguire una prima verifica qualitativa, si calcola il periodo del modo di vibrare principale. In via semplificata e in assenza di ulteriori studi, per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia distribuita in modo approssimativamente uniforme lungo l'altezza, T_1 (in secondi) può essere stimato come segue:

$$T_1 = 2\sqrt{d}$$

dove d è lo spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carichi applicata nella direzione orizzontale.

In mancanza di studi più approfonditi e a favore di sicurezza, il valore d è calcolato a partire dal limite imposto dalla normativa per spostamenti orizzontali §4.2.XIII delle NTC18. Tale limite è rappresentato da 1/500 dell'altezza complessiva dell'edificio. La formula sopra riportata assume quindi il valore di:

$$T_1 = 2\sqrt{d} = 2\sqrt{(H/500)} = 2\sqrt{(15.31/500)} = 0.35 \text{ s}$$

Si procede con il calcolo dello spettro di risposta dell'edificio. Tale spettro è ottenuto semplicemente dividendo lo spettro di risposta elastico precedentemente calcolato per il fattore di comportamento q . Si riporta in alto il grafico riassuntivo comparativo dei vari spettri.

Il periodo del modo principale di vibrare ricade sempre nel tratto ad accelerazione costante ($T_b < T_1 < T_c$). I valori di accelerazione elastica ed accelerazione di progetto sono i seguenti:

| Accelerazione elastica e di progetto | | SLO | SLD | SLV | SLC |
|--------------------------------------|----------|------|------|------|------|
| Accelerazione elastica | $S_e(T)$ | 0,21 | 0,26 | 0,59 | 0,74 |
| Accelerazione di progetto | $S_d(T)$ | 0,05 | 0,06 | 0,15 | 0,18 |

I valori di accelerazione sono normalizzati rispetto alla forza di gravità g e risultano quindi adimensionali.

Poiché l'edificio oggetto d'esame non è regolare in pianta ed è in parte interrato, risulta difficile calcolare l'azione del sisma su ciascun piano e quindi su ciascun controvento. Inoltre, l'edificio è in parte in calcestruzzo armato e in parte in acciaio e con copertura inclinata. Questo rappresenta un ulteriore fattore di complicazione per via delle differenti rigidità degli elementi controventanti. Per tali ragioni si è utilizzato il software Sismicad per la valutazione dell'azione sismica sull'edificio. Tale software è stato poi utilizzato anche per la valutazione e la verifica dell'intera struttura.

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.

Si utilizza come velocità del vento di riferimento la mappa del vento del nord Europa dell'Eurocodice 1991-1-4:2005. Tale mappa evidenzia il valore della velocità di riferimento per l'intera Islanda pari a 35.5 m/s. Tale valore è inoltre il massimo valore della mappa per l'intera Europa. Si inserisce quindi una località personalizzata nelle norme di calcolo NTC definita dai seguenti parametri:

- $v_{b,0} = 35,5$ m/s come da Eurocodice di cui sopra
- $a_0 = 500$ m tale valore è il minimo valore tra quelli proposti dalla NTC18 a favore di sicurezza
- $k_s = 0,54$ tale valore è il massimo valore tra quelli proposti dalla NTC18 a favore di sicurezza.



Per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali adeguate allo stato dell'arte e che tengano conto della dinamica del sistema.

La velocità base 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, 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:

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a$$

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \cdot (a_s/a_0 - 1) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

- $v_{b,0}$ è la velocità di riferimento al livello del mare, assegnata da tabella §3.3.I NTC18. In questo caso tale valore è da EC1. [m/s]
- c_a è il coefficiente di altitudine. [adm]
- a_s è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione, pari a 280 m.
- a_0, k_s sono parametri forniti da tabella §3.3.I NTC18 e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione della zona definita. [m], [adm]

La velocità base di riferimento viene poi corretta con il coefficiente adimensionale di ritorno di progetto T_R per ottenere la velocità di riferimento:

$$v_r = v_b \cdot c_r$$

$$c_r = 0,75 \cdot \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln[-\ln(1-1/T_R)]}$$

Si ottengono i seguenti risultati:

| | |
|------------------------------|-------------------|
| Coefficiente di altitudine | $c_a = 1$ |
| Velocità base di riferimento | $v_b = 35,5$ m/s |
| Tempo di ritorno di progetto | $T_R = 50$ anni |
| Coefficiente di ritorno | $c_r = 1,0$ |
| Velocità di riferimento | $v_r = 35,53$ m/s |

Si esegue ora il calcolo per la spinta del vento sulla parete ritenuta più gravosa, ossia la parete esposta a Sud.

La pressione del vento è data dall'espressione:

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

dove:

- q_r è la pressione cinetica di riferimento [N/m²]
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di forma
- c_d è il coefficiente dinamico

Si calcola la pressione cinetica q_b [N/m²] data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 35,5^2 = 789 \text{ N/m}^2$$

dove:

- v_b è la velocità di riferimento del vento; [m/s]
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³.

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:

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

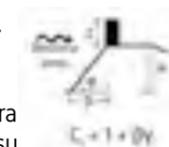
$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

dove:

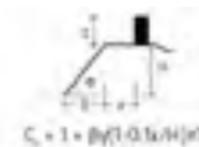
- z è la quota di riferimento dell'edificio. La quota massima in corrispondenza del quale si avrà la massima spinta del vento vale 10 m;
- k_r, z_0, z_{\min} sono assegnati in tabella di sotto in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione; [adm] [m] [m]

- c_t è il coefficiente di topografia [adm], posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. Tuttavia, si effettua una valutazione di tale coefficiente seguendo l'EC1 ed essendo maggiore di uno, si considera a favore di sicurezza per costruzioni su una collina $C_t = 1 + 0,5 \cdot 0,15 = 1,07$

Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina



Costruzioni sul livello superiore di un dislivello



Costruzioni su un pendio



Si può facilmente verificare dalla §Tab.3.3.II delle NTC18 che pur non avendo una zona di riferimento, in quanto è stata definita in base ai valori dell'Islanda, partendo dalla classe di rugosità del terreno si ricade sempre nella categoria di esposizione II. I coefficienti K_r, Z_0 e Z_{\min} valgono quindi:

| Categoria di esposizione del sito | K_r [adm] | 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 |

Il coefficiente di esposizione varia quindi tra 1.98 ($z = 0$ m) e 2.59 ($z = 10$ m).

Il coefficiente di pressione c_p dipende dalla tipologia e dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

Il coefficiente d'attrito c_f dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente. In mancanza di dati certi, a favore di sicurezza, entrambi i coefficienti vengono posti pari a 1.

Il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Nonostante probabilmente l'edificio in esame potrebbe avere un coefficiente minore di 1, si decide di tenere il valore 1 a favore di sicurezza.

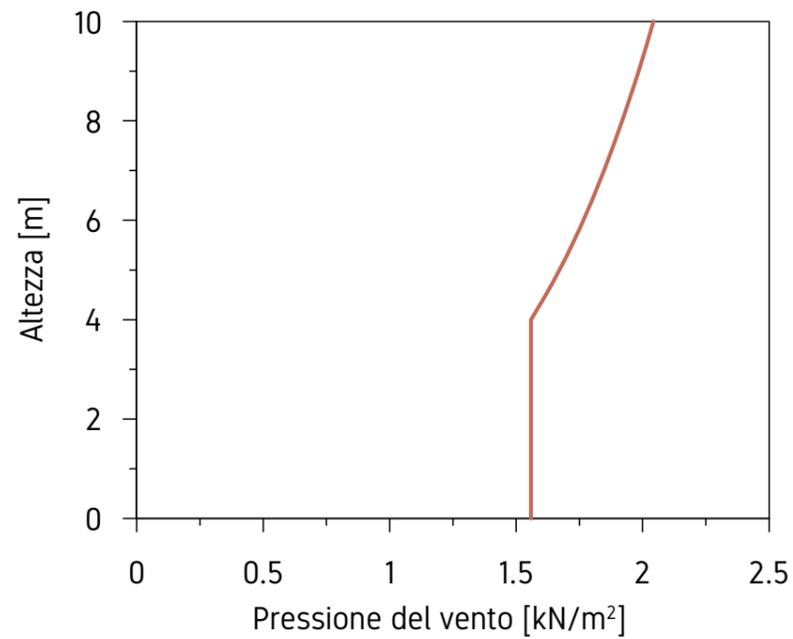
Il valore massimo che assume a pressione del vento in sommità all'edificio oggetto d'esame è pari a:

$$p_{\max} = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 789 \cdot 2.59 \cdot 1 \cdot 1 = 2.04 \text{ kN/m}^2$$

L'andamento della pressione del vento con l'altezza è riportato in basso.

Data la particolare geometria dell'edificio in esame, le rimanenti superfici (Est e Ovest) risultano essere analoghe alla parete a Sud. L'unico parametro che varia è l'altezza delle stesse. Sarà quindi sufficiente troncare il grafico precedente alle seguenti quote:

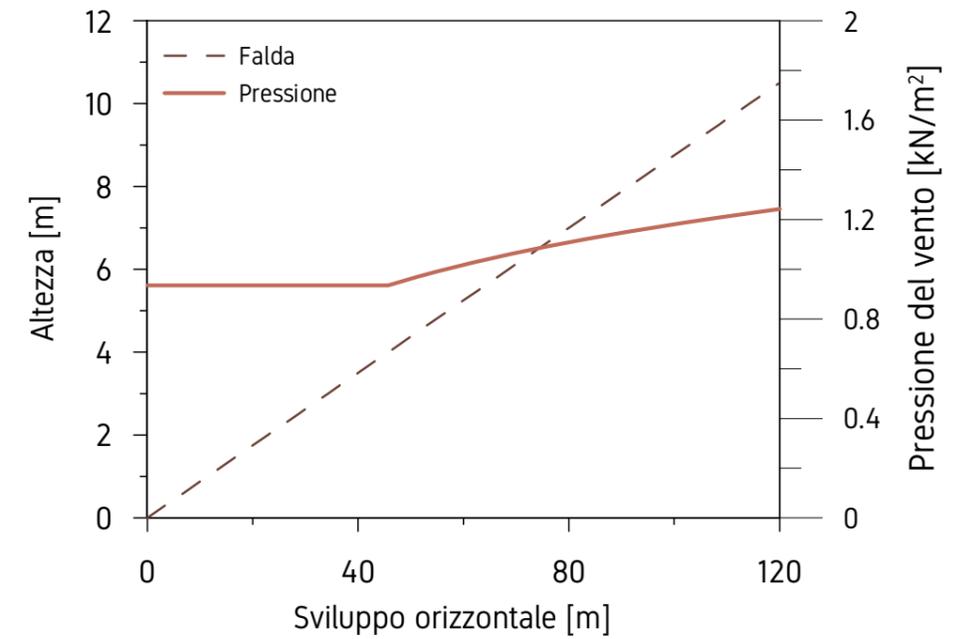
| | | |
|---------------|------------|----------------------------------|
| Parete Est: | z = 7.58 m | $p_{\max} = 1.89 \text{ kN/m}^2$ |
| Parete Ovest: | z = 4.23 m | $p_{\max} = 1.59 \text{ kN/m}^2$ |



Poiché l'angolo di inclinazione della falda del tetto è sempre minore ai 20°, la falda di copertura risulterà sempre in depressione, qualsiasi sia la direzione del vento. Il coefficiente di pressione sarà quindi pari a -0.6 ove il segno meno indica la depressione. Tale valore è dato dalla somma algebrica di -0.4, coefficiente di depressione esterno e -0.2, coefficiente di depressione interno.

Se il vento soffiasse da Nord verso Sud, l'edificio presenterebbe un comportamento molto aerodinamico in quanto non presenterebbe particolari ostacoli allo scorrimento dell'aria. Non si può dire lo stesso se il vento soffiasse nella direzione opposta, in cui l'edificio opporrebbe particolare resistenza. Si verificherebbe soltanto questa condizione.

Ancora una volta, viste le condizioni omogenee dell'edificio, per calcolare la pressione del vento in copertura basta scalare il grafico precedente per un valore pari al coefficiente di pressione -0.6, ricordando il segno e il significato di tale valore. Si riporta il grafico e l'andamento della pendenza del tetto, precisando che l'angolo di inclinazione non è in scala.



AZIONE DELLA NEVE

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

Per ricavare il valore del carico da neve in Islanda si fa riferimento all'allegato B del report "European Ground Snow Loads Map" elaborato dalle principali università europee. Tale documento mostra diverse mappe del carico da neve di riferimento in tutti i paesi dell'Unione Europea.

Dalle mappe di seguito riportate, si conclude che la zona oggetto di interesse ricade nella zona 4, caratterizzata da un carico di neve pari a 8 kN/m².

In particolare, evidenzia come in Islanda non si possa procedere con la metodologia prescritta nelle NTC18. Si procederà dunque a seguire l'EC1, parte da 1 a 3, per ricavare il valore della neve al suolo. La formula generale non prevede quindi il secondo termine.

$$s_k = q_{sk} = (0,264 \cdot Z - 0,002) \cdot [1 + (A/256)] = (0,264 \cdot 8 - 0,002) = 2,1 \text{ kN/m}^2$$

Il carico provocato dalla neve sulle coperture viene valutato seguendo le NTC18 mediante la seguente espressione:

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

dove:

- q_s è il carico neve sulla copertura; [kN/m²]
- q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni, sopra definito; [kN/m²]
- μ_1 è il coefficiente di forma della copertura; [adm]
- C_E è il coefficiente di esposizione; [adm]
- C_t è il coefficiente termico. [adm]

Il coefficiente di forma per le coperture μ_1 , dipende dal numero di falde e dall'angolo α formato dalla falda con l'orizzontale. Presentando l'edificio una sola copertura piana ($\alpha=6^\circ$) si è tenuto in considerazione un coefficiente di forma pari a 0,8

| Coefficiente di forma | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|-----------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$ | 0,0 |



Il coefficiente di esposizione C_E tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Data la posizione geografica dell'edificio, si considera un coefficiente di esposizione pari a $C_E = 0,9$.

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere posto $C_t = 1$.

| 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 dal circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti. | 1,1 |

Il carico complessivo da neve risulta quindi pari a:

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_1 \cdot C_E \cdot C_t = 2,1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,512$$

Vista l'incertezza del calcolo e l'utilizzo di più normative insieme e alla sensibilità del valore, si è deciso di imporre un forte coefficiente di sicurezza pari a 1,2 al carico da neve che risulta quindi di 1,80 kN/m².

COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Si riportano le azioni agenti sull'edificio finora calcolate. L'azione del sisma sarà oggetto di valutazione nei capitoli successivi.

Si definiscono le principali combinazioni delle azioni, definite come la sommatoria di ciascuna azione eventualmente moltiplicata per un coefficiente di sicurezza γ e per un coefficiente di contemporaneità delle azioni ψ .

Bisogna calcolare tutte le possibili combinazioni per evidenziare quale può essere la più gravante sul solaio. Tuttavia, è possibile ridurre il numero delle combinazioni da verificare se si effettua un ragionamento a priori che evidenzia l'evidente superiorità di un'azione rispetto ad una o più di altre. È il caso dell'azione del vento che esercita un'azione negativa sulla struttura. Tale azione non verrà presa in considerazione in quanto comunque minore dell'azione dei carichi propri quindi non vi è pericolo di eventuali fibre tese invertite o altre inversioni di segno.

Inoltre, data la particolare geometria e distribuzione interna dell'edificio in esame, non vi è bisogno di ridistribuire i muri interni sui solai. Tale decisione è suffragata dal basso numero di piani, dal perfetto allineamento tra i muri interni (nessun muro in falso) e dal basso carico degli stessi (pareti a secco). Inoltre la struttura sarà poi verificata con apposito software che verificherà le ipotesi appena effettuate. Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le combinazioni delle azioni studiate:

SLU: $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$
 SLE rara: $G_1 + G_2 + P + \psi_{01} \cdot Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$
 SLE frequente: $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$
 SLE quasi permanente: $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$

| Combinazioni | Cat | | kN/m ² | γ | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-----|----------------|-------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | 1,3 | | | |
| INT - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | 1,3 | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | 1,5 | | | |
| INT - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 0,70 | 1,5 | | | |
| INT - Carico di esercizio - Interpiano | C | q _k | 3,00 | 1,5 | 0,7 | 0,7 | 0,6 |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 0,50 | 1,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 1,80 | 1,5 | 0,5 | 0,2 | 0,0 |
| COP - Pesi variabili - Vento (copertura) | J | q _k | -1,23 | 1,5 | 0,6 | 0,2 | 0,0 |

Le azioni agenti sugli impalcati interni sono le seguenti:

- Carico proprio strutturale e non strutturale;
- Carico di esercizio nei termini di affollamento medio "Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento" di cui al §3.1.II NTC18.

Le 4 combinazioni fondamentali sono le seguenti:

| SLU | Cat | | kN/m ² | γ | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-----|------------------|-------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| INT - Peso proprio elementi strutturali | | G1 | 1,86 | 1,3 | | | |
| INT - Peso proprio elementi non strutturali | | G2 | 0,70 | 1,5 | | | |
| INT - Carico di esercizio - Interpiano | C | q _k | 3,00 | 1,5 | | | |
| Totale | | q _{SLU} | 7,96 | | | | |

| SLE - Caratteristica / Rara | Cat | | kN/m ² | γ | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-----|--------------------|-------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| INT - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| INT - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 0,70 | | | | |
| INT - Carico di esercizio - Interpiano | C | q _k | 3,00 | | | | |
| Totale | | q _{SLE,r} | 5,56 | | | | |

| SLE - Frequente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-----|---------------------|-------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| INT - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| INT - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 0,70 | | | | |
| INT - Carico di esercizio - Interpiano | C | q _k | 3,00 | | | 0,7 | |
| Totale | | q _{SLE,fr} | 4,66 | | | | |

| SLE - Quasi permanente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
|---|-----|---------------------|-------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| INT - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| INT - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 0,70 | | | | |
| INT - Carico di esercizio - Interpiano | C | q _k | 3,00 | | | | 0,6 |
| Totale | | q _{SLE,qp} | 4,36 | | | | |

Le azioni agenti sulla copertura esterna sono le seguenti:

- Carico proprio strutturale e non strutturale;
- Carico da neve come precedentemente calcolato;
- Carico da vento come precedentemente calcolato e qui non considerato per i motivi di cui sopra;
- Carico di esercizio per sola copertura "Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione" di cui al §3.1.11 NTC18.

| SLU | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|------------------------|-------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | 1,3 | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | 1,5 | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 0,50 | 1,5 | | | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 1,80 | 1,5 | 0,5 | | |
| Totale | | q_{SLU} | 7,59 | | | | |

| SLE - Caratteristica / Rara | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|--------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 0,50 | | | | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 1,80 | | 0,5 | | |
| Totale | | q_{SLE,r} | 5,31 | | | | |

| SLE - Frequente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|---------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 0,50 | | | 0,0 | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 1,80 | | | | 0,0 |
| Totale | | q_{SLE,fr} | 3,91 | | | | |

| SLE - Quasi permanente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|---------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 0,50 | | | | 0,0 |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 1,80 | | | | 0,0 |
| Totale | | q_{SLE,qp} | 3,91 | | | | |

Avendo più di due carichi variabili, è stato necessario valutare più combinazioni possibili. Nonostante fosse evidente che la combinazione maggiormente gravante fosse quella con il carico più alto come dominante, quello della neve, si è voluto verificare l'esattezza delle ipotesi.

Risulta quindi che la combinazione più gravante è quella con la neve come predominante come si evince dal confronto qui riportato.

| SLU | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|------------------------|-------------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | 1,3 | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | 1,5 | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 1,80 | 1,5 | | | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 0,50 | 1,5 | 0,0 | | |
| Totale | | q_{SLU} | 8,19 | | | | |

| SLE - Caratteristica / Rara | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|--------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 1,80 | | | | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 0,50 | | 0,0 | | |
| Totale | | q_{SLE,r} | 5,71 | | | | |

| SLE - Frequente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|---------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 1,80 | | | 0,2 | |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 0,50 | | | | 0,0 |
| Totale | | q_{SLE,fr} | 4,27 | | | | |

| SLE - Quasi permanente | Cat | | kN/m ² | γ | ψ _{0i} | ψ _{1i} | ψ _{2i} |
|---|-----|---------------------------|-------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| COP - Peso proprio elementi strutturali | | G ₁ | 1,86 | | | | |
| COP - Peso proprio elementi non strutturali | | G ₂ | 2,05 | | | | |
| COP - Pesi variabili - Neve | L | q _k | 1,80 | | | | 0,0 |
| COP - Carico di esercizio - Copertura | H | q _k | 0,50 | | | | 0,0 |
| Totale | | q_{SLE,qp} | 3,91 | | | | |

DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE

In accordo con le NTC18 vengono qui definiti i materiali utilizzati nella struttura dell'edificio.

ACCIAIO S275

| | |
|---|------------------------------|
| Densità | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ |
| Modulo elastico | $E = 210000 \text{ MPa}$ |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{yk} = 275 \text{ MPa}$ |
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{tk} = 430 \text{ MPa}$ |
| Coeff. di sicurezza: | |
| Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4 | $Y_{M0} = 1,05$ |
| Resistenza all'instabilità delle membrature | $Y_{M1} = 1,05$ |
| Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese | $Y_{M2} = 1,25$ |

ACCIAIO PER ARMATURE - B450C

| | |
|---|--------------------------------|
| Densità | $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ |
| Coef. Parziale di sicurezza relativo all'acciaio | $\gamma_s = 1,15 \text{ adim}$ |
| Tensione caratteristica di snervamento | $f_{y,nom} = 450 \text{ MPa}$ |
| Tensione caratteristica di rottura | $f_{t,nom} = 540 \text{ MPa}$ |
| Tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio | $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$ |
| Resistenza di calcolo dell'acciaio | $f_{yd} = 391 \text{ MPa}$ |

CALCESTRUZZI

| | |
|---|------------------------------|
| Densità | $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ |
| Coef. riduttivo per resistenze a lunga durata | $\alpha_{cc} = 0,85$ |
| Coef. parziale di sicurezza | $\gamma_c = 1,5$ |
| Coef. di Poisson | $\nu = 0,2$ |
| Lavorabilità | S4 |

CALCESTRUZZI IN FONDAZIONE - C28/35

| | |
|---|-------------------------------|
| Resistenza a compressione cubica min | $R_{ck} = 35 \text{ MPa}$ |
| Resistenza a compressione cilindrica min | $f_{ck} = 28 \text{ MPa}$ |
| Classe di esposizione | XC2 |
| Dimensione massima dell'aggregato | 32 mm |
| Resistenza a compressione cilindrica di calcolo | $f_{ck} = 29,05 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a compressione | $f_{cm} = 37,05 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a trazione semplice | $f_{ctm} = 2,77 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a trazione per flessione | $f_{ctfm} = 3,32 \text{ MPa}$ |
| Modulo elastico | $E_{cm} = 32588 \text{ MPa}$ |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} = 16,47 \text{ MPa}$ |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd} = 1,84 \text{ MPa}$ |

CALCESTRUZZO IN ELEVAZIONE - C25/30

| | |
|---|-------------------------------|
| Resistenza a compressione cubica min | $R_{ck} = 30 \text{ MPa}$ |
| Resistenza a compressione cilindrica min | $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ |
| Classe di esposizione | XC0/XC1 |
| Dimensione massima dell'aggregato | 20/24 mm |
| Resistenza a compressione cilindrica di calcolo | $f_{ck} = 24,90 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a compressione | $f_{cm} = 32,90 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a trazione semplice | $f_{ctm} = 2,56 \text{ MPa}$ |
| Resistenza media a trazione per flessione | $f_{ctfm} = 3,08 \text{ MPa}$ |
| Modulo elastico | $E_{cm} = 31447 \text{ MPa}$ |
| Resistenza di calcolo a compressione | $f_{cd} = 14,11 \text{ MPa}$ |
| Resistenza di calcolo a trazione | $f_{ctd} = 1,71 \text{ MPa}$ |

SCelta DELLA LAMIERA GREcata



A prescindere dalla maglia strutturale che l'edificio andrà a configurare, si ipotizza una tipologia di lamiera grecata collaborante da utilizzare per ottenere un solaio con effetto diaframma, e cioè rigido nel proprio piano.

In commercio è possibile scegliere tra una vasta gamma di tipologie di lamiere grecate, diverse per altezza della lamiera, spessore e altezza del getto collaborante. La scelta della tipologia più opportuna dipende dal carico di esercizio variabile.

Dalle analisi precedenti emerge che il carico variabile più significativo è rappresentato dal carico da neve per la copertura e dal carico di esercizio per ambienti suscettibili di affollamento per i solai interni. Tali carichi sono pari rispettivamente a 1,80 kN/m² e 3,00 kN/m².

Per motivi di spessori del pacchetto tecnologico, si sceglie una soletta di altezza complessiva pari a 100 mm, con altezza della lamiera pari a 55 mm e 45 mm di getto collaborante.

Dalla tabella risulta evidente che il carico di esercizio maggiore (3,00 kN/m² = 300 daN/m²) la soletta risulta verificata per luci di appoggio fino a 4,25 m a partire da uno spessore dell'acciaio di 0,7 mm. Tale tipologia sarà quindi quella utilizzata per l'intero edificio.

Si riportano i valori della lamiera di altezza H = 100 mm e la tabella di dimensionamento.

| S | Peso soletta | Carico q [daN/m ²] al variare di L [m] | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 | 3,75 | 4,00 | 4,25 | 4,50 | 4,75 | 5,00 | 5,25 | 5,50 |
| 0,7 | 185,9 | 2030 | 1715 | 1480 | 1270 | 1045 | 875 | 740 | 635 | 550 | 475 | 415 | 350 | 260 | 190 | 135 | | |
| 0,8 | 187,1 | 2030 | 1715 | 1480 | 1270 | 1130 | 945 | 800 | 685 | 590 | 515 | 450 | 365 | 275 | 200 | 140 | | |
| 1,0 | 189,3 | 2030 | 1715 | 1480 | 1270 | 1150 | 1030 | 910 | 775 | 670 | 580 | 510 | 390 | 295 | 220 | 155 | 105 | |
| 1,2 | 191,4 | 2030 | 1715 | 1480 | 1270 | 1150 | 1030 | 930 | 845 | 730 | 635 | 540 | 415 | 315 | 235 | 170 | 115 | |
| 1,5 | 194,7 | 2030 | 1715 | 1480 | 1270 | 1150 | 1030 | 930 | 845 | 775 | 700 | 585 | 450 | 340 | 255 | 190 | 130 | |

| S | J _y | W _{inf} | W _{sup} | W _n |
|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| mm | cm ⁴ /m | cm ³ /m | cm ³ /m | cm ³ /m |
| 0,5 | 38,58 | 14,03 | 14,03 | 15,98 |
| 0,6 | 45,89 | 16,69 | 16,69 | 19,07 |
| 0,7 | 53,07 | 19,30 | 19,30 | 22,14 |
| 0,8 | 60,12 | 21,86 | 21,86 | 25,17 |
| 1,0 | 73,82 | 26,84 | 26,84 | 31,13 |
| 1,2 | 87,00 | 31,64 | 31,64 | 36,97 |
| 1,5 | 105,83 | 38,48 | 38,48 | 45,49 |

DIMENSIONAMENTO DELLE TRAVATURE ORIZZONTALI IN ACCIAIO

L'edificio oggetto di esame è diviso in due macro aree: un macro ambiente disposto geograficamente ad Est caratterizzato da ambienti più ampi e strutture complesse e un macro ambiente a Ovest con struttura tradizionale. Si tratta ora quest'ultimo ambiente, lasciando il successivo ai capitoli seguenti.

L'ambiente presenta una pianta leggermente irregolare ma ben confinata da muri rettilinei in calcestruzzo o in acciaio senza limitazioni sul posizionamento dei pilastri. La destinazione d'uso degli ambienti all'interno della zona richiede l'assenza di pilastri in campata. Inoltre, sui due muri a Sud-Ovest e a Ovest vi è un'indicazione sul posizionamento dei pilastri che deriva da calcoli strutturali dell'edificio Est in seguito descritto. Tale prescrizione non comporta problemi essendo a maglia piuttosto fitta.

Date le premesse, cioè luci significative in un verso e nessuna limitazione dell'altra, si decide di non utilizzare una scelta classica a telaio di travi principali e secondarie ma di utilizzare esclusivamente travi principali a passo breve (indicativamente minore di 3 m) che sorreggeranno quindi direttamente la lamiera grecata collaborante. Verranno poi inserite delle travi secondarie per ottenere l'effetto telaio e quindi un comportamento uniforme della struttura sia ai carichi verticali che quelli orizzontali. Tale scelta di progettazione è giustificata dal risparmio di acciaio e dalla velocità di montaggio.

Per brevità di esposizione, si riporta solo uno dei casi più critici del macro ambiente. Tutte le travi sono state predimensionate, verificate e dimensionate.

La trave che si prenderà in esame è quella presenta una luce di 12,97 m e un interasse dalle altre travi di 2,83 m. L'area di influenza di tale trave, ossia la porzione di superficie il cui carico insistente viene scaricato e supportato dalla trave stessa, è data dal prodotto delle due misure e quindi pari a 36,71 m². Nel dimensionamento delle travature in acciaio si considererà sempre dei giunti a cerniera ai lati della trave, dati dalle unioni bullonate. Lo schema statico risulta quindi quello sopra riportato.

Il carico agente sulla trave può essere ricondotto ad un carico uniformemente distribuito lungo la lunghezza della trave. Tale carico è dato dal prodotto del carico agente uniformemente distribuito sulla superficie per l'interasse. Si riportano i valori.

$$\begin{aligned}
 q_{SLU} &= 8,19 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLU} &= q_{SLU} \cdot i = 8,19 \cdot 2,83 = 23,18 \text{ kN/m} \\
 q_{SLE,r} &= 5,71 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,r} &= q_{SLE,r} \cdot i = 5,71 \cdot 2,83 = 16,15 \text{ kN/m} \\
 q_{SLE,fr} &= 4,27 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,fr} &= q_{SLE,fr} \cdot i = 4,27 \cdot 2,83 = 12,08 \text{ kN/m} \\
 q_{SLE,qp} &= 3,91 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,qp} &= q_{SLE,qp} \cdot i = 3,91 \cdot 2,83 = 11,06 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento è invece definito come:

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_1 + \delta_2$$

dove:

- δ_c la monta iniziale della trave,
- δ_1 lo spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti,
- δ_2 lo spostamento elastico dovuto ai carichi variabili,
- δ_{max} lo spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale = $\delta_{\text{tot}} - \delta_c$.

Nel caso di coperture, solai e travi di edifici ordinari, i valori limite di δ_{max} e δ_2 , riferiti alle combinazioni caratteristiche delle azioni, sono espressi come funzione della luce L dell'elemento. In carenza di più precise indicazioni si possono adottare i limiti indicati nella tabella sottostante, dove L è la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

| Elementi strutturali | Limiti superiori per gli spostamenti verticali | |
|--|--|--------------|
| | δ_{max}/L | δ_2/L |
| Coperture in generale | 1/200 | 1/250 |
| Coperture praticabili | 1/250 | 1/300 |
| Solai in generale | 1/250 | 1/300 |
| Solai e coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili | 1/250 | 1/350 |
| Solai che supportano colonne | 1/400 | 1/350 |
| Nei casi in cui può compromettere l'aspetto dell'edificio | 1/250 | |

La freccia ammissibile è quindi pari a:

$$f = L / 250 = 12,97 / 250 = 52 \text{ mm}$$

Per la verifica allo stato di limite di esercizio si considera una configurazione di carico propria di un solaio tipo ad uso residenziale nella condizione di esercizio più gravosa, ossia quella rara. Il valore della freccia per il caso di trave isostatica in semplice appoggio caricata uniformemente sulla lunghezza è tabellata e calcolabile con il teorema di Mohr. Si riporta la formula di calcolo:

$$f = (5ql^4) / (384EJ)$$

Per il predimensionamento, si impone il valore massimo di freccia, corrispondente alla condizione di carico sopra descritta, pari al valore limite previsto dalla norma. Si ricava pertanto il valore minimo di inerzia J che la trave deve avere per non superare il valore di freccia imposto:

$$J = (5ql^4) / (384Ef) = [10^5] \cdot (5 \cdot 16,15 \cdot 12,97^4) / (384 \cdot 210000 \cdot 12,97 / 250) = 19304 \text{ cm}^4$$

dove:

- q è il carico applicato in SLE rara; [kN/m]
- l è la luce della trave; [m]
- E è il modulo elastico dell'acciaio; [MPa]
- f è la freccia imposta dalla normativa, funzione della luce. [m]

Al valore di inerzia minimo trovato, corrisponde una trave HEB300, che da prontuario risulta avere un'inerzia pari a 5170 cm⁴ e un peso proprio pari a 1,1 kN/m.

Procediamo con la verifica della freccia sul profilo scelto, tenendo conto di un carico q* pari alla somma della combinazione di carico precedentemente definita e del peso proprio della trave:

$$q^* = 17,30 \text{ kN/m}$$

$$f = 40 \text{ mm}$$

$$f / f_{\text{max}} = 0,77 < 1$$

HEB300 Verificato

Analogamente a quanto fatto, si effettua la verifica considerando solo i carichi variabili e il valore limite della freccia f_2 previsto dalla norma.

$$f_{MAX} = l / 300 = 43 \text{ mm}$$

$$f = 13 \text{ mm}$$

$$f / f_{max} = 0,29 < 1$$

HEB300 Verificato

Procediamo con la classificazione della sezione in acciaio con lo scopo di quantificare l'influenza dei fenomeni di instabilità locale sulla resistenza e sulla capacità deformativa delle sezioni in acciaio. La tabella a lato fornisce indicazioni per definire se una sezione appartiene alle classi 1, 2 o 3.

Si calcola innanzitutto il valore di ϵ , indice del materiale scelto:

$$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}} = \sqrt{235/275} = 0,92$$

dove f_{yk} è la resistenza a snervamento dell'acciaio. [MPa]

Il profilo scelto dal nostro predimensionamento risulta avere:

altezza minima $c = 262 \text{ mm}$

spessore anima $t_w = 11 \text{ mm}$

Si calcola quindi il rapporto:

$$c / (t \cdot \epsilon) = 262 / (11 \cdot 0,92) = 25,7$$

Con questo valore, dalla tabella § 4.2.III NTC18 verifichiamo la classe della sezione. Si evince che la sezione è di classe I.



| Classe | Parte soggetta a flessione | Parte soggetta a compressione | Parte soggetta a flessione e a compressione |
|--|----------------------------|-------------------------------|---|
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | |
| 1 | $c/t \leq 72\epsilon$ | $c/t \leq 33\epsilon$ | se $a > 0,5$: $c/t \leq 396\epsilon / (13a - 1)$ se $a \leq 0,5$: $c/t \leq 36\epsilon / a$ |
| 2 | $c/t \leq 83\epsilon$ | $c/t \leq 38\epsilon$ | se $a > 0,5$: $c/t \leq 456\epsilon / (13a - 1)$ se $a \leq 0,5$: $c/t \leq 41,5\epsilon / a$ |
| Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva) | | | |
| 3 | $c/t \leq 124\epsilon$ | $c/t \leq 42\epsilon$ | se $\psi > -1$: $c/t \leq 42\epsilon / (0,67 + 0,33\psi)$ se $\psi \leq -1$: $c/t \leq 62 \cdot (1 - \psi) \cdot \sqrt{-\psi}$ |

VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

La resistenza di progetto delle membrature R_d si pone nella forma:

$$R_d = R_k / \gamma_M$$

dove:

R_k è il valore caratteristico della resistenza a trazione, compressione, flessione, taglio e torsione della membratura, determinata dai valori caratteristici delle resistenze dei materiali

γ_m è il fattore parziale globale relativo al modello di resistenza adottato.

Per le verifiche di resistenza delle sezioni delle membrature, con riferimento ai modelli di resistenza esposti nella presente normativa ed utilizzando acciai dal grado S 235 al grado S 460 si adottano i fattori parziali γ_{m0} e γ_{m2} indicati nella seguente tabella.

Il coefficiente di sicurezza γ_{m2} , in particolare, deve essere impiegato qualora si eseguano verifiche di elementi tesi nelle zone di unione delle membrature indebolite dai fori, per valutare la stabilità degli elementi strutturali compressi, inflessi e presso-inflessi, si utilizza il coefficiente parziale di sicurezza γ_{M1} .

Coefficienti di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità

| | | |
|---|---------------|------|
| Resistenza delle Sezioni di Classe 1-2-3-4 | γ_{M0} | 1,05 |
| Resistenza all'instabilità delle membrature | γ_{M1} | 1,05 |
| Resistenza all'instabilità delle membrature di ponti stradali e ferroviari | γ_{M1} | 1,10 |
| Resistenza, nei riguardi della frattura, delle sezioni tese (indebolite dai fori) | γ_{M2} | 1,25 |

Per il dimensionamento agli stati limiti ultimi si fa riferimento al seguente carico distribuito, già comprendente il peso proprio della trave:

$$Q_{SLL} = 24.33 \text{ kN/m}$$

Il momento massimo agente sulla trave risulta pari a:

$$M_{Ed} = Q_{SLL} \cdot l^2 / 8 = 24.33 \cdot 12.97^2 / 8 = 511.5 \text{ kNm}$$

Il momento resistente per classi di sezione uguali a 1 è pari a:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \cdot 1869 \cdot 275 / 1.05 = 489.4 \text{ kNm}$$

dove W_{pl} è il modulo di resistenza plastico della sezione espressa in cm^3 .

Poiché il momento agente è maggiore di quello resistente, la verifica non è soddisfatta. Si sceglie quindi la trave di sezione immediatamente superiore, ossia una HEB 320. Le verifiche elastiche sono automaticamente soddisfatte mentre si ripete quella a flessione agli stati ultimi.

Viene inoltre aggiornato il carico con il peso della nuova trave.

Il momento massimo agente sulla trave risulta pari a:

$$M_{Ed} = Q_{SLL} \cdot l^2 / 8 = 24.42 \cdot 12.97^2 / 8 = 513.6 \text{ kNm}$$

Il momento resistente per classi di sezione uguali a 1 è pari a:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} = [10^{-3}] \cdot 2149 \cdot 275 / 1.05 = 562.9 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{pl,Rd} = 0.91 < 1 \quad \text{HEB320 Verificato}$$

Il taglio massimo agente sulla trave risulta pari a:

$$V_{Ed} = Q_{SLU} \cdot l / 2 = 24.42 \cdot 12.97 / 2 = 158.4 \text{ kN}$$

Il taglio resistente in assenza di torsione risulta pari a:

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot V_{M0}) = 5173 \cdot 275 / (\sqrt{3} \cdot 1.05) = 782.2 \text{ kN}$$

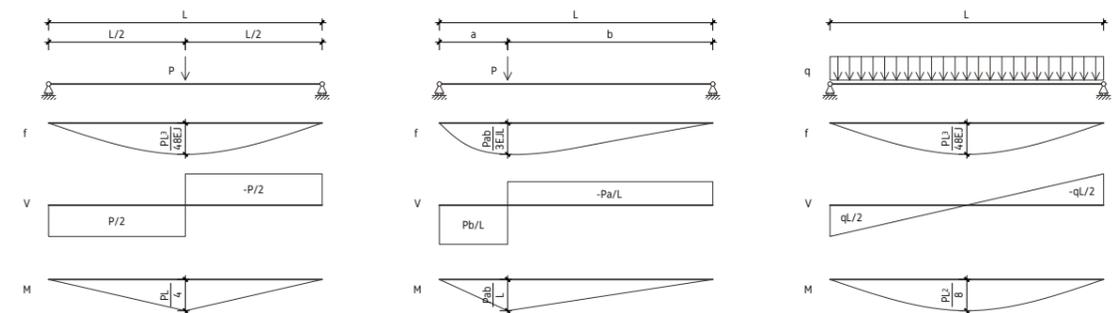
dove A_v è l'area resistente a taglio espressa in mm^2 .

$$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 0.20 < 1 \quad \text{HEB320 Verificato}$$

Si sceglie quindi tale sezione per la trave sopra identificata, i cui valori vengono qui riportati:

Profilo HEB320

| | | | |
|-------------------------------|------------|-------|---------------|
| Peso | G | 1.2 | kN/m |
| Sezione | A | 161.3 | cm^2 |
| Momento di inerzia | J_x | 30820 | cm^4 |
| | J_y | 9239 | cm^4 |
| Modulo di resistenza elastico | W_x | 1926 | cm^3 |
| | W_y | 616 | cm^3 |
| Modulo di resistenza plastico | $W_{x,pl}$ | 2149 | cm^3 |
| | $W_{y,pl}$ | 939 | cm^3 |
| Raggio di inerzia | I_x | 13.82 | cm |
| | I_y | 7.57 | cm |
| Area di taglio | A_v | 51.7 | cm^2 |



La procedura qui riportata si riferisce ad un caso generale, ed in particolare al caso più critico per la trave. Analogamente a quanto operato in questo capitolo, si è fatto per tutte le altre travi.

I casi possono essere i seguenti:

- Trave principale: in questo caso l'unica cosa che cambia è la tipologia del carico. Infatti si presenta uno o più carichi concentrati che generano un coefficiente diverso per il calcolo della freccia e un diverso calcolo del momento e del taglio massimo. Le verifiche rimangono inalterate
- Trave interna: cambia esclusivamente il valore del carico. Rimane invariata l'intera metodologia.
- Trave di bordo: in un sistema reticolare a telaio standard, le travi secondarie possono trasferire una forza di taglio alla trave principale di bordo che non è simmetrica rispetto l'asse della trave principale stessa. Questa disparità può creare torsione. Tuttavia, nel nostro sistema a telaio a travi principali portanti questa condizione non si presenta in quanto il solaio, considerato uniformemente rigido, scarica in asse della trave e le secondarie fungono da semplice irrigidimento. Tuttavia tale condizione sarà poi verificata con il software di calcolo Sismicad.

Un caso particolare è rappresentato dalla trave sopra lo spazio Bar dove viene fatto mancare un pilastro per esigenze architettoniche. La trave di collegamento è quindi soggetta ad una forza di taglio data dall'area di influenza del pilastro mancante e pari a:

$$F = q \cdot A_{inf}$$

$$\begin{aligned} q_{SLU} &= 8.19 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLU} &= q_{SLU} \cdot A_{inf} = 8.19 \cdot 21.87 = 179.12 \text{ kN} \\ q_{SLE,r} &= 5.71 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,r} &= q_{SLE,r} \cdot A_{inf} = 5.71 \cdot 21.87 = 124.88 \text{ kN} \\ q_{SLE,fr} &= 4.27 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,fr} &= q_{SLE,fr} \cdot A_{inf} = 4.27 \cdot 21.87 = 93.38 \text{ kN} \\ q_{SLE,qp} &= 3.91 \text{ kN/m}^2 & Q_{SLE,qp} &= q_{SLE,qp} \cdot A_{inf} = 3.91 \cdot 21.87 = 85.51 \text{ kN} \end{aligned}$$

Il carico è disposto a distanza $a = 1.84 \text{ m}$ e $b = 2.75 \text{ m}$ degli appoggi. La freccia è quindi pari a:

$$f = Q_{sle,r} \cdot a^2 \cdot b^2 / [3 \cdot E \cdot J \cdot (a + b)]$$

Da cui si ricava l'inerzia minima:

$$\begin{aligned} J_{min} &= Q_{sle,r} \cdot a^2 \cdot b^2 / [3 \cdot E \cdot f \cdot (a + b)] \\ J_{min} &= 124.88 \cdot 1.84^2 \cdot 2.75^2 / [3 \cdot 210000 \cdot (1.84 + 2.75) / 250] = 6022 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Che corrisponde ad una trave HEB 220. Tuttavia, per ragioni puramente costruttive, si sceglie di utilizzare la stessa trave

DIMENSIONAMENTO PILASTRI

Un pilastro riceve l'azione delle travi ad esso connesse. All'aumentare dei piani, le azioni trasmesse dalle travi al pilastro si sommano. Il carico massimo per il pilastro è quindi in corrispondenza del livello più basso, prima della connessione con la fondazione.

Per il calcolo delle azioni si può procedere in due modi:

1. tramite l'azione tagliante di ciascuna trave ad esso connessa;
2. per area di influenza.

Per il dimensionamento del pilastro maggiormente caricato, si sceglie uno dei pilastri posti a Nord, poiché in quella posizione sussistono due livelli. L'area di influenza ha le seguenti dimensioni:

$$A_{inf} = 2.69 \text{ m} \cdot 6.12 \text{ m} = 16.46 \text{ m}^2$$

Per il calcolo delle azioni, si fa riferimento esclusivamente alla combinazione SLU:

| | | | |
|--------------|-----------|------------------------|--|
| In copertura | q_{SLU} | 8.19 kN/m ² | $Q_{SLU} = q_{SLU} \cdot A_{inf} = 8.19 \cdot 16.46 = 134.81 \text{ kN}$ |
| Interpiano | q_{SLU} | 7.96 kN/m ² | $Q_{SLU} = q_{SLU} \cdot A_{inf} = 7.96 \cdot 16.46 = 131.02 \text{ kN}$ |

La cui somma vale $N_{Ed} = N_{Rd} = 265.8 \text{ kN}$.

Si determina l'area utilizzando la formula inversa della definizione di N_{Rd} dato dalla NTC18:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} \quad \Rightarrow \quad A = N_{pl,Rd} \cdot \gamma_{M0} / f_{yk} = [10^3] \cdot 265.8 \cdot 1.05 / 275 = 1015.0 \text{ mm}^2$$

Controllando il profilario, una sezione HEA100 soddisfa la richiesta in quanto ha un'area di 2124 mm².

La scelta di un profilo così piccolo è dettata dal passo ravvicinato che hanno i pilastri in pianta.

Tuttavia nelle verifiche successive il pilastro verrà aumentato.

Per verificare la stabilità del pilastro si considera l'asse d'inerzia più sfavorito, ossia quello con valore più basso, in genere l'asse z-z. Dai profilari si riportano inoltre i due raggi di inerzia. Si riportano i valori per il profilo predimensionato HEA 100:

| | |
|----------------------------|---|
| Area trasversale | $A = 21.24 \text{ cm}^2$ |
| Momento di inerzia asse yy | $J_y = 349.2 \text{ cm}^4$ |
| Momento di inerzia asse zz | $J_z = 133.8 \text{ cm}^4$ (utilizzato) |
| Raggio di inerzia asse yy | $i_y = 4.06 \text{ cm}$ |
| Raggio di inerzia asse zz | $i_z = 2.51 \text{ cm}$ |

Il pilastro in esame è caratterizzato da una luce netta di interpiano pari a 4,50 m e il corrispondente schema statico vede il posizionamento di due cerniere agli estremi (coefficienti di vincolo uguali a 1,00). La lunghezza di libera inflessione coincide quindi con la luce netta di interpiano:

$$l_0 = \beta \cdot l = 1.0 \cdot 4.50 = 4.50 \text{ m}$$

Si procede quindi con il calcolo della snellezza del pilastro λ , del carico critico Euleriano N_{cr} e della snellezza normalizzata λ^* , assumendo il modulo elastico del materiale acciaio E pari a 210000 MPa:

$$\lambda = l_0 / i = [10^2] \cdot 4.50 / 2.51 = 179 \text{ [adm]}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot E \cdot J / l_0^2 = [10^{-3}] \cdot \pi^2 \cdot 210000 \cdot 133.8 / 4.50^2 = 137.0 \text{ kN}$$

$$\lambda^* = \sqrt{A \cdot f_{yk} / N_{cr}} = [10^{-1/2}] \cdot \sqrt{21.24 \cdot 275 / 137.0} = 2.07 \text{ [adm]}$$

Dalla tabella §4.2.VIII delle NTC18, data la tipologia di profilato con le relative caratteristiche, si ricava la curva di instabilità e il relativo valore di imperfezione α . Nel nostro caso:

$$h/b = 96 / 100 = 0.96 \text{ [adm]} < 1.2$$

$$t_f = 8 \text{ mm} \ll 40 \text{ mm}$$

Quindi la curva di instabilità a cui bisogna riferirsi è la b per l'asse yy e la c per l'asse zz a cui corrisponde i fattori di imperfezione α 0.21 e 0.34 rispettivamente. Poiché il caso più critico è l'instabilità attorno all'asse zz, si farà riferimento solo a questo caso. Si procede quindi a calcolare i coefficienti Φ , X e la resistenza di progetto all'instabilità dell'asta compressa $N_{b,Rd}$:

$$\Phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha (\lambda^* - 0.2) + \lambda^{*2}] = 0.5 \cdot [1 + 0.34 (2.07 - 0.2) + 2.07^2] = 2.95$$

$$X = [\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^{*2}}]^{-1} = 0.20 < 1.0$$

$$N_{b,Rd} = X \cdot A \cdot f_{yk} / \gamma_{M1} = [10^{-1}] \cdot 0.20 \cdot 21.24 \cdot 275 / 1.05 = 110.0 \text{ kN}$$

Si verifica l'azione agente con l'azione resistente:

$$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 265.8 / 110.0 = 2.42 \quad \text{HEA100 NON Verificata}$$

Si procede quindi iterativamente aumentando progressivamente la sezione fino a trovare il profilo che soddisfi la verifica. Si trova che il pilastro HEA140 soddisfa sia la verifica a compressione che quella a instabilità. Tuttavia, per ragioni costruttive, si adotta un pilastro HEA180. Analogamente a quanto fatto per il presente caso, si ripete il calcolo per ciascun pilastro presente nel progetto.

LA RETICOLARE SPAZIALE DI COPERTURA

Si dimensiona in questo capitolo la struttura della copertura dell'edificio Est che ospita l'ingresso al museo e il corpo del planetario. Per ragioni architettoniche, si vuole mantenere tale ambiente privo di pilastri in campata. La copertura dovrà quindi appoggiare esclusivamente sul perimetro esterno, formato da setti in calcestruzzo armato e da pilastri in acciaio) e su sporadici appoggi interni costituiti dai pilastri inclinati.

Si riporta la procedura di calcolo per la sola parte Sud in quanto quella che presenta luci maggiori e situazioni più critiche. La parte di modellazione, analisi e verifica è poi riferita all'intera copertura. Si riportano i dati più salienti per il predimensionamento.

Dimensione maggiore Est-Ovest: 37.7 m
 Dimensione minore Est-Ovest: 25.7 m
 Dimensione maggiore Nord-Sud: 32.0 m
 Dimensione minore Nord-Sud: 32.0 m

Sempre per ragioni architettoniche, la copertura dovrà avere uno spessore contenuto ai bordi Nord e Ovest mentre non ha limitazione di spessore in campata e sui rimanenti bordi. Si sceglie quindi di predimensionare la copertura con uno spessore minimo pari a 50 cm e uno massimo pari a 150 cm. I carichi in gioco, come si vede nel capitolo delle combinazioni di calcolo, sono:

- q_{SLU} 8.19 kN/m²
- $q_{SLE,r}$ 5.71 kN/m²
- $q_{SLE,fr}$ 4.27 kN/m²
- $q_{SLE,qp}$ 3.91 kN/m²

Date le ampie luci e i carichi non indifferenti, si sceglie di utilizzare una tecnologia a reticolare spaziale. Questa tipologia di copertura è molto performante in quanto è progettata in modo che ogni giunto sia una cerniera interna perfetta e quindi ogni asta interna sia schematizzabile come biella, soggetta quindi soltanto ad azione assiale e non a momento e taglio.



Tale scelta permette infatti di ottimizzare il materiale acciaio e permette di ottenere grandi luci senza appoggi in campata o comunque limitandone il numero. Inoltre, una reticolare spaziale è normalmente costituita da tubolari di acciaio uniti tra loro da giunti a vite. Questa metodologia è quindi particolarmente adatta al caso in questione in quanto abbassa i costi di produzione e i tempi di montaggio.

Poiché si è scelto un'altezza variabile tra i 50 e i 150 cm, si sceglie una maglia media di lato 100 x 100 cm. In questo modo la reticolare avrà forma simile a quadrati e triangoli regolari. Si decide di effettuare un predimensionamento di massima sull'entità delle forze interne che si generano. Si considera quindi una trave appoggio-appoggio con luce pari alla dimensione maggiore di quelle precedentemente riportate e caricata con un carico pari al carico superficiale in combinazione SLU moltiplicata per l'interasse medio.

I valori sono quindi:

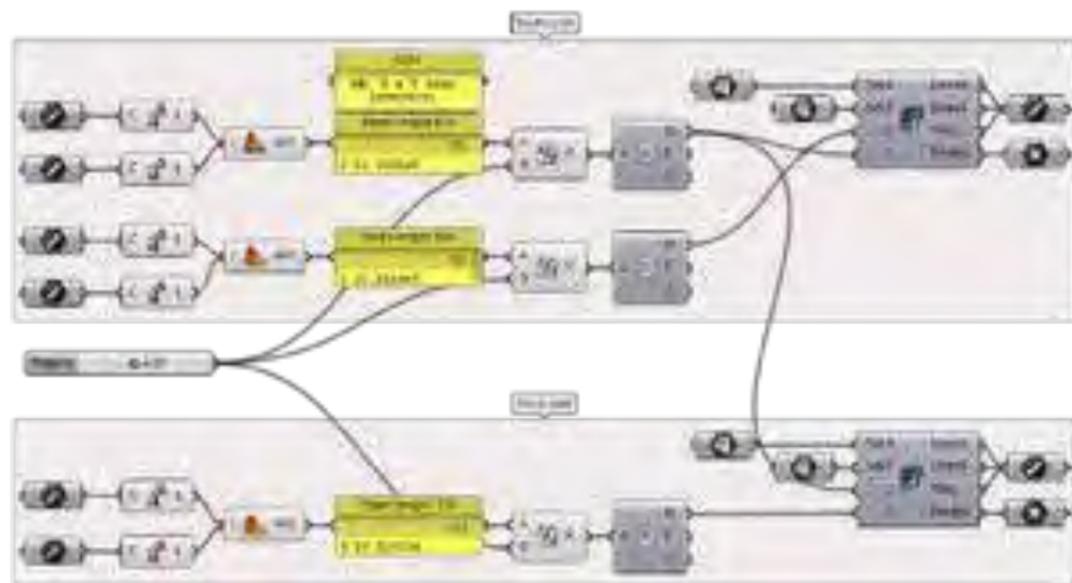
Luce: 37.7 m
 Carico distribuito: $p = q_{SLU} \cdot i = 8.19 \cdot 1 = 8.19 \text{ kN/m}$

Il valore massimo del momento in mezzeria è pari a:

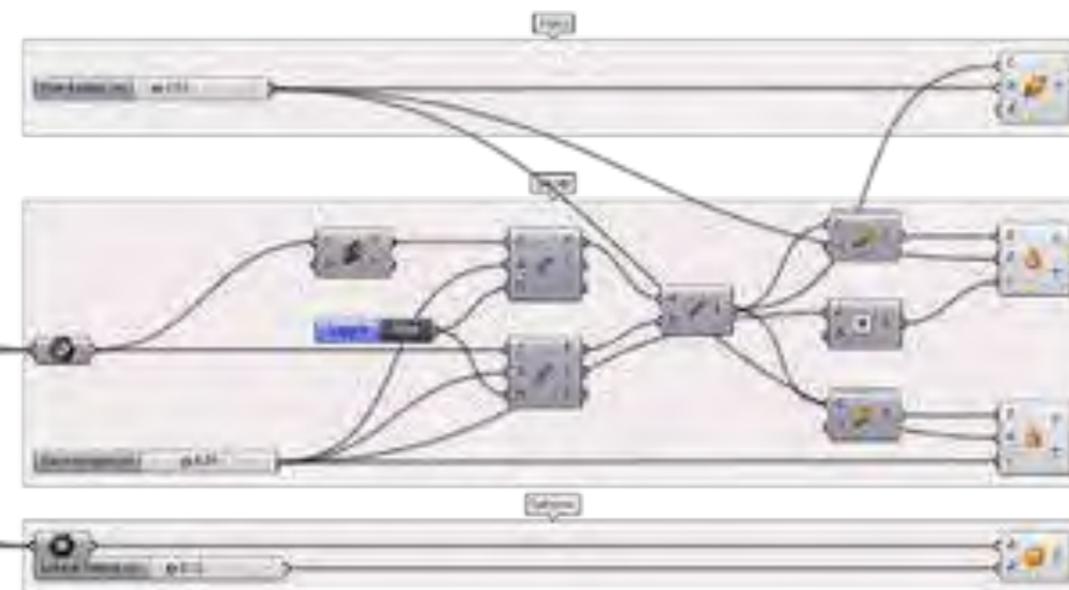
$$M_{\max} = p \cdot l^2 / 8 = 8.19 \cdot 37.7^2 / 8 = 1455.0 \text{ kNm}$$

Conoscendo il braccio massimo della trave, pari a 150 cm, si può calcolare il valore indicativo della forza assiale nei correnti della reticolare spaziale:

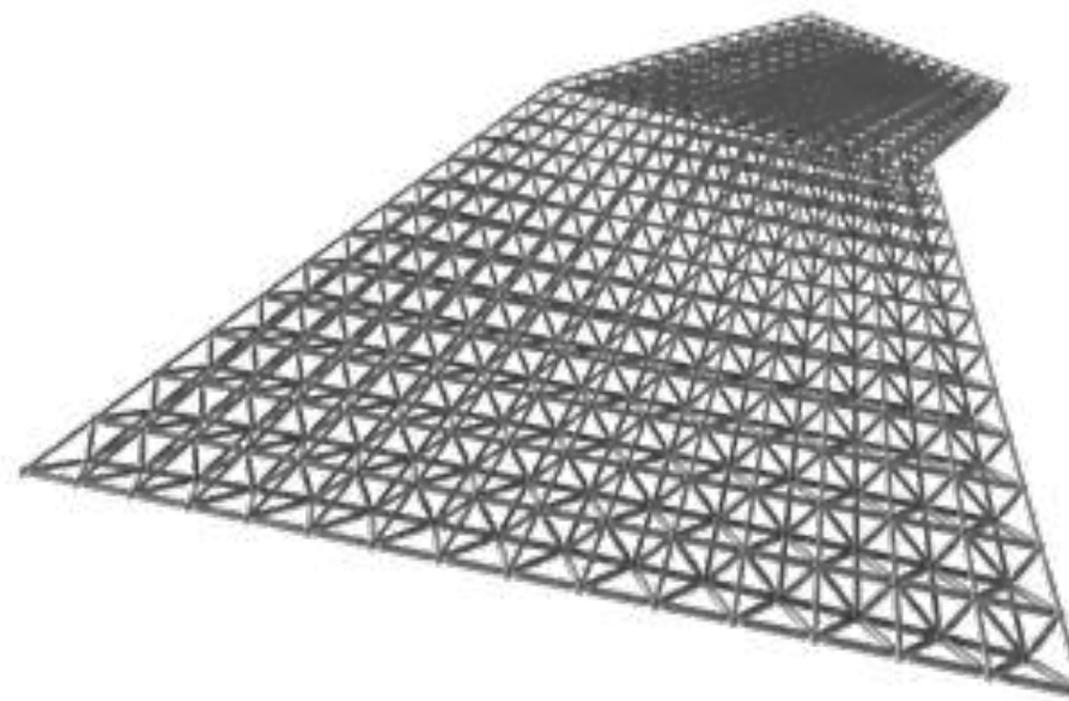
$$N = M_{\max} / b = 1455.0 / 1.5 = 970 \text{ kN.}$$



Si procede alla modellazione della reticolare spaziale attraverso il software Rhino e i plugin Grasshopper e Lunchbox. In particolare, quest'ultimo plugin permette di disegnare le linee d'asse di una reticolare spaziale uniforme nell'altezza. Si procede quindi a disegnare le superfici superiori ed inferiori che saranno tangenti alle linee d'asse della struttura. Esse saranno gli input della modellazione. Si impone il numero di moduli per ciascun lato, dato dalla media delle due lunghezze corrispondenti. Si impone inoltre la posizione degli appoggi. Il plugin restituisce quindi l'intera struttura.



Per dare una restituzione grafica, si impone poi al modello di associare ad ogni nodo una sfera e ad ogni linea d'asse un profilo tondo cavo. Si impone poi che in corrispondenza di ogni nodo il profilo si assottigli. Questa restituzione grafica risulta essere piuttosto fedele alla realtà ma occorrerà dimensionare ciascun elemento e il giunto. Si riporta la tavola di lavoro di Grasshopper con le relative configurazioni di input e output.

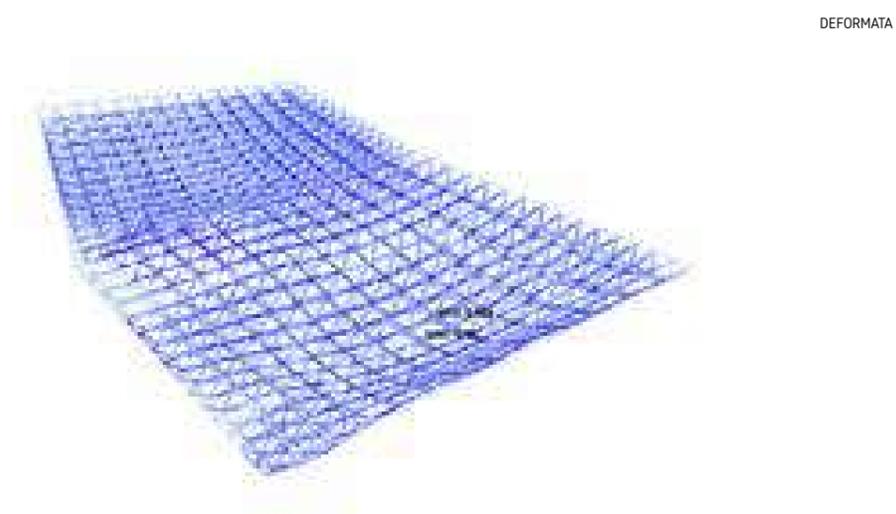
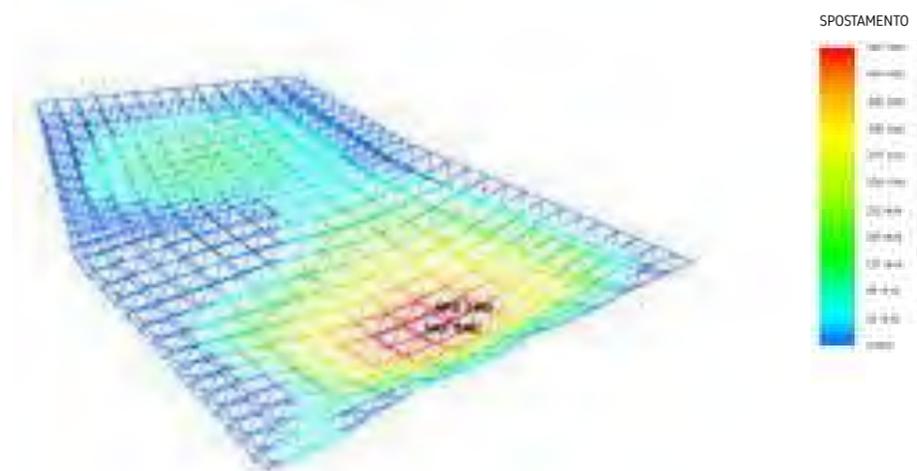


DIMENSIONAMENTO DELLA RETICOLARE SPAZIALE

Completata la fase di modellazione delle linee d'asse, si procede all'importazione del disegno all'interno del software di calcolo agli elementi finiti MidasGEN. Per il dimensionamento si ricorre ad un processo iterativo. Verrà assegnata inizialmente una sezione uguale per tutti i profili. Successivamente si analizzeranno i dati in termini di sforzi e instabilità per correggere le sezioni dei tubolari.

Si effettuano le seguenti operazioni:

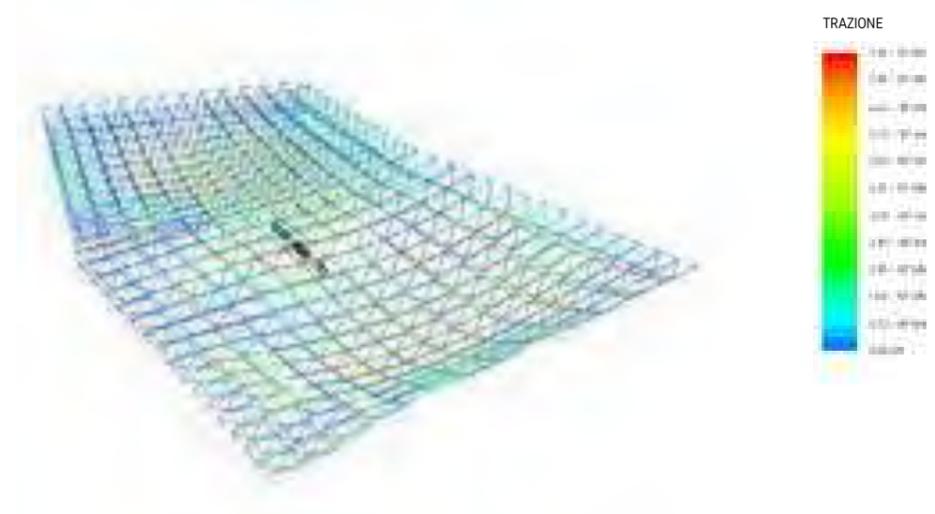
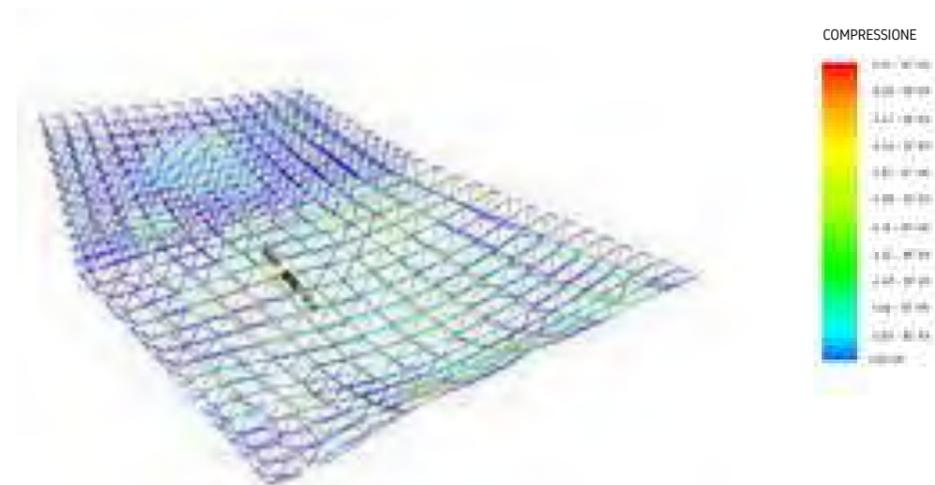
1. Si settano le dimensioni di appartenenza: struttura tridimensionale con sforzi nelle tre dimensioni;
2. Si eliminano eventuali nodi o elementi doppi che il software rileva in automatico;
3. Si definiscono tutti gli elementi come "truss", elementi che possono trasmettere solo forze assiali;
4. Si definisce il materiale acciaio tipo S275 di cui le caratteristiche sono sopra riportate;
5. Si definisce inizialmente un'unica sezione: profilo circolare cavo $\Phi 88.9$ s2 mm;
6. Si definiscono i vincoli esterni. In particolare, viene assegnata una cerniera che blocca la rotazione lungo l'asse X e Y per ogni appoggio;
7. Vengono definite le combinazioni di carico con i carichi sopra riportati;
8. Si attribuiscono i carichi distribuiti sulla superficie sull'intera copertura;
9. Si fa partire la simulazione.



Si riportano le immagini riferite alle isolinee di spostamento verticale della struttura, la deformata della struttura e le azioni interne divise per compressione e trazione.

Si ottengono i seguenti risultati SLU:

- Massimo spostamento verticale: 0.467 m
- Massima azione di compressione: 914.0 kN
- Massima azione di trazione: 791.0 kN



PRIMA CORREZIONE - SFORZI INTERNI E INSTABILITÀ DELLE MEMBRATURE

Si procede ora alla verifica SLU degli elementi costituenti la copertura. Si esporta dal software i valori di azioni interne e le relative lunghezze delle aste.

Si calcolano quindi i valori massimi di riferimento dei componenti in acciaio a compressione e a trazione come segue:

$$\sigma_{c,Rd} = f_{yk} / Y_{MO} = 275 / 1.05 = 261.9 \text{ N}$$

$$\sigma_{t,Rd} = f_{yk} / Y_{MO} = 275 / 1.05 = 261.9 \text{ N}$$

Si ipotizzano i seguenti profili:

Profilo circolare cavo $\Phi 88.9$ s2 mm (area 5460 mm²);

Profilo circolare cavo $\Phi 88.9$ s6.3 mm (area 1634.8 mm²);

Profilo circolare cavo $\Phi 101.6$ s10 mm (area 2877.7 mm²);

Profilo circolare cavo $\Phi 139.7$ s10 mm (area 4074.6 mm²);

Profilo circolare cavo $\Phi 139.7$ s12.5 mm (area 995.1 mm²).

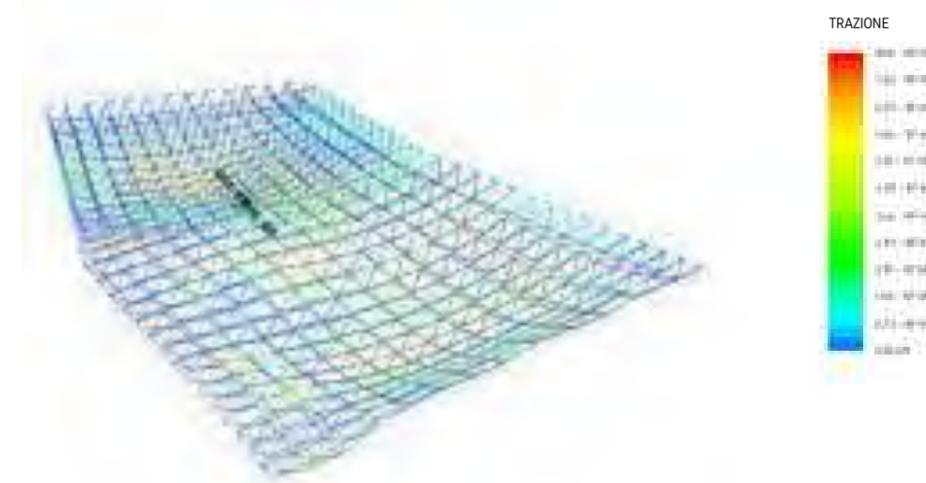
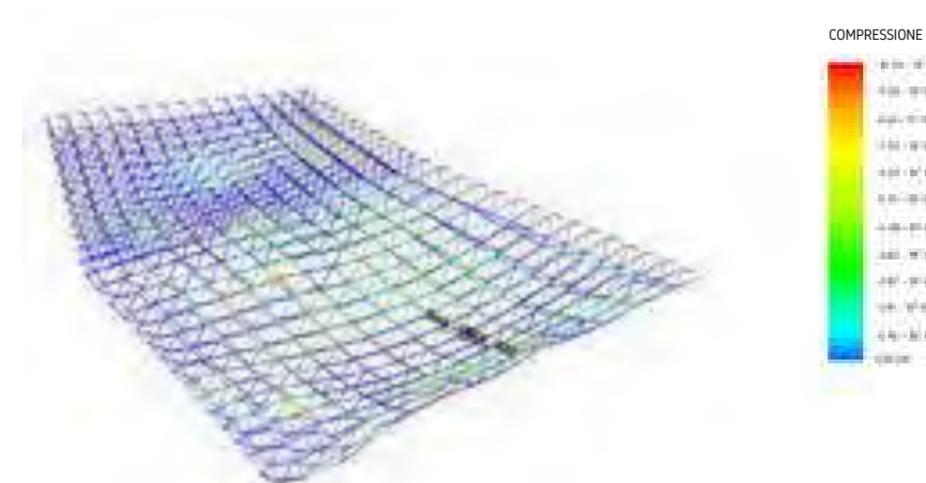
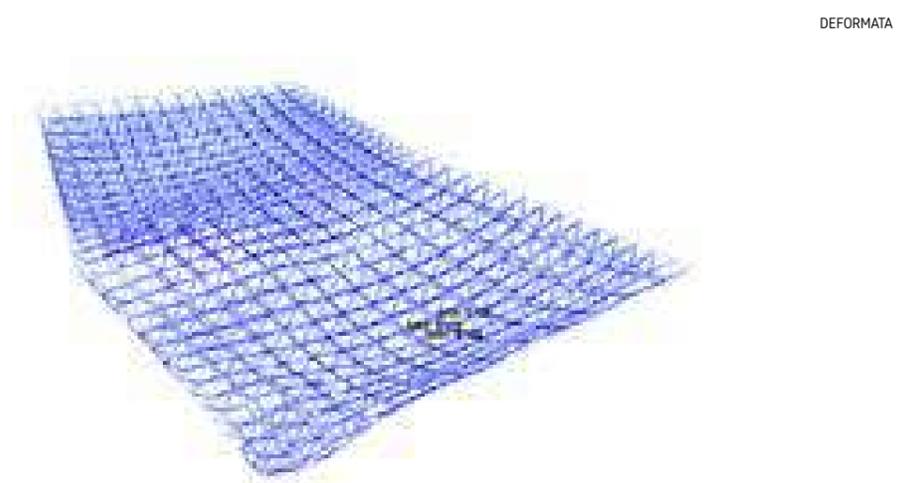
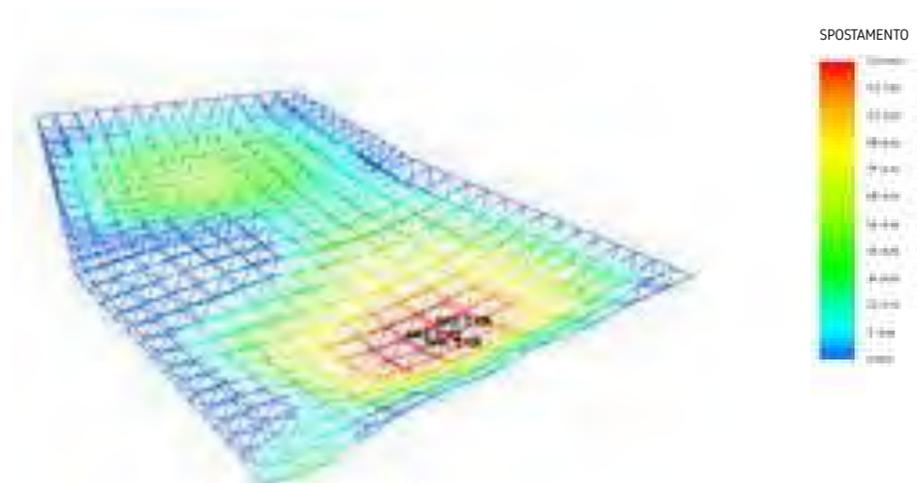
Si prepara un foglio Excel in cui si confronta lo sforzo agente con lo sforzo resistente. Se questa verifica non è soddisfatta, si calcola l'area minima affinché risulti soddisfatta e quindi si sceglie il profilo. Nelle colonne successive, come fatto per il pilastro compresso, si esegue la verifica a instabilità. Tale verifica è di tipo iterativo. Una volta che tutte le verifiche nell'Excel risultano soddisfatte, si modificano le sezioni in MidasGEN e si fa ripartire la simulazione.

Poiché cambiando la sezione cambia il peso proprio della struttura, si riesegue questa operazione finché tutte le verifiche risultano soddisfatte in modo definitivo.

Si ottengono i seguenti risultati SLU:

- Massimo spostamento verticale: 0.124 m
- Massima azione di compressione: 1052.1 kN
- Massima azione di trazione: 806.1 kN

Poiché il valore della sfreccia nella combinazione rara è pari a 0.084 m la verifica elastica risulta soddisfatta in quanto risulta pari a circa 1/450 della luce e quindi inferiore a 1/250 della luce richiesto da normativa NTC18.



SECONDA CORREZIONE - PUNZONAMENTO DELLA PIASTRA

Dalle immagini della simulazione precedente, si può notare come in corrispondenza dell'appoggio più centrale alla copertura, si verifica una concentrazione degli sforzi. Tale situazione non può essere eliminata con la semplice modificazione del profilo della sezione o comunque tale strada porterebbe a profili troppo grossi e chiaramente sovradimensionati. Tale effetto è paragonabile e riconducibile all'effetto di punzonamento di una piastra.

Si sceglie quindi di saldare tra loro gli elementi di 4 moduli. Si ottiene in questo modo l'effetto di diffusione degli sforzi e di riduzione dell'effetto punzonamento.

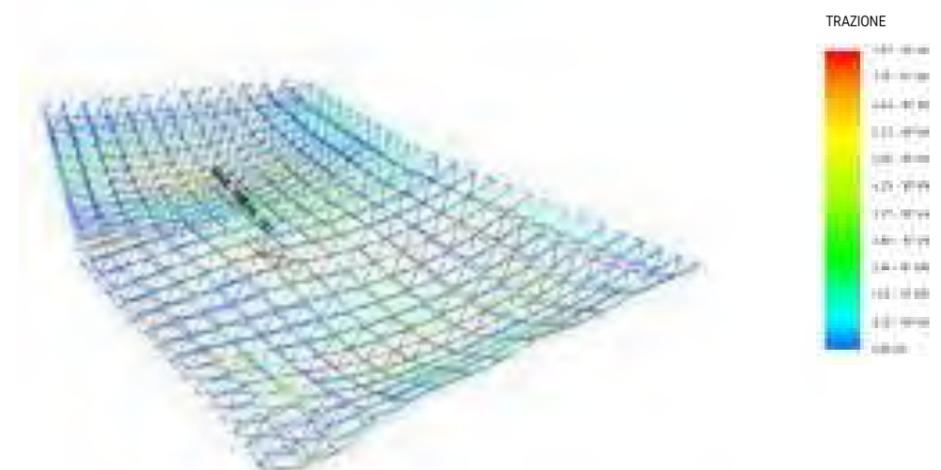
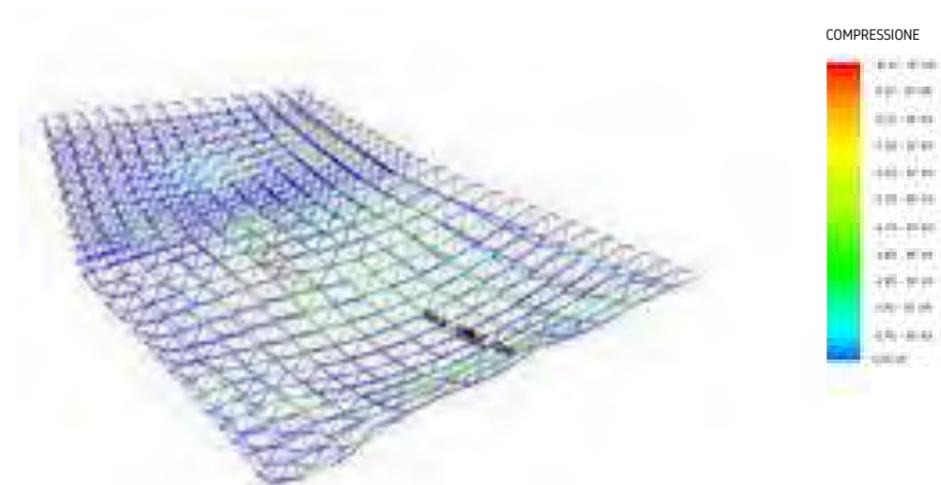
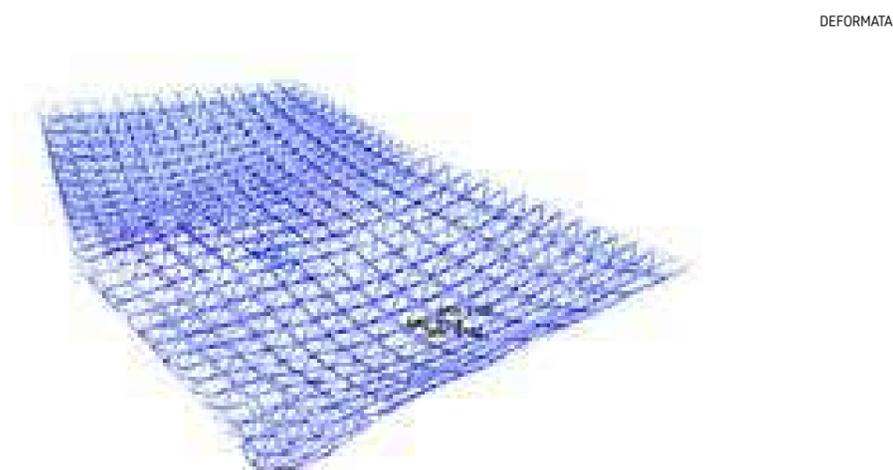
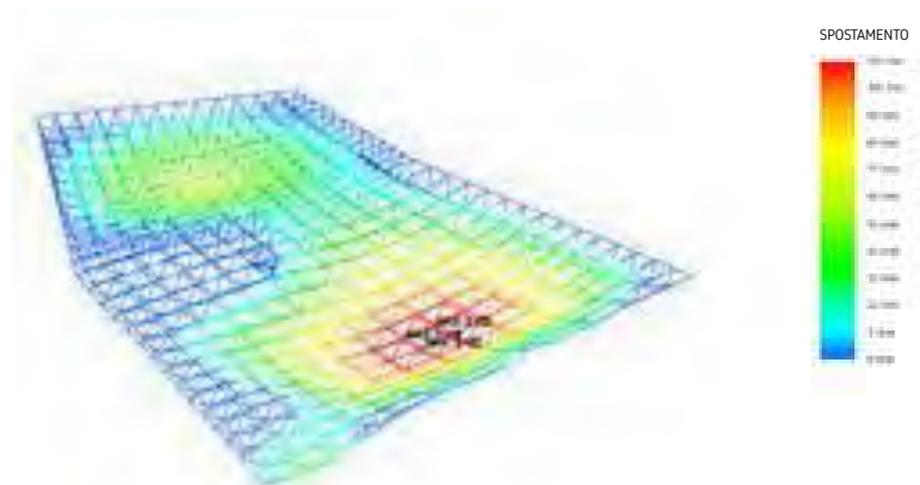
Si decide inoltre di inserire delle barre di rinforzo per diminuire la lunghezza di libera inflessione delle aste maggiormente sollecitate.

Prima di modificare la sezione delle singole aste, si fa ripartire la modellazione.

Si ottengono i seguenti risultati SLU:

- Massimo spostamento verticale: 0.120 m
- Massima azione di compressione: 1048.4 kN
- Massima azione di trazione: 787.1 kN

Si può notare come questo accorgimento abbia diminuito leggermente i valori massimi delle azioni interne, sia in compressione che in trazione. Vi è invece una sensibile riduzione delle azioni interne in corrispondenza dell'appoggio. L'accorgimento non ha però influito in modo sostanziale sulla freccia in campata della copertura. Questo perché l'abbassamento è dominato principalmente dall'inerzia dei profili e solo in seguito dalla rigidità (o iperstaticità) della trave.



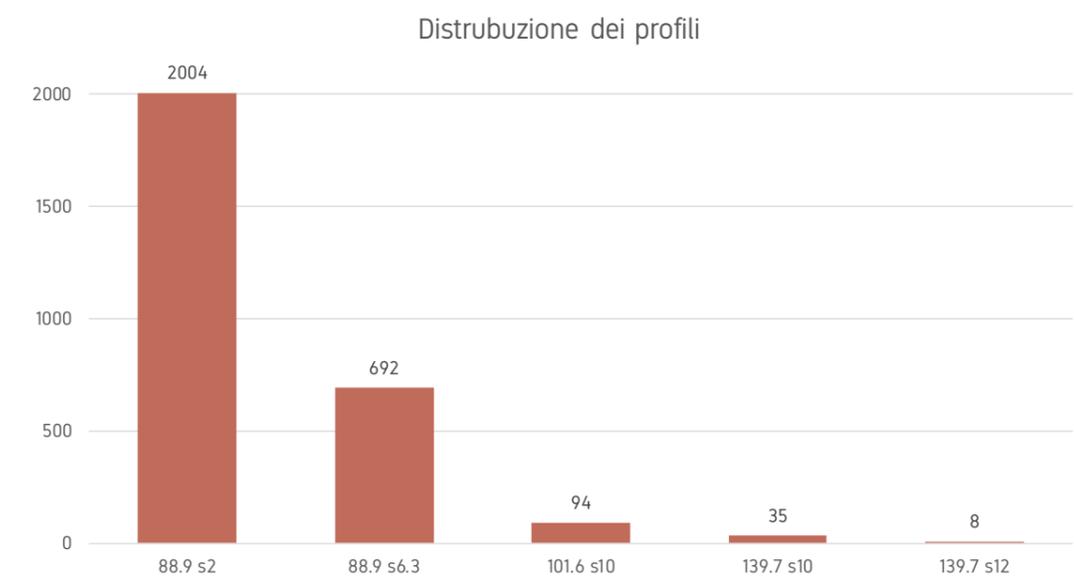
Gli elementi beam, precedentemente modellati per evitare l'effetto punzonamento, non vengono visualizzati nelle anteprime delle azioni interne. Si riporta un'immagine di ingrandimento qui sotto. È da notare che pur essendo elementi beam, essi sono soggetti a sforzi di taglio e di momento flettente piccoli rispetto all'azione assiale. Viene verificato l'elemento più significativo sia con la procedura seguita per le truss, che per le travi.



Le dimensioni dei profilati metallici cavi sono state scelte in base alle azioni interne risultanti dalla prima analisi e dal rapporto tra omogeneità dei profilati e numero di aste coinvolte. Si è poi scelto, ove possibile, di mantenere gli stessi profili ma con spessori diversi.

Il valore della freccia della copertura, per quanto rispetti il valore della norma, risulta essere piuttosto alto. Considerando poi l'alto valore del carico della neve, la copertura potrebbe avere un comportamento ciclico tra due condizioni di deformazione. È possibile quindi dare una leggera monta iniziale alla struttura in modo che, una volta completata la struttura stessa e i pesi permanenti, essa risulti piana, muovendosi in verticale solo sotto l'effetto dei pesi variabili e quindi principalmente della neve.

Si riporta la distribuzione dei vari profili nella struttura copertura, sia per elementi truss che beam.



DIMENSIONAMENTO DEI GIUNTI



Il giunto tipo di una reticolare spaziale prevede due semisfere in cui vengono facilmente avvitate le teste delle aste convergenti nel nodo con un bullone di misura dipendente dalle forze in gioco. Le due semisfere vengono poi chiuse tra loro. Viste le alte forze in gioco, potrebbe essere necessario prevedere un metodo alternativo di giunzione in quanto un singolo bullone potrebbe non essere necessario.

Si inizia calcolando la resistenza a trazione del singolo bullone nelle varie dimensioni commerciali, al fine di valutare l'utilizzo di una seconda tipologia di giunto.

Si definiscono le classi dei bulloni commercialmente in uso. Per le unioni bullonate si utilizzeranno bulloni di classe 8,8. Infatti si può dimostrare che il passaggio alla classe successiva non comporta grandi guadagni in termini di resistenza.

| Classe bulloni | Classe | f_{yb} | f_{tb} | U.M. |
|----------------|--------|----------|----------|-------------------|
| Classe | 4,6 | 240 | 400 | N/mm ² |
| Classe | 5,6 | 300 | 500 | N/mm ² |
| Classe | 6,8 | 480 | 600 | N/mm ² |
| Classe | 8,8 | 640 | 800 | N/mm ² |
| Classe | 10,9 | 900 | 1000 | N/mm ² |

Si definiscono i bulloni commerciali dove:

- D è il diametro nominale del bullone [mm]
- A_n è l'area nominale del bullone [mm²]
- A_{res} è l'area resistente del bullone, cioè l'area depurata della parte filettata [mm²]
- $S_{bullone}$ è il diametro del bullone [mm]
- S_{dado} è il diametro del dado [mm]

La tolleranza del foro, ossia la differenza tra il diametro del bullone e il diametro del foro, viene posta uguale ad 1 mm per bulloni fino all'M20 e 1,5 mm per bulloni oltre tale limite.

In caso di bullone soggetto a trazione, occorre verificare l'effetto punzonamento tra la piastra generica di collegamento e l'anima o la parte di trave soggetta a trazione. Il punzonamento ha effetto sull'elemento più debole in termini di spessore e resistenza dell'acciaio. Si definiscono allora gli elementi caratterizzanti il punzonamento. Si noti che la menzione "piastra" e "trave" è unicamente solo ai fini di distinzione tra gli elementi di giunzione.

È bene che, in caso di uguali tipologie di acciaio e quindi uguali resistenze del materiale, i due elementi abbiano spessori simili, altrimenti il punzonamento si verificherà più facilmente su quello più sottile. La resistenza a trazione dei bulloni è data del minimo tra i seguenti valori:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} \cdot / Y_{M2}$$

$$F_{t,Rd} = f_{yb} \cdot A_n \cdot / Y_{M0}$$

La resistenza a punzonamento si calcola invece:

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{tk} / Y_{M2}$$

dove:

d_m è il minimo tra il diametro del dado e il diametro medio della testa del bullone [mm]

t_p è lo spessore del piatto [mm]

f_{tk} è la tensione di rottura dell'acciaio del piatto [N/mm²]

La resistenza complessiva dell'unione a trazione è data dal minimo dei due valori:

$$F_{tp,Rd} = \min \{F_{t,Rd}; B_{p,Rd}\}$$

Poiché nel caso in questione i bulloni possono essere soggetti anche a compressione, si verificano anche per sforzi di compressione. La verifica prevede che l'area resistenza riesca a sopportare lo sforzo di compressione, e quindi:

$$F_{c,Rd} = f_{yk} \cdot A_{res} \cdot / Y_{M0}$$

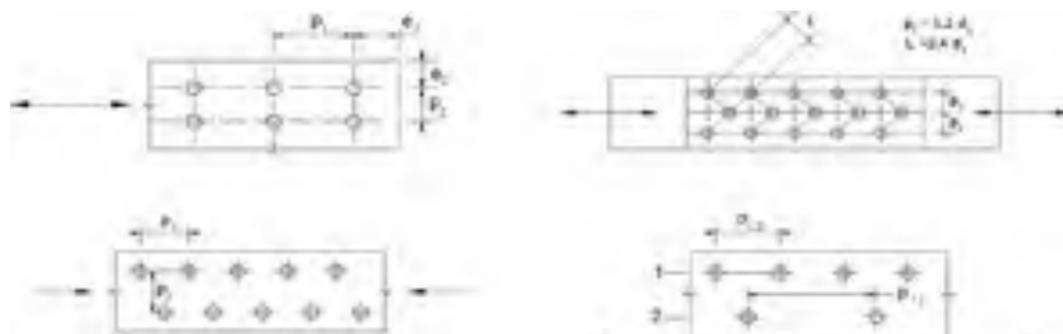
Si riportano i valori per i tutti i singoli bulloni commerciali.

Si verificano ora le unioni a taglio e rifollamento. La prima verifica consiste di indagare se il bullone è in grado di resistere sotto a piani di taglio intersecanti il gambo dello stesso. La verifica a rifollamento consiste nel controllare che il bullone, soggetto a forza di taglio e insistente sullo spessore del proprio foro, non deformi la piastra e non ne comporti la rottura della stessa. Si definisce innanzitutto la posizione dell'unione nell'ambiente.

| Posizione del foro | |
|--|---|
| Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali | 1 |
| Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali | 2 |
| Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione | 3 |

Nella tabella §4.2.XVIII delle NTC18 sono presenti le prescrizioni delle distanze e degli interassi da mantenere in funzione del diametro e dello spessore della piastra: Nel nostro caso sono stati scelti:

| Distanza o interasse | min | max | Scelto |
|--|-------|------|--------------|
| Distanza dalla piegatura X (manovrabilità) | d | 5 | - |
| Distanza dal bordo Lunghezza minima Y | e_1 | 37,8 | 94,5 |
| Distanza dal bordo larghezza minima X | e_2 | 37,8 | 47,3 |
| Interasse Lunghezza minima Y | p_1 | 69,3 | 118,1 |
| Interasse larghezza minima X | p_2 | 75,6 | 73,2 |



Si ricorda poi che nel caso di verifiche a taglio, occorre identificare il numero di piani di taglio del singolo bullone e di conseguenza dividere la forza agente per tale numero per poterla confrontare con la forza resistente. In questo caso, il piano di taglio è sempre e solo uno, rappresentato da quello tra la piastra e la trave.

La resistenza a taglio è pari a:

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / Y_{M2} \text{ bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8}$$

$$F_{v,Rd} = 0.5 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / Y_{M2} \text{ bulloni classe 6.8 e 10.9}$$

Nei casi in cui il piano di taglio interessa il gambo non filettato della vite si ha per tutte le classi di resistenza

$$F_{v,Rd} = 0.6 \cdot f_{tbk} \cdot A / Y_{M2}$$

La verifica a rifollamento va eseguita sull'elemento più debole. In caso in cui si ha lo stesso spessore o la stessa resistenza del materiale, risulta evidente su cosa effettuare la verifica. Altrimenti va condotta su entrambi i lati.

Si definiscono i parametri α e k :

$$\alpha = \min \{e_1 / (3 \cdot d_0); f_{tbk} / f_{tk}; 1\} \text{ per bulloni di bordo nella direzione del carico applicato,}$$

$$\alpha = \min \{p_1 / (3 \cdot d_0) - 0.25; f_{tbk} / f_{tk}; 1\} \text{ per bulloni interni nella direzione del carico applicato,}$$

$$k = \min \{2.8 \cdot e_2 / d_0 - 1.7; 2.5\} \text{ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato,}$$

$$k = \min \{1.4 \cdot p_2 / d_0 - 1.7; 2.5\} \text{ per bulloni interni nella direzione perpendicolare al carico applicato.}$$

Essendo e_1 , e_2 , p_1 e p_2 i parametri prima definiti di interassi e distanze.

La verifica a rifollamento si calcola come:

$$F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / Y_{M2}$$

La resistenza di progetto a taglio è data da:

$$F_{vb,Rd} = \min \{F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\}$$

Dalle pagine precedenti si evince come un'unione bullonata con singolo bullone sia possibile fino ad una forza pari a 357 kN utilizzando un bullone M36. Oltre tale limite, occorre prendere in considerazione un'altra tipologia di unione, formata presumibilmente da più bulloni. Si prevede un giunto a cilindro con un numero di bulloni da calcolare.

Per ottimizzare il giunto, si prendono in considerazione le seguenti ipotesi:

Le aste più sollecitate sono quelle di tipo CHS-CF 139.7X10, caratterizzate da diametro esterno pari a 139.7 mm, spessore 10 mm e acciaio tipo S275;

Il giunto avrà uno spessore pari a quello dell'asta collegata e un acciaio analogo. Uno spessore maggiore o un incremento della qualità dell'acciaio comporterebbe il rifollamento sull'asta collegata.

Data la tipologia di giunto e l'asta modellata come truss, i bulloni saranno soggetti soltanto ad azione di taglio. Le verifiche verranno quindi condotte come verifica di taglio e verifica di rifollamento.

Poiché il giunto è circolare, non si prevede il limite imposto dalla normativa sulla distanza e_2 dei fori dal bordo perpendicolare all'azione agente.

Si procede all'ottimizzazione del giunto. Si parte dalla verifica a rifollamento e si va a ritroso. Si cercano quindi i valori geometrici che massimizzano i parametri α e k , ponendo il primo termine uguale al massimo valore possibile.

$$\begin{aligned} \max \{\alpha\} \text{ se } & e_1 / (3 \cdot d_0) = 1 \\ \max \{\alpha\} \text{ se } & p_1 / (3 \cdot d_0) - 0,25 = 1 \\ \max \{k\} \text{ se } & k = 2,8 \cdot e_2 / d_0 - 1,7 = 2,5 \\ \max \{k\} \text{ se } & k = 1,4 \cdot p_2 / d_0 - 1,7 = 2,5 \end{aligned}$$

Si ottengono i seguenti valori in funzione del diametro nominale d_0 che massimizzano $\alpha = 1$ e $k = 2,5$:

$$\begin{aligned} e_1 &= 3 d_0 \\ p_1 &= 3,75 d_0 \\ e_2 &= 1,5 d_0 \\ p_2 &= 3 d_0 \end{aligned}$$

Si procede all'individuazione del diametro ottimale, mettendo a sistema la verifica a rifollamento, la verifica a taglio e l'equazione che identifica il numero di bulloni che geometricamente possono essere applicati sul giunto di diametro D' .

$$\begin{cases} N = n_b \cdot k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \\ N = n_b \cdot 0,5 \cdot f_{tb} \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) / \gamma_{M2} \\ N = \pi \cdot D' \cdot n_f / 3d_0 \end{cases}$$

dove:

N è l'azione assiale di trazione di progetto [kN];

n_b è il numero di bulloni, incognita del sistema;

k e α sono i coefficienti di cui al punto precedente;

f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura dell'acciaio dell'elemento più debole del collegamento [N/mm²].

In questo caso l'acciaio dell'asta e del collegamento sono della stessa tipologia;

d è il diametro nominale del bullone [mm];

t è lo spessore nominale dell'acciaio dell'elemento più debole del collegamento [mm]. In questo caso lo spessore del collegamento è equivalente;

γ_{M2} è il coefficiente di sicurezza;

f_{tb} è la resistenza caratteristica a rottura dell'acciaio dei bulloni [N/mm²];

D' è il diametro esterno dell'asta di collegamento;

n_f è il numero di file previste sul collegamento. Tale valore viene posto in prima istanza uguale a 1. Se la verifica non torna, verrà posto iterativamente pari a 2 e via seguendo;

d_0 è il diametro del foro.

Risolvendo il sistema, si ottiene che per ottimizzare il giunto occorre utilizzare un diametro nominale pari a 27,4 mm. Questo comporterebbe un numero complessivo di bulloni pari a 5. Si utilizza quindi il bullone M27 ma si decide di portare il numero di bulloni a un totale di 6. Questa scelta viene motivata dal fatto che è così possibile montare il giunto con diverse combinazioni di bulloni (2,3,4 e 6) mantenendo la simmetria delle azioni interne. Si prosegue con la verifica.

Diametro nominale M27: $d = 27$ mm

Diametro foro: $d_0 = 28,5$ mm

Area resistente: $A_{res} = 459$ mm²

Interasse tra i fori nel senso perpendicolare al carico (lungo la circonferenza): $p_2 = 73$ mm

Distanza dai bordi nel senso parallelo al carico (lungo l'asse del profilo): $e_1 = 86$ mm

Con questi valori, si procede alla verifica a rifollamento e taglio.
Le resistenze di calcolo per ciascun bullone risultano pari a:

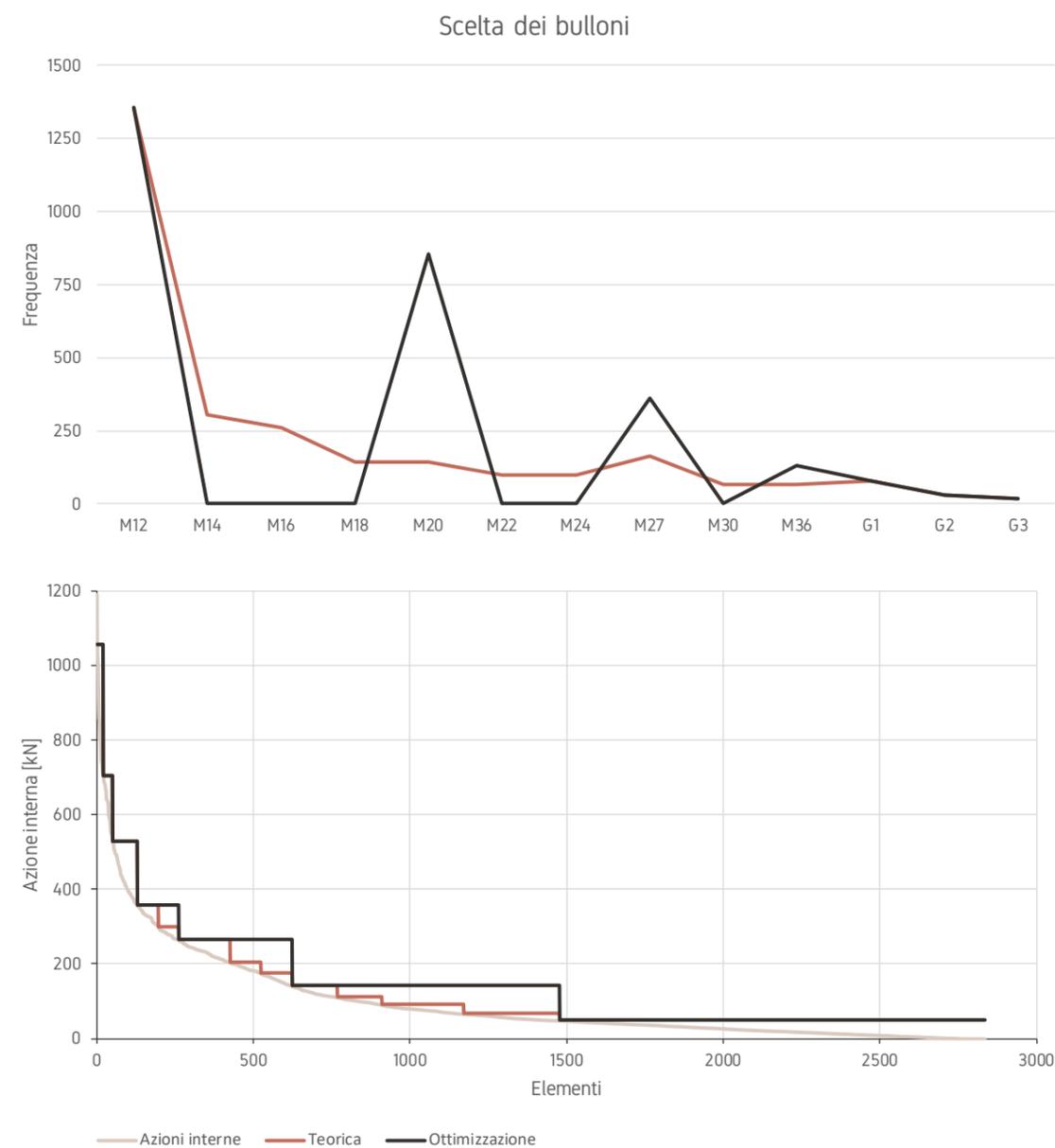
| | |
|-------------------------|----------|
| Resistenza rifollamento | 175.9 kN |
| Resistenza taglio | 183.6 kN |
| Resistenza di calcolo | 175.9 kN |

Le possibili combinazioni di giunto sono:

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| Azione resistente 2 bulloni tipo "G0" | 351.8 kN |
| Azione resistente 3 bulloni tipo "G1" | 527.7 kN |
| Azione resistente 4 bulloni tipo "G2" | 703.6 kN |
| Azione resistente 6 bulloni tipo "G3" | 1055.4 kN |

Tutti i valori di azioni interne risultano quindi coperti da tale tipologia di giunto.

Per la struttura copertura si scelgono una varietà limitata di bulloni tra quelli commercialmente in uso, in particolare si scelgono i bulloni tipo M12, M20, M27, M36 e i tre tipi di giunti sopra definiti G1, G2, G3. Il giunto tipo G0 non viene considerato in quanto possibile labile e rimpiazzabile dal bullone M36. Si riportano i grafici con le curve teoriche del bullone che meglio si adatta all'azione interna e l'ottimizzazione operata.



LA PIASTRA IN CALCESTRUZZO ARMATO

Si vuole ora dimensionare la piastra in calcestruzzo armato che separa il piano interrato dal piano primo. Tale soletta, analogamente alla copertura, presenta grandi luci con pochi pilastri. A differenza però della stessa copertura, la piastra ha un grosso vuoto centrale dovuto alla sfera ospitante il planetario. Questo accorgimento da un lato riduce notevolmente il carico portante della soletta, dall'altro interrompe la continuità flessionale del calcestruzzo armato.

Si predimensiona la piastra con uno spessore pari a 30 cm.

I carichi che gravano sulla piastra sono:

- Carico proprio portante della soletta: $G_1 = 23.54 \text{ kN/m}^2$
- Carico proprio portato dalla soletta: $G_2 = 1.43 \text{ kN/m}^2$
- Carico di esercizio: $G_{k1} = 3.00 \text{ kN/m}^2$

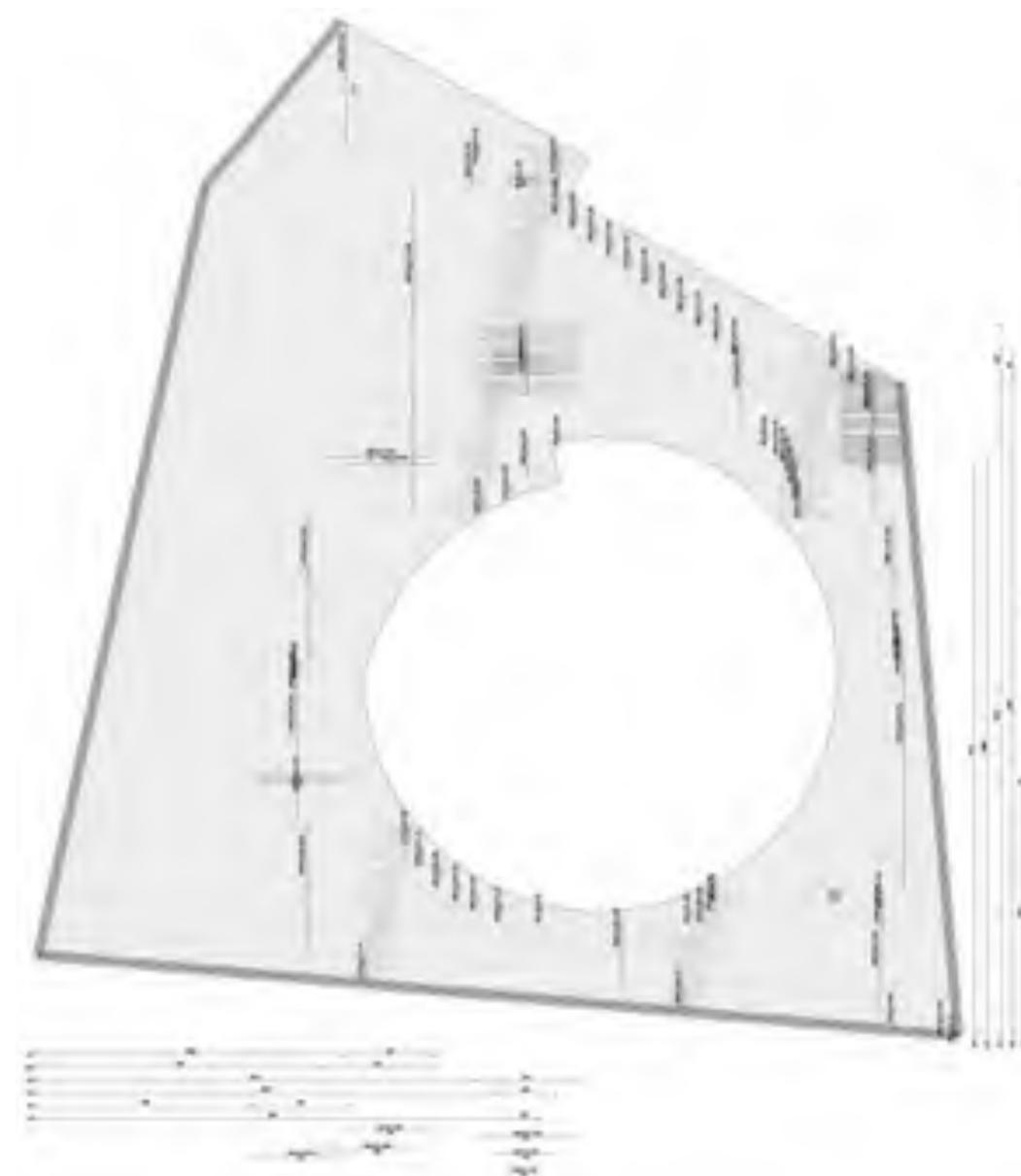
Date le complessità geometriche e dei carichi applicati, si decide di utilizzare il software Sismicad per verificare la piastra.

Si prevede un'armatura diffusa superiore e inferiore armata con barre B450C $\Phi 18/12$. Il software restituisce iterativamente le verifiche per ogni punto della piastra. Vengono quindi inserite delle barre singole dove le verifiche in esercizio risultano non soddisfatte.

Si procede quindi la verifica al punzonamento dei pilastri del piano interrato. Per risolvere il punzonamento, si inseriscono in base a necessità delle barre piegate $\Phi 20/17$ e spille $\Phi 12/15$. Si ricorda che il punzonamento agisce generalmente per sezioni di cerchio e quindi la distribuzione dei ferri in corrispondenza di elementi punzonanti deve rispondere a tale prescrizione geometrica.

Il software verifica nuovamente ogni punto della piastra e restituisce esito positivo per ogni punto. La verifica si può quindi ritenere soddisfatta e la piastra dimensionata.

A titolo esemplificativo, si riporta una tavola di estrazione ferri per la piastra dimensionata, consultabile in dettaglio negli allegati.



CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

L'Islanda è un territorio geomorfologicamente giovane in quanto formato circa 20 milioni di anni fa da una serie di eruzioni vulcaniche. Lo strato roccioso più giovane che si trova nel Paese è localizzato nell'Islanda sud occidentale ed è datato solo 700 mila anni. Per questi motivi, il territorio islandese è prevalentemente formato da rocce di tipo vulcanico poco erose. Come si vede dalla mappa, il sito di progetto è caratterizzato da un suolo caratterizzato dalla presenza di rocce laviche e di terre brune (andosoli bruni di tipo vulcanico). Tale tipologia di terreno è caratterizzata da un'alta capacità drenante dell'acqua e di infiltrazione a causa della bassa densità relativa e dell'alta capacità di trattenere acqua. Esso è inoltre poco coesivo e raggiunge facilmente il limite di liquefazione quando saturo d'acqua. Tuttavia, tale tipologia di sottosuolo occupa solo lo strato più esterno del territorio, per una profondità di massimo 5 metri. Al di sotto dell'andosuolo si trova uno strato di basalto, anch'esso di origine effusiva e rappresentate circa il 90% di tutte le rocce effusive. Tale tipologia di suolo ha una densità media pari a 3000 kg/m^3 e offre buone capacità portanti per fondazioni superficiali, arrivando a valori dell'ordine di 10 MPa. Si può quindi ritenere che il substrato roccioso offra condizioni portanti sufficienti alla realizzazione di strutture di fondazione superficiali quali travi rovesce, plinti e platee. La profondità di imposta delle stesse dovrà essere definita in seguito a carotaggi in loco e in via preliminare superiore a 5 m. La profondità così definita non comporta problemi di sorta in quanto l'intero edificio presenta un piano interrato di altezza lorda maggiore di 5 metri.



[140]



[141]

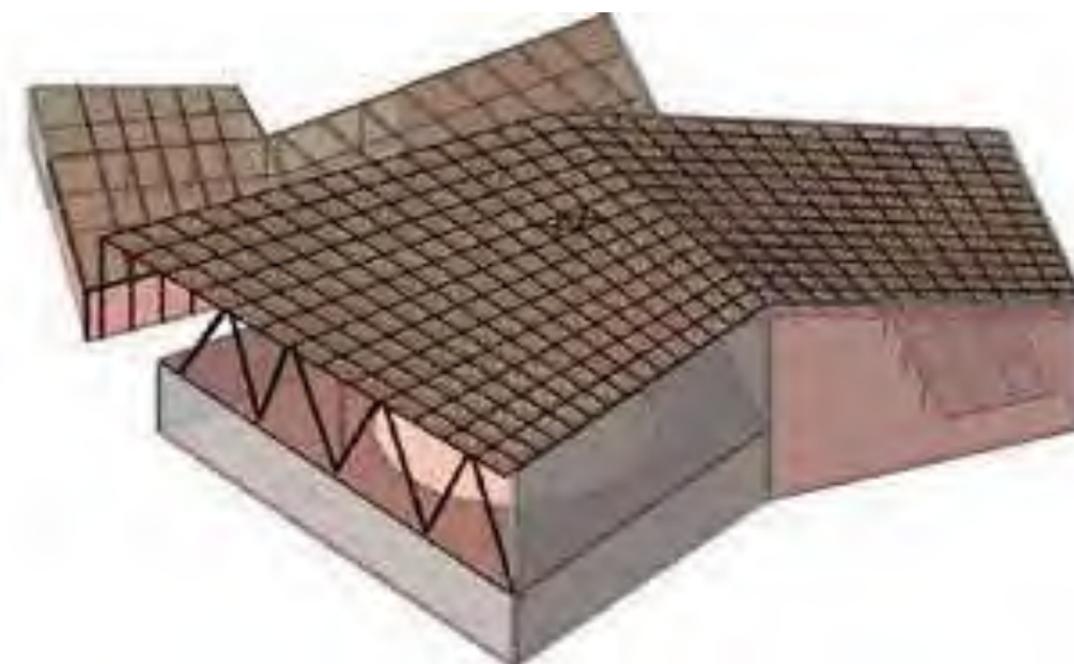
Andosuolo bruno

[142]

- Andosuolo organico
- Andosuolo sabbioso
- Leptosuolo
- Andosuolo vitrico
- Ghiaccio



ANALISI SISMICA



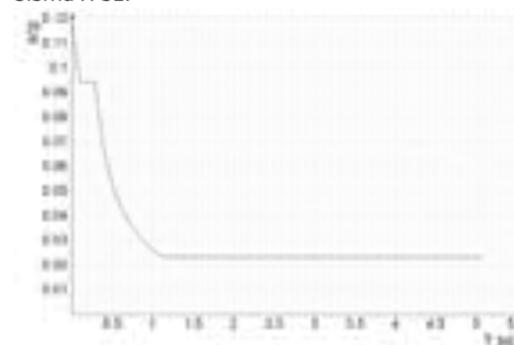
Per l'analisi strutturale e sismica si utilizza il software Sismicad, programma di calcolo strutturale agli elementi finiti che esegue il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono e/o bidimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici

Con i dati e le analisi sopra descritte e riportate, viste le irregolarità dell'edificio in esame, si utilizza il software Sismicad per effettuare un'analisi strutturale del complesso. Tale analisi ha lo scopo di verificare e approfondire le analisi precedentemente indagate o predimensionate. Tutte i controlli sono infatti stati effettuati in modo analitico per verificare la congruità dei responsi del modello con quelli teorico analitici. In particolare, con l'utilizzo del software si vuole indagare la distribuzione dell'azione del sisma sugli elementi resistenti del complesso.

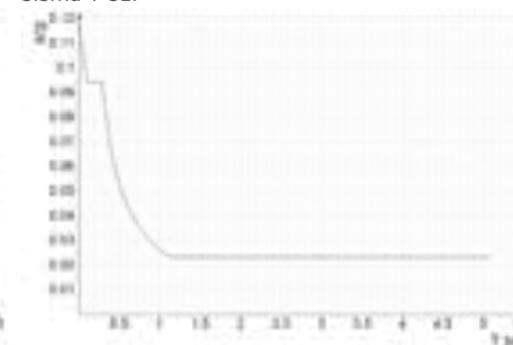
Attraverso la tecnologia BIM, si importa quindi il modello strutturale nell'ambiente Sismicad dove vengono innanzitutto definiti i materiali, le sezioni e le congruenze. Particolare attenzione è data alla creazione del modello FEM e alla giusta corrispondenza dei punti 3D e degli eventuali errori che potrebbero generare scostamenti tra i comportamenti del modello e i comportamenti reali. Vengono poi definite le condizioni al contorno e i dati geografici dell'ambiente con le dovute correzioni appositamente giustificate tra le normative islandesi e le NTC18. Si definiscono quindi i carichi e le rispettive combinazioni delle azioni.

Si riportano a fianco gli spettri per le accelerazioni orizzontali per le combinazioni di Stato Limite di salvaguardia della Vita e Stato Limite di Danno per le componenti X e Y.

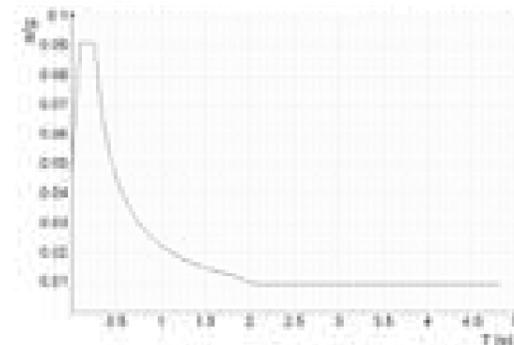
Sisma X SLV



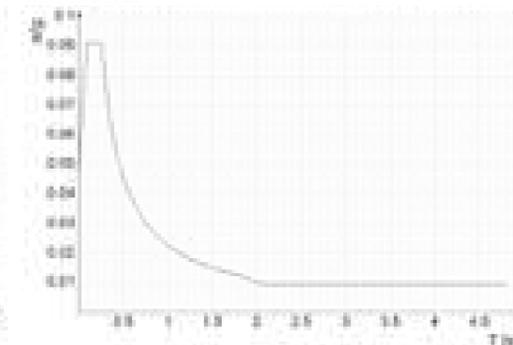
Sisma Y SLV



Sisma X SLD



Sisma Y SLD



RISPOSTA MODALE

| Modo | Periodo | Massa X | Massa Y | Massa Z | Massa rot. X | Massa rot. Y | Massa rot. Z | Massa sX | Massa sY |
|---------------|---------|--------------|--------------|----------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|
| 1 | 0,166 s | 0,234 | 0,018 | 0,000 | 0,040 | 0,592 | 0,019 | 0,234 | 0,018 |
| 2 | 0,150 s | 0,001 | 0,011 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,006 | 0,001 | 0,011 |
| 3 | 0,090 s | 0,055 | 0,023 | 0,000 | 0,011 | 0,005 | 0,144 | 0,055 | 0,023 |
| 4 | 0,085 s | 0,075 | 0,089 | 0,000 | 0,213 | 0,056 | 0,004 | 0,075 | 0,089 |
| 5 | 0,079 s | 0,017 | 0,059 | 0,000 | 0,082 | 0,000 | 0,056 | 0,017 | 0,059 |
| 6 | 0,074 s | 0,004 | 0,055 | 0,000 | 0,112 | 0,024 | 0,000 | 0,004 | 0,055 |
| 7 | 0,059 s | 0,049 | 0,052 | 0,000 | 0,089 | 0,038 | 0,000 | 0,049 | 0,052 |
| 8 | 0,048 s | 0,048 | 0,150 | 0,000 | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,048 | 0,150 |
| 9 | 0,041 s | 0,142 | 0,007 | 0,000 | 0,009 | 0,001 | 0,011 | 0,142 | 0,007 |
| 10 | 0,028 s | 0,010 | 0,381 | 0,000 | 0,022 | 0,014 | 0,029 | 0,010 | 0,381 |
| 11 | 0,021 s | 0,263 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,007 | 0,014 | 0,263 | 0,006 |
| Totale | | 0,897 | 0,852 | 0 | 0,597 | 0,738 | 0,285 | | |

RISPOSTA DI SPETTRO

| Spettro | Fx | Fy | Fz | Mx | My | Mz | Max X | Max ° _x | Max Y | Max ° _y | Max Z | Max ° _z |
|--------------|------|------|----|------|------|-------|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|--------------------|
| | kN | kN | kN | kN·m | kN·m | kN·m | kN | deg | kN | deg | kN | deg |
| X SLV | 1626 | 520 | 0 | 2298 | 5627 | 9947 | 1634 | 173 | 1884 | 81 | 0 | 0 |
| Y SLV | 520 | 1861 | 0 | 4415 | 2375 | 12020 | 1634 | 173 | 1884 | 81 | 0 | 0 |
| X SLD | 1179 | 387 | 0 | 2048 | 5356 | 8213 | 1187 | 172 | 1204 | 81 | 0 | 0 |
| Y SLD | 387 | 1190 | 0 | 3764 | 2001 | 9005 | 1187 | 172 | 1204 | 81 | 0 | 0 |

VERIFICA DEFORMABILITÀ TORSIONALE STRUTTURA:

| Quota inf. | Quota sup. | KUx | KUy | KRz | ls | rx/ls | ry/ls | L | B | ls (L, B) | rx/ls (L, B) | ry/ls (L, B) |
|------------|------------|---------|---------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------|--------------|
| m | m | kN / m | kN / m | $\frac{\text{daN} \cdot \text{cm}}{\text{rad}}$ | m | adm | adm | m | m | m | adm | adm |
| L3 | L4 | 1,9E+08 | 3,9E+08 | 9,4E+13 | 12,96 | 0,55 | 0,38 | 53,28 | 35,04 | 18,41 | 0,39 | 0,27 |
| L4 | L5 | 1,5E+06 | 1,8E+06 | 3,8E+09 | 12,08 | 0,04 | 0,04 | 55,34 | 41,23 | 19,92 | 0,03 | 0,02 |

RIGIDENZE DI INTERPIANO:

| Quota inf. | Quota sup. | KUx | KUy |
|------------|------------|---------|---------|
| m | m | kN / m | kN / m |
| L3 | L4 | 1,9E+08 | 3,9E+08 |
| L4 | L5 | 1,5E+06 | 1,8E+06 |

ALTRE VERIFICHE:

Sono state effettuate le seguenti analisi, per brevità di relazione non riportate:

- Verifica effetti del second'ordine tramite il coefficiente θ di cui al § 7.3.1 e 7.3.3 delle NTC18;
- Spostamenti relativi colonne acciaio: si intende verificato qualora lo spostamento relativo complessivo e ciascun spostamento relativo di interpiano sia inferiore ai valori limite interpiano e monopiano = 0,003 m (1/300) e limite complessivo multipiano = 0,002 m (1/500);
- Tagli ai livelli per combinazioni di carico, direzione della componente e divise per tipologie;
- Spostamenti di interpiano per nodi. Tali verifiche risultano tutte soddisfatte in riferimento al valore limite pari a 0,005. Gli spostamenti sono stati calcolati applicando il fattore di duttilità in spostamento $\mu_d = 2,667$ secondo §7.3.3.3 delle NTC18

MURI IN CALCESTRUZZO ARMATO

Si predimensionano ora le pareti in calcestruzzo armato seguendo il §7.4.6.2.2 delle NTC18. Si prende come riferimento la parete maggiormente caricata, ossia il setto posto a Est. Tale parete è considerata la maggiormente caricata in quanto è quella che ha l'altezza maggiore, una soletta che insiste circa a metà dell'altezza e si trova ad un estremo dell'edificio.

In conformità con la normativa, la parete presenta le seguenti caratteristiche:

| | |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| Copriferro | 30 mm |
| Numero di piani: | inferiore a 6 |
| Altezza piano interrato: | $h_s = 4,85$ m |
| Altezza piano terra: | $h_{pt} = 9,36$ m |
| Altezza totale parete: | $h_w = 14,21$ m |
| Lunghezza parete: | $l_w = 31,5$ m |
| Tipologia: | tozza |
| Spessore minimo della parete: | $b_{min} = h_w/20 = 45$ cm |
| Spessore della parete: | $b_w = 50$ cm |
| Diametro max delle barre di armatura: | $\Phi_{max} = b_w/10 = 50$ mm |
| Armatura: | Entrambe le facce della parete |
| Passo max: | 30 cm |
| Legature minime: | 9 legature/m ² |

Si definiscono quindi le prescrizioni per le zone non dissipative:

Armatura verticale (sezione orizzontale)

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Rapporto geometrico minimo | $\rho_{min} = 0,20\%$ |
| Diametro scelto armatura verticale: | $\Phi = 14$ mm |
| Passo minimo: | $i_{min} = 30,8$ cm |
| Passo adottato: | $i = 30$ cm |
| Rapporto geometrico ottenuto: | $\rho = 0,21$ % |

Armatura orizzontale - Staffe (sezione verticale)

| | |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Rapporto geometrico minimo | $\rho_{min} = 0,20\%$ |
| Diametro scelto armatura verticale: | $\Phi = 8$ mm |
| Passo minimo: | $i_{min} = 10,0$ cm |
| Passo adottato: | $i = 10$ cm |
| Rapporto geometrico ottenuto: | $\rho = 0,20$ % |

Si valutano ora le dimensioni geometriche delle zone dissipative e le relative prescrizioni. In particolare, la lunghezza di ciascuna zona deve rispettare il seguente limite:

$$l_c = \max \{0,2 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w\} = \max \{6,30 \text{ m}; 0,75 \text{ m}\} = 6,30 \text{ m}$$

L'altezza della zona critica deve invece essere compresa tra i seguenti valori:

$$\max \{l_w; h_w/6\} < h_{cr} < \min \{2 \cdot l_w; h_s\}$$

$$\max \{31,5 \text{ m}; 1,5 \text{ m}\} < h_{cr} < \min \{63 \text{ m}; 9 \text{ m}\}$$

$$31,5 \text{ m} < h_{cr} < 9 \text{ m}$$

Tuttavia, quest'indicazione si riferisce all'altezza della zona critica dalle fondazioni o dalla fine del piano interrato se questo è classificabile come scatolare. L'altezza della zona critica per l'edificio in questione è quindi identificabile come l'intera altezza della parete.

Le ulteriori prescrizioni per la parete per le armature verticali (sez orizzontale) sono:

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Rapporto geometrico minimo | $\rho_{min} = 1,0\%$ |
| Rapporto geometrico massimo | $\rho_{max} = 4,0\%$ |
| Passo massimo: | $i_{max} = 25$ cm |
| Diametro scelto armatura verticale: | $\Phi = 20$ mm |
| Passo adottato: | $i = 5$ cm |
| Rapporto geometrico ottenuto: | $\rho = 2,51$ % |

Armatura orizzontale - Staffe (sezione verticale)

| | |
|--|----------------------|
| Diametro massimo: | $\Phi_{max} = 20$ mm |
| Diametro minimo: | $\Phi_{min} = 8$ mm |
| Distanza max barre legate consecutive: | $dist_{max} = 15$ cm |
| Passo minimo: | $i_{min} = 12,0$ cm |
| Diametro scelto armatura verticale: | $\Phi = 10$ mm |
| Passo adottato: | $i = 9$ cm |
| Rapporto geometrico ottenuto: | $\rho = 0,20$ % |
| Verifica di duttilità: | $\omega_{wd} = 0,08$ |

ARMATURA DEL MURO IN CALCESTRUZZO CON IL SOFTWARE SISMICAD

Con l'aiuto del software Sismicad e in base alle considerazioni sopra riportate, si arma il muro.

Inizialmente si dispone l'armatura ordinaria su entrambe le facce del muro, in particolare:

Φ16/25 per le armature verticali

Φ14/20 per le armature diffuse orizzontali

9 Φ8/m² spille

Φ14/30 per armature verticali aggiuntive ove richiesto

Φ12/20 per le armature diffuse orizzontali ove richiesto

In zone critiche si aggiungono:

Φ20/5 per le armature verticali

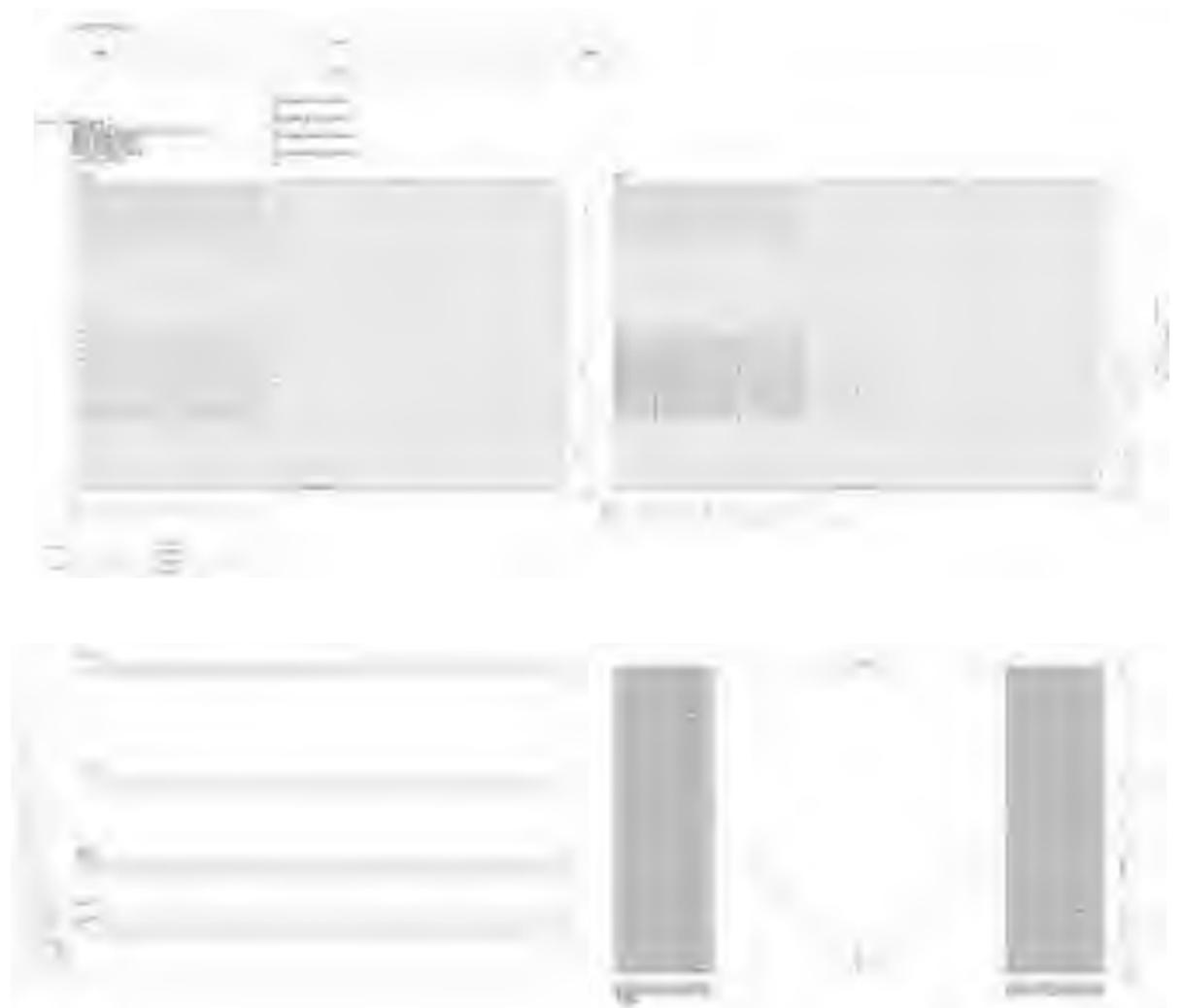
Φ10/11 per le armature diffuse orizzontali (staffe chiuse)

Φ10/11 spille

Inoltre, su richiesta puntuale del software, si aggiungono barre inclinate Φ12 per prevenire gli effetti dello scorrimento.

Il software controlla in automatico il soddisfacimento delle verifiche puntuali dei nodi e ne evidenzia eventualmente le zone critiche o dove le verifiche non sono soddisfatte. Si riporta la tavola con l'estrazione ferri delle due facce del setto e le armature taglio e a scorrimento.

Analogamente a quanto mostrato in questo paragrafo, si ripete l'operazione per tutte le pareti in calcestruzzo armato.



LA SFERA GEODETICA DEL PLANETARIO

MODELLAZIONE

Si dimensiona ora la struttura della cupola geodetica. Per la modellazione, si fa ricorso ancora al software Rhino e al plugin Grasshopper.

Per la realizzazione della sfera è necessario definire innanzitutto un icosaedro e il numero di triangoli che verranno generati per ogni faccia dell'icosaedro. Questo passaggio definisce il livello di precisione che avrà la sfera geodetica e, di conseguenza, i diversi moduli delle aste. Nel caso in questione, si sceglie di avere tre moduli diversi.

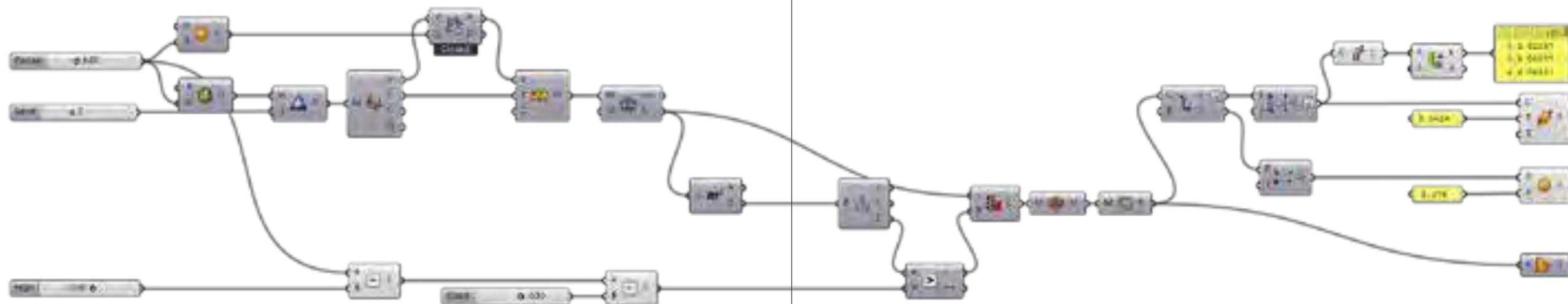
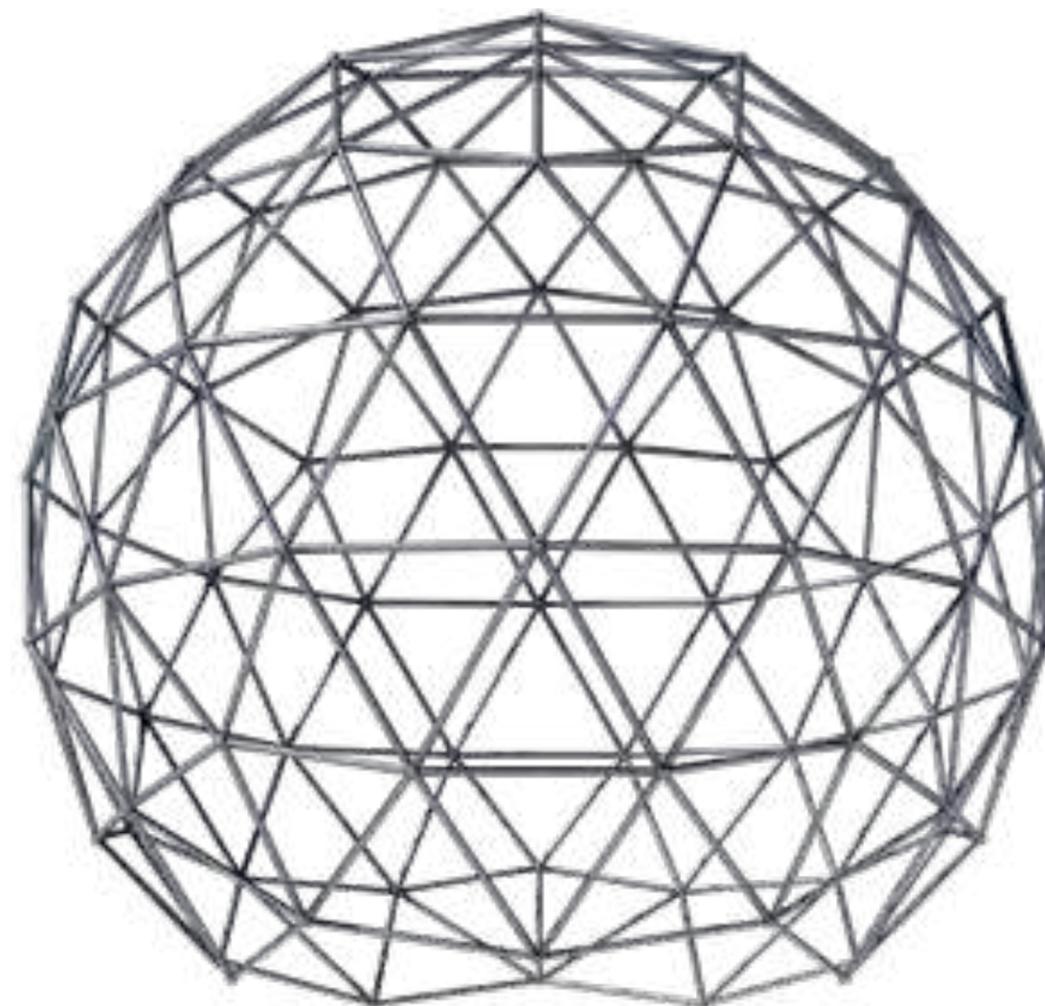
L'unico altro parametro che occorre impostare è il raggio della sfera, imposto uguale a 5,80 m.

La cupola risulta composta da 245 elementi così divisi:

55 elementi di lunghezza 202 cm [22%]

80 elementi di lunghezza 234 cm [33%]

110 elementi di lunghezza 239 cm [45%]



Una volta che la sfera è generata, si importa nel software di calcolo agli elementi finiti MisaGen per la verifica strutturale.

Come di consueto, si imposta il materiale acciaio S275 e il profilo della sezione tipo, scelto come un tubolare cavo Φ 42,4 s 1,2 mm con le seguenti caratteristiche:

Diametro esterno: 42,4 mm
 Area: 155,3 mm²
 Momento di inerzia: 3,30 cm⁴
 Raggio di inerzia: 1,46 cm

Si impostano poi le condizioni al contorno, imponendo vincoli traslatori lungo l'asse Z su tutti i nodi inferiori e aggiungendo un carrello e una cerniera per eliminare la labilità del sistema.

Si assegna il carico proprio delle aste e un carico di 0,5 kN su ogni nodo interno, rappresentate il carico portato dato dalla copertura della cupola. Poiché tale struttura non ha funzione portante e non è soggetta a carichi variabili quali neve, vento o carico di esercizio, non vi sono ulteriori carichi da assegnare.



Si procede quindi alla simulazione. Si ottengono i seguenti risultati:

Massima deformazione verticale: 3,4 mm
 Massima azione assiale di compressione: 9,4 kN
 Massima azione assiale di trazione: 9,8 kN

Resistenza di progetto a trazione:

$$N_{p,Rd} = A \cdot f_{yk} / Y_{M0} = [10^{-3}] \cdot 155,3 \cdot 275 / 1,05 = 40,7 \text{ kN}$$

Resistenza di progetto a compressione:

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_{yk} / Y_{M0} = [10^{-3}] \cdot 155,3 \cdot 275 / 1,05 = 40,7 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = X \cdot A \cdot f_{yk} / Y_{M0} = [10^{-3}] \cdot 0,28 \cdot 155,3 \cdot 275 / 1,05 = 11,5 \text{ kN}$$

Essendo le azioni resistenti ampiamente maggiori di quelle di progetto, le membrature risultano soddisfatte a trazione e compressione semplice e per instabilità.



Viste le forze di ridotte entità che si presentano, si dimensiona un giunto semplice, formato da un singolo bullone per ciascuna giunzione.
In particolare, ciascun giunto vede l'unione di sei aste e quindi sei azioni assiali. A favore di sicurezza, si prende in considerazione l'azione con il valore assoluto più alto e si suppone che essa agisca in egual modo su tutte le sei aste. In tutti gli altri casi ove l'azione interna è minore o non vi è concomitanza di valori così alti, saranno sovradimensionati ma a favore di sicurezza.

Poiché sul bullone sussistono sei forze orientate approssimativamente a 60° , lo schema statico è rappresentabile come tre forze distanti tra loro 60° ma con intensità doppia.

Si può quindi scomporre la forza lungo una componente (nell'immagine presente nella pagina successiva, lungo l'asse verticale) seguendo la legge della somma vettoriale.

Si riportano i passaggi del dimensionamento:

$$N_{\max} = 9,36 \text{ kN (compressione)}$$

$$N_{\text{Ed}} = 2 \cdot N_{\max} + 2 \cdot N_{\max} \cdot \cos 60^\circ = 2 \cdot 9,36 + 2 \cdot 2 \cdot 9,36 \cdot 0,5 = 37,44 \text{ kN}$$

Per tale azione è sufficiente un singolo bullone M14.

Ipotizzando per semplicità che la piastra che ospita il foro sia formato per pressione dal profilo stesso dell'asta, si può effettuare una verifica a rifollamento con le seguenti caratteristiche:

$$\text{Distanza dai bordi: } e_1 = e_2 = 21,2 \text{ mm}$$

$$\text{Spessore della piastra } t = 2 \cdot s = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ mm}$$

$$\text{Coefficienti: } a = 0,54$$

$$k = 2,50$$

La resistenza a rifollamento per tanto vale $F_{b,Rd} = 13,6 \text{ kN}$ e quindi non vi sono rischi di rifollamento dell'asta.





Un'ultima verifica riguarda la compressione del bullone. Non essendo tra loro complanari, si forma un angolo tra le aste e la normale uscente dal bullone stesso. Questo angolo, per la già citata legge della somma vettoriale delle forze, può creare una compressione del bullone. L'angolo che le aste formano con tale direzione è mediamente $10 - 12^\circ$ a cui corrisponde un valore del seno di $0,17 - 0,21$. Anche ipotizzando che tutte le azioni scarichino contemporaneamente un'azione assiale pari a $9,36 \text{ kN}$ sullo stesso bullone, si otterrebbe un'azione di compressione (o trazione) pari a circa $11,7 \text{ kN}$. Tale valore è ampiamente coperto dal più piccolo bullone in commercio e quindi non vi sono rischi che la verifica non risulti soddisfatta.

Per tale azione è sufficiente un singolo bullone M14.

Ipotizzando per semplicità che la piastra che ospita il foro sia formato per pressione dal profilo stesso dell'asta, si può effettuare una verifica a rifollamento con le seguenti caratteristiche:

Distanza dai bordi: $e_1 = e_2 = 21,2 \text{ mm}$
 Spessore della piastra $t = 2 \cdot s = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ mm}$
 Coefficienti: $\alpha = 0,54$
 $k = 2,50$

La resistenza a rifollamento per tanto vale $F_{b,Rd} = 13,6 \text{ kN}$ e quindi non vi sono rischi di rifollamento dell'asta.

Un'ultima verifica riguarda la compressione del bullone. Non essendo tra loro complanari, si forma un angolo tra le aste e la normale uscente dal bullone stesso. Questo angolo, per la già citata legge della somma vettoriale delle forze, può creare una compressione del bullone. L'angolo che le aste formano con tale direzione è mediamente $10 - 12^\circ$ a cui corrisponde un valore del seno di $0,17 - 0,21$. Anche ipotizzando che tutte le azioni scarichino contemporaneamente un'azione assiale pari a $9,36 \text{ kN}$ sullo stesso bullone, si otterrebbe un'azione di compressione (o trazione) pari a circa $11,7 \text{ kN}$. Tale valore è ampiamente coperto dal più piccolo bullone in commercio e quindi non vi sono rischi che la verifica non risulti soddisfatta.



PROGETTO TECNOLOGICO

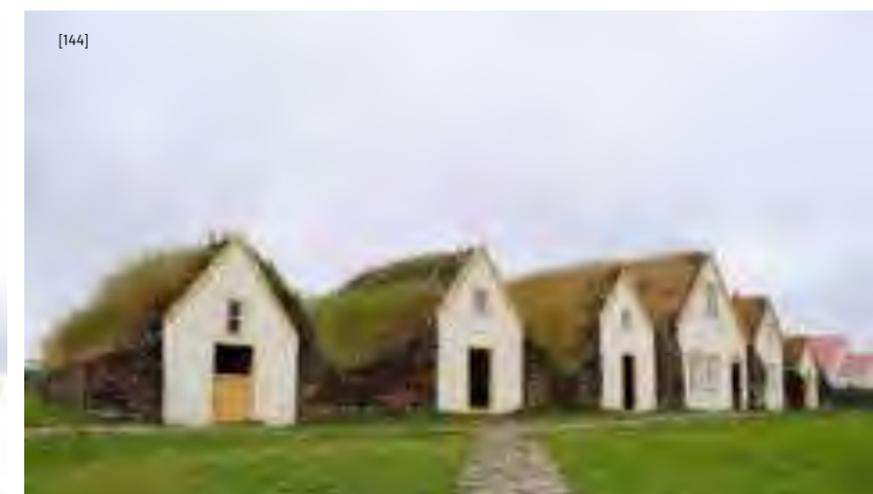
L'analisi dei materiali e delle tecnologie utilizzate in Islanda ha permesso una definizione tecnologica puntuale degli elementi costituenti l'edificio. In particolare, si è fatto ricorso a strategie innovative come l'utilizzo di lana di pecora come isolante, gabion wall come muri a secco e il tetto giardino per il rispetto dell'ambiente e il controllo termico.

I MATERIALI DELLA TRADIZIONE

Nelle scelte effettuate per i rivestimenti dell'edificio si è cercato di combinare aspetti legati alla tradizione locale con strategie tecnologiche innovative e funzionali al contesto. Questo è stato fatto sia per avere un rapporto armonioso con il paesaggio e con l'edificato locale, sia per mantenere un basso impatto ambientale dell'utilizzo dei materiali, logicamente utilizzati perché maggiormente e più facilmente disponibili in loco.

In particolare, i riferimenti presi in considerazione e riportati in chiave moderna sono i seguenti:

- **Tetti verdi:** tipici delle abitazioni più antiche e utilizzati ancora oggi in tutto il paese. In passato venivano sfruttati principalmente come isolamento termico e per ripararsi dai forti venti. La grande maggioranza dei tetti verdi tradizionali in Islanda è utilizzata oggi soprattutto per fini turistici. Si riprende il concetto di tetto giardino applicando le strategie di isolamento e sfasamento termico.
- **Lamiere grecate:** si sono diffuse in epoca moderna e vengono utilizzate in tutto il paese, soprattutto per proteggere l'isolante esterno dal vento e dalla neve. Si utilizza nel progetto pannelli sandwich che sintetizzando l'accoppiamento isolante - lamiera metallica utilizzando elementi prefabbricati. Tali elementi sono caratterizzati da una buona facilità di trasporto e di installazione e verranno utilizzati dove è possibile accoppiare una struttura leggera in acciaio, come l'ambiente dell'osservatorio.
- **Muratura in pietra a secco:** tecnologia costruttiva portante prevalente in Islanda fino all'età moderna. La tecnologia viene riproposta tramite l'utilizzo di gabion wall, ossia grosse gabbie metalliche in acciaio, normalmente zincato o inossidabile, riempite con materiale roccioso, spesso di risulta e preso in loco. I vantaggi rispetto alla muratura a secco sono la grande velocità di esecuzione e il basso peso di trasporto rispetto all'elevato peso in loco. Tale soluzione è molto utilizzata nelle infrastrutture e per la realizzazione di muri di sostegno e la stabilizzazione dei pendii. Ultimamente si sta espandendo al mondo dell'architettura. Nell'edificio in esame, i blocchi del gabion wall vengono impilati uno ad uno fino alla formazione dell'intera unità; ogni gabbia è attaccata all'altra attraverso ganci metallici. Viene utilizzato come materiale di riempimento la pietra lavica locale, proveniente dallo scavo iniziale. Ne è un esempio la struttura di riferimento del Lava tunnel situata nel sud dell'isola.
- **Calcestruzzo:** materiale nuovo nella tradizione islandese ma che ha visto un rapido sviluppo a causa della particolare natura del paese. Infatti l'Islanda ha poca disponibilità di materiali da costruzione per strutture portanti, quali legno ed acciaio. Di conseguenza, a causa dell'alto costo dell'importazione di tali materiali, si preferisce realizzare gli edifici in conglomerato cementizio armato, maggiormente disponibile sul territorio. Nel caso in esame, visto anche il gran numero di elementi interrati, si ricorre all'utilizzo di strutture in calcestruzzo armato. Dove invece occorre maggior leggerezza ed ottimizzazione della sezione, si ricorre a strutture leggere in acciaio.



I MATERIALI DELL'INNOVAZIONE

Fin dalle prime fasi della progettazione sono state effettuate scelte atte a minimizzare il più possibile l'importazione di materiali. Si è inoltre cercato di combinare coscientemente tradizioni e tecnologie costruttive effettivamente attuabili, mediante l'utilizzo di materiali locali o di facile reperibilità nazionale. Un altro tema considerato è relativo all'impatto ambientale e alla durabilità dei materiali adottati. Il progetto deve infatti prevedere un rispetto assoluto nei confronti della natura che lo circonda e cercare di integrarsi al meglio senza influenzare il normale ciclo di vita della stessa e il suo particolare ecosistema. Per questo motivo sono state proposte tecnologie innovative che possano congiungere gli aspetti di sostenibilità e di performance richiesti dalla progettazione dell'edificio.

I materiali utilizzati e considerati innovativi sono:

- **Pannelli sottili in conglomerato cementizio fibrorinforzato:** si sono studiati in laboratorio particolari pannelli ultrasottili che possano sopportare alti carichi di esercizio senza fessurazioni e resistere ad alti cicli di gelo e disgelo. Questa soluzione, utilizzata come rivestimento, permette di produrre il materiale in loco abbassando i costi di trasporto. Una volta installati, essi sono destinati a durare a lungo, proteggendo la struttura sottostante dalle condizioni meteorologiche avverse.
- **Pannelli per l'isolamento interno in lana di pecora:** uno degli isolanti più antichi, già utilizzato nelle costruzioni primitive, è il materiale ideale per coibentare secondo i principi della bioedilizia. Grazie all'elevato numero di ovini in Islanda, si ipotizza di utilizzare tale materiale innovativo, riducendo notevolmente l'energia contenuta in altri isolanti di natura polimerica, sia dal punto di vista della produzione che del trasporto. Elastica e traspirante, è un'ottima fibra climatizzante sia contro il freddo che contro il caldo (non necessario in questo caso specifico) e possiede una notevole capacità idrorepellente e allo stesso tempo di assorbire l'umidità. Ciò significa che è in grado di respingere l'acqua in forma liquida ma di assorbire il vapore acqueo fino al 33% del suo peso senza apparire umida. Si favorisce quindi una regolazione dell'umidità all'interno dell'edificio, riducendo il rischio di condensa e danni alla struttura. La produzione di materiali isolanti a base di lana di pecora è determinata da un consumo energetico piuttosto basso, che può variare da 10 a 40 volte in meno rispetto la produzione di un materiale sintetico come il poliuretano. Grazie a queste caratteristiche la lana di pecora è stata quindi selezionata come naturale alternativa per l'isolamento termico ed acustico interno.
- **Facciata biodinamica:** come riportato in seguito, si ricorre all'utilizzo di particolari smart glasses per il controllo della luce solare visibile. In dettaglio, si decide di installare una sottile pellicola di materiale formata da polimeri e cristalli liquidi termotropici in grado di cambiare il proprio stato a seconda di un impulso termico indotto tramite pannello fotovoltaico. Durante la trasformazione, cambia la trasparenza del vetro per la sola frazione visibile, lasciando quindi passare la frazione infrarossa all'interno dell'edificio. Questo comporta un notevole aumento del comfort interno senza pregiudicare gli apporti solari gratuiti.



[146]



[147]



[148]

LE SOLUZIONI TECNOLOGICHE

Durante la progettazione di un edificio occorre sempre cercare il raggiungimento della funzionalità di tutte le sue parti e il comfort per gli utenti. È stata effettuata una analisi delle caratteristiche ambientali principali e di definizione delle strategie applicabili nel relativo contesto, congiuntamente con lo studio dei flussi energetici dentro e fuori dall'edificio. Si è quindi studiato l'andamento della temperatura a bulbo secco e la temperatura percepita, l'andamento dell'umidità relativa e i rumori ambientali. Gli elementi attraverso i quali avvengono questi flussi sono le chiusure verticali ed orizzontali che occorre progettare e verificare facendo riferimento alle normative vigenti.

Mentre in Italia la normativa è molto chiara sulle modalità di calcolo da eseguire e sui limiti da rispettare, nella località in esame non sono disponibili dei riferimenti chiari ed unificati. Pertanto, si è deciso di utilizzare come riferimento la normativa italiana.

Gli strumenti utilizzati sono stati:

- 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.

La trasmittanza termica periodica (UNI EN ISO 13786) è un parametro che esprime la capacità di un componente edilizio di attenuare e sfasare nel tempo il flusso termico proveniente dall'esterno, che lo attraversa nell'arco delle 24 ore di una giornata. Essendo una delle proprietà termiche dinamiche che caratterizza l'inerzia termica dell'involucro edilizio, essa gioca un ruolo importante nei confronti dei carichi termici esterni che lo attraversano, quindi dei consumi energetici e del benessere abitativo.

La normativa italiana (DPR n°59 del 2 Aprile 2009, decreto di attuazione del D.Lgs. 311/06) riporta dei valori limite da rispettare da parte del progettista, "al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti".

In generale il riferimento nazionale per il calcolo di questi limiti è la norma tecnica UNI EN ISO 13786, dove i predetti parametri rispondono rispettivamente alle seguenti definizioni:

- fattore di attenuazione o fattore di decremento (f_a) è il rapporto tra il modulo della trasmittanza termica dinamica e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie.
- sfasamento (s) è il ritardo temporale tra il massimo del flusso termico entrante nell'ambiente interno ed il massimo della temperatura dell'ambiente esterno.

La formazione di condensa può essere di due tipi:

- superficiale, quando interessa la superficie interna del muro a causa del raggiungimento di elevati valori di umidità relativa dell'aria interna, in prossimità dei muri, la comparsa di condensa;
- interstiziale, quando, all'interno della parete, si creano delle condizioni di temperatura e pressione tali da raggiungere le condizioni di rugiada. La formazione di condensa si avrà quando in un ambiente, in presenza di una determinata umidità relativa, si farà diminuire la temperatura fino a raggiungere il valore di saturazione, con conseguente condensazione.

Per comprendere se questo fenomeno possa verificarsi o meno è necessario considerare il coefficiente di permeabilità di ogni singolo strato componente la chiusura, che descrive come si comporta l'elemento al passaggio del vapore. Il processo con il quale si perviene al tracciamento di un diagramma per la verifica della condensa nella parete, prende il nome di procedimento di Glaser.

Il diagramma di Glaser può essere disegnato sulla stratigrafia della chiusura e presenta due curve:

- la curva di pressione di saturazione, ossia il valore di pressione corrispondente ad una condizione di saturazione dell'aria ad una determinata temperatura;
- la curva di pressione parziale, ossia la pressione a cui si trova il vapore contenuto nell'aria, ad una data temperatura.

Se le due curve, tracciate unendo punti sulla superficie di delimitazione fra i vari materiali, dovessero presentare un punto di tangenza o delle intersezioni, significa che si sono verificate le condizioni per la formazione di condensa in un punto e quindi basterà una diminuzione della temperatura o un aumento della pressione relativa per provocare la comparsa di rugiada.

La formazione di condensa non pregiudica l'idoneità della struttura, purché la quantità complessiva della condensa alla fine del periodo invernale, sia in assoluto minore o uguale a 500 g/m² e non ecceda i limiti caratteristici dei vari materiali utilizzati.

Questa situazione tende a presentarsi generalmente in periodo invernale, quando le condizioni climatiche di temperatura e umidità presentano una netta differenza tra interno ed esterno.

Vengono proposti in seguito i pacchetti classificati secondo la UNI 8290, suddivisi secondo chiusure e partizioni, orizzontali e verticali. Per ogni pacchetto viene descritta la composizione e vengono riportati i valori relativi a massa superficiale, trasmittanza, attenuazione e sfasamento, quando significativi. Si riporta infine l'andamento delle temperature alle interfacce e il diagramma di Glaser relativi al mese di Gennaio, escludendo dalle analisi gli elementi relativi alla ventilazione (facciate ventilate, vespai areati).

Per brevità di relazione si riporta solo un pacchetto stratigrafico per ogni tipologia di rivestimento (m=rivestimento museo, a=intonaco, b=rivestimento bagno su un lato, c=rivestimento bagno su due lati)

CO01_a

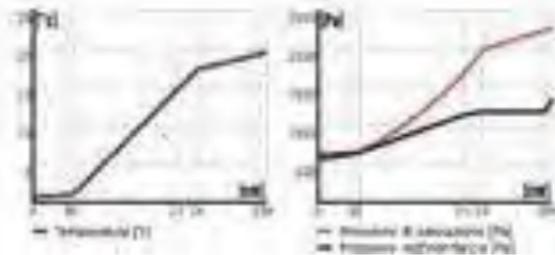
SOLAIO CONTROTERRA



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pavimento in linoleum incollato tramite resina sintetica (sp. 1 cm)
2. STRATO DI ALLETTAMENTO E INTEGRAZIONE IMPIANTISTICA:
Massetto alleggerito in perlite per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
3. STRATO DI RISCALDAMENTO RADIANTE:
Riscaldamento radiante formato da pannelli presagomati in polistirene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
4. STRATO ISOLANTE:
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
5. STRATO DI TENUTA AL VAPORE:
Membrana bituminosa autoadesiva con rinforzo di polietilene (sp. 0,3 cm)
6. STRATO PORTANTE:
Getto integrativo in CLS e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 7 cm)
7. STRATO DI VENTILAZIONE:
Vespai areato con moduli in plastica (sp. 45 cm)
8. STRATO DI ALLETTAMENTO:
Magrone (sp. 10 cm)

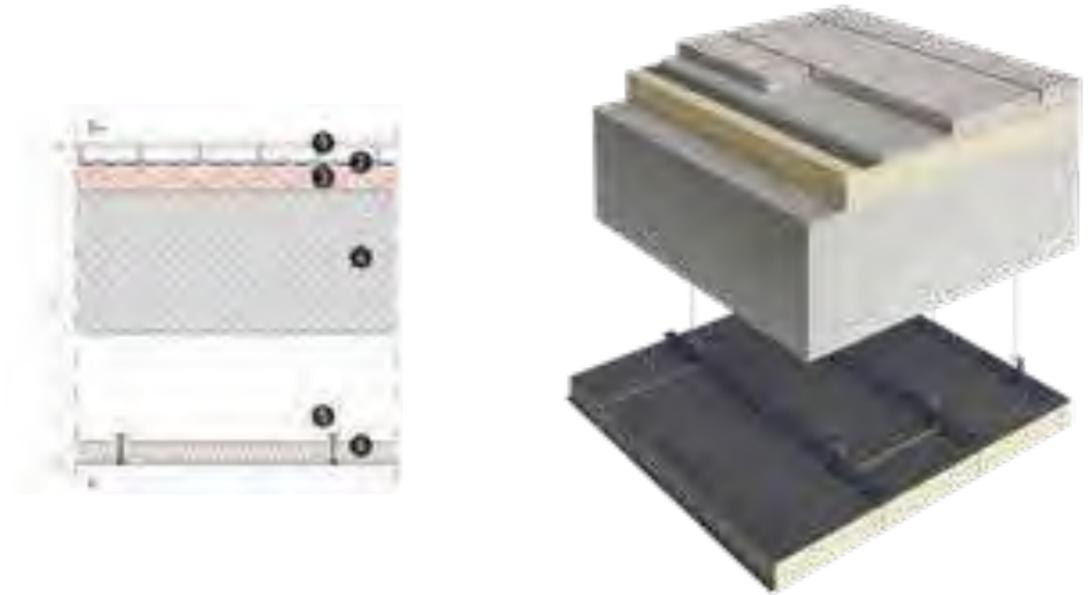
Spessore pacchetto 0,34 m
 Massa superficiale 191,3 kg/m²
 Trasmittanza U 0,10 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,39
 Sfasamento invernale 12h 40'
 Sfasamento estivo 11h 12'

SUPERFICIE COPERTA a) 1669,63 m²
 b) 44,92 m²



CO02

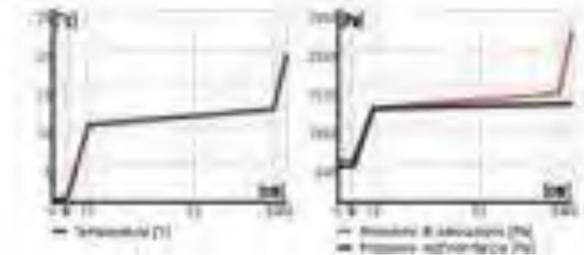
PAVIMENTAZIONE ESTERNA D'INGRESSO



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pavimento filtrante in blocchi di calcestruzzo vibro compresso (sp. 5 cm)
2. STRATO IMPERMEABILIZZANTE:
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
3. STRATO ISOLANTE:
Pannello isolante in XPS (sp. 7,5 cm)
4. STRATO STRUTTURALE:
Calcestruzzo armato, classe di resistenza C25/30 (sp. 40 cm)
5. SOTTOSTRUTTURA:
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molla di acciaio temprato nichelata, passo 60 cm
6. STRATO DI ISOLAMENTO E RIVESTIMENTO:
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

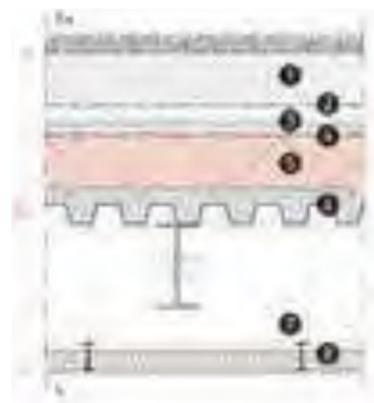
Spessore pacchetto 0,88 m
 Massa superficiale 1061,8 kg/m²
 Trasmittanza U 0,14 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,01
 Sfasamento invernale 15h 40'
 Sfasamento estivo 16h 23'

SUPERFICIE COPERTA 16,61 m²



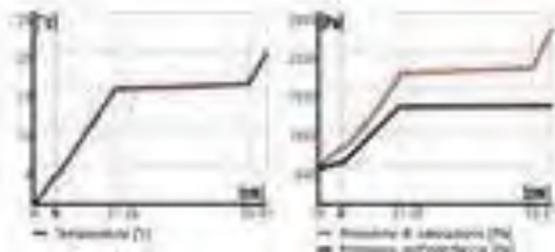
C003

TETTO VERDE



1. STRATO DI RIEMPIMENTO:
Terriccio per giardini pensili (sp. 15 cm)
2. STRATO FILTRANTE:
Geotessile in fibre di polipropilene (sp. 0,15 cm)
3. STRATO DRENANTE:
lastre rigide prefabbricate in polistirene espanso sinterizzato (sp. 8,2 cm)
4. STRATO DI SEPARAZIONE:
Membrana antiradice elastoplastometrica impermeabile prefabbricata (sp. 0,4 cm)
5. STRATO DI ISOLAMENTO:
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
6. STRATO DI SOSTEGNO:
Elemento grecato in acciaio zincato con getto integrativo in CLS e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 + 4,5 cm)
7. SOTTOSTRUTTURA:
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molla di acciaio temprato nichelata, passo 60 cm
8. STRATO DI ISOLAMENTO E RIVESTIMENTO:
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

Spessore pacchetto 0,61 m
 Massa superficiale 119,2 kg/m²
 Trasmittanza U 0,13 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,08
 Sfasamento invernale 8h 58'
 Sfasamento estivo 9h 03'
 SUPERFICIE COPERTA 1948,51 m²



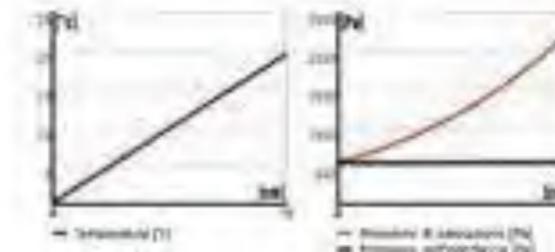
C005

COPERTURA OSSERVATORIO



1. STRATO DI RIVESTIMENTO, DI SOSTEGNO E DI ISOLAMENTO:
Pannello sandwich grecato in acciaio zincato con isolante rigido in poliuretano espanso (sp. 10 + 6 cm)

Spessore pacchetto 0,10 m
 Massa superficiale 17,3 kg/m²
 Trasmittanza U 0,16 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,93
 Sfasamento invernale 2h 27'
 Sfasamento estivo 2h 35'
 SUPERFICIE COPERTA 55,36 m²



CV01_m

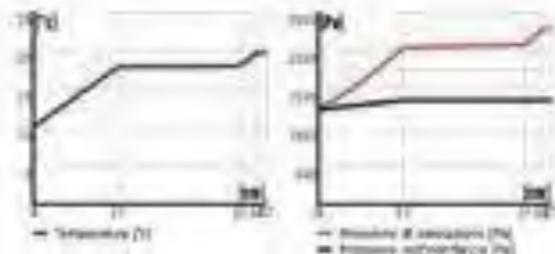
PARETE PERIMETRALE CONTROTERRA MUSEO



1. STRATO FILTRANTE:
Membrana alveolare in HDPE con tessuto non-tessuto filtrante termosaldato in polipropilene (sp. 1,7 cm)
2. STRATO IMPERMEABILIZZANTE:
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
3. STRATO DI ISOLAMENTO:
XPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 20 cm)
4. STRATO STRUTTURALE:
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 250, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
5. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
6. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
7. STRATO DI IRRIGIDIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in poliestere armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)
8. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Piastrille in gres porcellanato dim. 150x100 cm e collante (sp. 2 cm)

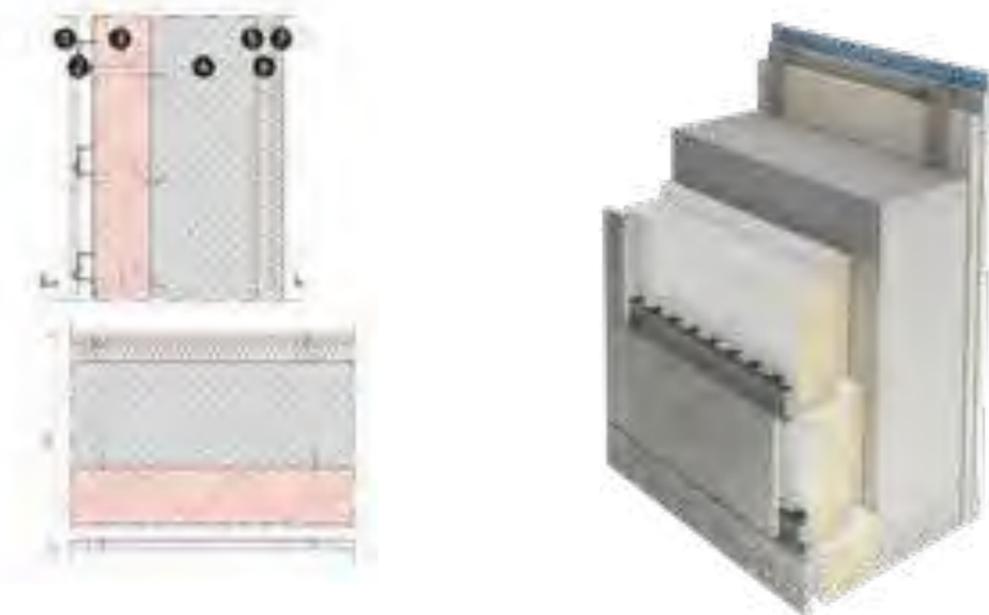
Spessore pacchetto 0,57 m
 Massa superficiale 756,7 kg/m²
 Trasmittanza U 0,12 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,01
 Sfasamento invernale 14h 43'
 Sfasamento estivo 14h 49'

SUPERFICIE COPERTA m) 896,79 m²
 a) 280,07 m²
 b) 34,58 m²



CV02

FACCIATA VENTILATA IN FIBROCEMENTO - MASSIVA



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pannello in cemento rinforzato con fibre in PVA e doppia rete in fibra di vetro 60 x 30 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)
2. STRATO DI SOSTEGNO:
Profili in alluminio estruso, sp. 0,2 cm (sp. 0,5 cm)
3. STRATO ISOLANTE E DI SOSTEGNO:
Isolante in poliuretano espanso rigido autoestinguente in pannelli 250 x 30 cm ricoperto da una lamina impermeabile di alluminio goffrato, con annesso profilo nervato in lega alluminio-zinco-silicio (sp. 16 cm + 4 cm)
4. STRATO STRUTTURALE:
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 250, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
5. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
6. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
7. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in poliestere armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)

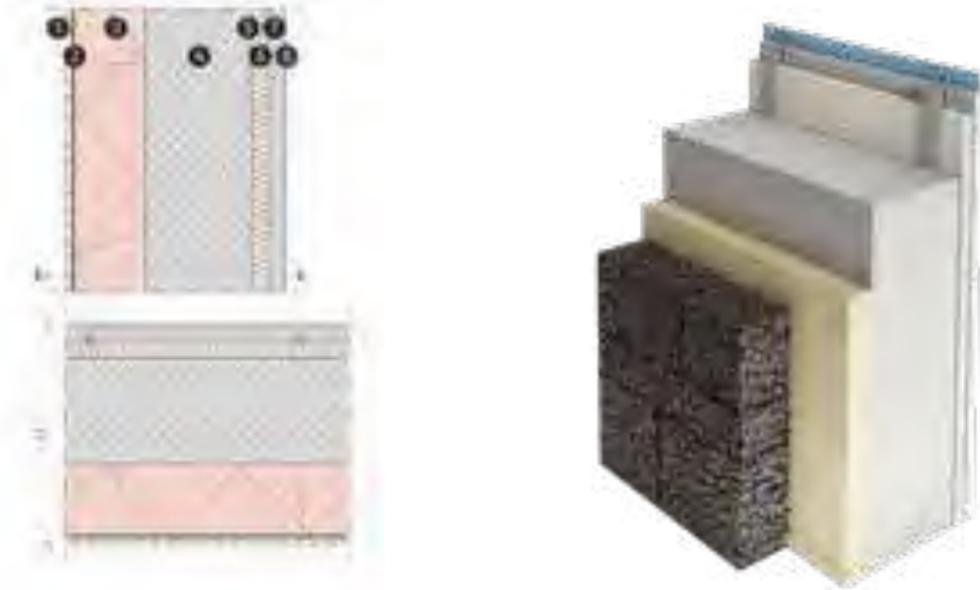
Spessore pacchetto 0,57 m
 Massa superficiale 747,1 kg/m²
 Trasmittanza U 0,14 W/m²K
 Fattore di attenuazione 0,01
 Sfasamento invernale 14h 31'
 Sfasamento estivo 14h 31'

SUPERFICIE COPERTA 528,19 m²



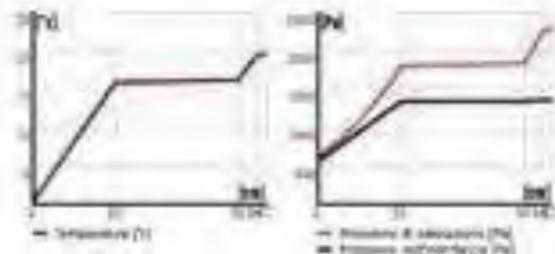
CV03

FACCIATA GABION WALL - MASSIVA



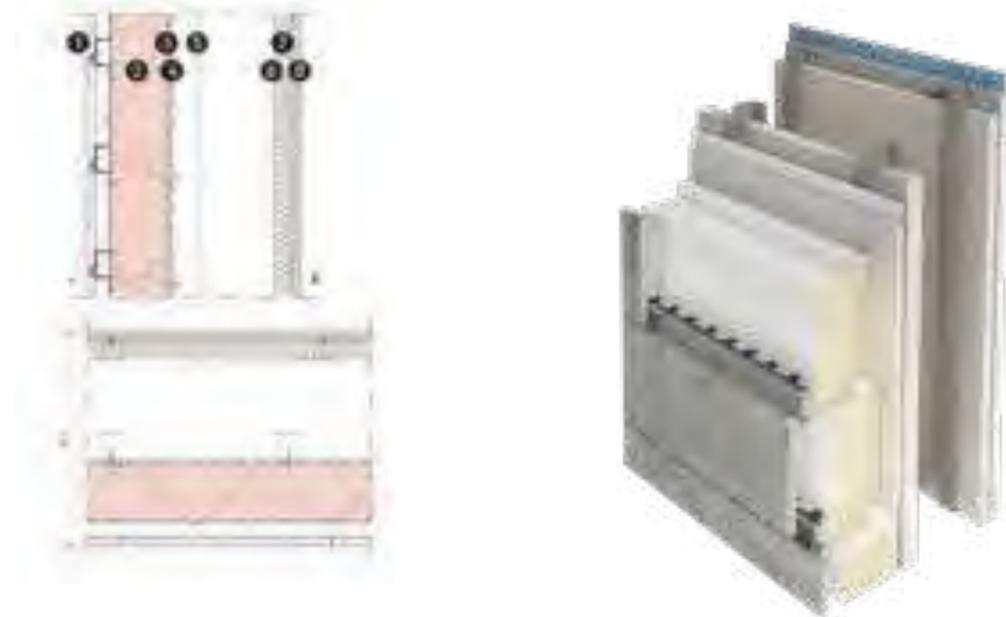
1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Gabion Wall di pietra lavica con gabbia in acciaio zincato, passo rete 5 cm (sp. 15 cm)
2. STRATO IMPERMEABILIZZANTE:
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
3. STRATO DI ISOLAMENTO:
XPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 7,5 cm)
4. STRATO STRUTTURALE:
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 250, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
5. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
6. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
7. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in poliestere armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Spessore pacchetto | 0,57 m |
| Massa superficiale | 747,1 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,18 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,01 |
| Sfasamento invernale | 12h 43' |
| Sfasamento estivo | 12h 43' |
| SUPERFICIE COPERTA | 124,39 m² |



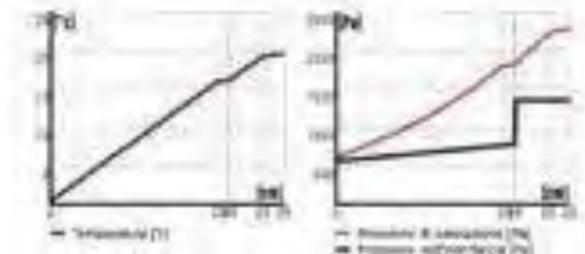
CV04

FACCIATA VENTILATA IN FIBROCEMENTO - LEGGERA



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pannello in cemento rinforzato con fibre in PVA e doppia rete in fibra di vetro 60 x 30 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)
2. STRATO ISOLANTE E DI SOSTEGNO:
Isolante in poliuretano espanso rigido autoestinguente in pannelli 250 x 30 cm ricoperto da una lamina impermeabile di alluminio goffrato, con annesso profilo nervato in lega alluminio-zinco-silicio (sp. 16 cm + 4 cm)
3. STRATO DI IRRIGIDIMENTO:
pannello in cemento portland con rete di armatura (sp. 1,25 cm)
4. STRATO DI TENUTA ALL'ARIA:
Barriera agli agenti atmosferici in fibre di polietilene, permeabile al vapore acqueo e impermeabile all'acqua (sp. 0,02 cm)
5. STRATO DI SOSTEGNO:
Guide a U e montanti a C in lega di alluminio magnesio e zinco, passo 50 cm, sp. 0,08 cm (sp. 7,5 cm)
6. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
7. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
8. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito con barriera al vapore (sp. 2,5 cm)

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Spessore pacchetto | 0,28 m |
| Massa superficiale | 43,0 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,14 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,46 |
| Sfasamento invernale | 9h 24' |
| Sfasamento estivo | 9h 24' |
| SUPERFICIE COPERTA | 71,4 m² |

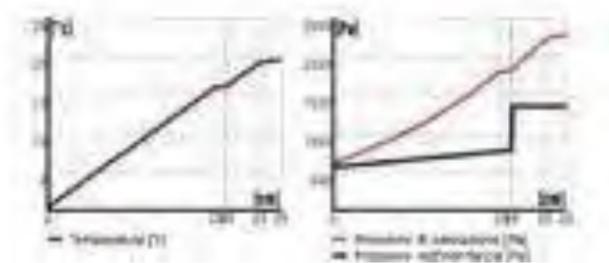


CV05 FACCIATA VENTILATA IN GABION WALL - LEGGERA



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Gabion Wall di pietra lavica con gabbia in acciaio zincato, passo rete 5 cm (sp. 15 cm)
2. STRATO IMPERMEABILIZZANTE:
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
3. STRATO DI ISOLAMENTO:
XPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 7,5 cm)
4. STRATO DI IRRIGIDIMENTO:
pannello in cemento portland con rete di armatura (sp. 1,25 cm)
5. STRATO DI TENUTA ALL'ARIA:
Barriera agli agenti atmosferici in fibre di polietilene, permeabile al vapore acqueo e impermeabile all'acqua (sp. 0.02 cm)
6. STRATO DI SOSTEGNO:
Guide a U e montanti a C in lega di alluminio magnesio e zinco, passo 50 cm, sp. 0,08 cm (sp. 7,5 cm)
7. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
8. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
9. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito con barriera al vapore (sp. 2,5 cm)

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| Spessore pacchetto | 0,28 m |
| Massa superficiale | 43,0 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,18 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,46 |
| Sfasamento invernale | 7h 36' |
| Sfasamento estivo | 7h 36' |
| SUPERFICIE COPERTA | 55,28 m² |

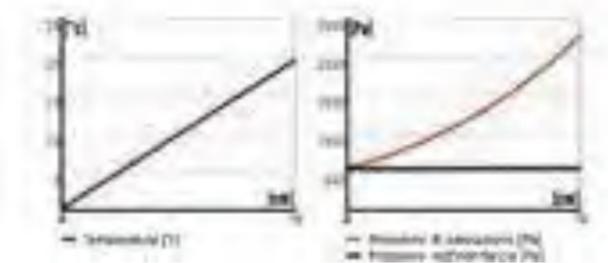


CV06 PARETE PERIMETRALE OSSERVATORIO



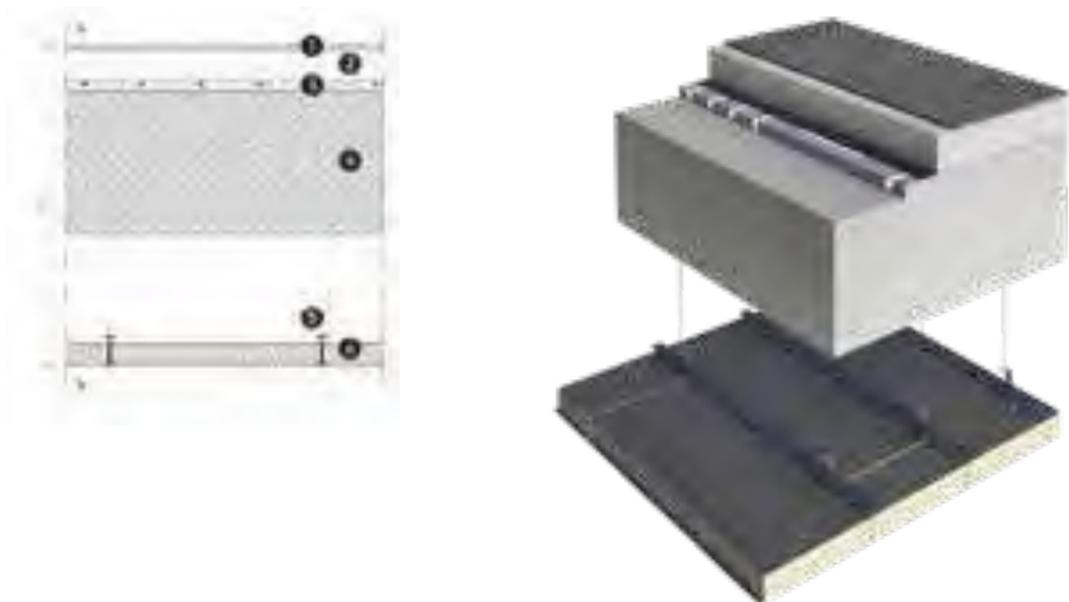
1. STRATO DI RIVESTIMENTO, DI SOSTEGNO E DI ISOLAMENTO:
Pannello sandwich grecato in acciaio zincato con isolante rigido in poliuretano espanso (sp. 10 + 6 cm)

| | |
|---------------------------|-----------------------------|
| Spessore pacchetto | 0,10 m |
| Massa superficiale | 17,3 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,16 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,93 |
| Sfasamento invernale | 2h 27' |
| Sfasamento estivo | 2h 35' |
| SUPERFICIE COPERTA | 489,84 m² |



PO02

SOLAIO INTERPIANO PIANO TERRA



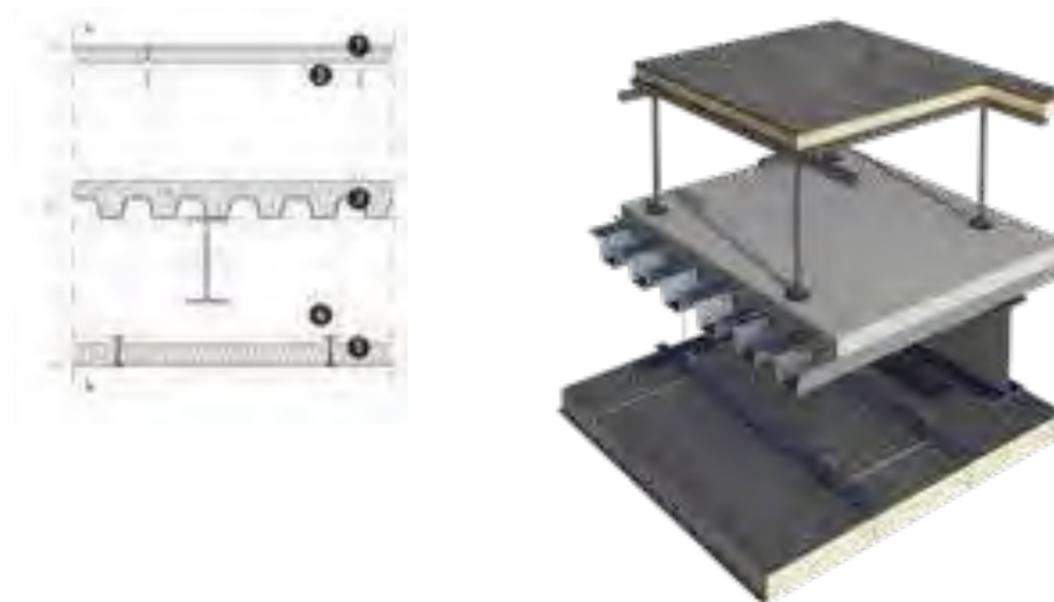
1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pavimento in linoleum incollato tramite resina sintetica (sp. 1 cm)
2. STRATO DI ALLETTAMENTO E INTEGRAZIONE IMPIANTISTICA:
Massetto alleggerito in perlite per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
3. STRATO DI RISCALDAMENTO RADIANTE:
Riscaldamento radiante formato da un pannello presagomato in polistirene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
4. STRATO STRUTTURALE:
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 250 (sp. 40 cm)
5. SOTTOSTRUTTURA:
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molla di acciaio temprato nichelata, passo 60 cm
6. STRATO DI ISOLAMENTO E RIVESTIMENTO:
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Spessore totale | 0,90 m |
| Massa superficiale | 1055,5 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,35 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,01 |
| Potere fonoisolante R _w | 62 dB |

SUPERFICIE COPERTA 539,67 m²

PO03

SOLAIO INTERPIANO PIANO PRIMO



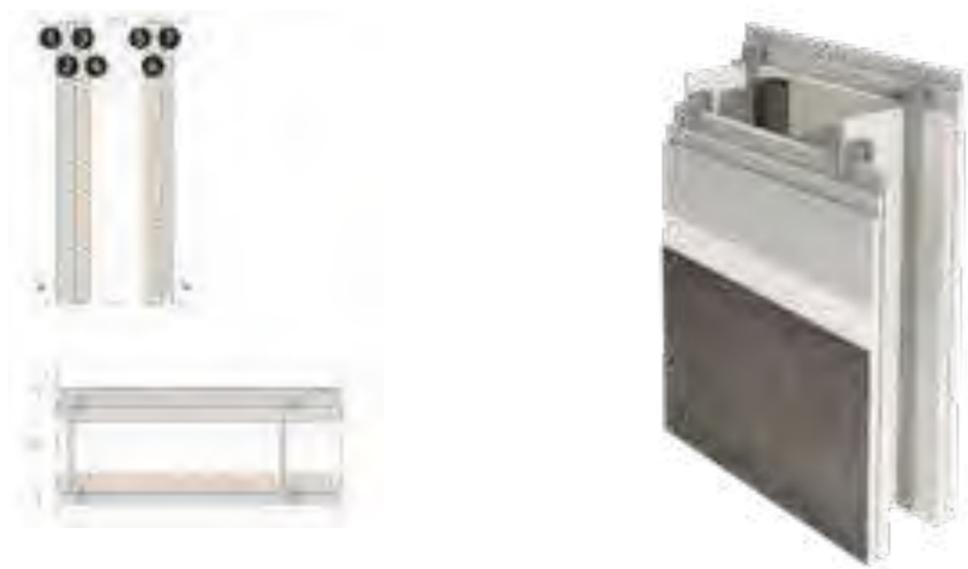
1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Pavimento in pannelli prefabbricati per pavimenti galleggianti con rivestimento in linoleum (sp. 4 cm)
2. STRATO DI SOSTEGNO:
Piedini in alluminio e profili per pavimenti galleggianti (sp. 34,2 cm)
3. STRATO DI SOSTEGNO:
Elemento grecato in acciaio zincato con getto integrativo in CLS e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 + 4,5 cm)
4. SOTTOSTRUTTURA:
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molla di acciaio temprato nichelata, passo 60 cm
5. STRATO DI ISOLAMENTO E RIVESTIMENTO:
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Spessore totale | 0,90 m |
| Massa superficiale | 173,5 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,46 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,30 |
| Potere fonoisolante R _w | 50 dB |

SUPERFICIE COPERTA 56,73 m²

PV01_b

PARETE INTERNA ATTREZZATA BAGNO



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Piastrille in ceramica dim. mm 300x600 e collante (sp. 2 cm)
2. STRATO DI IRRIGIDIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKI H" cm (sp. 2,5 cm)
3. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
4. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, < sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
5. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
6. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
7. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Spessore totale | 0,32 m |
| Massa superficiale | 45,0 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,22 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,90 |
| Potere fonoisolante R _w | 67 dB |

| | |
|--------------------|--------------------------|
| SUPERFICIE COPERTA | a) 233,71 m ² |
| | b) 15,96 m ² |
| | c) 13,04 m ² |

PV02_a

PARETE INTERNA SEMPLICE



1. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)
2. STRATO DI SOSTEGNO:
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 7,5 cm)
3. STRATO DI ISOLAMENTO:
lastra isolante termoacustico in lana di pecora (sp. 4 cm)
4. STRATO DI RIVESTIMENTO:
Doppia lastra in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Spessore totale | 0,125 m |
| Massa superficiale | 39,9 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,40 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,94 |
| Potere fonoisolante R _w | 58 dB |

| | |
|--------------------|--------------------------|
| SUPERFICIE COPERTA | a) 149,72 m ² |
| | b) 95,18 m ² |
| | c) 49,03 m ² |

PV03

RIVESTIMENTO SFERA PLANETARIO



1. **STRATO DI ISOLAMENTO E RIVESTIMENTO:**
Pannello fonoassorbente microforato flessibile isolante in lana di roccia, raggio di curvatura 580 cm (sp. 5 cm)
2. **STRATO DI SOSTEGNO:**
Telaio in legno, 3 x 5 cm, passo 50 cm (sp. 5 cm)
3. **STRATO DI RIVESTIMENTO:**
Telo da proiezione bianco pretesato

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Spessore totale | 0,20 m |
| Massa superficiale | 18,2 kg/m ² |
| Trasmittanza U | 0,38 W/m ² K |
| Fattore di attenuazione | 0,96 |
| Potere fonoisolante R _w | 84 dB |

SUPERFICIE COPERTA 409,31 m²

CB01

TETTO VERDE MENSOLA ESTERNA



1. **STRATO DI RIEMPIMENTO:**
Terriccio per giardini pensili (sp. 15 cm)
2. **STRATO FILTRANTE:**
Geotessile in fibre di polipropilene (sp. 0,15 cm)
3. **STRATO DRENANTE:**
lastre rigide prefabbricate in polistirene espanso sinterizzato (sp. 8,2 cm)
4. **STRATO DI SEPARAZIONE:**
Membrana antiradice elastoplastometrica impermeabile prefabbricata (sp. 0,4 cm)
5. **STRATO DI ISOLAMENTO:**
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
6. **STRATO DI SOSTEGNO:**
Elemento grecato in acciaio zincato con getto integrativo in CLS e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 + 4,5 cm)
7. **SOTTOSTRUTTURA:**
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molla di acciaio temprato nichelata, passo 60 cm
8. **STRATO DI RIVESTIMENTO:**
Pannello in cemento rinforzato con fibre in PVA e doppia rete in fibra di vetro 60 x 30 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)

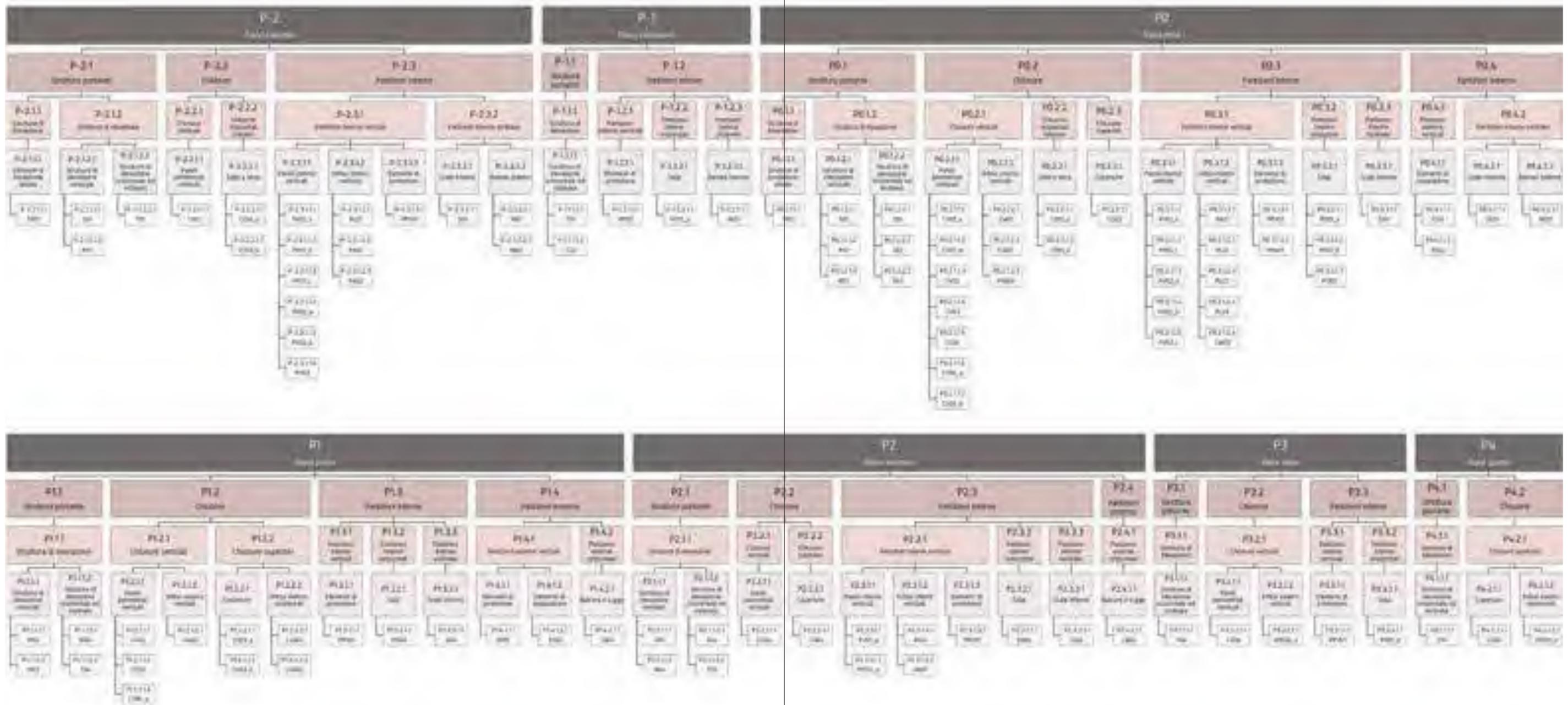
SUPERFICIE COPERTA 142,64 m²

LA DISARTICOLAZIONE TECNOLOGICA

Per consentire l'individuazione dei vari componenti del sistema edilizio considerati dall'intervento, è stato adottato un approccio sistematico, effettuando l'analisi dei subsistemi edilizi in base alla norma UNI 8290 "Sistema tecnologico - classificazione e terminologia".

Il complesso è stato suddiviso per piani e per classi di unità tecnologica definite dalla normativa tramite l'utilizzo di una WBS.

Si precisa che i codici che sono stati scelti ed utilizzati per la disarticolazione tecnologica sono stati inseriti all'interno del software BIM utilizzato per la progettazione al fine di semplificare le fasi successive di analisi e di confronto tra le componenti architettoniche, strutturali ed impiantistiche adottate.



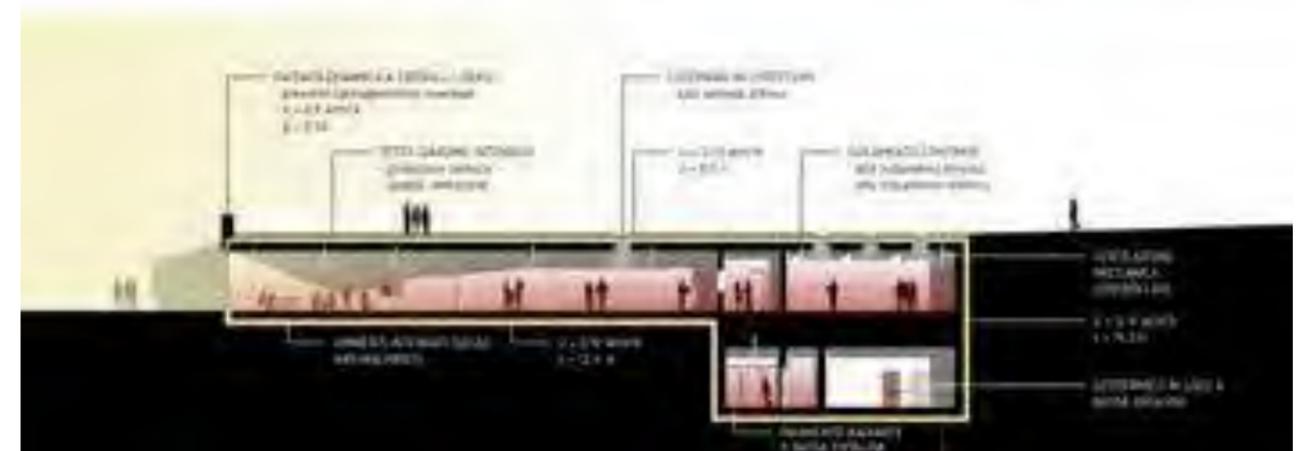
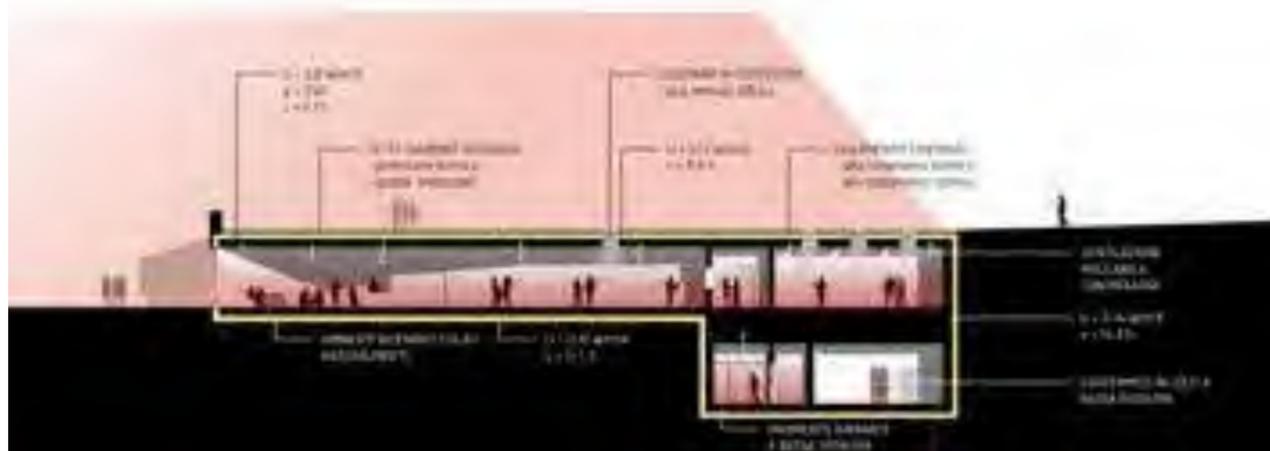
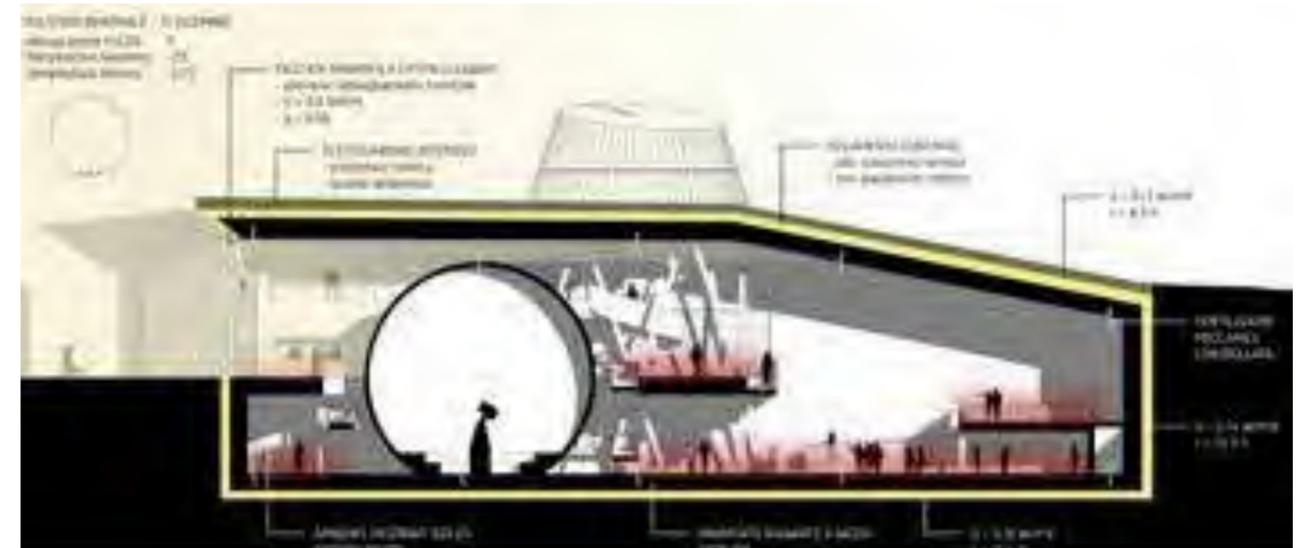
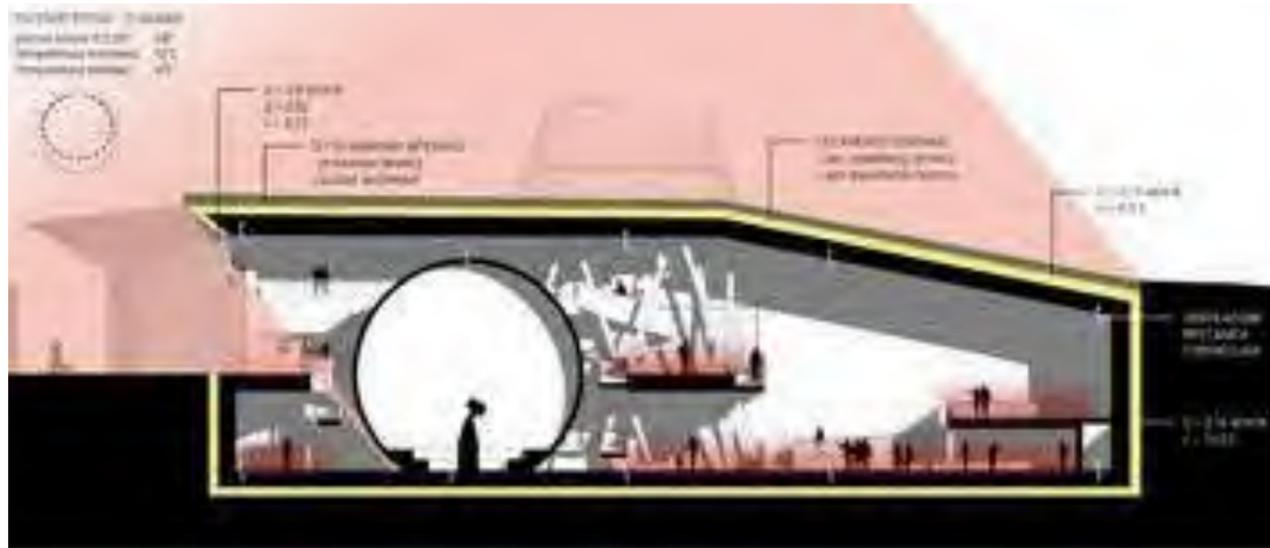
PROGETTO ENERGETICO

A progetto ormai definito a livello edile, se ne analizza il comportamento energetico e si progettano gli impianti di riscaldamento e l'impianto aeraulico. Si dimensionano inoltre le fonti di energia rinnovabile come il geotermico e l'impianto eolico. In ultimo, si valuta il comportamento dell'intero edificio tramite il protocollo Active House.

SCHEMATIC DESIGN

Tutte le analisi svolte e le soluzioni tecnologiche ed energetiche adottate, sono state studiate al fine di garantire un adeguato comfort interno agli utenti durante tutto l'arco dell'anno. Dagli schematic design raffigurati qui in basso si può infatti capire il comportamento dei due corpi, quello espositivo e quello relativo ai servizi e alla ristorazione, durante le uniche due stagioni che contraddistinguono il territorio islandese.

Il tema della luce naturale, che verrà ampiamente approfondito nel capitolo successivo, è sicuramente un aspetto fondamentale nella scelta delle strategie da adottare per prevenire fenomeni di abbagliamento. La ventilazione meccanica adottata permette il controllo costante della qualità dell'aria negli ambienti e il riscaldamento radiante sfrutta le potenzialità del sistema geotermico locale.

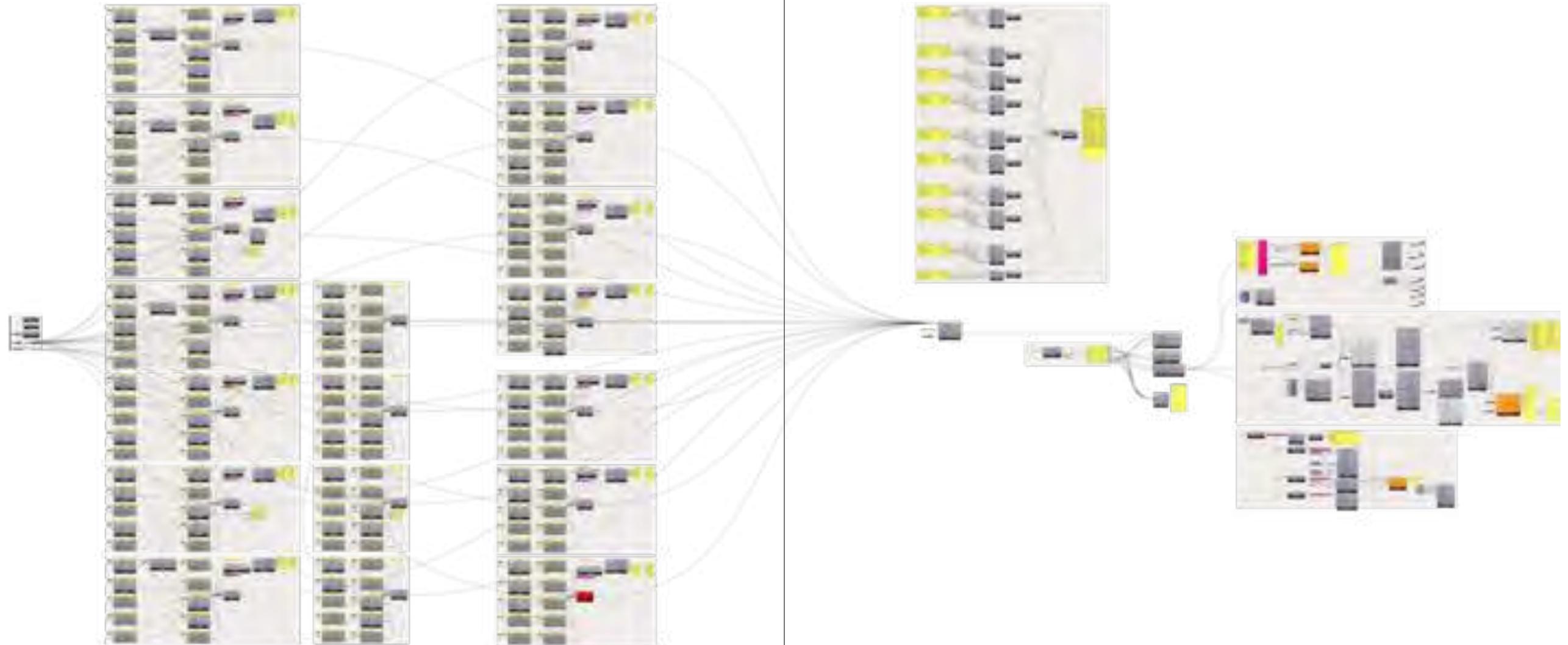


LE STRATEGIE ENERGETICHE

Si procede all'analisi energetica dell'edificio. Si decide di utilizzare il plugin "Honeybee" attraverso "Grasshopper" di Rhino. Tale plugin utilizza come motori di modellazioni "EnergyPlus" e i software "Diva" e "Therm".

Per la modellazione, si disegna l'edificio per zone, avendo cura di rispettare le seguenti ipotesi:

- Ipotesi di analisi del software: le zone non possono essere "non convesse". Ossia, ogni vertice deve poter essere collegato a ciascun altro vertice della zona da una retta che sia completamente interna alla zona stessa. Non sono quindi ammesse geometrie complesse che dovranno essere semplificate in un numero minore di zone con medesime caratteristiche.
- Ipotesi geometrica: i confini delle zone saranno posizionati in mezzera geometrica della stratigrafia. Tale ipotesi verrà poi parzialmente corretta all'interno del software.



Si identificano quindi le zone termiche dell'edificio, identificate come quelle parti di edificio che sono uniformi per scambio termico (conduttivo), movimento dell'aria (convettivo), occupazione e carichi termici interni. Le zone identificate sono le seguenti:

- Zona espositiva su due livelli. Tale zona verrà poi divisa in quattro sotto zone:
 1. Zona a livello interrato espositiva su singolo piano
 2. Zona a livello interrato di passaggio su singolo piano
 3. Zona a livello interrato a tutta altezza
 4. Zona al piano terra su singolo piano.
- Zona interrata impiantistica
- Zona interrata di servizio
- Zona piano terra – Aule
- Zona piano terra – Sala conferenze
- Zona piano terra – Vano tecnico
- Zona piano terra – Bookshop
- Zona piano terra – Ristorante, divisa in due sottozone
- Zona piano terra – Cucina
- Zona piano terra – Servizi ristorante
- Zona piano primo - Osservatorio

Una volta modellate e debitamente semplificate le zone, si procede alla definizione dei pacchetti tecnologici e alla loro assegnazione alle superfici.

I seguenti pacchetti tecnologici vengono assegnati con le relative proprietà meccaniche:

- Solaio contro terra;
- Chiusura verticale contro terra;
- Soffitto - Pavimento;
- Chiusura verticale;
- Chiusura orizzontale (copertura);
- "Airwall": tale tipologia si riferisce ad un muro fittizio che divide due zone e che permette il passaggio termico e di aria tra le due zone;
- Componenti vetrati orizzontali e verticali.

Il sistema riconosce in automatico le adiacenze tra le zone ed assegna i pacchetti tecnologici. Si conclude quindi la modellazione geometrica dell'edificio.

Seguendo la normativa UNI 10339:1995 - 30/06/1995 e in concomitanza con le indicazioni semplificate della società americana ASHRAE, si assegna a ciascuna zona una destinazione d'uso. Così facendo, alle zone si attribuiscono le seguenti proprietà:

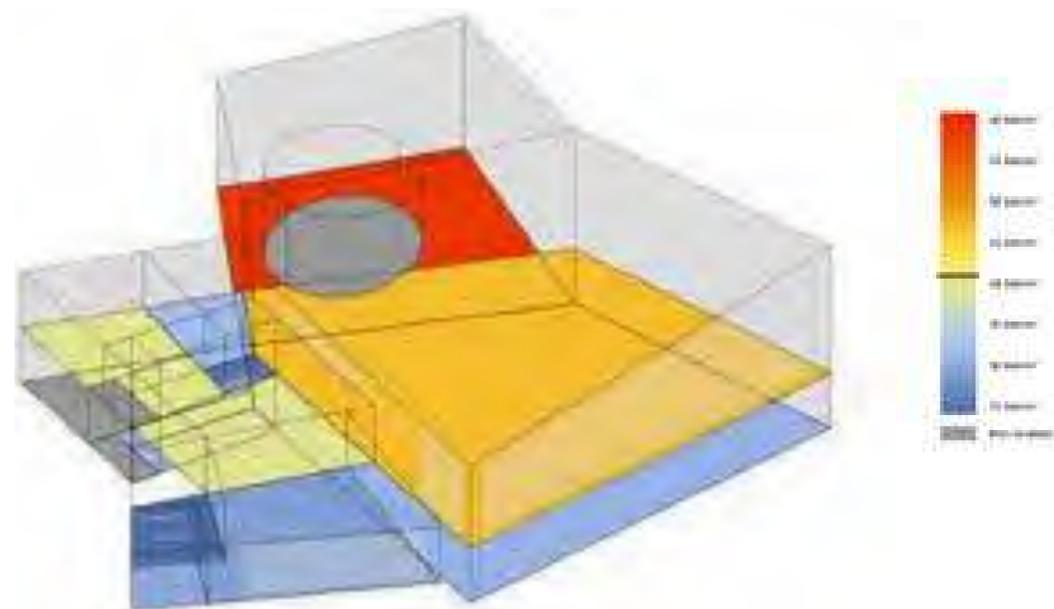
- Occupazione media: indica il numero medio di persone presenti nella zona [persone/m²]
- Ricambi d'aria necessari: a seconda della destinazione d'uso [l/persona] [l/m²] [l/m³]
- Contributi interni in termini di potenza media per unità di superficie [W/m²]
- Carico per illuminazione al metro quadrato di superficie calpestabile [W/m²]
- Infiltrazione media per metro quadrato di superficie calpestabile [m³/s·m²]

Prima di far partire la simulazione energetica, si associa al modello il file climatico EPW. Poiché nei database non esiste un file climatico della zona del lago Mývatn in Islanda, esso viene fornito dalla società "MeteoNorm" a fini accademici. Tramite tale società è possibile creare file climatici di ogni località climatica attraverso una media ponderata delle località analizzate. Il file fornito è riferito alla città di Reykjavík (65°37'54.0"N 16°55'40.2"W, 325 m s.l.m.) e si riferisce a valori orari dei principali dati climatici.

Completata la fase di definizione delle proprietà e delle condizioni al contorno, è possibile far partire la simulazione energetica. Alcuni degli output della simulazione sono:

- Bilancio energetico totale e specifico dell'edificio diviso in zone climatiche [kWh] [kWh/m²]
- Bilancio energetico diviso in apporti solari, apporti interni dovuti a persone, apparecchiature meccaniche e luci, riscaldamento e raffreddamento, ventilazione e infiltrazioni [kWh] [kWh/m²]
- Dispersioni e guadagni energetici per ciascuna superficie definita [kWh] [kWh/m²]
- Flussi massimi e relativo giorno di corrispondenza dei valori sopra definiti [W]
- Ore e giorni in cui viene raggiunto il comfort interno [h] [gg]
- Temperature medie radianti [°C]

Per brevità di relazione si riporta nella pagina retrostante soltanto il bilancio energetico specifico in kWh/m²anno. La media del bilancio energetico risulta pari a 40.5 kWh/m² anno.



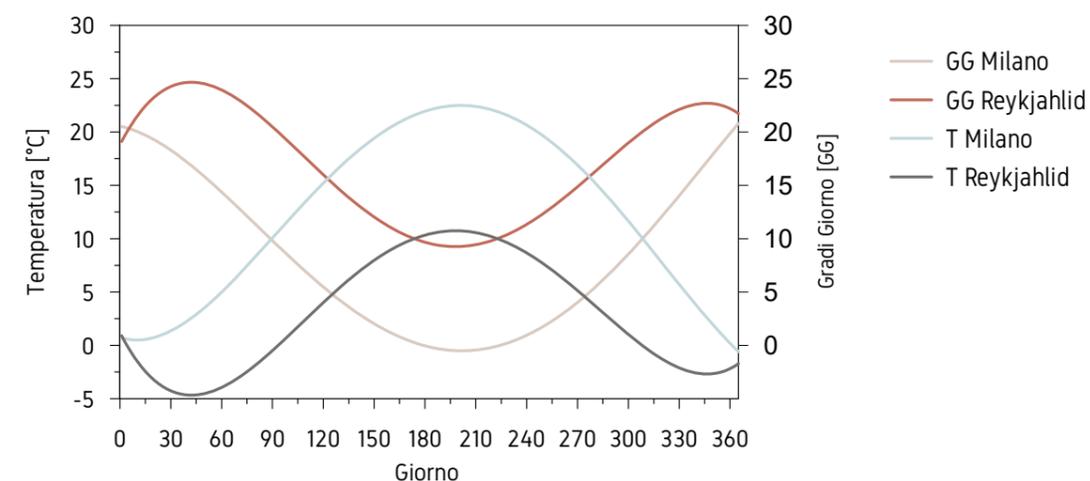
| Piano primo | kwh/mq | mq |
|--------------|--------|------|
| Osservatorio | NR | 92,2 |

| Piano terra | kwh/mq | mq |
|--------------------|--------|-------|
| Esposizione Sud PT | 47,0 | 786,3 |
| Bookshop | 38,0 | 125,4 |
| Sala conferenze | 32,0 | 42,2 |
| Aule | 39,0 | 94,5 |
| Servizi PT | 25,0 | 12,1 |
| Ristorante | 29,0 | 175,0 |
| Cucina | 30,0 | 24,7 |
| Servizi Cucina | 24,0 | 43,1 |

| Piano interrato | kwh/mq | mq |
|--------------------|--------|-------|
| Esposizione Nord | 58,0 | 385,8 |
| Esposizione Sud -1 | 31,0 | 806,4 |
| Servizi -1 | 32,0 | 30,8 |
| Magazzino | NR | 62,5 |
| Locale tecnico | NR | 31,3 |

| Piano | kwh/mq | mq |
|-----------------|-------------|---------------|
| Piano primo | NR | 92,2 |
| Piano terra | 41,4 | 1303,4 |
| Piano interrato | 39,5 | 1316,7 |
| TOTALE | 40,8 | 2712,3 |

Confronto Milano - Reykjavíð



Una prima considerazione sui risultati riguarda la differenza in termini energetici tra le località di Reykjavíð, sede dell'edificio, e Milano, scelta come riferimento italiano.

A tal proposito si confrontano i gradi giorno delle due località. Tale parametro è calcolato come la sommatoria della differenza positiva tra la temperatura interna di design di 20°C e la temperatura media giornaliera esterna. Calcolando i gradi giorno per le due località è possibile valutare l'entità della stagione invernale nei due paesi:

Milano: da normativa i gradi giorno sono pari a 2404;
 Reykjavíð: attraverso il file climatico EPW si ricava il valore di 6249 GG.

Il rapporto tra i due valori è pari a 2.60. Ciò indica che l'inverno in Islanda è circa due volte e mezzo più rigido che a Milano. Nel grafico in alto si riporta l'andamento della media mobile a 30 giorni della temperatura giornaliera e dei gradi giorno.

Come confronto, si può riportare il bilancio energetico dell'edificio in Islanda come se fosse a Milano, dividendo per il fattore 2.60. Si ottiene un consumo energetico pari a 15.6 kWh/m² anno.

Come metro di paragone, si ricorda che uno dei requisiti per rientrare nella categoria "passivhaus" è di avere un consumo medio di energia pari a 15 kWh/m² anno.

Un'ulteriore considerazione che è corretto fare è riferita all'altezza media dei locali. Si ricorda che l'edificio oggetto di studio è destinato a centro scientifico e ospita un planetario. Per tale motivo vi sono altezze degli ambienti non convenzionali. Dividendo il volume riscaldato per la superficie calpestabile riscaldata, si ottiene l'altezza media degli ambienti, pari a 6.92 m.

In particolare, la parte espositiva esposta a nord presenta un'altezza media di 11.80 m. È quindi comprensibile che tale ambiente possa avere un consumo energetico di circa il 50% in più rispetto alla media degli ambienti. Un discorso analogo si può ipotizzare per tutti i locali con altezze più alte rispetto alla media.

LE STRATEGIE IMPIANTISTICHE

Per la definizione impiantistica si considerano le seguenti condizioni:

Predisposizione geografica del luogo all'utilizzo del geotermico a bassa e alta entalpia. La zona del Mývatn è particolarmente nota per avere un alto gradiente geotermico (250° in 1000 m) e non lontano dal lago sorge la centrale geotermica ad alta temperatura di Krafla.

Discontinuità direzionale e stagionale della radiazione solare, che comporta difficoltà all'utilizzo di pannello fotovoltaici o solari, siano essi orizzontali o inclinati.

Altezze medie del soffitto elevate rispetto al caso di edifici residenziali.

Basso tasso di affollamento medio, dovuto alla particolare condizione islandese.

Nessun bisogno di raffreddamento in nessun momento dell'anno.

Per tali motivi, come mezzo di emissione di riscaldamento viene scelto un sistema radiante a pavimento a bassa entalpia, il quale offre i seguenti vantaggi specifici per l'edificio in questione:

Massimizzazione del rendimento del sistema geotermico;

Riduzione degli sprechi di riscaldamento verso volumi d'aria non occupate;

Maggior beneficio per gli occupanti dovuto alla temperatura media radiante percepita.

Si prevede quindi un sistema di ventilazione meccanico a flusso variabile con scambiatore isoentalpico.

Tale sistema sarà deputato al solo ricambio di aria primaria necessaria agli ambienti ed immetterà quindi aria a condizioni neutre in termini di temperatura e umidità.

Il sistema di generazione sarà di tipo a pompe di calore geotermico a sonde verticali. Tale sistema fornirà energia a:

Impianto radiante a pavimento;

Ventilazione meccanica controllata per portare la temperatura dell'aria dalla temperatura di uscita dello scambiatore a 20°C, umidificazione compresa;

Acqua calda sanitaria, prevista con accumulo.

Per quanto riguarda l'alimentazione elettrica della componentistica (pompe, ventilatori..) si ipotizza la predisposizione di un sistema eolico ad asse verticale. La zona in cui sorge l'edificio è infatti caratterizzata da velocità del vento considerevoli. Non potendo contare e prevedere con esattezza la potenza continua del vento nella zona, occorre predisporre un sistema di accumulo elettrico a batteria. Tuttavia, tale dimensionamento viene lasciato per ulteriori approfondimenti futuri.

Per il calcolo della ventilazione si fa ricorso alla normativa UNI 10339:1995 - 30/06/1995 "Impianti aerulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura". Tuttavia, poiché gli indici di affollamento sono considerati troppo alti per l'Islanda, si impone manualmente il numero massimo di persone previste per gli ambienti. Dalla normativa, si ricava che il valore di aria primaria a persona è pari a 6 l/s. Si riportano i valori di ventilazione per i macroambienti considerati.

Tale aria verrà immessa dalle bocchette di mandata e verrà poi ripresa in parte dagli ambienti di servizio, come bagni e cucina, e in parte dalle bocchette di ritorno. La progettazione dovrà mantenere gli ambienti principali in depressione per evitare la fuoriuscita di odori dagli ambienti di servizio.

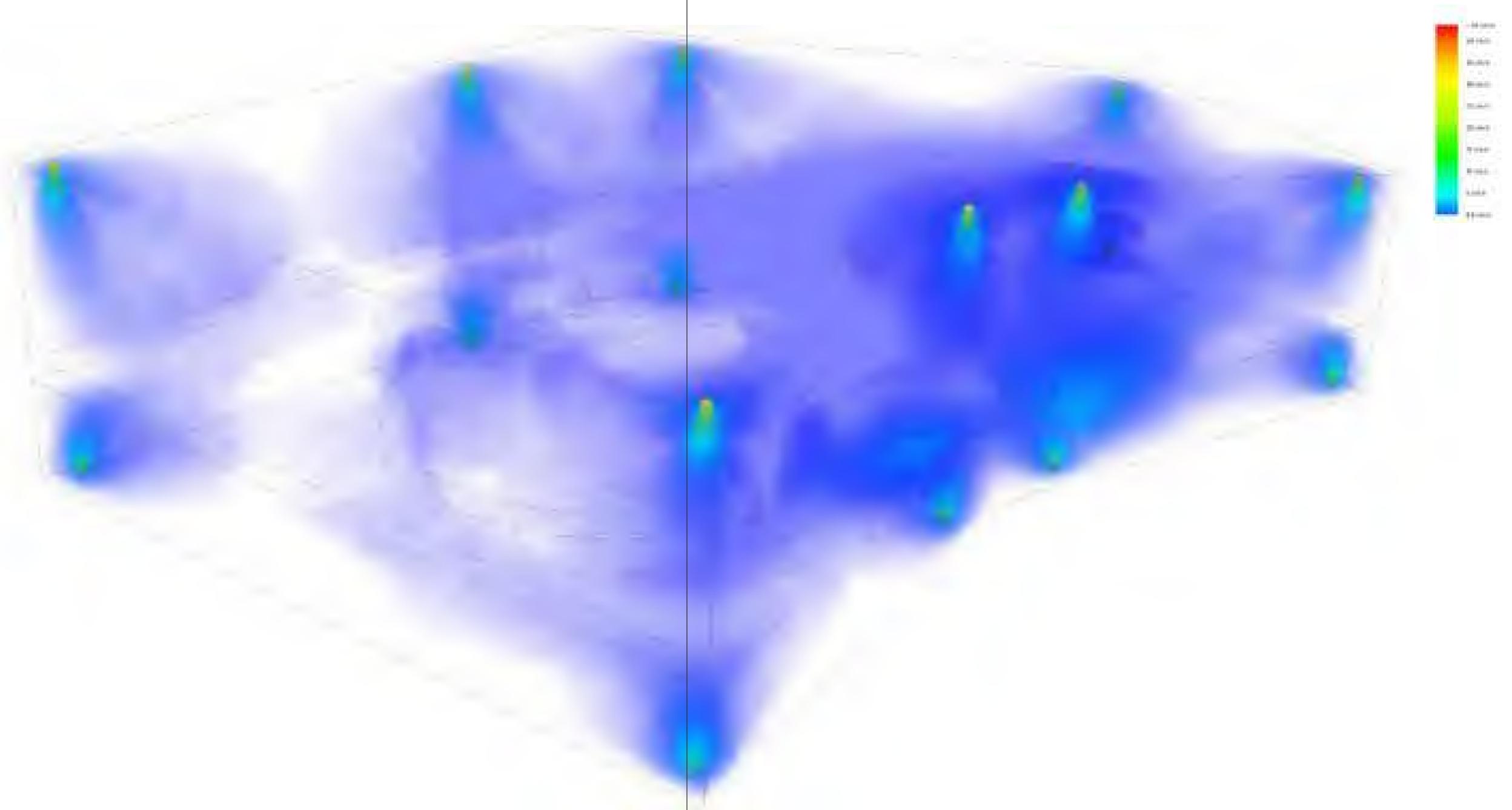
Un caso interessante è rappresentato dall'ambiente espositivo. Per esigenze architettoniche, non è possibile installare canali di aerazione a pavimento o a soffitto sulla soletta di separazione tra il piano interrato e il piano primo. Si prevede quindi di installare le condutture di mandata al piano interrato, verso i muri controterra, e di installare le condutture di ritorno a soffitto della copertura, anch'esse in corrispondenza dei muri di chiusura. In tale modo si forza l'aria ad attraversare l'intercapedine tra la sfera che ospita il planetario e la soletta stessa, con velocità molto basse ma grande potere di diffusione all'interno dei due ambienti.

| | Numero Persone | Portata aria [m³/s] | Portata aria [m³/h] |
|-------------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Portata blocco Est | 50 | 0,30 | 1080 |
| Portata Ristorante | 50 | 0,30 | 1080 |
| Portata Sala Conferenze | 23 | 0,14 | 500 |
| Portata Aule | 5 | 0,03 | 100 |
| Totale | 128 | 0,77 | 2760 |

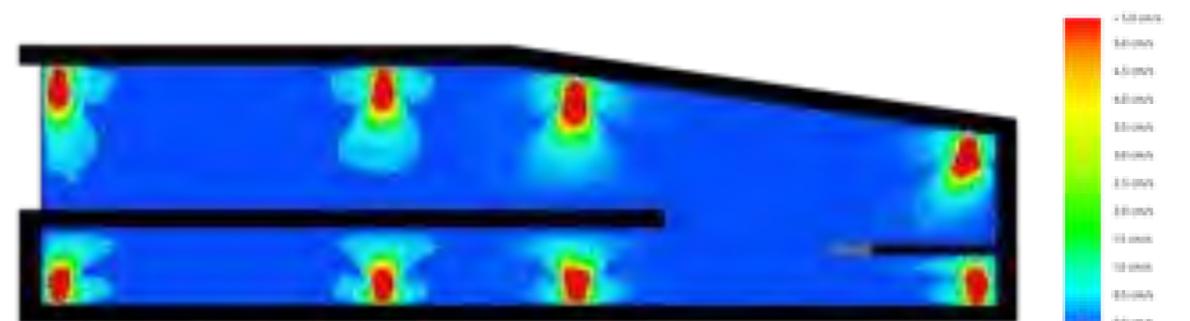
Si procede con una preverifica della velocità dell'aria nell'intercapedine, calcolata come la portata dell'aria immessa diviso l'area della sezione forata:

$$v = Q / A = [10^3] \cdot 0.30 / 98.14 = 3 \text{ mm/s}$$

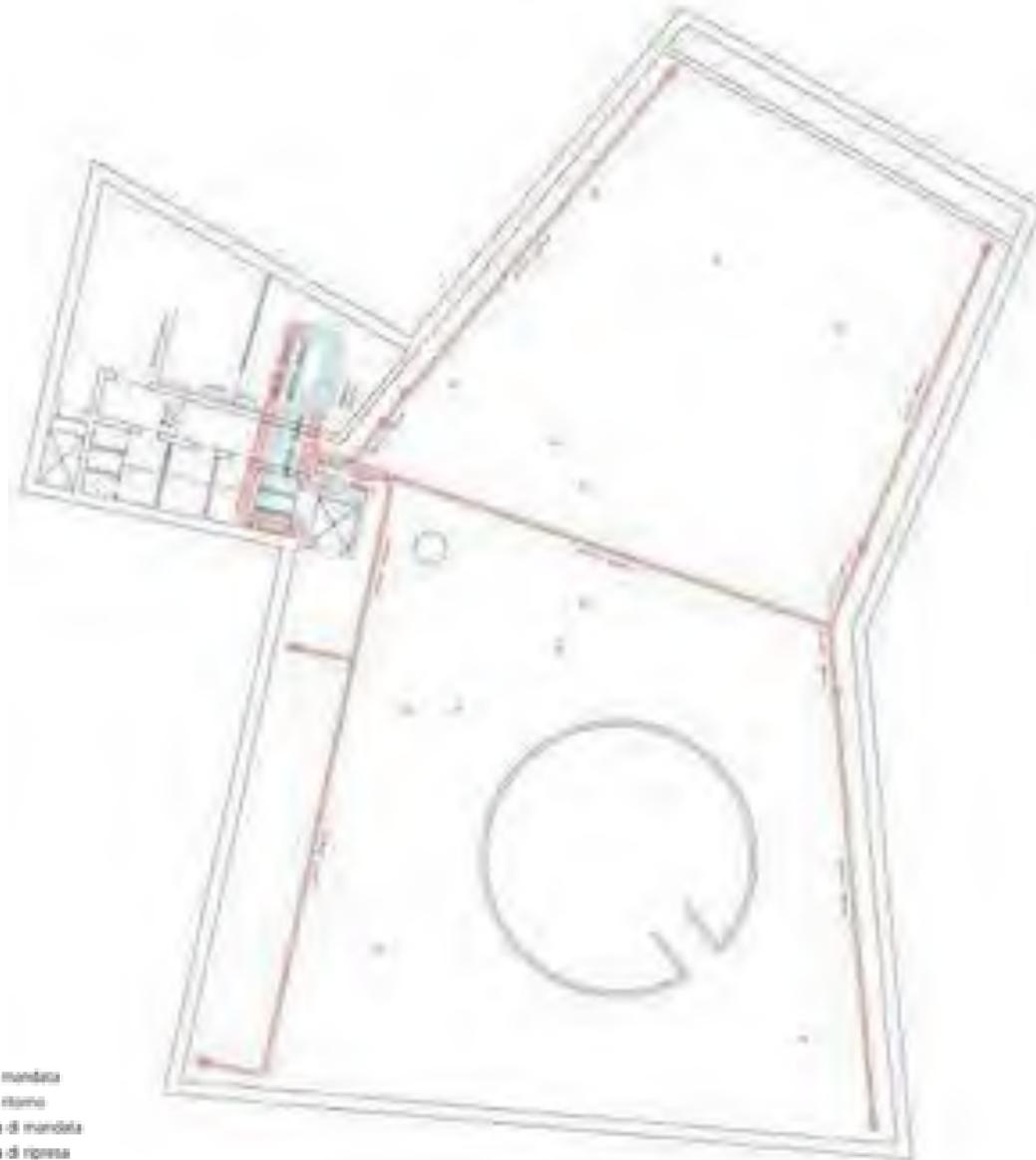
La portata Q del solo blocco sud è quindi pari a metà della portata totale, calcolata in m/s. La velocità ottenuta è molto bassa ma sufficiente a garantire il movimento dell'aria nel locale. Tuttavia, vista la complessità dell'edificio, si effettua una verifica fluidodinamica tramite il software Fluent di Ansys.



La modellazione prevede la realizzazione di un solido rappresentante il volume di aria da considerare. Si prevedono 8 bocchette di immissione per una portata complessiva pari a 135 m³/h. Si calcola poi l'estrazione dei servizi interrati, pari a 240 m³/h. La restante parte verrà estratta dalla copertura da 8 bocchette con portata pari a 105 m³/h. Si assegnano le superfici designate all'immissione e all'estrazione dell'aria, compresa la vetrata a sud che contribuisce a scaldare l'aria ed aumentarne l'effetto turbolento. Si assegnano quindi i parametri fluidodinamici dell'aria e dei componenti interessati dal moto dell'aria e si fa partire la simulazione. Si riportano gli elaborati grafici nella pagina a fianco. Si nota come il predimensionamento risulta essere corretto, in quanto nell'intercapedine si registrano velocità dell'aria intorno ai 2 mm/s. Dall'assonometria si vede che l'aria risulta essere interamente coinvolta senza zone di stazionarietà. Si procede quindi al disegno e al dimensionamento delle condutture.



PIANTA PIANO INTERRATO



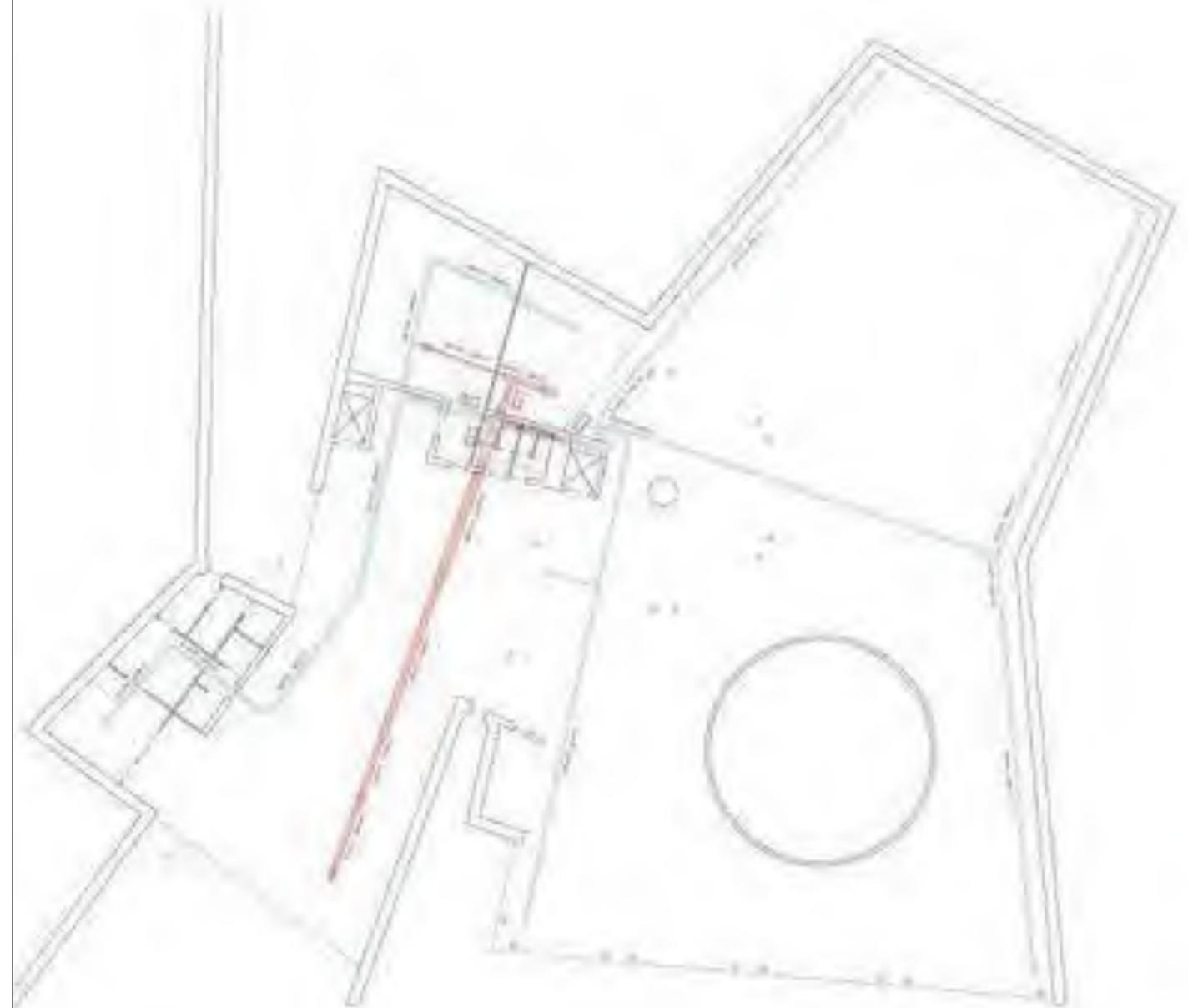
LEGENDA

- Canale di mandata
- Canale di ritorno
- Bocchetta di mandata
- Bocchetta di ripresa

Viste le esigue portate e il ridotto numero di piani su cui si devono sviluppare i canali, il dimensionamento risulta essere piuttosto immediato.

Si predispongono le bocchette di aerazione in maniera distribuita e uniforme sulla superficie in modo di garantire omogeneità nella distribuzione ed evitare zone di aria ferma. Il passaggio dei canali è pensato in modo da non intersecarsi e non sovrapporsi, come mostrano le piante delle coperture del piano interrato e del piano terra soprastanti. Solo in corrispondenza dei servizi del piano terra, dove il soffitto risulta essere più basso, si predisponde la distribuzione da verticale ad orizzontale. I canali verticali passano dai cavedi in corrispondenza dell'ascensore. L'unità di trattamento aria è posizionata nel locale tecnico interrato, opportunamente predisposto per prevenire fenomeni di fastidio sonoro. Si è cercato di mantenere la dimensione delle condutture rettangolari nel rapporto 2:1, al fine di ottimizzare il flusso all'interno.

PIANTA COPERTURA



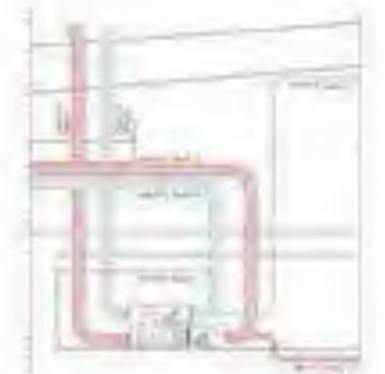
Imposta la velocità dell'aria nei condotti orizzontali pari a 2 m/s, l'area della sezione si ricava:

$$A = Q / v$$

Si calcola quindi il lato minore della conduttura rettangolare nel rapporto 2:1 come:

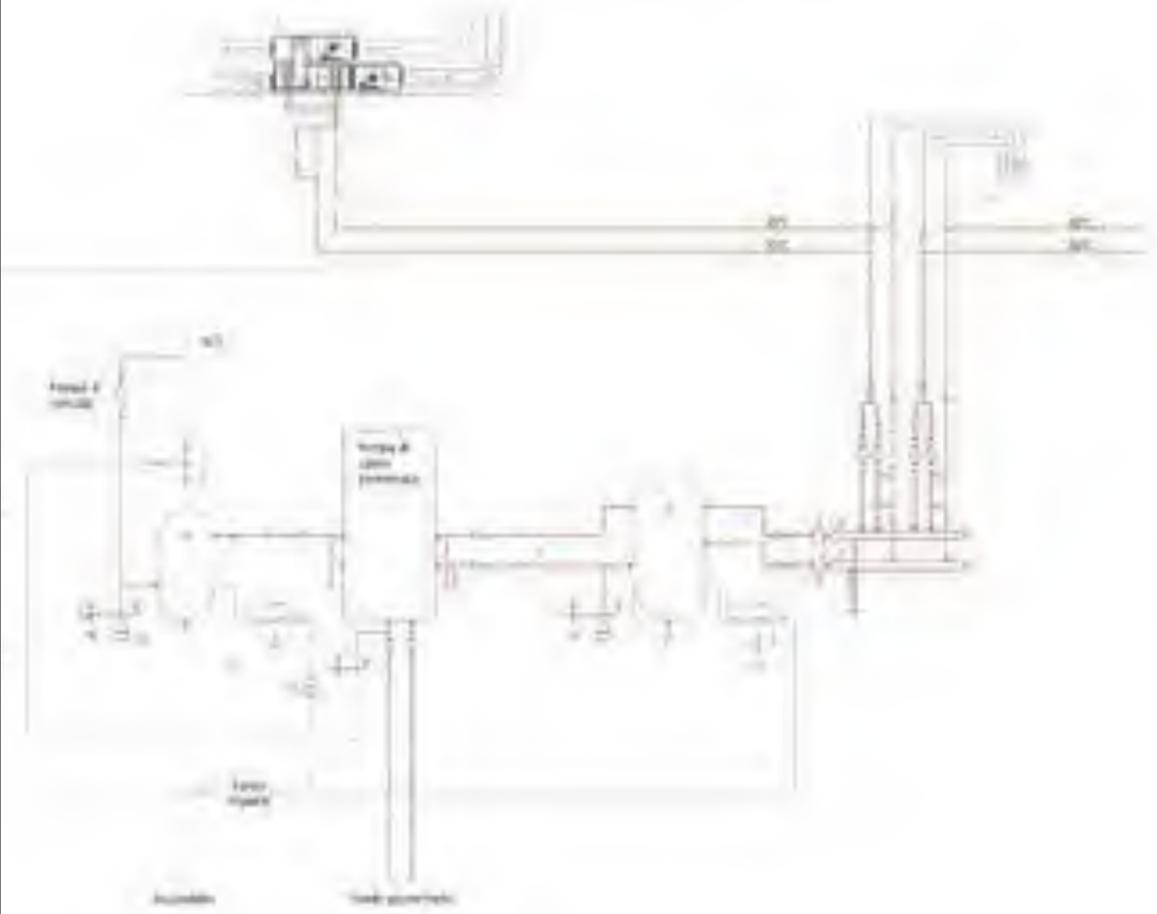
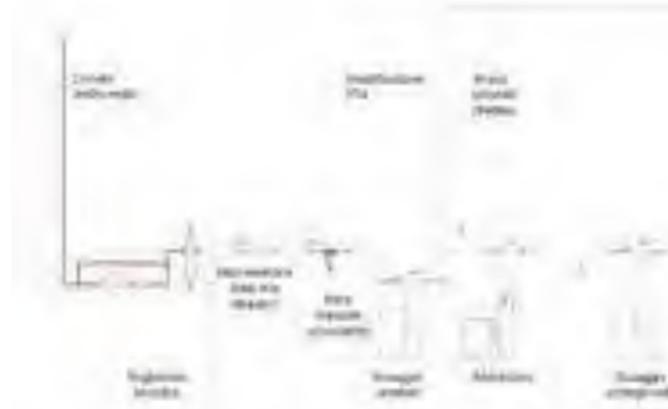
$$l = \sqrt{A / 2}$$

Occorre ricordare che per il calcolo è stata consultata la tabella che correla l'area ideale della sezione circolare con quella rettangolare.



LEGENDA

| | | | |
|----|-----------------------|----|--------------------------|
| 1 | ventilatore a elica | 1 | scambiatore isoentalpico |
| 2 | scambiatore di calore | 2 | scambiatore di calore |
| 3 | scambiatore | 3 | scambiatore di calore |
| 4 | scambiatore di calore | 4 | scambiatore di calore |
| 5 | scambiatore di calore | 5 | scambiatore di calore |
| 6 | scambiatore di calore | 6 | scambiatore di calore |
| 7 | scambiatore di calore | 7 | scambiatore di calore |
| 8 | scambiatore di calore | 8 | scambiatore di calore |
| 9 | scambiatore di calore | 9 | scambiatore di calore |
| 10 | scambiatore di calore | 10 | scambiatore di calore |
| 11 | scambiatore di calore | 11 | scambiatore di calore |
| 12 | scambiatore di calore | 12 | scambiatore di calore |
| 13 | scambiatore di calore | 13 | scambiatore di calore |
| 14 | scambiatore di calore | 14 | scambiatore di calore |
| 15 | scambiatore di calore | 15 | scambiatore di calore |
| 16 | scambiatore di calore | 16 | scambiatore di calore |
| 17 | scambiatore di calore | 17 | scambiatore di calore |
| 18 | scambiatore di calore | 18 | scambiatore di calore |
| 19 | scambiatore di calore | 19 | scambiatore di calore |
| 20 | scambiatore di calore | 20 | scambiatore di calore |



La portata dell'aria totale dell'edificio è pari a 2760 m³/h (0.77 m³/s).

Si considera uno scambiatore isoentalpico rotante con efficienza $\eta = 75\%$ sia sensibile che latente.

Poiché la temperatura di progetto esterna è pari a -10°C, occorre preriscaldare l'aria a -5 °C prima di immetterla nello scambiatore per prevenire il rischio di formazione di cristalli di ghiaccio.

Successivamente l'aria entra nello scambiatore dove incontra l'aria estratta a 22 °C e 60% RH (10 g/kg) ed esce a temperatura e umidità (X) più alta. Infine, essa è riscaldata e umidificata per introdurla in ambiente a 20°C e 60% RH (10 g/kg). Schematicamente:

Tratto 1 (preriscaldamento): $P_{pre} = Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T = 0.77 \cdot 1.23 \cdot 1.0 \cdot (-5 + 10) = 4.7 \text{ kW}$

Tratto 2 (scambiatore): $T_{out} = T_{in} + \eta_{sen} \cdot \Delta T = -5 + 0.75 \cdot (22 + 5) = 15.3 \text{ °C}$

$X_{out} = X_{in} + \eta_{lat} \cdot \Delta X = 1 + 0.75 \cdot (10 - 1) = 7.8 \text{ g/kg}$

Tratto 3 (trattamento): $P_{sen} = Q \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T = 0.77 \cdot 1.23 \cdot 1.0 \cdot (20 - 15.3) = 4.5 \text{ kW}$

$P_{lat} = Q \cdot \rho \cdot C_l \cdot \Delta X = 0.77 \cdot 1.23 \cdot 2.27 \cdot (10 - 7.8) = 4.8 \text{ kW}$

Potenza termica complessiva: $P_{tot} = P_{pre} + P_{sen} + P_{lat} = 4.7 + 4.5 + 4.8 = 14.0 \text{ kW}$

Imponendo una velocità dell'acqua di 2 m/s e un $\Delta T = 5^\circ\text{C}$, si adotta un tubo di diametro 3/4".

Si considera l'idea di preriscaldare l'aria esterna attraverso il passaggio della stessa in condutture a contatto con il terreno (pozzo canadese) ma poiché la temperatura indisturbata della terra in loco è pari a 4.5 °C occorrerebbero percorsi troppo lunghi con perdite di carico troppo elevate. Si preferisce quindi trattare l'aria con il calore prelevato dal pozzo geotermico.

Si riporta lo schema impiantistico riportante il dimensionamento aeraulico e le tubazioni di acqua fredda e acqua calda sanitaria, che comprende:

- Ingresso generale dell'acquedotto;
- Circuito di carico impianti;
- Circuito di distribuzione impianto anti incendio;
- Filtri, dosaggio prodotti, addolcitore, antilegionella;
- Condotta di mandata umidificazione aria;
- Condotta di mandata acqua potabile (fredda);
- Pompa di calore geotermica;
- Circuito per accumulo acqua calda sanitaria, condotta di mandata e pompa di ricircolo;
- Circuito per accumulo acqua calda di riscaldamento;
- Circuito per impianto di riscaldamento radiante a pavimento;
- Circuito per riscaldamento aria in ingresso in Unità di Trattamento Aria.

IMPIANTO EOLICO AD ASSE VERTICALE



Il sito dell'edificio rende difficilmente installabile un sistema fotovoltaico a causa dei lunghi periodi di assenza di sole in concomitanza con il maggior bisogno di corrente elettrica. Vi è invece una buona presenza e distribuzione della forza del vento. Si è ipotizzato quindi di installare una turbina eolica ad asse verticale e di posizionarla in uno degli spot presenti lungo il percorso panoramico a sud dell'edificio. Si riporta la distribuzione teorica di Weibull delle velocità del vento fornite dal sito internet "Meteoblue" per ogni ora dell'anno. I valori caratterizzanti la curva sono i seguenti:

- $c (A) = 27,5342$
- $k = 1,6028$

Si considera una turbina con le seguenti caratteristiche:

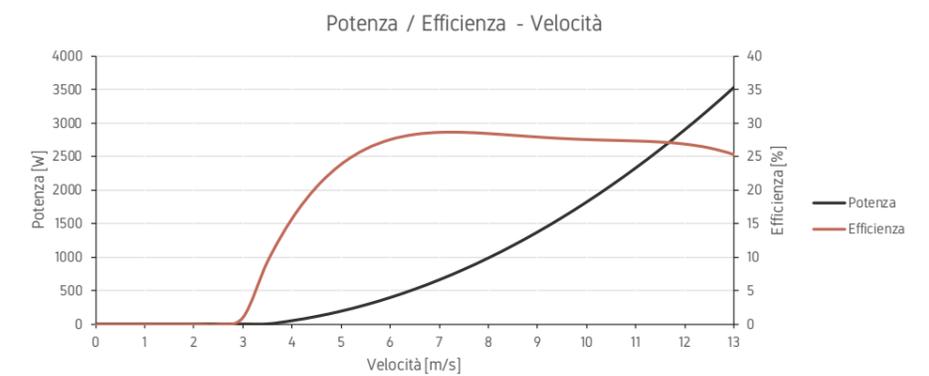
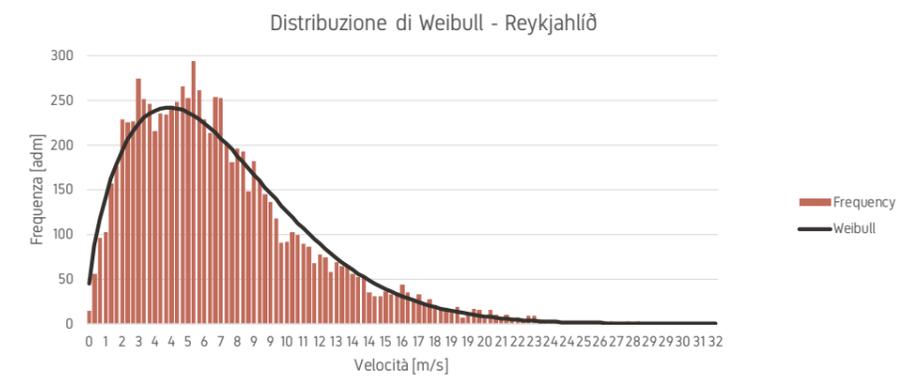
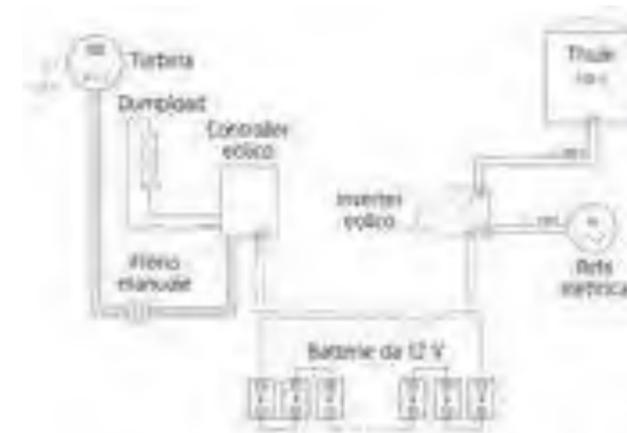
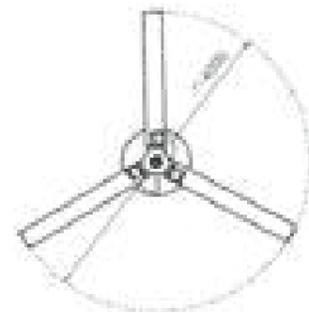
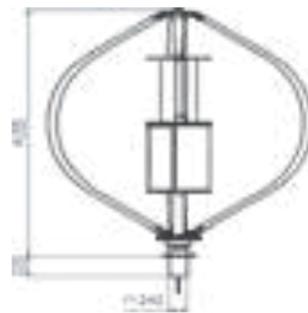
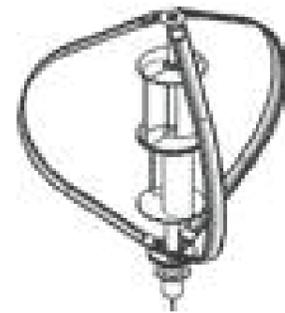
- Diametro: 4000 mm
- Altezza: $4115 + 323 = 4438$ mm
- Numero di pale: 4 Savonius + 3 Darrieus
- Potenza nominale: 3 kW (48V/220V)
- Area delle pale: $10,5 \text{ m}^2$
- Velocità di Cut-IN: 2,2 m/s
- Velocità nominate: 12 m/s
- Velocità di Cut-OFF: 18 m/s
- Livello di rumore: 50 dBa

Si riportano le curve di potenza ed efficienza interpolate in Excel e rese funzioni nella velocità. Si calcola quindi l'energia prodotta come:

$$E = [10^{-3}] \cdot 8760 \cdot \sum P \cdot \eta \cdot v = 1746,5 \text{ kWh}$$

dove:

- 8760 è la sommatoria delle ore annuali [h]
- P è la potenza media oraria, funzione della velocità in m/s [W]
- η è l'efficienza media oraria, funzione della velocità in m/s [adm]
- v è la frequenza con cui una data velocità del vento si manifesta in un anno di 8760 ore [adm]



PROTOCOLLO ACTIVE HOUSE

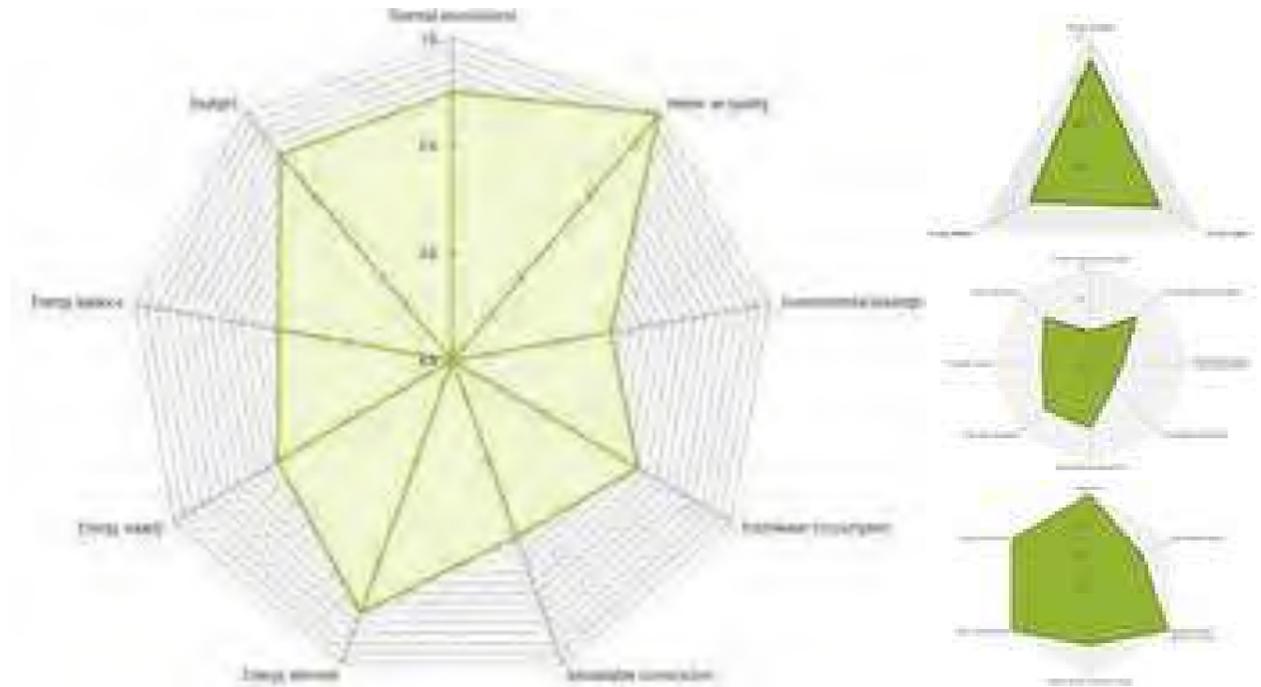


Si analizza in ultimo l'impatto totale dell'edificio attraverso il protocollo Active House. Fornito come foglio Excel, esso considera i seguenti aspetti dell'edificio:

- **ENERGIA:** vengono analizzati tutti i consumi dell'edificio come le apparecchiature elettriche, i macchinari di servizio elettrici, i carichi termici di riscaldamento e raffrescamento. Vengono poi successivamente valutati i contributi di produzione di energia rinnovabile in loco. In ultimo, viene effettuato un bilancio tra i due aspetti.
- **COMFORT INTERNO:** in questa categoria rientra un gran numero di parametri caratterizzanti il comfort interno degli occupanti. Si prende in considerazione il fattore di luce diurna medio e massimo, le ore di luce diretta del sole, le temperature operative estive ed invernali e la qualità dell'aria interna in estate e in inverno.
- **SOSTENIBILITÀ:** si valuta la sostenibilità dell'edificio in termini di materiali e costruzione. I parametri fondamentali sono il potenziale di riscaldamento globale (GWP), il potenziale di eliminazione dell'ozono (ODP), il potenziale di creazione dell'ozono fotochimico (POCP), il potenziale di acidificazione (AP), il potenziale di eutrofizzazione (EP), la riduzione nell'utilizzo di acqua dolce, la percentuale di riciclabilità e le fonti responsabili certificate.

Si ricorda che il protocollo Active House utilizzato è pensato generalmente per destinazioni d'uso residenziale. È quindi stato necessario riadattarlo al caso in questione.

Come output, viene fornito un radar complessivo e ulteriori tre radar più specifici sulle singole categorie. La maggior estensione dell'area coperta dal radar indica una migliore condizione dell'edificio. Si riportano i grafici dell'edificio oggetto di studio.



I risultati ottenuti sono molto soddisfacenti se contestualizzati alla particolare condizione in cui si trova l'edificio. Leggendo i dati, occorre ricordare alcuni aspetti caratterizzanti il sito di progetto, in particolare:

- **Thermal environment:** l'ottimo risultato è stato ottenuto grazie al sistema di riscaldamento radiante a bassa entalpia che garantisce sempre una temperatura ottimale. Si ricorda che non è previsto un sistema di raffreddamento.
- **Indoor air quality:** valore molto alto, dovuto in particolar modo alla progettazione del sistema di ventilazione meccanica a portata variabile e funzionante in continuo negli orari di apertura.
- **Environmental loadings:** il life cycle assessment (LCA) restituisce valori piuttosto bassi a causa della poca disponibilità di materiali in Islanda. Tuttavia, se si tenesse in considerazione la scelta più vantaggiosa in termini ambientali, tale valore potrebbe essere notevolmente incrementato.
- **Freshwater consumption:** valutato parzialmente sulla base dei pochi dati islandesi.
- **Sustainable construction:** valutato parzialmente sulla base dei pochi dati islandesi.
- **Energy demand:** risultato molto buono in accordo con il basso valore di riscaldamento richiesto e la fonte geotermica di approvvigionamento.
- **Energy supply:** come già accennato, a causa dell'alta latitudine del paese, risulta sconveniente l'installazione di sistemi fotovoltaici o solare termico. Si utilizza quindi un sistema eolico con capacità e rendimenti totali ben diversi dalle soluzioni convenzionali.
- **Energy balance:** valore non così promettente a causa dell'incertezza dell'eolico. Tuttavia, considerando che la maggior parte della corrente elettrica del sistema nazionale islandese è prodotta da centrali geotermiche ad alta temperatura, questo valore è da considerarsi sottovalutato.
- **Daylight:** valore molto alto poiché il sistema valuta i valori medi e massimi, senza interessarsi eccessivamente dei minimi.



COMFORT LUMINOSO

La grande vicinanza dell'Islanda al circolo polare artico comporta una dovuta attenzione al controllo luminoso dell'edificio. Si sono eseguite numerose analisi illuminotecniche per massimizzare la quantità di luce nei mesi più freddi, tenendo in considerazione l'abbagliamento dovuto alla luce orizzontale. Si è quindi ricorsi allo studio di facciate dinamiche per controllare il comportamento della luce nei diversi periodi dell'anno.

STUDIO ILLUMINOTECNICO

Il comfort degli utenti dell'edificio è dato dalle condizioni dell'ambiente, come la temperatura e l'umidità. Anche la luce gioca un ruolo fondamentale per l'uomo, soprattutto a latitudini particolarmente elevate come l'Islanda.

L'illuminazione all'interno di un ambiente deve assolvere principalmente le seguenti funzioni:

- sicurezza di movimento: associata alla visibilità degli oggetti e alla percezione degli ostacoli;
- prestazioni visive: consentono lo svolgimento di semplici azioni in condizioni adeguate;
- comfort visivo: rendono piacevole la permanenza all'interno dell'ambiente.

Il progetto illuminotecnico deve inoltre essere coerente con le caratteristiche dell'edificio e con le funzioni dei diversi ambienti. I requisiti del comfort visivo che sono stati presi in considerazione sono:

- distribuzione delle luminanze coerente per ciascun locale;
- uniformità di illuminamento;
- assenza di abbagliamento.

I parametri prestazionali qualitativi e quantitativi che permettono di capire il comportamento della luce e il relativo comfort interno sono:

1. il rapporto aero-illuminante RAI, ovvero il rapporto fra le superfici aeranti / illuminanti e la superficie calpestabile. Ne sono escluse le aperture poste tra il pavimento e 80 cm di profondità. Un rapporto superiore a 1/8 favorisce il benessere visivo.
2. il livello di illuminamento, definito come il flusso luminoso che colpisce una superficie in un determinato ambiente e si misura in lumen/m². L'illuminamento influenza la capacità dell'individuo di percepire piccoli dettagli ad una data distanza e la sua velocità di percezione.
3. il fattore medio di luce diurna FLD_m, parametro utilizzato per controllare la ripartizione della luce naturale all'interno dell'ambiente. Viene definito come il rapporto tra l'illuminamento medio rivelato all'interno dell'ambiente E_m e l'illuminamento medio E₀ che si ha nelle stesse condizioni di tempo e spazio, su una superficie orizzontale esterna che riceve luce naturale dall'intera volta celeste senza irraggiamento solare diretto.

Entrando nel dettaglio del progetto, vista la sua vicinanza al circolo polare artico, la luce gioca sicuramente un ruolo molto importante in tutta l'Islanda. La particolare posizione geografica dell'isola rende le giornate estive lunghissime e le notti invernali praticamente inesistenti.

A Reykjavík, si passa quindi dalle 3 ore di buio dell'estate alle 4-5 ore di sole in inverno.

Se ci si sposta verso il nord invece, come ad esempio a Reykjafljó, la piccola località che si trova vicino all'area di progetto, si ha appena un'ora e mezza di buio in estate e 3 ore di luce a dicembre-gennaio. Questa particolarità dell'Islanda permette tuttavia di godere di alcuni dei fenomeni atmosferici unici e suggestivi come il Sole di Mezzanotte e l'Aurora Boreale.

Il sole di mezzanotte è un fenomeno che si verifica a nord del circolo polare artico, quando, durante i mesi estivi, il sole non tramonta mai del tutto. L'Islanda, che si trova poco più a sud del circolo polare artico, ha solo un giorno in cui il sole non tramonta, ovvero il 21 giugno. Nel restante periodo estivo il tramonto avviene intorno alla mezzanotte con il sole che sorge nuovamente un paio d'ore dopo.

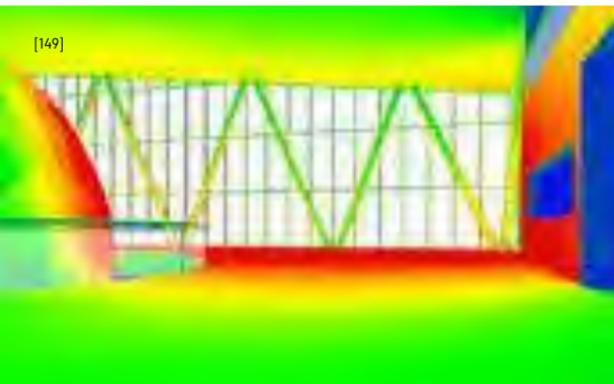
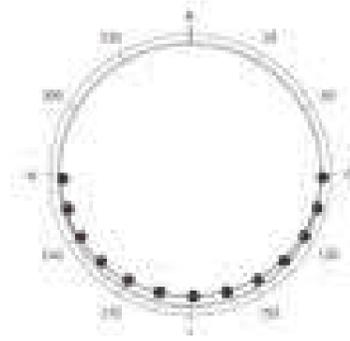
Un problema legato alla gestione della luce naturale negli edifici che può verificarsi in Islanda, soprattutto nel periodo invernale, è quello dell'abbagliamento. Infatti, in questo periodo, il sole risulta essere sempre molto basso. Per questo motivo, è stata studiata una soluzione innovativa per evitare che tale fenomeno gravi sul comfort luminoso. La strategia sarà illustrata nelle pagine successive.

Di seguito viene presentato uno studio illuminotecnico sviluppato con il software Velux Daylight Visualizer attraverso il quale sono stati calcolati gli apporti luminosi in termini di lux nei giorni più significativi degli anni, in corrispondenza di equinozi e solstizi.

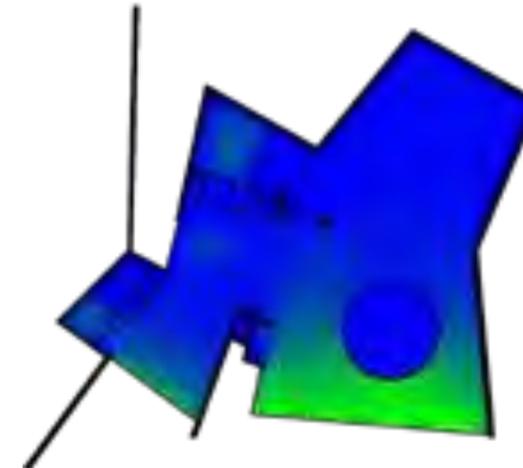
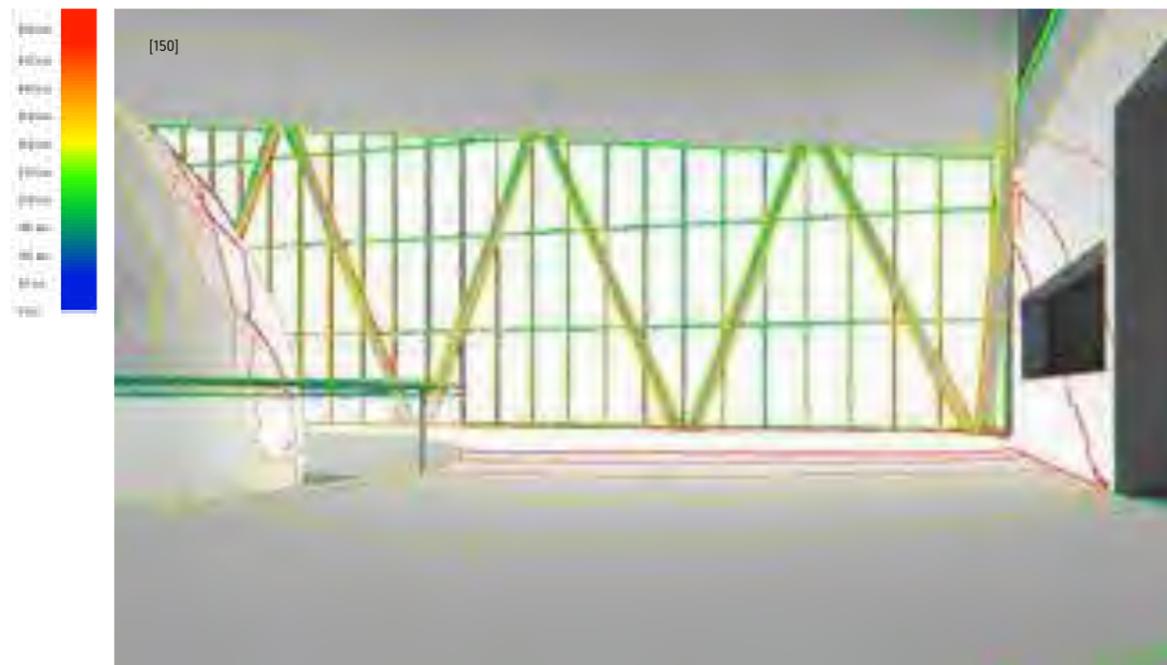
EQUINOZIO DI PRIMAVERA

21 MARZO

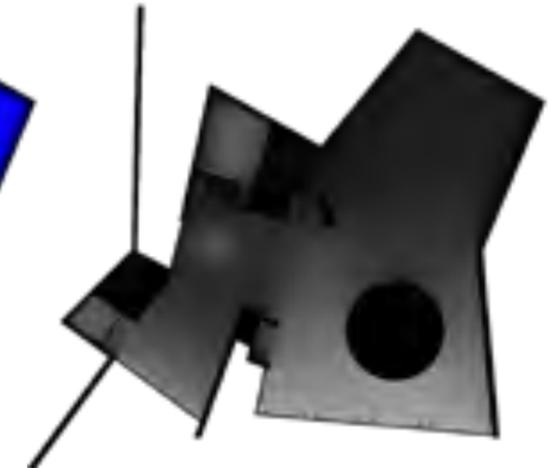
Coordinate: 65°37'53.0" N 16°55'35.5" W
 Alba: 08:07 (90°)
 Tramonto: 20:25 (270°)
 Altezza solare h12.00: 23°
 Durata del giorno: 12h 18'



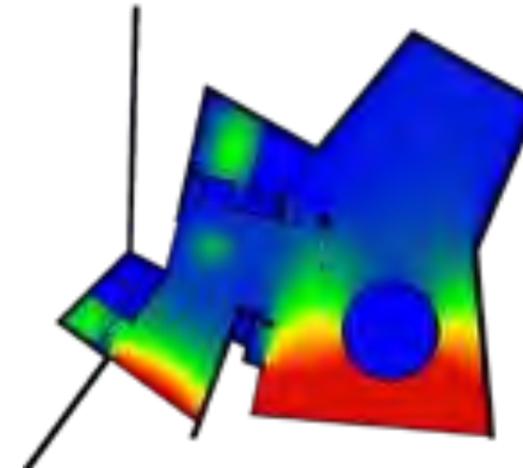
Durante l'equinozio di primavera si registra un buon grado di illuminamento fin dalle prime ore della giornata, soprattutto nel corpo est. A mezzogiorno, la luce solare penetra in profondità dello spazio espositivo, arrivando quasi a metà, mentre illumina completamente la sala principale del ristorante. Nel pomeriggio invece, l'illuminazione è maggiormente concentrata nel blocco ovest, da cui si può osservare il tramonto. Già in questo periodo dell'anno i lucernari offrono un considerevole contributo agli ambienti retrostanti, portando luce zenitale dove non è stato possibile prevedere finestre classiche.



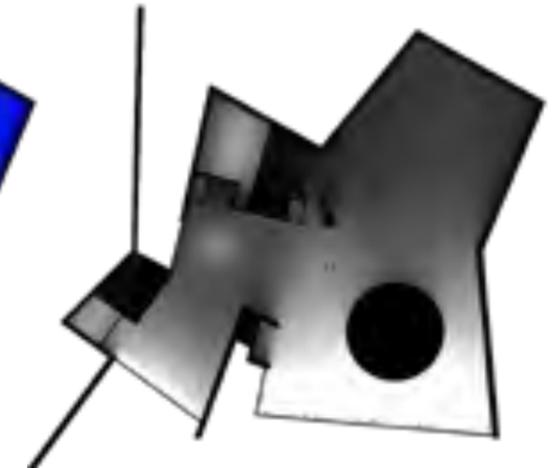
h 9:00 illuminamento



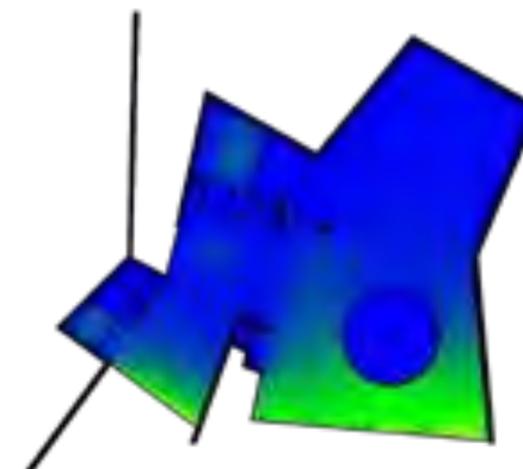
h 9:00 bagliore interno



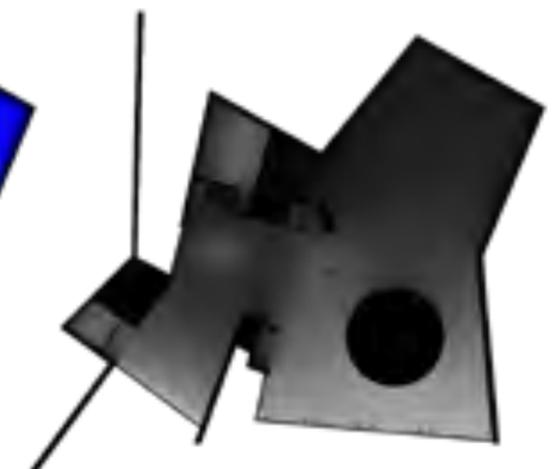
h 12:00 illuminamento



h 12:00 bagliore interno



h 16:00 illuminamento

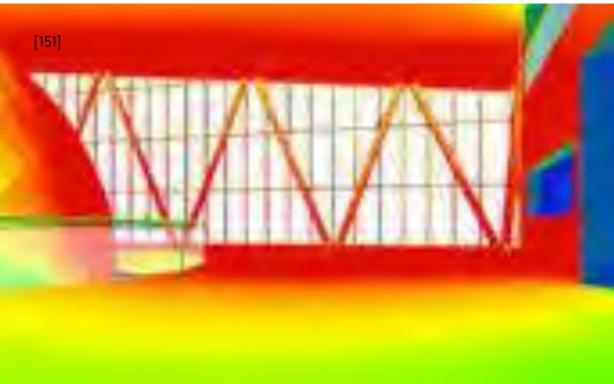
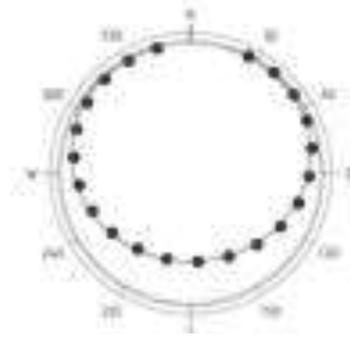


h 16:00 bagliore interno

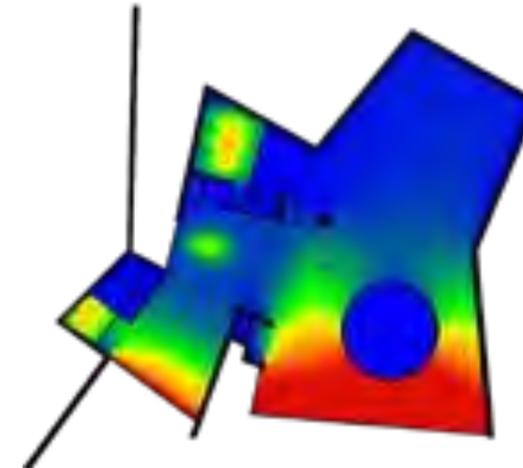
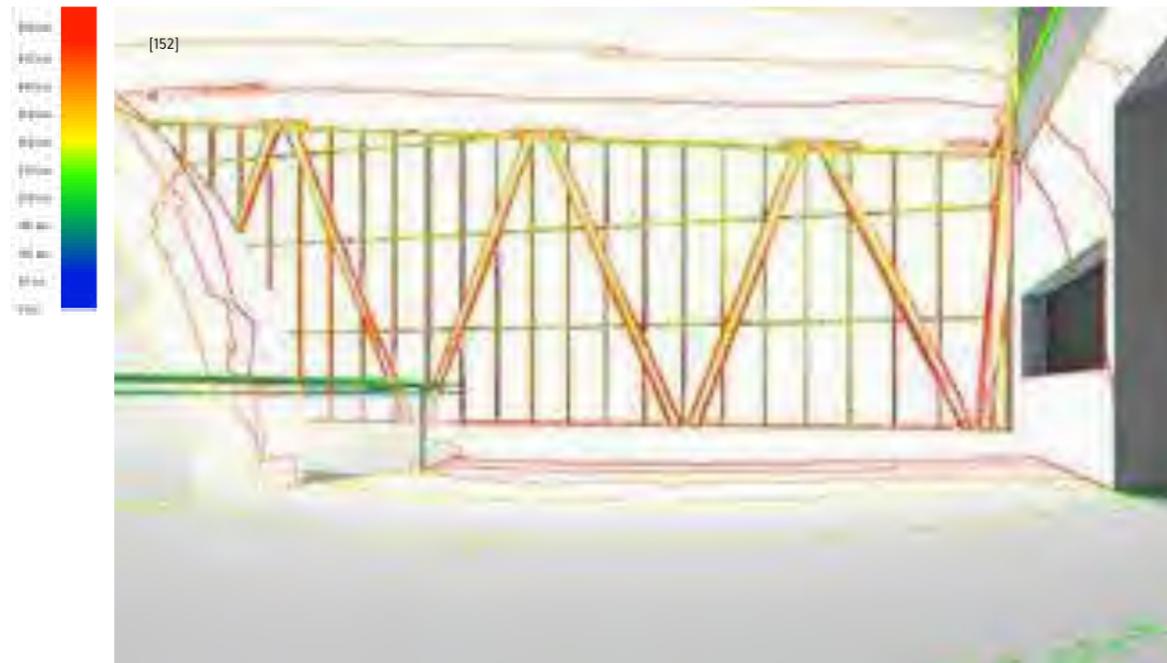
SOLSTIZIO D'ESTATE

21 GIUGNO

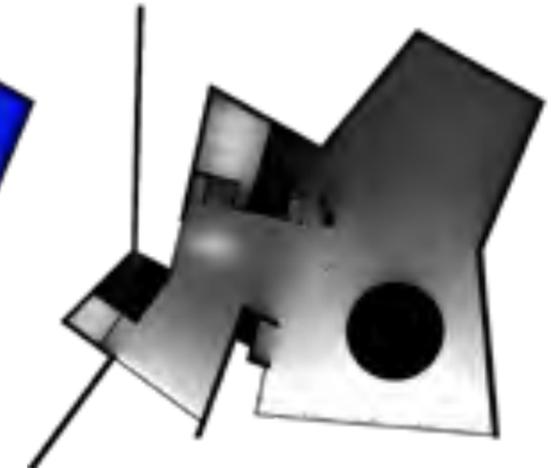
Coordinate: 65°37'53.0" N 16°55'35.5" W
 Alba: 03:31
 Tramonto: 02:49
 Altezza solare h12.00: 48°
 Durata del giorno: 23h 18'



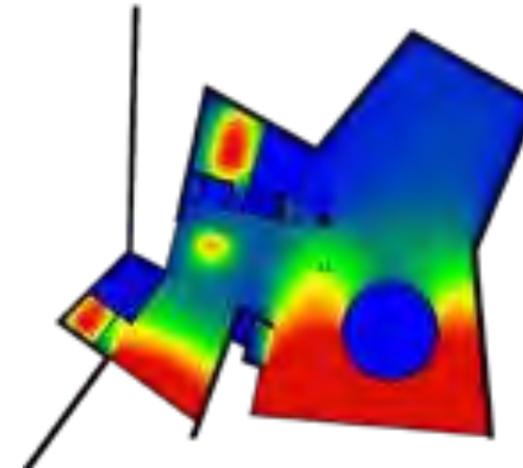
Durante il solstizio d'estate, il sole tramonta per soli 45 minuti circa. Risulta quindi evidente che già alle nove del mattino l'illuminazione sia ampiamente diffusa in tutto il piano terra, effetto poi amplificato a mezzogiorno. In quest'ora della giornata il sole è alla sua massima altezza solare, pari a 48° e quindi i lucernari ricevono un'alta porzione di luce solare. In ultimo, nel pomeriggio il sole si sposta a ovest, continuando ad illuminare il ristorante. Inoltre, la luce si riflette e si diffonde attraverso i lucernari.



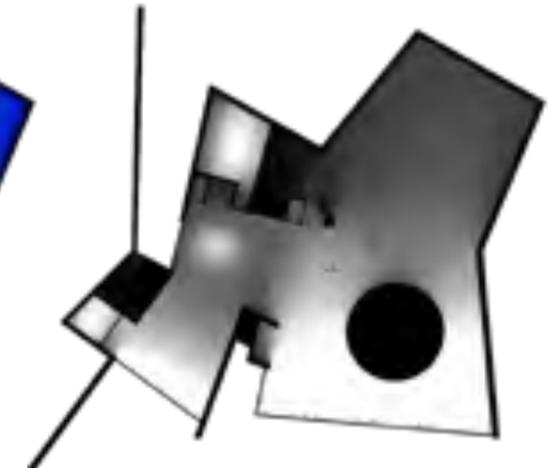
h 9:00 illuminamento



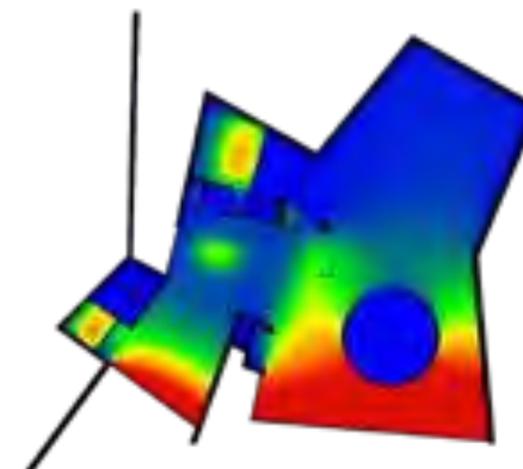
h 9:00 bagliore interno



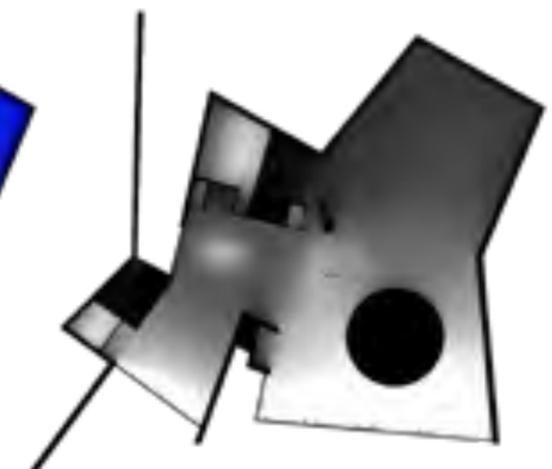
h 12:00 illuminamento



h 12:00 bagliore interno



h 16:00 illuminamento

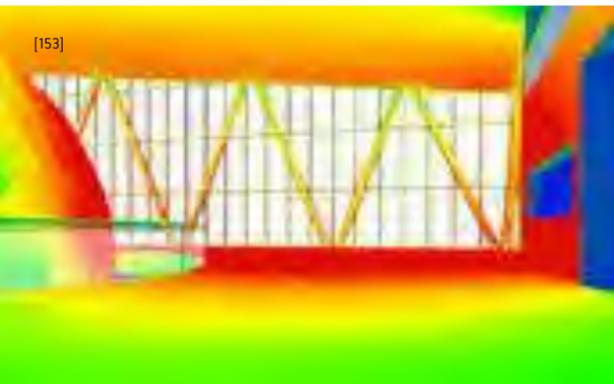
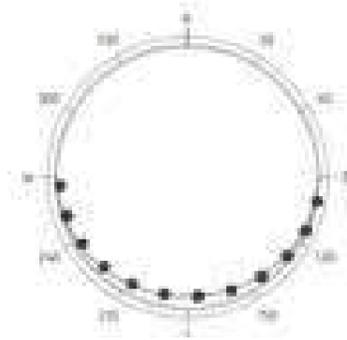


h 16:00 bagliore interno

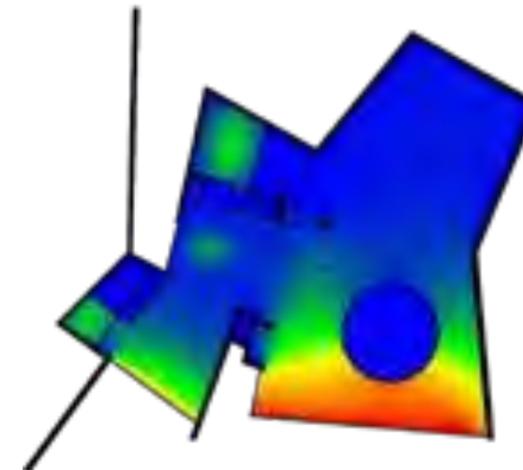
EQUINOZIO DI AUTUNNO

21 SETTEMBRE

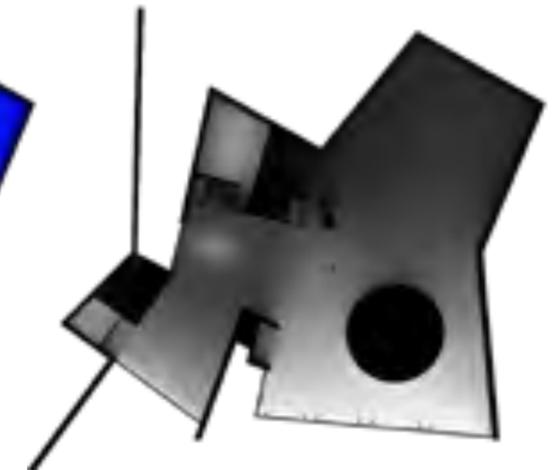
Coordinate: 65°37'53.0" N 16°55'35.5" W
 Alba: 08:46 (88°)
 Tramonto: 21:17 (270°)
 Altezza solare h12.00: 23°
 Durata del giorno: 12h 31'



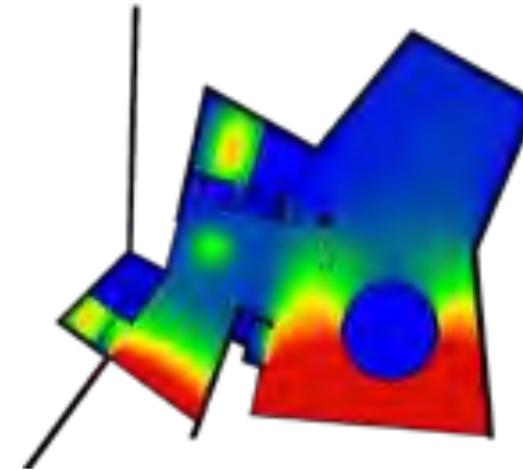
Analogamente a quanto detto per l'equinozio di primavera, durante quello di autunno la luce illumina gradualmente in profondità i vari ambienti. In questo caso, vi è una maggior uniformità tra le varie ore del giorno che conferisce un maggior comfort ai lavoratori dell'edificio. Il ristorante, ancora una volta, rimane illuminato anche nel pomeriggio, orario in cui si presuppone ci sia la maggior affluenza di persone.



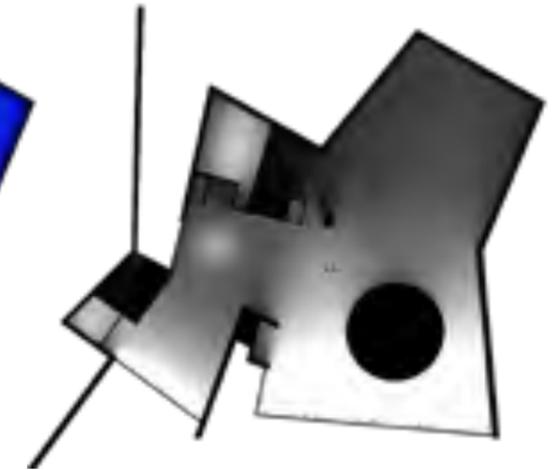
h 9:00 illuminamento



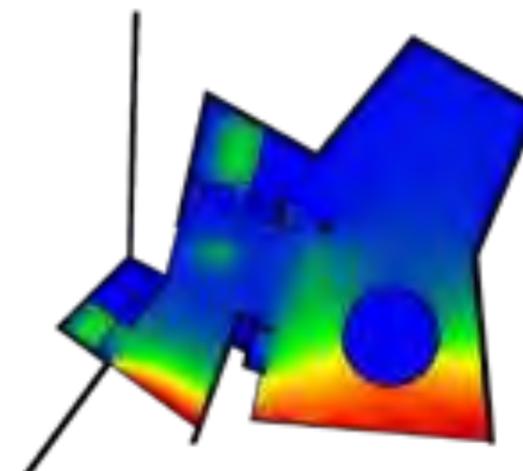
h 9:00 bagliore interno



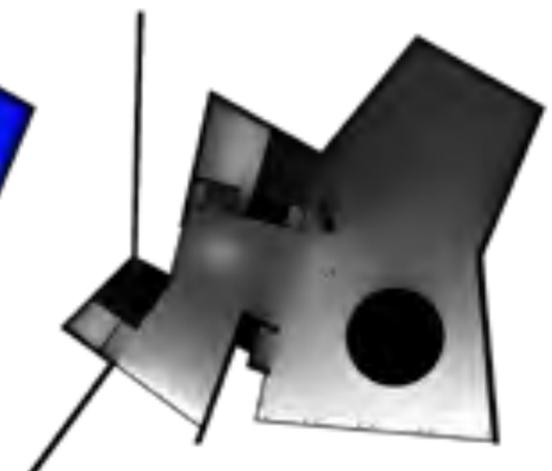
h 12:00 illuminamento



h 12:00 bagliore interno



h 16:00 illuminamento

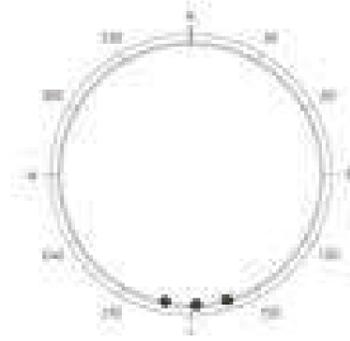


h 16:00 bagliore interno

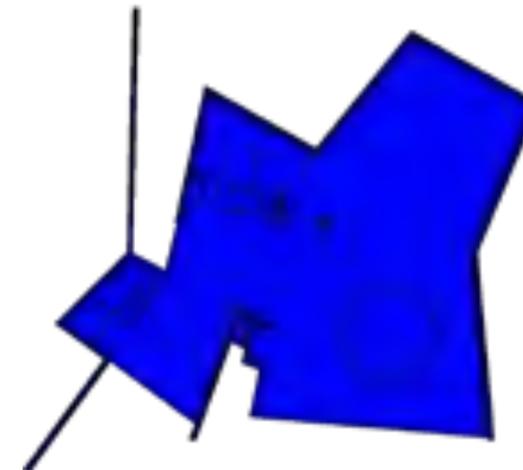
SOLSTIZIO D'INVERNO

21 DICEMBRE

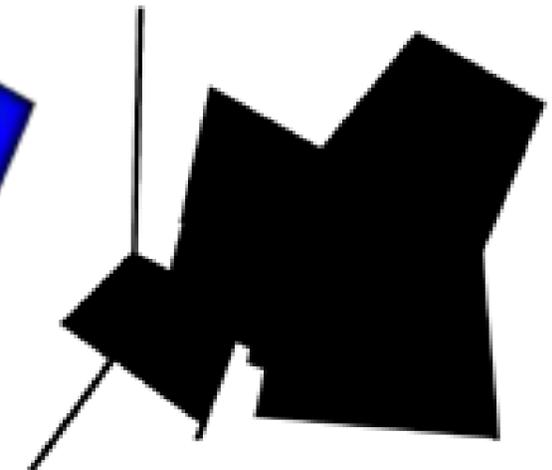
Coordinate: 65°37'53.0" N 16°55'35.5" W
 Alba: 12:34 (165°)
 Tramonto: 15:39 (195°)
 Altezza solare h12.00: 1°
 Durata del giorno: 03h 05'



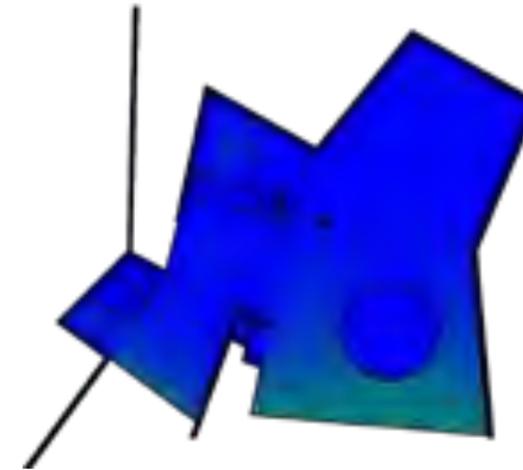
Risulta evidente che durante il solstizio d'inverno le ore di luce siano talmente poche da garantire un adeguato illuminamento agli ambienti interni. Infatti, in questo periodo dell'anno il sole è sopra l'orizzonte per sole tre ore. Si nota infatti un'esigua fascia luminosa a mezzogiorno che illumina principalmente i primi metri del corpo est. Per altezze solari così esigue, i lucernari non riescono a contribuire all'illuminazione. Occorrerà utilizzare l'illuminazione artificiale per la maggior parte delle ore di apertura dell'edificio. Di contro, sarà possibile osservare le aurore boreali dalle vetrate e vedere i lucernari illuminati di colori tendenti al verde.



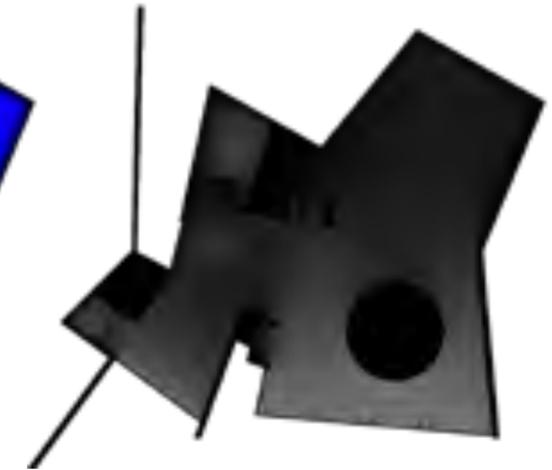
h 9:00 illuminamento



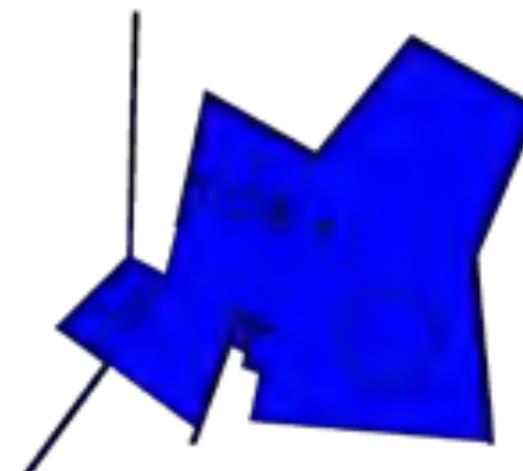
h 9:00 bagliore interno



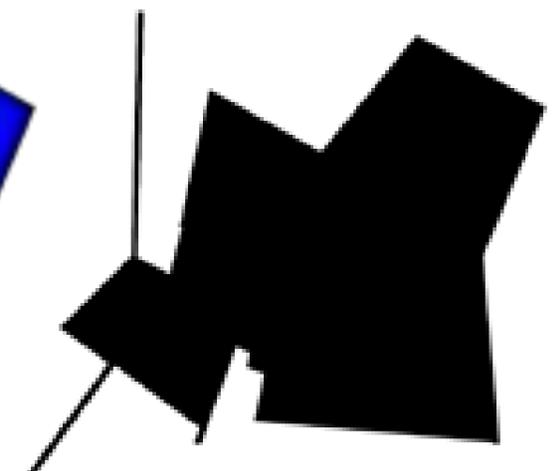
h 12:00 illuminamento



h 12:00 bagliore interno



h 16:00 illuminamento



h 16:00 bagliore interno



IL PROBLEMA DELL'ABBAGLIAMENTO

La necessità di adottare una facciata adattiva per l'edificio oggetto di studio nasce dalla particolare condizione climatica in cui l'Islanda si trova.

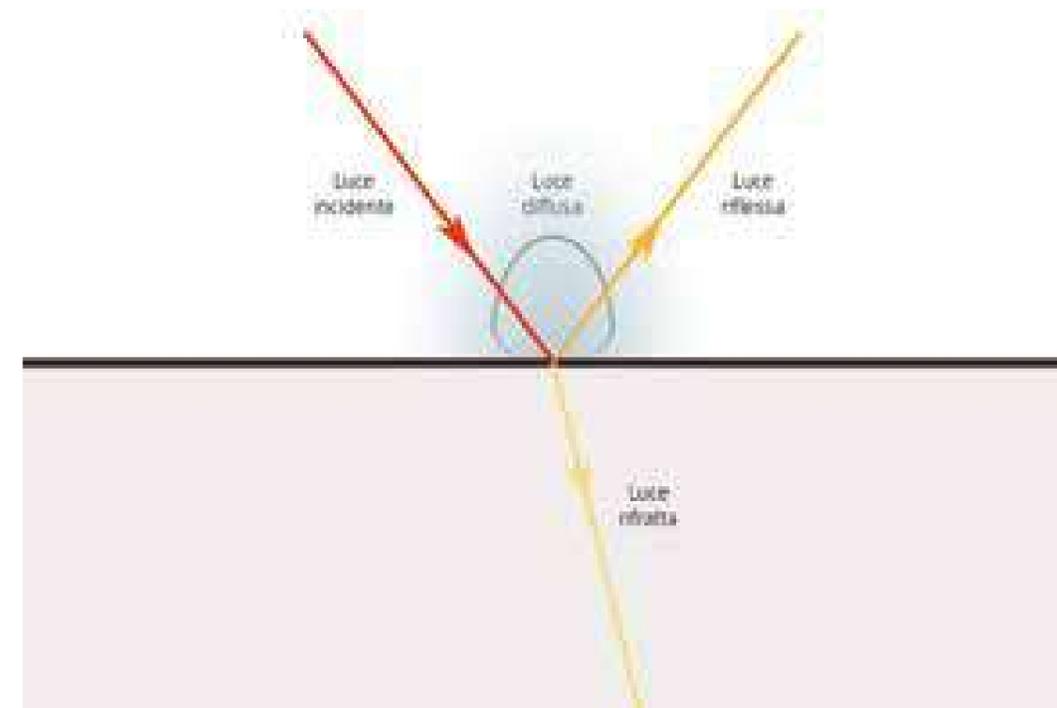
Come già accennato nell'analisi climatica e come riportato nella definizione impiantistica dell'edificio, il sito di progetto necessita di una stagione di riscaldamento che corrisponde circa all'intero anno. Non vi sono quindi rischi di surriscaldamento interno dovuti alla radiazione solare o agli scambi termici con l'ambiente. Di contro, l'altezza solare e le lunghe durate del giorno possono dare luogo a fenomeni di abbagliamento all'interno dell'edificio.

Ne risulta che la soluzione di involucro da adottare deve rispondere a criteri di massimizzazione degli apporti gratuiti e protezione dell'abbagliamento, ossia non deve ridurre la quantità di calore altrimenti introdotta attraverso le superfici trasparenti, ma deve modificarne l'entità.

È chiaro quindi che la schermatura dovrà essere applicata all'interno dell'ambiente, cercando di guadagnare il più possibile dagli apporti solari gratuiti.

La luce, come tutte le onde elettromagnetiche in corrispondenza di un ostacolo, interagisce con la materia dando origine a diversi comportamenti possibili. I più noti e rilevanti sono:

- **RIFLESSIONE:** un raggio luminoso che incontra un ostacolo cambia direzione rimanendo nello stesso mezzo di propagazione originale. In base all'omogeneità del materiale, la riflessione può essere riflessa in modo speculare o in modo diffuso.
- **RIFRAZIONE:** si intende per rifrazione la deviazione dell'onda elettromagnetica quando essa cambia mezzo di propagazione. L'angolo di rifrazione con cui il raggio si propaga in seguito alla rifrazione dipende dalla natura dei due mezzi di propagazione e dall'angolo di incidenza.
- **ASSORBIMENTO:** la parte della radiazione elettromagnetica che non è propagata in altre maniere viene assorbita dal materiale, aumentando di temperatura a causa dell'azione dei fotoni.



Per eliminare i problemi di dis-comfort visivo dovuti all'abbagliamento dalla luce solare e contemporaneamente mantenere la quantità di apporti solari gratuiti e la quantità di luce necessaria all'interno dei locali, occorre che il vetro sia in grado di modificare la sua trasparenza. Si ricorda che il fenomeno di abbagliamento che si vuole ridurre è inteso unicamente per la frazione visibile della radiazione solare. La parte a lunghezza d'onda maggiore, ossia l'infrarosso, non è fonte di problemi di abbagliamento.

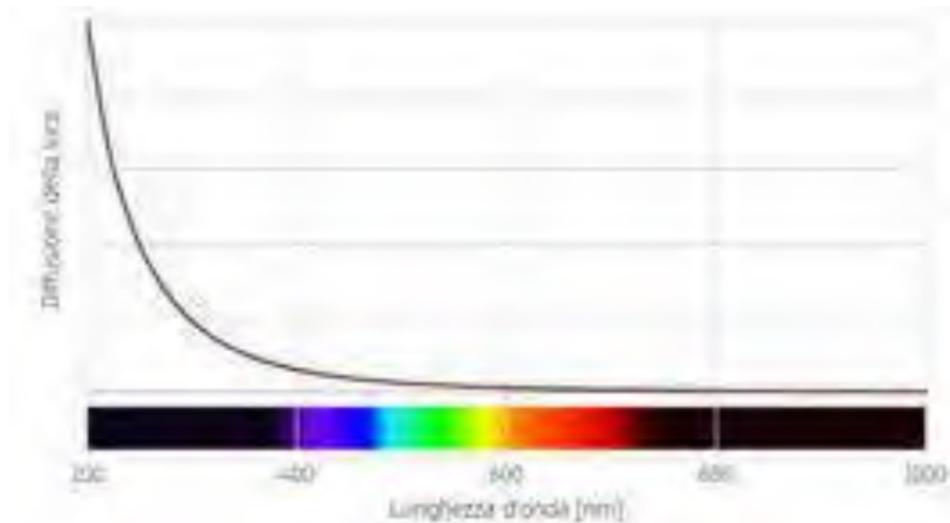
Si decide di lavorare direttamente sulla facciata continua dell'edificio, al fine di minimizzare l'impatto estetico e fisico a livello architettonico dato da una schermatura interna e garantire allo stesso tempo una totale trasparenza nei periodi in cui il sistema non sarà attivo.

Se si variano le proprietà ottiche del vetro attraverso l'applicazione di un materiale sulla faccia interna della vetrata, si possono infatti raggiungere i seguenti risultati:

- **DIFFUSIONE DELLA LUCE:** la luce diretta incidente viene trasmessa dalla vetrata in maniera diffusa e non più diretta. L'effetto che si ottiene è di non riconoscere più l'oggetto da cui è originario il fascio luminoso ma disporre di una superficie luminosa tendenzialmente opaca.
- **APPORTI SOLARI GRATUITI:** l'applicazione della soluzione sulla faccia interna permette di non ostacolare la frazione termica entrante. Tuttavia, si potrebbe verificare una piccola variazione dovuta al riscaldamento della facciata e al successivo irraggiamento esterno. Come si vedrà successivamente, questa mutazione è piccola in quanto si riferisce a lunghezze d'onda diverse da quelle del visibile.

Occorre quindi disporre di un sistema, attivo o passivo, che sia in grado di modificare le proprie proprietà ottiche in base ad uno stimolo esterno e in particolare che possa modificare la riflessione della radiazione visibile da speculare a diffusa.

LO SCATTERING



Le regole e le equazioni che governano la diffusione ottica o scattering sono molto complesse e non sempre riescono a dare una soluzione esatta al problema. Esistono tre teorie che descrivono il fenomeno di scattering, che differiscono per il rapporto tra la dimensione della particella D e la lunghezza d'onda della luce incidente λ :

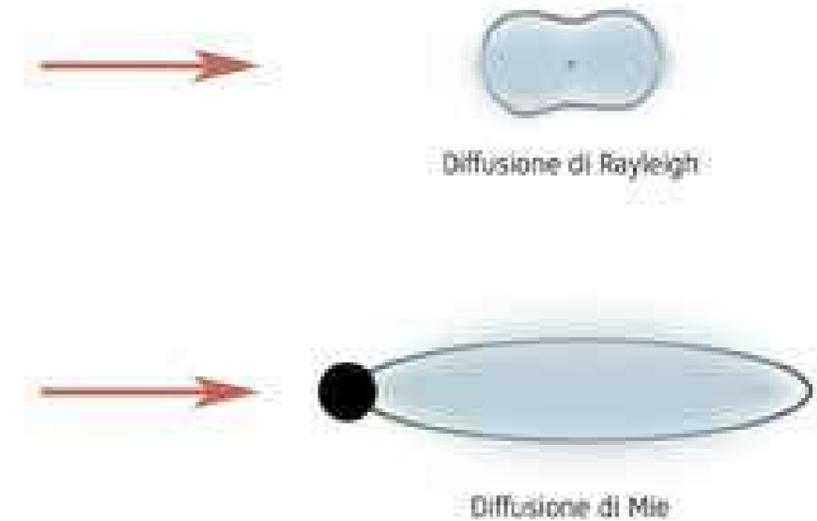
$$\alpha = \pi \cdot D / \lambda$$

- $\alpha \ll 1$: Rayleigh scattering (particelle piccole rispetto alla lunghezza d'onda della luce). Il motivo per cui il cielo risulta essere blu di giorno e rosso al tramonto è dovuto a questo effetto in quanto le particelle di gas dell'atmosfera sono piccole rispetto alla lunghezza d'onda.
- $\alpha \approx 1$: Mie scattering (particelle dello stesso ordine di misura della lunghezza d'onda della luce). Il motivo per cui le nuvole sono grigie o bianche è dovuto a questo effetto in quanto le particelle d'acqua sospese sono grandi circa come la lunghezza d'onda. Per particelle piccole rispetto alla lunghezza d'onda della luce, lo scattering di Mie diventa come quello di Rayleigh.
- $\alpha \gg 1$: Scattering geometrico (particelle grandi rispetto alla lunghezza d'onda della luce). In questo caso le leggi dell'ottica sono sufficienti a descrivere il fenomeno e si parla meno di diffusione.

Nel caso semplificato di diffusione singola, ossia la porzione di luce uscente è stata deviata per la maggior parte da un solo ostacolo, le leggi che governano il fenomeno si semplificano.

È ragionevole pensare che nel caso di applicazione di una pellicola sottile sul vetro, il fenomeno di scattering sia singolo.

Poiché la luce che occorre fermare è solo la parte di visibile, quindi quella che spazia tra i 400 e 780 nm di lunghezza d'onda, le leggi che andranno a descrivere il fenomeno seguiranno la diffusione di Rayleigh.



Un'ulteriore differenza tra la diffusione di Mie e quella di Rayleigh consiste nella diversa dipendenza angolare dei due. Come si vede infatti dalla figura soprastante, la diffusione di Mie è più concentrata su angoli di scattering piccoli e quindi appare come più direzionata. Al contrario, la diffusione di Rayleigh appare come più omogenea e indipendente dall'angolo.

Rayleigh nella forma semplificata si analizza con la seguente formula:

$$I / I_0 = (1 + \cos^2 \theta) / 2R^2 \cdot (2\pi / \lambda)^4 \cdot (n^2 - 1)^2 / (n^2 + 2)^2 \cdot (d / 2)^6$$

dove:

- I/I_0 è il rapporto di luce diffusa su quella incidente;
- θ è l'angolo di scattering;
- R è la distanza tra la particella e l'osservatore;
- λ è la lunghezza d'onda della luce incidente;
- n è l'indice di rifrazione della particella;
- d è il diametro della particella.

Dal secondo termine della formula, è evidente come questo rapporto sia fortemente dipendente dalla lunghezza d'onda λ (potenza alla quarta), come visibile dal grafico.

Il range per la frazione visibile (tra i 400 e 780 nm) è particolarmente rilevante in quanto permette una certa selettività nella scelta delle lunghezze d'onda da diffondere in modo diretto piuttosto che diffuso. Dalla diffusione di Rayleigh si nota anche la forte dipendenza dal diametro della sfera (potenza sesta) che, in caso di superficie continua va relazionata con la densità di particelle. Si deduce che un piccolo cambiamento in questo valore possa significativamente modificare il comportamento del materiale.

LA FACCIATA DINAMICA

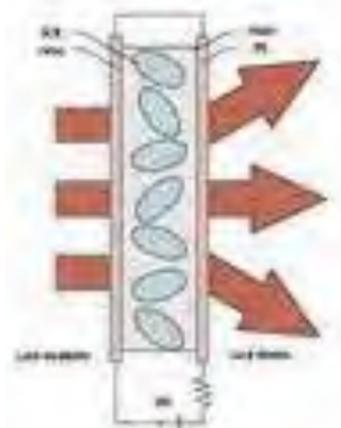
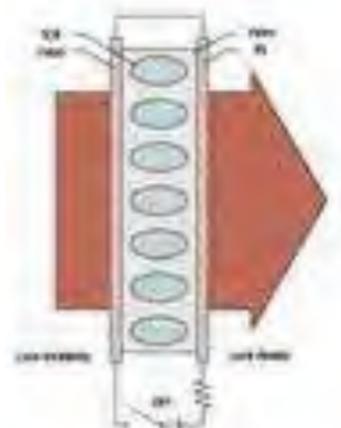
Occorre ora trovare la soluzione che meglio si presti a soddisfare tali prestazioni e caratteristiche, ossia un materiale che con un semplice impulso esterno possa cambiare il diametro e/o la densità delle particelle cui è composto. Tale materiale deve soddisfare poi le caratteristiche ottiche classiche di una superficie trasparente. Ciò è ottenibile facendo variare il grado di ordine delle particelle all'interno della struttura, processo più facilmente ottenibile rispetto alla variazione di densità e/o diametro.

Si analizzano le diverse tecnologie di Smart Glasses disponibili, ricorrendo infine all'utilizzo di cristalli liquidi termotropici, che permettono di modificare la trasparenza della vetrata al variare della temperatura a cui si trovano con diversi gradi d'ordine. I differenti stati di allineamento dei cristalli al suo interno e il progressivo aumento della temperatura del materiale provocano l'agitazione delle molecole che rompe il legame cristallino che lo compone, come visibile a lato.

In ordine crescente di temperatura si creano le seguenti fasi:

- FASE SOLIDA CRISTALLINA: caratterizzata da un ordine posizionale tridimensionale delle molecole e da un ordine orientazionale delle stesse. Richiede il passaggio di stato e quindi una certa quantità di energia latente.
- FASE SMETTICA: caratterizzata da un ordine simile alla fase solida cristallina ma in cui si perde lo stato di solido a favore di uno liquido.
- FASE NEMATICA: fase intermedia tra quella ordinata e quella disordinata. Le molecole presentano un ordine direzionale, ma sono in grado di agitarsi.
- FASE LIQUIDA ISOTROPA: caratterizzata da completo disordine di posizione e di orientamento delle molecole.

L'ingegnerizzazione del materiale prevede quindi la ricerca della dimensione e della concentrazione delle particelle scatteranti in modo da massimizzare la differenza tra frazione del visibile e frazione del vicino infrarosso.



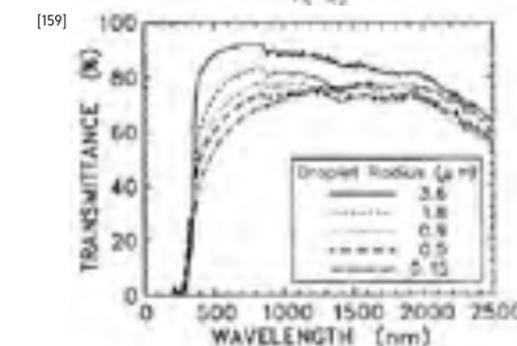
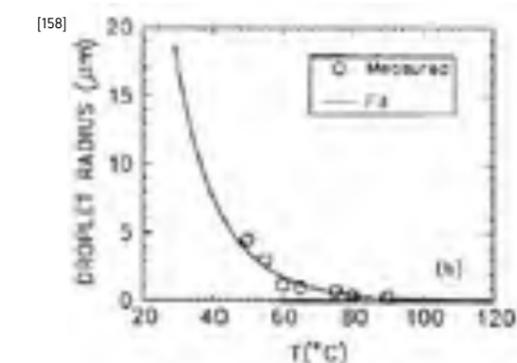
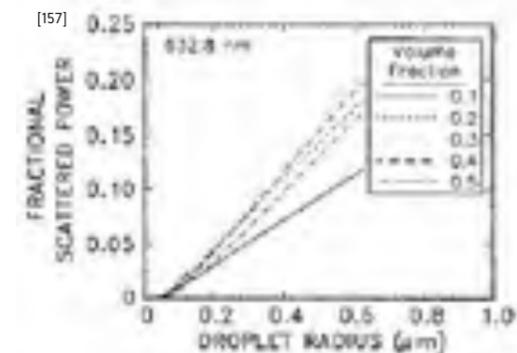
In letteratura, esistono diversi studi riguardo all'utilizzo di cristalli liquidi di tipo PDLC (Polymer dispersed liquid crystals - Cristalli liquidi dispersi in polimeri), che studiano la dipendenza del raggio delle particelle al variare della percentuale di luce diffusa, della temperatura e della trasmissione luminosa. Il materiale più promettente e quello su cui sono stati fatti più studi è il cristallo liquido 5CB (nome commerciale del 4-Cyano-4'-pentylbiphenyl) disperso nel polistirene PS.

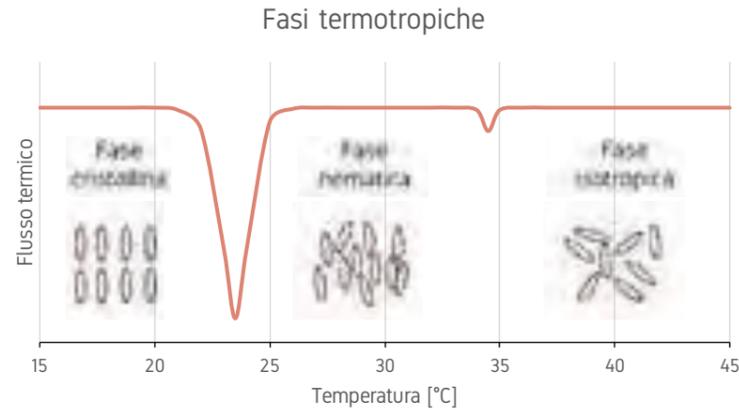
Si riportano i valori principali per entrambi i materiali:

| | 5CB | PS | U.M. |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Densità | 1008 | 1047 | g/cm ³ |
| Costante dielettrica relativa | 10 | 2.5 | adm |
| Conducibilità elettrica | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ | S/m |
| Conducibilità termica | 0.12-0.24 | 0.11 | W/mK |
| Calore specifico | 1250 | 1450 | J/KgK |

Le medie per due soluzioni ad 85% 5CB + 15% PS e 73% 5CB + 27% PS risultano pertanto:

| | 5CB _{85%} PS _{15%} | 5CB _{73%} PS _{27%} | U.M. |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Densità | 1013.9 | 1018.5 | g/cm ³ |
| Calore specifico | 1280.0 | 1304.0 | J/KgK |





È possibile calcolare il diametro ottimale e la densità di cristalli liquidi per ottenere un vetro trasparente quando le particelle non sono eccitate e opacizzare il vetro quando sottoposto a calore per via di resistenze metalliche. Il materiale descritto è prodotto come pellicola dello spessore di circa 120 μm applicabile su un comune vetro. Il calore necessario per opacizzare il vetro è calcolabile come:

$$Q = \rho \cdot s \cdot C_p \cdot \Delta T = [10^{-6}] \cdot 1013.9 \cdot 120 \cdot 1280.0 \cdot 15 = 2336 \text{ J/m}^2 = 0.65 \text{ Wh/m}^2$$

dove:

ρ è la densità del composto 5CB_{85%}PS_{15%} [g/cm³];

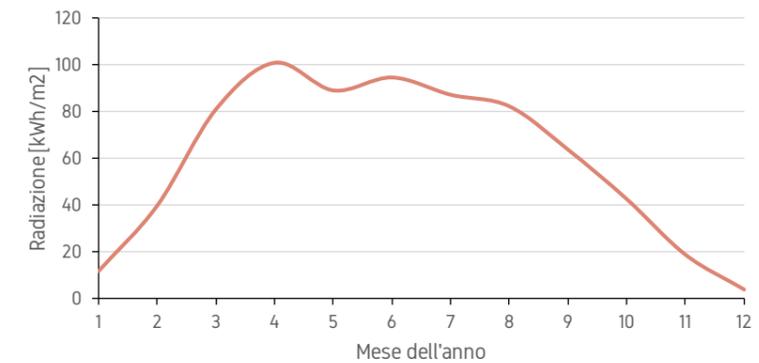
s è lo spessore dello strato [120 μm];

C_p è il calore specifico del composto 5CB_{85%}PS_{15%} [J/KgK];

ΔT è la differenza tra la temperatura ambiente e la temperatura di cambio fase [°C].

Occorre notare come tale energia sia quella necessaria ad innalzare la temperatura per opacizzare il vetro. È ragionevole pensare che una volta opacizzato il vetro, aumenti leggermente il coefficiente di assorbimento della frazione infrarossa della luce incidente. Se ne deduce che il vetro opacizzato possa permanere nel suo stato, sfruttando la semplice energia solare incidente e irraggiandone una parte verso l'interno. Di conseguenza, quando viene meno la luce diretta del sole, il materiale non ha più la fonte di energia per permanere nello stato opaco e quindi gradualmente torna allo stato trasparente. In ultimo, non si presentano presunti problemi di cambiamento di fase liquido - solido del materiale. Infatti, se pur la temperatura scendesse a sufficienza da fare solidificare il materiale, esso cambierebbe stato in uno ancora più ordinato (solido cristallino) e quindi la trasparenza del vetro sarebbe ulteriormente aumentata. Il solo problema che si registrerebbe sarebbe un notevole aumento di energia richiesto per riportare il materiale nello stato iniziale. Tuttavia, viste le esigue porzioni di potenza ed energia in gioco, ciò non aumenterebbe sensibilmente il bilancio del sistema.

Radiazione mensile su superficie verticale



Si considera ora l'applicazione della soluzione sulle facciate esposte a Sud dell'edificio oggetto di studio.

Tali vetrate hanno la seguente superficie:

Facciata continua - Blocco Est: 214 m²

Facciata continua - Blocco Ovst: 41 m²

E quindi, considerando i calcoli al paragrafo precedente, il calore necessario è pari a:

Facciata continua - Blocco Est: 139 Wh

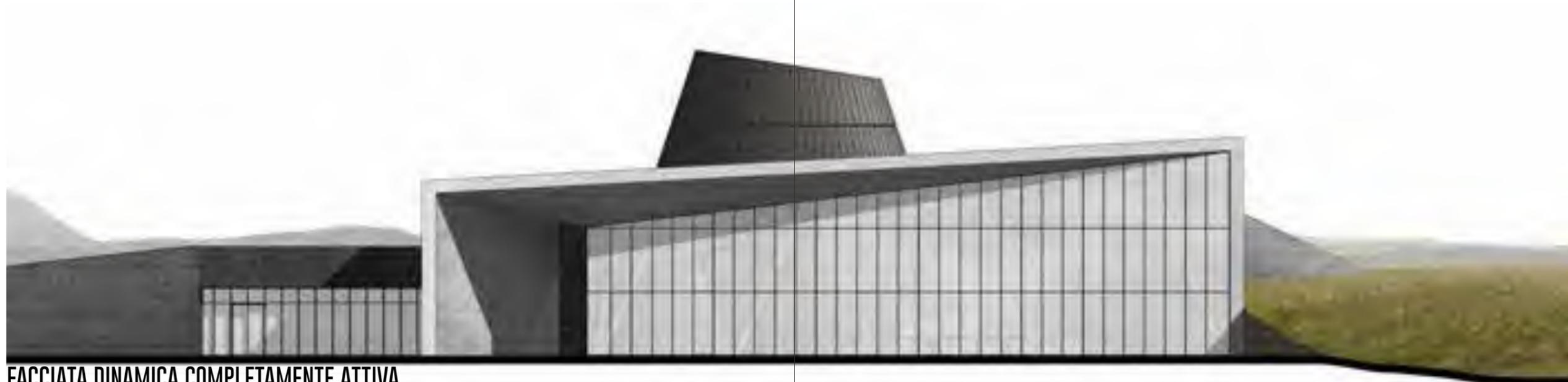
Facciata continua - Blocco Ovst: 27 Wh

Si può ipotizzare l'introduzione di un pannello fotovoltaico di ridotte dimensioni per rendere il sistema passivo. Posizionando il pannello sullo stesso piano delle vetrate, e quindi perfettamente verticale, esso riceverà la luce solare diretta allo stesso modo del resto della vetrata. Non appena esso sarà colpito dalla luce del sole, incomincerà a produrre corrente elettrica che fornisce il calore necessario alla facciata per opacizzarsi ed, eventualmente, rimanere opaca. Occorre precisare che l'intento primario del pannello fotovoltaico non è quello di produrre energia rinnovabile per la facciata ma quello di rendere il sistema passivo e quindi senza il bisogno di un sistema di regolazione diretta, ma piuttosto di uno di controllo.

Il grafico mostra la media giornaliera dei valori maggiori di zero della radiazione oraria incidente su pannello verticale esposto a sud. Si deduce che un pannello fotovoltaico da 100 W sia sufficiente per alimentare il sistema. Infatti occorre ricordare che la facciata non prende sole tutta insieme ma gradualmente. È quindi lecito sottodimensionare il pannello.

Nonostante la posizione ottimale della pellicola è stata definita come sulla faccia interna del vetro più interno (layer 1), per ragioni di sicurezza e di longevità del prodotto, è opportuno posizionarla all'interno della prima camera sul vetro più interno (layer 2).

Vi sono numerose possibilità con cui si può applicare il sistema di facciata biodinamica alla vetrata. Infatti, a seconda della metodologia scelta per i collegamenti elettrici, è possibile opacizzare parti della stessa per creare pattern architettonici ed effetti "a finestra". Intervenendo sul sistema elettrico e inserendo uno o più dimmer, è possibile poi gestire il livello di opacità del vetro per avere uno stato di trasformazione continuo e non discreto.



FACCIATA DINAMICA COMPLETAMENTE ATTIVA

Cristalli liquidi termotropici in fase isotropica

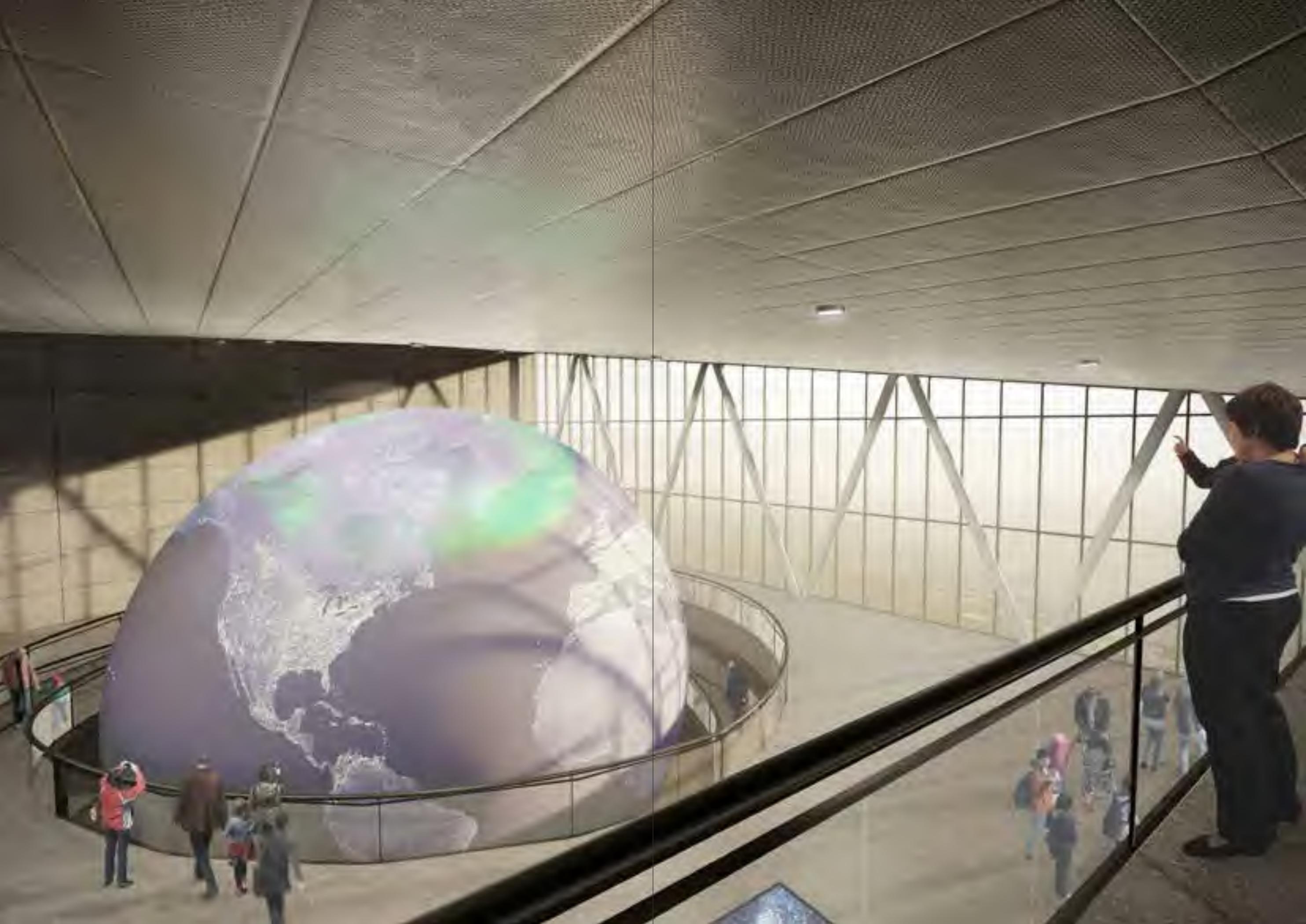


FACCIATA DINAMICA PARZIALMENTE ATTIVA



FACCIATA DINAMICA DISATTIVATA

Cristalli liquidi termotropici in fase cristallina





INDICE DEI RIFERIMENTI

Si riportano in questo capitolo i principali riferimenti bibliografici, i siti internet e l'elenco delle figure presenti nella relazione. Si specifica che tutte le immagini non numerate sono riferite a schemi ed elaborati di produzione propria.

BIBLIOGRAFIA

- J. De Vries, Altnordische Literaturgeschichte, 2 voll., Berlino, 1941-42
- K. Fridriksson, Art in Iceland, Reykjavík, 1943
- K. Eldjárn, Ancient Icelandic Art, Monaco, 1957
- S. Einarsson, A History of Icelandic Literature, New York, 1957
- S. Jónsdóttir, An 11th Century Byzantine Last Judgement in Iceland, Reykjavík, 1959
- M. Gabrieli, Le letterature della Scandinavia, Firenze-Milano, 1969
- M. Scovazzi, Storia delle letterature nordiche, Milano, 1970
- Autori Vari, Antiche saghe islandesi, Torino, 1974
- S. A. Magnusson, Northern Sphinx: Iceland and the Icelanders from the Settlement to the Present, Londra, 1977
- R. F. Tomasson, Iceland: The First New Society, Minneapolis, 1980
- B. E. Gelsing, The Icelandic Enterprise: Commerce and Economy in the Middle Ages, Columbia, 1981
- P. Biays, L'Islande, Parigi, 1983
- J. J. Horton, Iceland, Oxford, 1983
- M. S. Magnusson, Iceland in Transition: Labour and Socio-economic Change Before 1940, Lund, 1985
- A. Audisio, E. Benedetto (a cura di), Terra di ghiaccio. Arte e civiltà dell'Islanda, Torino, 1989
- G. P. Montgomery Jr, J. L. West e W. Tamuralis, Light-Scattering from Polymer-Dispersed Liquid-Crystal Films - Droplet Size Effects, Kent, 1991
- A. Neville, Properties of Concrete, Wiley, New York, 1996
- Y. Tanimoto, A. Katsuki, H. Yano e S. Watanabe, Effect of High Magnetic Field on the Silver Deposition from Its Aqueous Solution, Hiroshima, 1997
- L. Sanpaulesi, Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works snow loads - Annex B, Pisa, 1999
- N. Hirota, Y. Ikezoe, H. Uetake, T. Kaihatsu, T. Takayama e K. Kitazawa, Magneto-Archimedes levitation and its application, Tokyo, 2002
- H. Björnsson e T. Jónsson, Climate and climatic variability at Lake Mývatn, Reykjavík, 2003
- J. Solnes, R. Sigbjörnsson e J. Eliasson, Probabilistic Seismic Hazard Mapping Of Iceland, Vancouver, 2004
- A. Claudi, Superfici mutevoli. Le tecnologie innovative dei vetri cromogenici per il progetto di involucri a prestazioni variabili, Napoli, 2005
- CNR, Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di Strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato Roma, 2006
- UNI, Normativa UNI 10339, Roma, 2007
- Eurocodici, Bruxelles, 2008
- Ó. Arnalds, Soils of Iceland, Reykjavík, 2008
- Ó. Arnalds, Soil Survey and Databases in Iceland, Reykjavík, 2008
- Á. Einarsson, Mývatn lake, Skútustaðir, 2008
- S. Opfergelt, E.S. Eiríksdóttir, K.W. Burton, A. Einarsson, C. Siebert, S.R. Gíslason e A.N. Halliday, Quantifying the impact of freshwater diatom productivity on silicon isotopes and silicon fluxes: Lake Mývatn, Iceland, Oxford, 2010
- S. Sigurðardóttir, Traditional Building Methods, Skagafjörður, 2012
- C. J. Baker, D. M. Hargreaves, J. S. Owen e M. Sterling, Fifty Years of Wind Engineering: Prestige Lectures from the Sixth European and African Conference on Wind Engineering, Birmingham, 2013
- LIXIL JS Foundation, 4th LIXIL International University Architectural Competition, Tokyo, 2013
- N. Hirota, H. Chiba, H. Okada e T. Ando, Separation of a mixture of particles into its individual components, Sakura, 2014
- with the aid of the magneto-Archimedes separation
- F. Proverbio, I. Ronchi e I. Urbano, Bamboo wave, progetto di un centro culturale multifunzionale sostenibile caratterizzato dall'utilizzo innovativo di materiali tradizionali, Milano, 2014
- M. Kuriakose, Thermal investigations on polymer dispersed liquid crystal composites and thermo-electric polymer composites using photothermal techniques, Dunkerque, 2014
- I. G. Colombo, M. Colombo e M. Di Prisco, Tensile behavior of textile reinforced concrete subjected to freezing-thawing cycles in un-cracked and cracked regimes, Milano, 2015
- M. Ólafsson, T. Fridriksson, T. H. Hafstad, S. Sif Gylfadóttir, F. Óskarsson e H. Ármannsson, The Groundwater in the Mývatn Area: Influence of Geothermal Utilization at Námfjall and Origin of the Warm Groundwater Component, Melbourne, 2015
- P. Hemmersam, Arctic Architecture, Oslo, 2016
- O. Miura, K. Yamagishi e D. Yamamoto, Magneto-Archimedes levitation of precious metals under a high magnetic field gradient, Tokyo, 2017
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», Roma, 2018
- F. Melsheimer, Observatory Design, Longmont, 2018
- K. Rasmussen, Bruno Berni (a cura di), Aua, Milano, 2018
- A. Duval, L. Franchi e M. Hannin, Fara Dya, la risaia della gioia, progettazione di un centro di trasformazione del riso étuvé mediante l'utilizzo di materiali locali o di riuso, Milano, 2018
- A. Bianco, Advanced glasses and advanced coating on glasses, Milano, 2018
- Ramsar List, Gland, 2019

SITOGRAFIA

- <https://archinect.com/forum/thread/149974044/architecture-in-extreme-environments>
- <https://design.fanpage.it/turf-house-le-tipiche-case-islandesi-che-sembrano-emergere-dal-terreno/>
- <https://guidetoiceland.is/nature-info/the-ultimate-guide-to-lake-Mývatn>
- <https://it.climate-data.org/europa/islanda>
- <https://it.wikipedia.org>
- <https://it.windfinder.com/#10/65.7061/-16.8956>
- <https://nea.is/the-national-energy-authority/map-servers/iceland-energy-portal/>
- <https://news.nationalgeographic.com/2018/04/iceland-auroras-sky-watching-one-strange-rock-space-science/>
- <https://nonsoloturisti.it/2013/09/lago-Mývatn-islanda-foto/>
- <https://northernlightsrooms.beebreeders.com/>
- <https://rci-online.org/wp-content/uploads/2016/04/2009-02-robinson.pdf>
- https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#MR
- <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00982712/document>
- <https://www.astrogeo.va.it>
- <https://www.autodesk.com/redshift/arctic-architecture/>
- https://www.casaclima.com/ar_28300_Tech-Innovazioni-mit-finestre-intelligenti-finestre-oscuranti-metal-organic-frameworks-MOFs-Massachusetts-Institute-of-Technology-doe-luce-solare-risparmio-energetico-Vetri-elettrocromici-a-veloce-oscuramento-per-le-finestre-a-risparmio.html
- <https://www.inquinamentoluminoso.it/cinzano/web2/prepagina.html>
- <https://www.deagostinigeografia.it/wing/schedapaese.jsp?idpaese=088>
- <https://www.designboom.com/readers/the-barn-house-taiki-cho-hokkaido-japan/>
- <https://www.islandtours.it/le-ore-di-luce-in-islanda/>
- <https://www.italiansinfuga.com/2015/04/08/le-nazioni-con-minor-inquinamento-atmosferico/>
- <https://www.japlusu.com/news/barn-house>
- https://www.kel12circle.com/icnc_magazine/aurora-boreale/
- <https://www.lifegate.it/persona/stile-di-vita/inquinamento-luminoso-cause-e-conseguenze>
- <https://www.marcotogni.it/ore-luce-islanda/>
- https://www.meteoblue.com/it/tempo/archive/histogram/reykjahlíð_islanda_2627574?daterange=2015-01-01+to+2015-12-31&locations=¶ms=¶ms%5B%5D=32%3B10+m+above+gnd&value_resolution=1&cumulate=0&weibull=0&weibull=1&temperatureunit=CELSIUS&windspeedunit=METER_PER_SECOND
- <https://www.myflug.is>
- <https://www.nature.com/articles/191939a0>
- <https://www.progettoselfie.it/facciate-dinamiche/>
- <http://www.prointec.it/2014/12/02/the-barn-house/>
- https://www.researchgate.net/publication/23314277_Phase_separation_in_nematic_microemulsions_probed_by_one-dimensional_spectroscopic_deuteron_magnetic_resonance_microimaging/figures?lo=1
- <https://www.sapere.it/enciclopedia/Islanda>
- <https://www.uberti.eu/destinazioni/europa/islanda/nord-est/Mývatn.html>
- <https://www.unviaggioinfiniteemozioni.it/simboli-leggende-e-curiosita-sullislanda/>
- <https://www2.ing.unipi.it/~a004361/FIS.CRIST.LIQ/Cristalli%20liquidi%20I.pdf>

INDICE DELLE FIGURE

| | | | |
|--|----|--|----|
| [001] Bandiera islandese nel parco di Þingvellir..... | 4 | [025] Vista area di progetto estiva..... | 22 |
| immagine disponibile online: https://farm2.static.flickr.com/1912/30223526887_aa3d4703fb_b.jpg4 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | |
| [002] Cattedrale Hallgrímskirkja di Reykjavík..... | 4 | [026] Vista area di progetto estiva..... | 23 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 31/01/2019 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | |
| [003] Casette tipiche islandesi..... | 5 | [027] Vista area di progetto estiva..... | 23 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 09/08/2018 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | |
| [004] Uccello tipico del lago Mývatn..... | 10 | [028] Vista area di progetto invernale..... | 24 |
| immagine disponibile online: https://pbs.twimg.com/media/DaX_24BV4AEs8lk.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 05/02/2019 | |
| [005] Lago Mývatn..... | 11 | [029] Vista area di progetto invernale..... | 24 |
| immagine disponibile online: https://iceland.nordicvisitor.com/images/1/iceland/summer/Mývatn_lake_north_summer.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | |
| [006] Aeroporto domestico di Reykjavík..... | 14 | [030] Vista area di progetto invernale..... | 24 |
| immagine disponibile online: https://www.myflug.is/static/files/img_1938.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | |
| [007] Foto aerea del lago Mývatn..... | 14 | [031] Vista area di progetto invernale..... | 24 |
| immagine disponibile online: https://i.redd.it/1lvqng4bbem11.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | |
| [008] Centrale geotermica Krafla..... | 15 | [032] Vista area di progetto invernale..... | 25 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 14/08/2018 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | |
| [009] Hverir..... | 17 | [033] Vista area di progetto invernale..... | 25 |
| immagine disponibile online: https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/locationscoutnet/images/2015-09/namafjall-hverir-iceland_1.jpeg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | |
| [010] Hverfjall..... | 17 | [034] Massimo Fontana, uno degli autori..... | 26 |
| immagine disponibile online: https://pbs.twimg.com/media/DcmQm7FW4AAh0Wn.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | |
| [011] Dimmuborgir..... | 17 | [035] Matteo Pegorin, uno degli autori..... | 26 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 03/02/2019 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 31/01/2019 | |
| [012] Hofdi..... | 17 | [036] Francesco Quattrone, uno degli autori..... | 27 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 14/08/2018 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 01/02/2019 | |
| [013] Chiesa di Reykjavík..... | 18 | [037] Aurora boreale sul lago Mývatn..... | 30 |
| immagine disponibile online: http://skutustadahreppur.is/v/19566 | | immagine disponibile online: https://i.pinimg.com/originals/bc/58/d8/bc58d87460b671f9e285489f261fccf.jpg | |
| [014] Hike&Bike..... | 18 | [038] Foto aerea del lago Mývatn..... | 36 |
| immagine disponibile online: https://www.facebook.com/124739004212202/photos/1189614351057990/ | | immagine disponibile online: https://guidetoiceland.imgix.net/452152/x/0/Mývatn-lake-north-summer-watermarked-12.jpg | |
| [015] Supermercato di Reykjavík..... | 18 | [039] Vista dall'alto della città di Reykjavík..... | 40 |
| immagine disponibile online: https://kjobudin.is/ | | immagine disponibile online: http://www.bergamopost.it/wp-content/uploads/2018/11/reykjavik-islanda-123rf-1024x584.jpg | |
| [016] Ufficio comunale di Reykjavík..... | 18 | [040] Copertina concorso INLR..... | 85 |
| immagine disponibile online: http://www.skutustadahreppur.is/img/images/baejar.jpg | | immagine disponibile online: https://northernlightsrooms.beebreeders.com/ | |
| [017] Campo da golf di Reykjavík..... | 18 | [041] Vista sul lago Jökulsárlón..... | 86 |
| immagine disponibile online: https://pt-br.facebook.com/golfsidan/posts/10155379685182245 | | fotografia d'autore realizzata il giorno 05/02/2019 | |
| [018] Centro sportivo di Reykjavík..... | 18 | [042] Eruzione del Geyser Strokkur..... | 87 |
| immagine disponibile online: http://4.bp.blogspot.com/-Frt_JrEI9zo/UKIjWIVZ0wI/AAAAAAAAAHw/6mky4tGR3uA/s1600/2012-11-13%2B08.59.02_auka.jpg | | fotografia d'autore realizzata il giorno 01/02/2019 | |
| [019] Autonoleggio di Reykjavík..... | 18 | [043] Tradizionali cavalli islandesi..... | 87 |
| immagine disponibile online: https://google.com/streetview | | fotografia d'autore realizzata il giorno 02/02/2019 | |
| [020] Grjótagjá..... | 18 | [044] Vista dell'area di progetto..... | 88 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 14/08/2018 | | fotografia disponibile nel bando di concorso INLR | |
| [021] Area di progetto sulle sponde del lago Mývatn..... | 20 | [045] Vista dell'area di progetto..... | 88 |
| immagine disponibile online: http://www.skutustadahreppur.is/img/images/2018/loftmyndMývatn2.jpg | | fotografia disponibile nel bando di concorso INLR | |
| [022] Vista area di progetto estiva..... | 22 | [046] Vista dell'area di progetto..... | 89 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | | fotografia disponibile nel bando di concorso INLR | |
| [023] Vista area di progetto estiva..... | 22 | [047] Vista dell'area di progetto..... | 89 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | | fotografia disponibile nel bando di concorso INLR | |
| [024] Vista area di progetto estiva..... | 22 | [048] Prima tavola di concorso..... | 92 |
| fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | | elaborato dall'autore consegnato il giorno 15/05/2019 | |

| | | |
|------------------|---|---------|
| [049] | Seconda tavola di concorso elaborato dell'autore consegnato il giorno 15/05/2019 | 94 |
| [050] | Terza tavola di concorso elaborato dell'autore consegnato il giorno 15/05/2019 | 96 |
| [051] | Quarta tavola di concorso elaborato dell'autore consegnato il giorno 15/05/2019 | 98 |
| [052] | Vista di una volta celeste dall'osservatorio La Silla dell'ESO in Cile immagine disponibile online: http://cdn.eso.org/images/screen/potw1834a.jpg | 110 |
| [053] | Esempio di realizzazione di un pilone in calcestruzzo armato immagine disponibile online: http://www.tuolumneskies.com/wp-content/uploads/06-03%20Observatory%20Construction/observatory_017-1024x768.jpg | 112 |
| [054] | Foto del pilone dell'osservatorio Schiaparelli fotografia d'autore realizzata il giorno 07/10/2018 | 112 |
| [055] | Accessibilità al telescopio da parte di diversamente abili immagine disponibile online: http://www.dfmengineering.com/images2/are_125_penny.jpg | 112 |
| [056] | Giunto a pavimento dell'osservatorio Schiaparelli fotografia d'autore realizzata il giorno 07/10/2018 | 113 |
| [057] | Esempio di telescopio ottico immagine disponibile online: https://www.mendrisiottoturismo.ch/pictures/infoturistica/verybig4/15352-2.jpg | 113 |
| [058] | Vista esterna della cupola 2 dell'osservatorio Schiaparelli fotografia d'autore realizzata il giorno 07/10/2018 | 114 |
| [060] | Vista interna della cupola 1 fotografia d'autore realizzata il giorno 07/10/2018 | 114 |
| [059] | Riccardo Luppi atto alla presentazione dell'osservatorio fotografia d'autore realizzata il giorno 07/10/2018 | 114 |
| [061] | Esempio di planetario immagine disponibile online: https://www.championswalkapartments.com/wp-content/uploads/2017/09/Planetarium_attraction_slider_L5527-005.jpg | 130 |
| da [062] a [127] | Foto dell'attività di laboratorio fotografie d'autore realizzate dal giorno 04/10/2018 al 28/03/2019 | 138-165 |
| [128] | Grafici sforzo - deformazione per provini prefessurati (C) e non (U) per diversi cicli di gelo e disgelo I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, da pag. 176 a pag. 179 | 167 |
| [129] | Grafico resistenza ultima - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 168 |
| [130] | Grafico variazione di massa - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 168 |
| [131] | Grafico spostamento massimo normalizzato - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 169 |
| [132] | Grafico carico di prima fessurazione - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 169 |
| [133] | Grafico fattore di efficienza - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 169 |
| [134] | Grafico rigidità specifica - numero di cicli I. G. Colombo, M. Colombo, M. Di Prisco, 2015, pag. 181 | 169 |
| [135] | Infonografia illustrante l'accelerazione massima orizzontale al suolo in Islanda J. Solnes, R. Sigbjörnsson, J. Eliasson, 2004, pag. 10 | 186 |
| [136] | Infonografia illustrante la magnitudo del terremoto che ha causato l'evento sismico principale per $T_R = 475$ anni J. Solnes, R. Sigbjörnsson, J. Eliasson, 2004, pag. 11 | 186 |
| [137] | Infonografia illustrante la distanza del terremoto che ha causato l'evento sismico principale per $T_R = 475$ anni J. Solnes, R. Sigbjörnsson, J. Eliasson, 2004, pag. 12 | 186 |

| | | |
|-------|--|-----|
| [138] | Infonografia illustrante la velocità di riferimento per i maesi europei, come da Eurocodice 1 C. J. Baker, D. M. Hargreaves, J. S. Owen, M. Sterling, 2013, pag. 40 | 194 |
| [139] | Infonografia illustrante il carico da neve al suolo in Islanda L. Sanpaolesi, 1999, pag. 20 | 201 |
| [140] | Vista area di progetto estiva fotografia d'autore realizzata il giorno 13/08/2018 | 242 |
| [141] | Infonografia illustrante la caratterizzazione del suolo in Islanda Ó. Arnalds, 2008, pag. 93 | 243 |
| [142] | Foto del rilievo stratigrafico effettuato nelle vicinanze del sito di progetto Ó. Arnalds, 2008, pag. 40 | 243 |
| [143] | Esempio di architettura in gabion wall locale fotografia d'autore realizzata il giorno 06/02/2019 | 262 |
| [144] | Case dal tetto in torba fotografia d'autore realizzata il giorno 16/08/2018 | 263 |
| [145] | Centro turistico islandese con rivesto in lamiera fotografia d'autore realizzata il giorno 16/08/2018 | 263 |
| [146] | Provinci dei pannelli di rivestimento in scala 1:1 fotografia d'autore realizzata il giorno 07/03/2019 | 264 |
| [147] | Esempio di pannello isolante naturale in lana di pecora immagine disponibile online: http://www.installazionitermoacustiche.it/files/pages/lanadipecora.jpg | 265 |
| [148] | Pecore islandesi fotografia d'autore realizzata il giorno 16/08/2018 | 265 |
| [149] | Vista illuminotecnica interna in falsi colori, illuminanza, 21 marzo ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 312 |
| [150] | Vista illuminotecnica interna in isolinee, illuminanza, 21 marzo ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 312 |
| [151] | Vista illuminotecnica interna in falsi colori, illuminanza, 21 giugno ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 314 |
| [152] | Vista illuminotecnica interna in isolinee, illuminanza, 21 giugno ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 314 |
| [153] | Vista illuminotecnica interna in falsi colori, illuminanza, 21 settembre ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 316 |
| [154] | Vista illuminotecnica interna in isolinee, illuminanza, 21 settembre ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 316 |
| [155] | Vista illuminotecnica interna in falsi colori, illuminanza, 21 dicembre ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 318 |
| [156] | Vista illuminotecnica interna in isolinee, illuminanza, 21 dicembre ore 12:00 elaborato d'autore con il software Velux Daylight Visualizer | 318 |
| [157] | Percentuale di luce diffusa in relazione al raggio della particella per lunghezza d'onda incidente pari a $\lambda = 632.8$ nm G. P. Montgomery Jr, J. L. West, W. Tamuralis, 1991, pag. 1607 | 327 |
| [158] | Dipendenza del raggio della particella dalla temperatura T per il composto PDLC, realizzato dagli stessi materiali analizzati G. P. Montgomery Jr, J. L. West, W. Tamuralis, 1991, pag. 1608 | 327 |
| [159] | Dipendenza della trasmissione luminosa dalla lunghezza d'onda per il composto PDLC G. P. Montgomery Jr, J. L. West, W. Tamuralis, 1991, pag. 1611 | 327 |
| [160] | Foto di un muro a secco a Reykjahlíð costituito da pietra lavica locale fotografia d'autore realizzata il giorno 04/02/2019 | 348 |

Tutte le figure non numerate sono riferite a schemi ed elaborati di produzione propria.

RINGRAZIAMENTI

Scrivere una tesi è un processo lungo e tortuoso, e rappresenta la dimostrazione pubblica delle capacità tecniche e professionali che saranno necessarie nel mondo del lavoro. La tesi di laurea è infatti l'ultimo lavoro da terminare prima di avere delle responsabilità legali del proprio operato. Deve quindi contenere tutto il sapere acquisito fino al giorno della laurea, ma anche rispecchiare l'impegno con cui si vuole affrontare il domani. I nostri ringraziamenti non si riferiscono quindi esclusivamente al periodo dell'elaborazione della tesi laurea, ma anche ai cinque anni trascorsi al Politecnico.

Ogni edificio è sorretto da un certo numero di pilastri. Alcuni portano più peso, altri meno. Qualcuno non è stato costruito, ma era previsto. Se uno di essi viene a mancare, l'edificio è a rischio di crollo. Fortunatamente noi siamo riusciti a mantenerli tutti fino alla fine.

Desideriamo ringraziare per primo Gabriele Masera, nostro professore e relatore di tesi. Dal secondo anno ci ha considerati professionalmente come suoi pari, senza smettere di credere in noi e costringendoci a imparare crescendo. E ci è riuscito. Poche righe che per noi valgono tanto.

Sempre in ambito accademico, vogliamo menzionare lo staff del laboratorio Calcestruzzi del Polo di Lecco, e in particolare Giulio Zani, il quale probabilmente avrebbe ancora qualcosa da ridire sui pilastri di prima. Con loro abbiamo sviluppato la parte sperimentale e la definizione strutturale dell'edificio. E finalmente abbiamo potuto toccare con mano materiali che altrimenti avremmo ricordato solo su carta.

Rivolgiamo poi un sentito ringraziamento ai professori del Politecnico, davvero tanti per elencarli tutti, i quali ci hanno dapprima formati, e poi seguiti, trovando sempre il tempo per instaurare con noi un dialogo. Quello che realizzeremo domani sarà anche merito del loro impegno e della loro disponibilità di ieri.

Grazie alle nostre famiglie. A madri, padri, fratelli, sorelle e chi più ne ha più ne metta. Come è solito dire il Rettore, è per merito loro che abbiamo avuto la possibilità di laurearci, perché a volte serve quella spinta in più che avvia l'intero processo. Nel caso specifico, ognuno ha messo la sua: il supporto alimentare, l'ospitalità, la creatività, le revisioni interne.

E poi ci sono i compagni di Uni. Con loro sono stati quasi più frequenti i momenti di pausa e le risate che i discorsi seri. Ci hanno sempre spronato a fare meglio e assicurato, rendendo piacevoli i periodi più stressanti. In un ambiente come il Politecnico, lo scambio di idee è inevitabile, e noi tutti vi abbiamo preso parte.

Chiudiamo il cerchio ringraziando i nostri amici, quelli che magari di ingegneria o architettura non sanno nulla, ma sono sempre stati interessati a quello a cui stavamo lavorando. O almeno hanno finto estremamente bene. In ogni sistema complesso occorre infatti inserire una valvola di sfogo. E noi siamo contenti di avere avuto più valvole che idee.

Un ringraziamento un po' particolare va a noi stessi. Lavorare in gruppo non è sempre facile. Abbiamo discusso, ricominciato e cancellato mille volte, ma ci siamo anche dati la spinta a lavorare, anche quando fuori splendeva il sole. In un modo o nell'altro siamo arrivati alla conclusione. Per adesso.

Abbiamo provato a includere tutti nei ringraziamenti, ma sicuramente qualche pilastro è rimasto fuori. Non è stato fatto con intenzione: le persone sono tante, sette mesi sono lunghi e la memoria è corta. Desideriamo comunque esprimere la nostra gratitudine a chiunque sente di aver contribuito e di esserci stato vicino. Il vostro pilastro è stato essenziale.

Massimo Fontana

Matteo Pegorin

Francesco Quattrone

Professionisti coinvolti in ordine alfabetico, alle quali vanno i nostri più sentiti ringraziamenti:

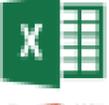
Affiliazione universitaria:

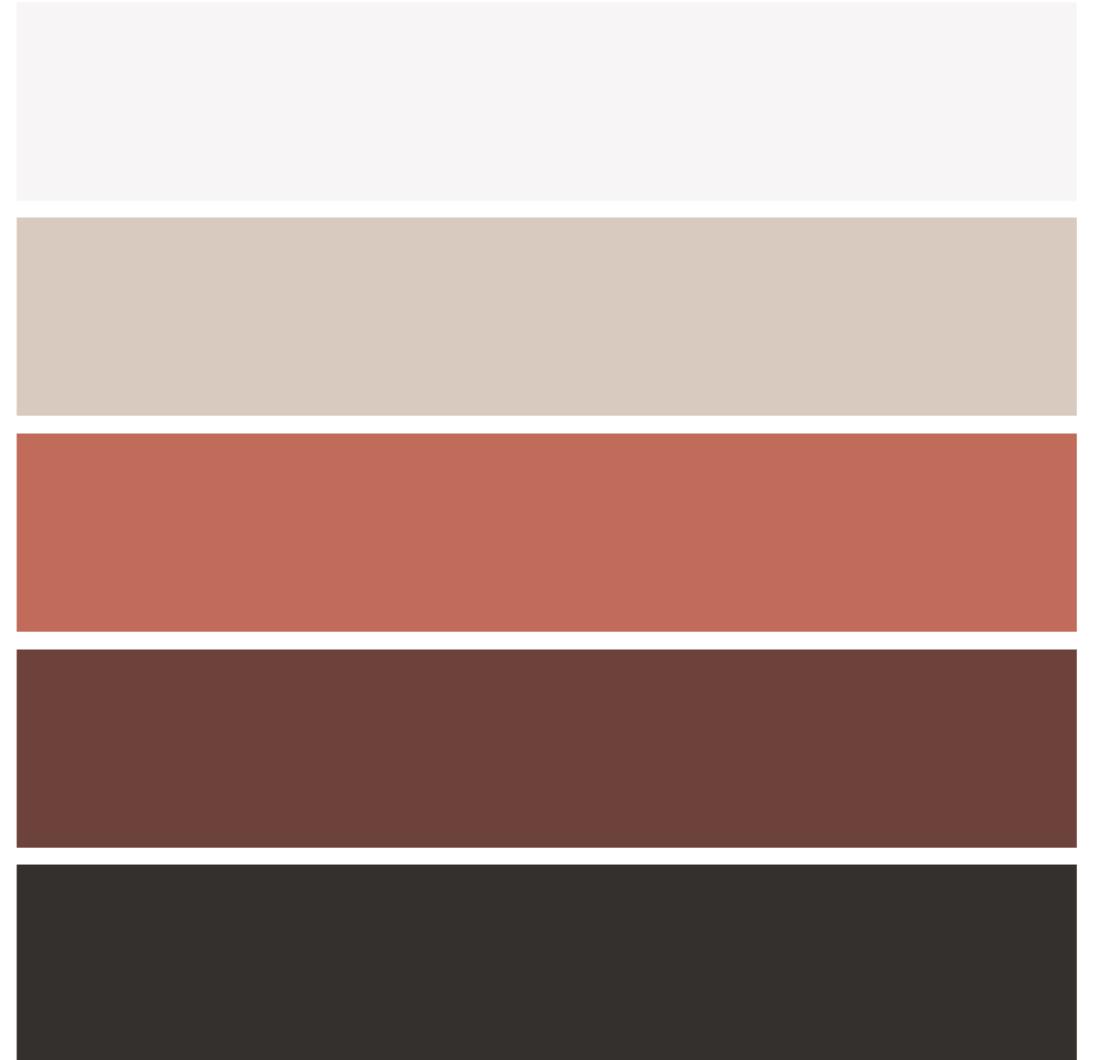
| | | |
|---------------------|-----------------------|----------------|
| Andrea Bianco | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Fabio Maria Bolzoni | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Francesco Calvetti | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Matteo Colombo | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Antonello Cuomo | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Ferruccio Galmozzi | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Marco Imperadori | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Gabriele Masera | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Tommaso Pagnacco | Politecnico di Milano | Milano, Italia |
| Piero Poggioli | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Marco Rampini | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Matteo Ruta | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Alessandro Sala | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Valentina Serra | Politecnico di Torino | Torino, Italia |
| Andrea Stefanoni | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |
| Giulio Zani | Politecnico di Milano | Lecco, Italia |

Esterni:

| | | |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Davide Besana | HPDB | Milano, Italia |
| Hrólfur Karl Cela | BASALT Architects | Reykjavík, Islanda |
| Perla Dís Kristinsdóttir | BASALT Architects | Reykjavík, Islanda |
| Simone Fusco | Simone Fusco Architetto | Azzio, Italia |
| Valentina Gallotti | Design Group Italia | Milano, Italia |
| Francesco Gao Xing Perini | The Exploration Museum | Husavik, Islanda |
| Abdou George Kandalauft | BASF | Fino Mornasco, Italia |
| Riccardo Luppi | Osseratorio Schiapparelli | Varese, Italia |
| Stefano Testa | LEAP factory | Torino, Italia |

Software utilizzati durante l'elaborazione della tesi:

| | | | | | |
|---|---------------------|---|--------------------------|---|---------------------------|
|  | Active House |  | Autodesk Revit |  | LadyBug |
|  | Adobe Acrobat DC |  | CSI Italia SAP2000 |  | Lumion 3d Lumion |
|  | Adobe After Effects |  | CSPFea MidasGen |  | McNeel Rhinoceros |
|  | Adobe Illustrator |  | Concrete Sismicad |  | MeteoNorm |
|  | Adobe InDesign |  | Dassault Systèmes Abaqus |  | Microsoft Excel |
|  | Adobe Photoshop |  | EnergyPlus |  | Microsoft Power Point |
|  | ANIT Pan |  | Golden Software Grapher |  | Microsoft Project |
|  | Ansys Fluent |  | Grasshopper |  | Microsoft Word |
|  | Autodesk AutoCAD |  | HoneyBee |  | Velux Daylight Visualizer |



ALLEGATI

Nelle pagine successive si allegano le tavole tecniche in formato A3.
Gli allegati nei formati maggiori sono disponibili nella versione digitale

LEGENDA

Comuni per numero di abitanti

ABITANTI > 100.000

116.446 Reykjavík



10.000 < ABITANTI < 100.000

27.536 Kópavogur

23.676 Hafnarfjörður

16.822 Akureyri

11.928 Reykjanesbær



5.000 < ABITANTI < 10.000

9.529 Garðabær

7.501 Mosfellsbær

7.280 Árborg

5.955 Akranes

5.705 Fjarðabyggð



2.000 < ABITANTI < 5.000

4.644 Fjallabyggð

4.467 Seljavágsbær

4.098 Ísafjarðarbær

4.078 Skagafjörður

4.075 Vestmannaeyjar

3.713 Borgarfjörður

3.023 Höfuðborg

2.697 Grindavík

2.287 Áltanes

2.261 Fjallabyggð

2.189 Hveragerði

2.186 Höfnafjörður



Mobilità

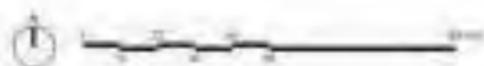
— Ringvegur

Geomorfologia

■ Confine regionale

■ Dorsale Medio-Atlantica

▲ Vulcano attivo









| LOCALE | MQ |
|---------------------|-------|
| Spazio espositivo 2 | 916,7 |
| Planetario | 101,1 |
| Magazzino | 57,6 |
| Locale Impianti | 30,4 |
| WC | 24,1 |

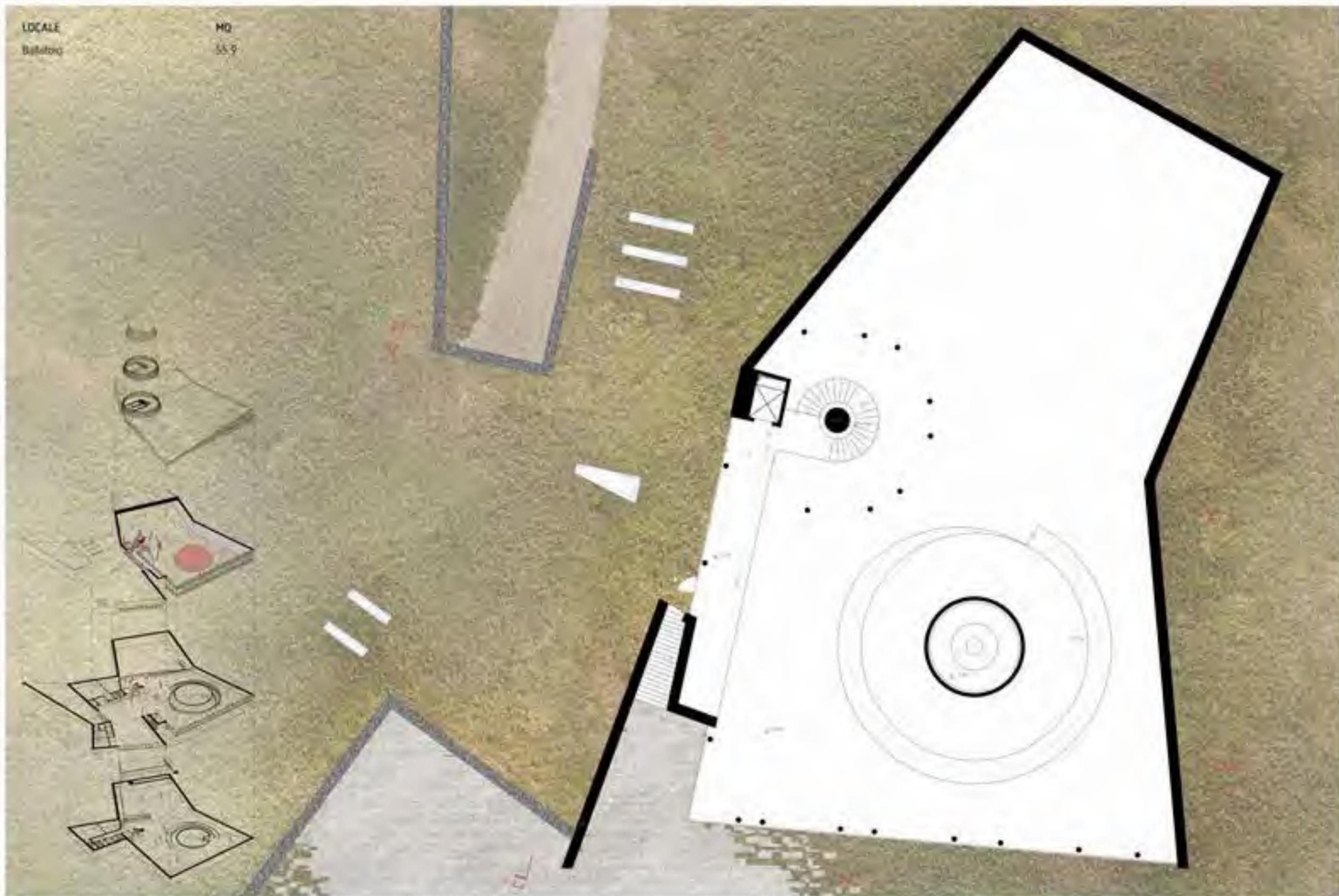


| LOCALE | MQ |
|--------------------------|-------|
| Atrio | 548,7 |
| Biglietteria/Guardaroba | 10,5 |
| Deposito | 4,6 |
| Spazio espositivo I | 110,2 |
| Auditorium | 39,9 |
| WC | 9,4 |
| Aula di ricerca | 74,6 |
| Aula 2 | 9,7 |
| Ingresso nord / Bookshop | 158,2 |
| Ristorante | 156,4 |
| WC | 21,8 |
| Cucina e banco | 30,8 |
| Magazzino | 11,1 |
| Ingresso dipendenti | 5,1 |
| Spogliatoio | 5,6 |
| WC | 3,3 |

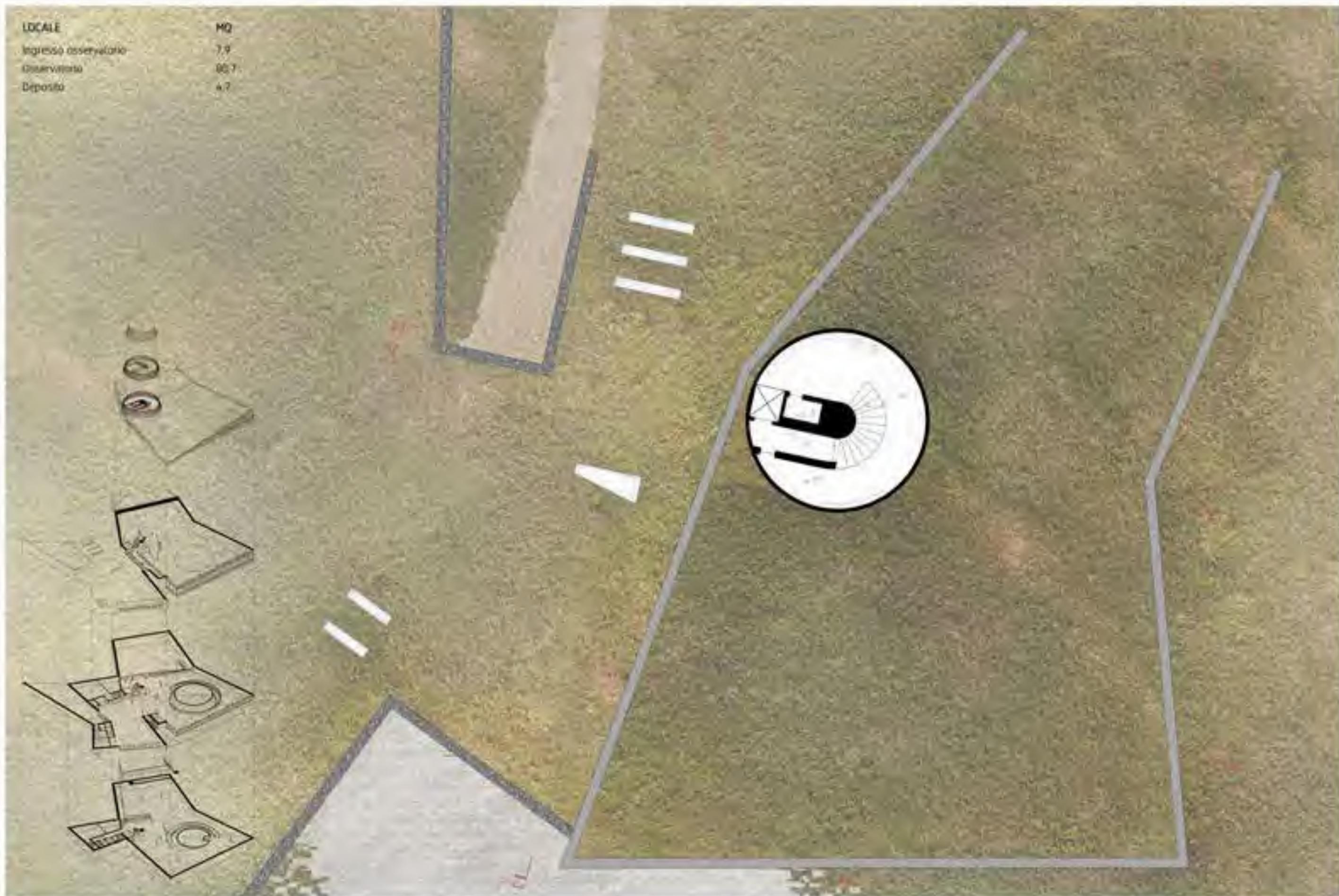


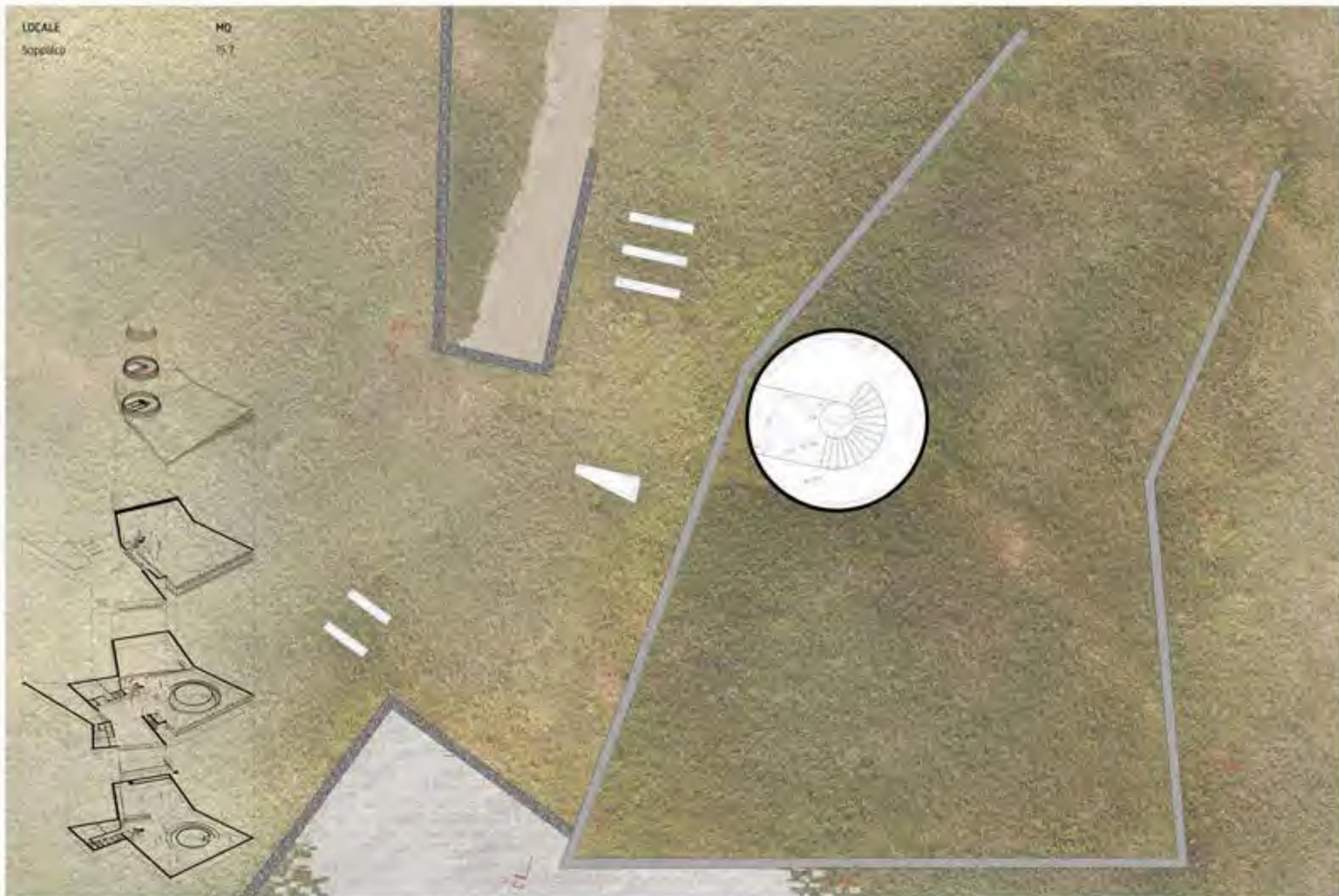
LOCALE
Biblioteca

MQ
55,9

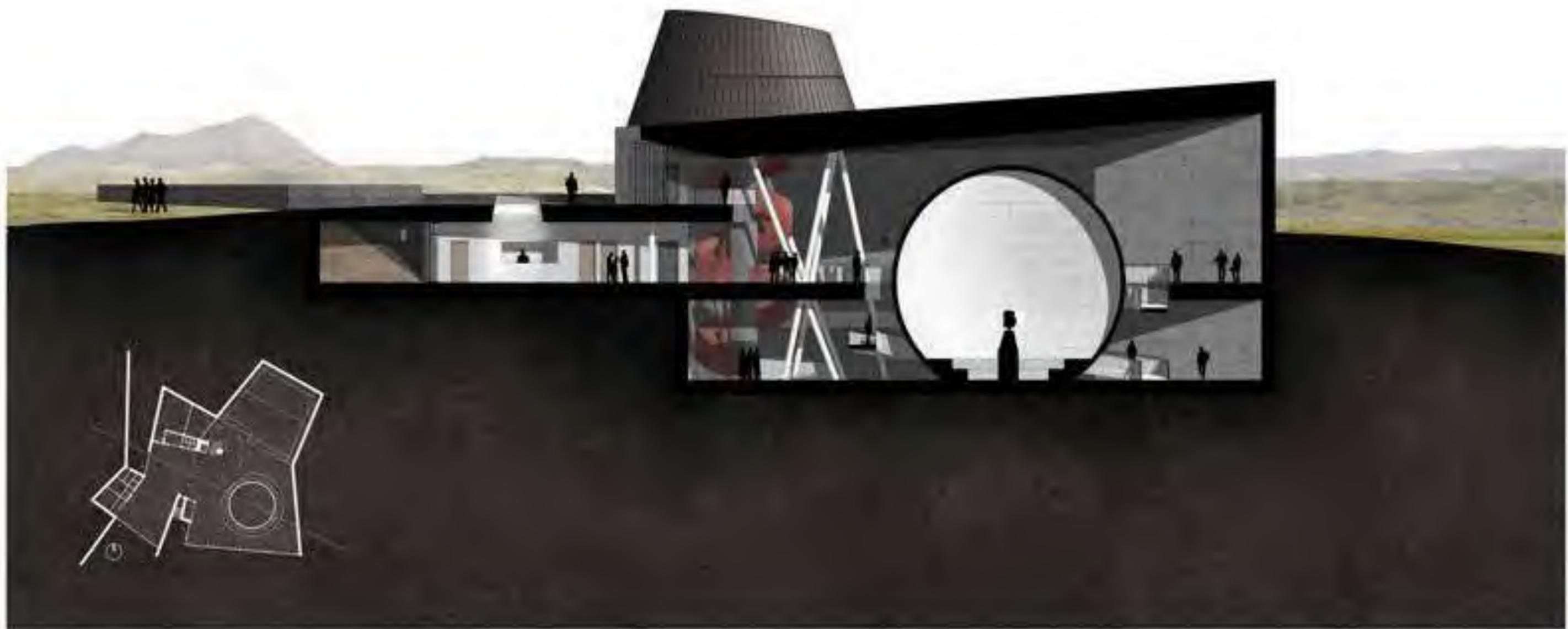


| LOCALE | MQ |
|-----------------------|------|
| Ingresso osservatorio | 7,9 |
| Osservatorio | 80,7 |
| Deposito | 4,7 |





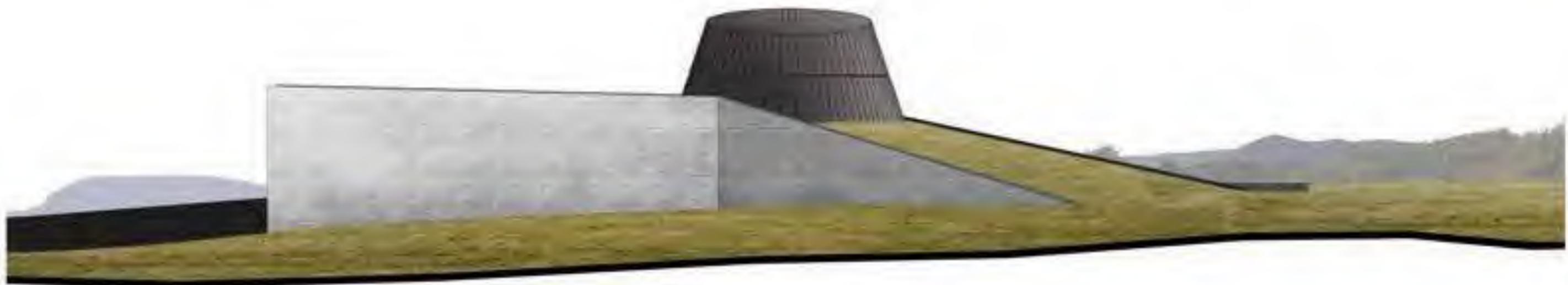




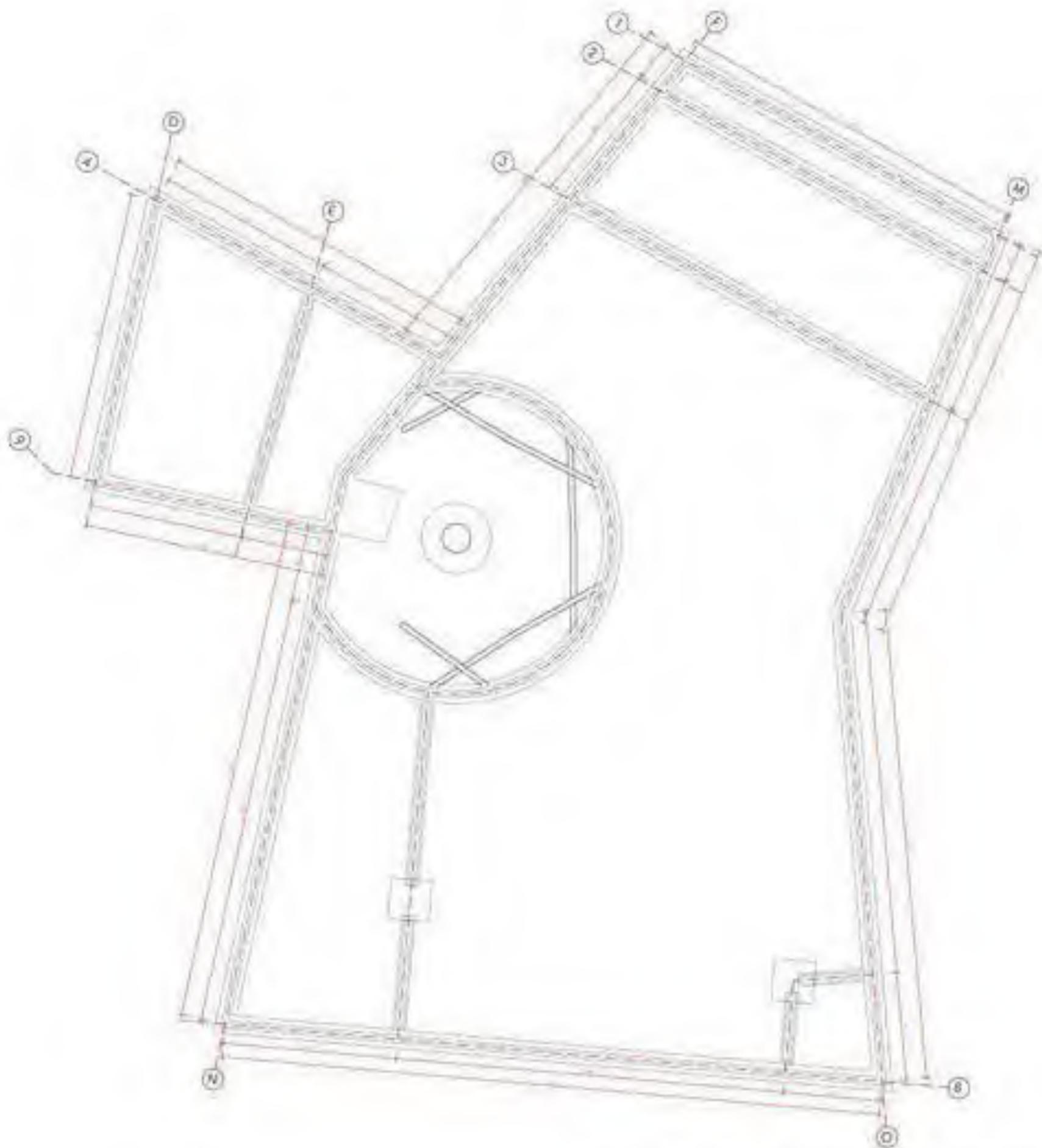








| Prescrizioni dei materiali - Acciaio | | | |
|---|---------|----------------------|-------------------|
| | Classe | f | f _t |
| | | N/mm ² | N/mm ² |
| Travi e pilastri | S275 JR | 275 | 430 |
| Colonnelli | S275 JR | 275 | 430 |
| Perforine ipocentri | S275 JR | 275 | 430 |
| Substrato | A88 | 444 | 600 |
| Saldature | S275 JR | 275 | 430 |
| Prescrizioni dei materiali - CLS elevatori | | | |
| Classe di resistenza | | C25/30 | |
| Lavorabilità | | F54 | |
| Classe di esposizione | | XC3/XC1 | |
| Dimensioni min. aggregati | | 20/24 mm | |
| Spessore minimo | | 20 mm | |
| Prescrizioni dei materiali - CLS fondazioni | | | |
| Classe di resistenza | | C20/25 | |
| Lavorabilità | | F54 | |
| Classe di esposizione | | XC2 | |
| Dimensioni min. aggregati | | 12 mm | |
| Spessore minimo | | 45 mm | |
| Prescrizioni dei materiali - Acciaio per armature | | | |
| Tipologia | | B450C | |
| Diagonali utilizzate | | Ø6 / Ø8 Ø12 / Ø20 | |
| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrosaldata | | | |
| Tipologia | | B450C | |
| Diagonali utilizzate | | Ø6 | |
| Passo | | 20x20 cm | |
| Sovrapposizione minima | | 1 maglia | |
| Prescrizioni dei materiali - Lamele grigate | | | |
| Tipologia | | H-bond | |
| Tipologia acciaio | | S275 JR | |
| Altezza lamina | | 55 mm | |
| Altezza griglia | | 45 mm | |
| Rete elettrosaldata | | B450C Ø6-20x20 | |



| Prescrizioni dei materiali - Acciaio | | | |
|--------------------------------------|--------|-------------------|-------------------|
| | Classe | f | k |
| | | N/mm ² | N/mm ² |
| Travi e pilastri | S275 B | 275 | 430 |
| Colonnelli | S275 B | 275 | 430 |
| Perforine ipocentri | S275 B | 275 | 430 |
| Substrato | A88 | 444 | 600 |
| Saldature | S275 B | 275 | 430 |

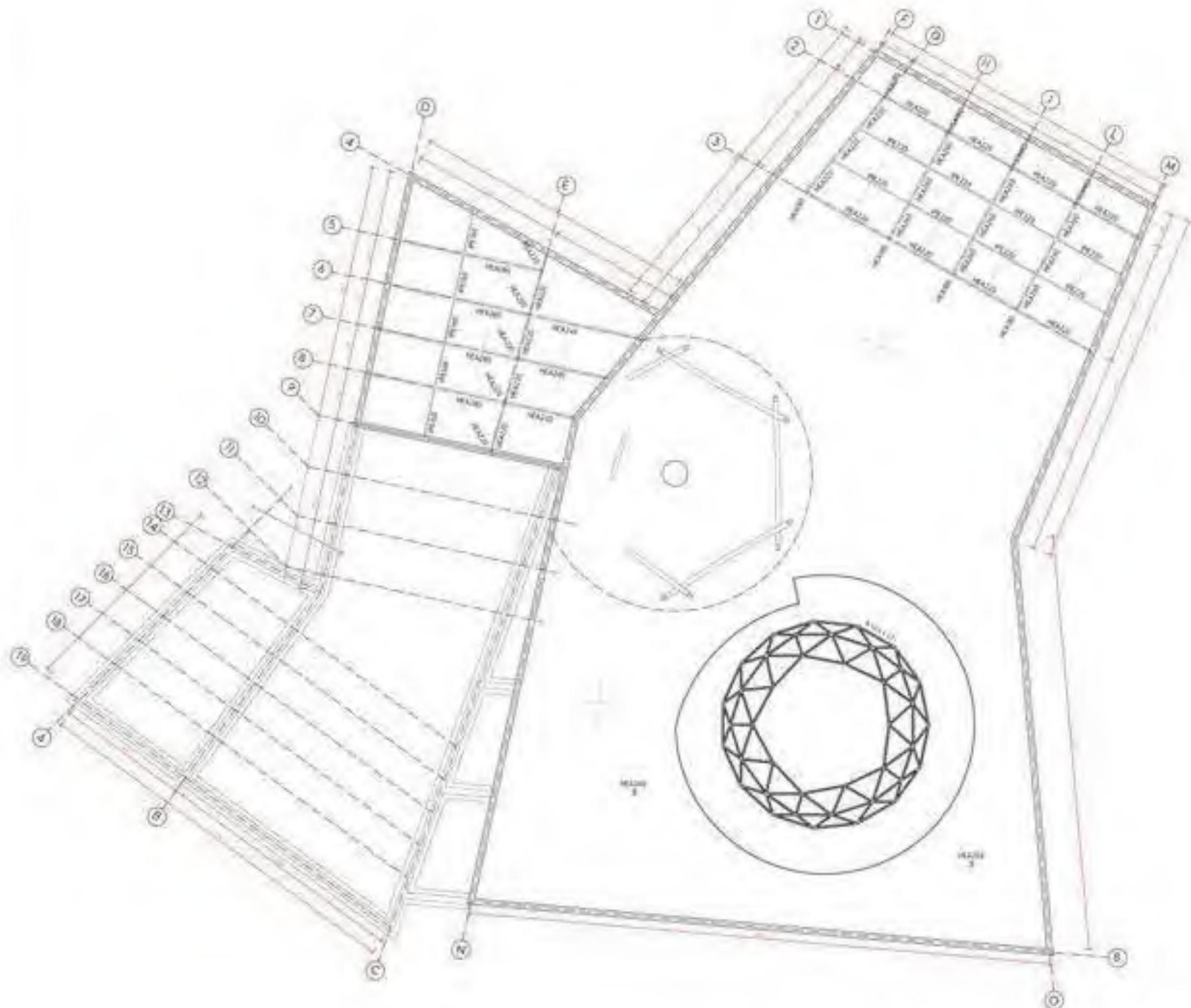
| Prescrizioni dei materiali - CLS rivestimenti | |
|---|----------|
| Classe di resistenza | f25/30 |
| Lavorabilità | f54 |
| Classe di esposizione | XD3/XC3 |
| Dimensione massi aggregati | 20/24 mm |
| Spessore minimo | 25 mm |

| Prescrizioni dei materiali - CLS bordature | |
|--|--------|
| Classe di resistenza | f26/31 |
| Lavorabilità | f54 |
| Classe di esposizione | XC2 |
| Dimensione massi aggregati | 10 mm |
| Spessore minimo | 45 mm |

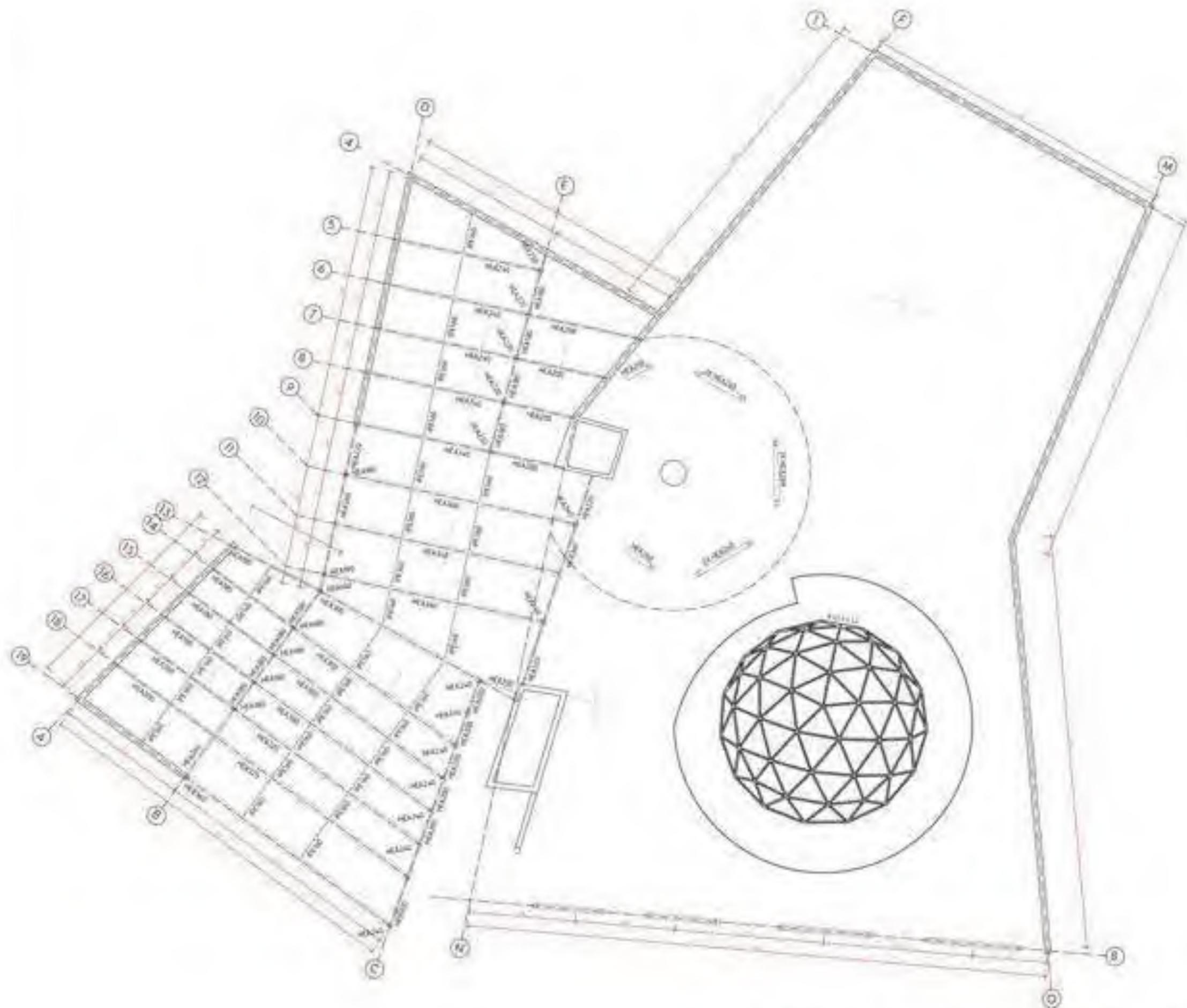
| Prescrizioni dei materiali - Acciaio per armature | |
|---|----------------------|
| Tipologia | B450C |
| Diagonali utilizzate | Ø6 / Ø8 Ø12 / Ø20 |

| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrosaldata | |
|--|----------|
| Tipologia | B450C |
| Diagonali utilizzate | Ø6 |
| Passo | 20x20 cm |
| Sovrapposizione minima | 1 maglia |

| Prescrizioni dei materiali - Lamele grigate | |
|---|----------------|
| Tipologia | H-bond |
| Tipologia acciaio | S275 B |
| Altezza lamina | 55 mm |
| Altezza griglia | 45 mm |
| Rete elettrosaldata | B450C Ø6-20x20 |

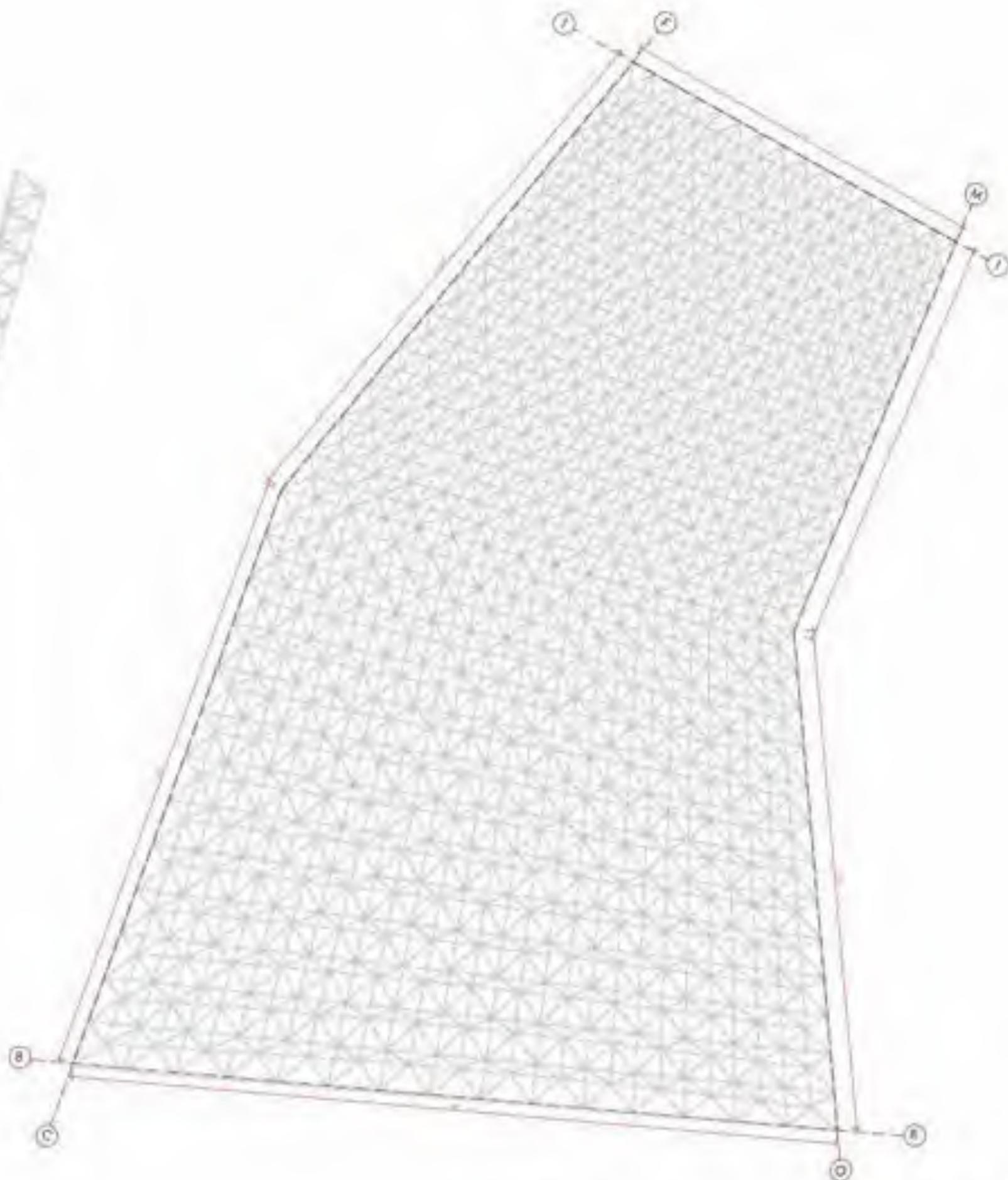


| Prescrizioni dei materiali - Acciaio | | | |
|---|-----------------------|-------------------|-------------------|
| | Classe | f | k |
| | | N/mm ² | N/mm ² |
| Travi e pilastri | S275 JR | 275 | 430 |
| Colonnelli | S275 JR | 275 | 430 |
| Perforine ipocentri | S275 JR | 275 | 430 |
| Substrato | A88 | 444 | 600 |
| Tralicci | S275 JR | 275 | 430 |
| Prescrizioni dei materiali - CLS elevatori | | | |
| Classe di resistenza | C25/30 | | |
| Lavorabilità | F54 | | |
| Classe di esposizione | XCS/XCI | | |
| Dimensione mesh appoggata | 20/24 mm | | |
| Spessore minimo | 20 mm | | |
| Prescrizioni dei materiali - CLS fondazioni | | | |
| Classe di resistenza | C20/25 | | |
| Lavorabilità | F54 | | |
| Classe di esposizione | XC2 | | |
| Dimensione mesh appoggata | 10 mm | | |
| Spessore minimo | 45 mm | | |
| Prescrizioni dei materiali - Acciaio per armature | | | |
| Tipologia | B450C | | |
| Diámetro utilizzati | 80 / 800 812 / 820 | | |
| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrosaldata | | | |
| Tipologia | B450C | | |
| Diámetro utilizado | 80 | | |
| Mesh | 20x20 cm | | |
| Superposición mínima | 1 maglia | | |
| Prescrizioni dei materiali - Lamele grigate | | | |
| Tipologia | H-bond | | |
| Tipologia acciaio | S275 JR | | |
| Altezza lamina | 55 mm | | |
| Altezza griglia | 45 mm | | |
| Rete elettrosaldata | B450C 80-20x20 | | |

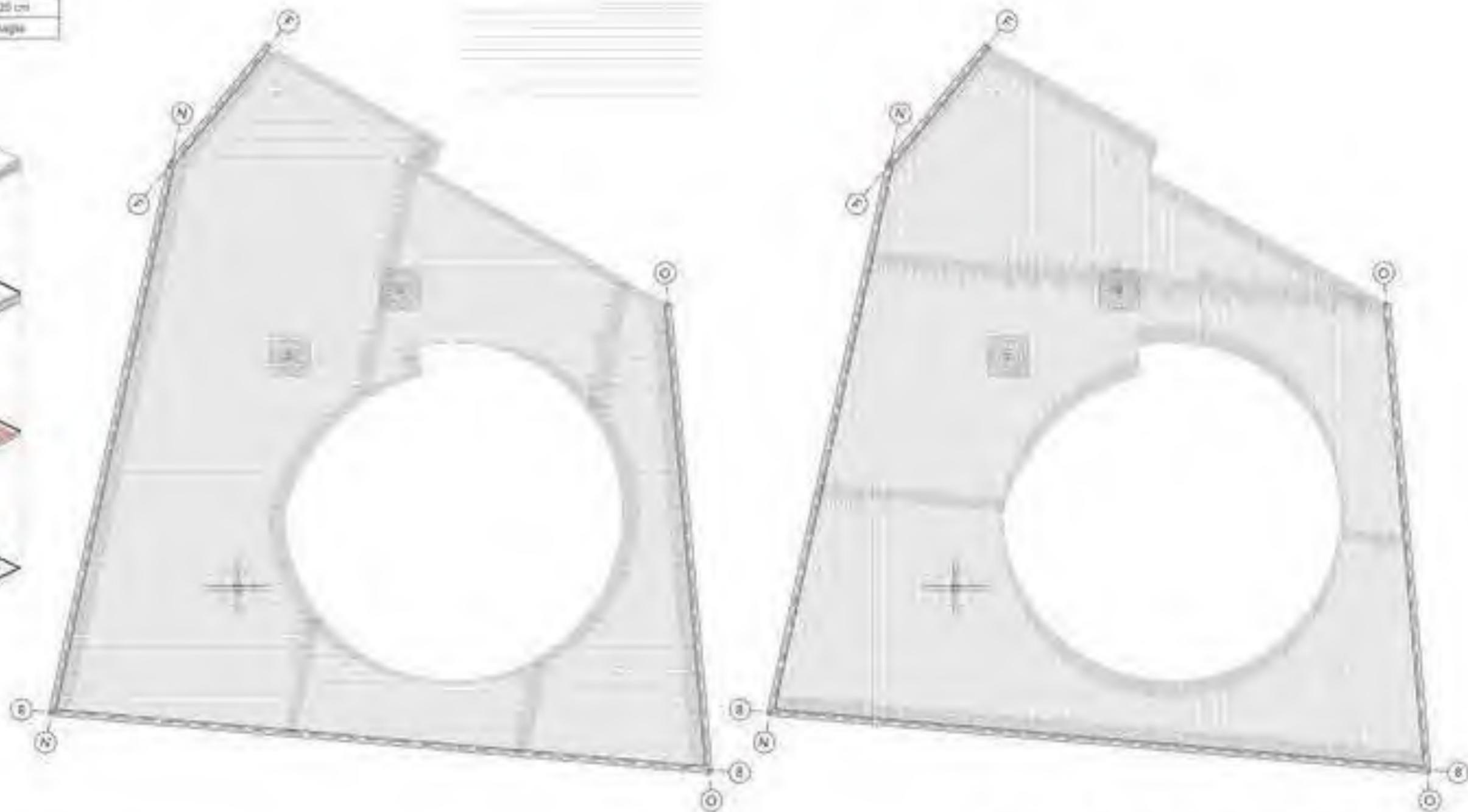


| Prescrizioni dei materiali - Acciaio | | | |
|--|----------------|-------------------|-------------------|
| | classe | f _y | f _t |
| | | N/mm ² | N/mm ² |
| Travi e pilastri | S275 JR | 275 | 430 |
| Colonnelli | S275 JR | 275 | 430 |
| Perforazioni speciali | S275 JR | 275 | 430 |
| Substrato | A47 | 460 | 600 |
| Saldature | S275 JR | 275 | 430 |
| Prescrizioni dei materiali - C.S. espanso | | | |
| Classe di resistenza | C25/30 | | |
| Lavorabilità | FA | | |
| Classe di esposizione | XC3/MC1 | | |
| Dimensione max aggregati | 20/24 mm | | |
| Capillare maximo | 25 mm | | |
| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrosaldata | | | |
| Tipologia | B450C | | |
| Diámetro utilizzato | Ø6 | | |
| Peso | 20,20 cm | | |
| Sovrapposizione minima | 1 maglia | | |
| Prescrizioni dei materiali - Lameira perforata | | | |
| Tipologia | H-Bond | | |
| Tipologia acciaio | S275 JR | | |
| Altezza lamina | 25 mm | | |
| Altezza getto | 45 mm | | |
| Rete elettrosaldata | B450C Ø6-20x20 | | |

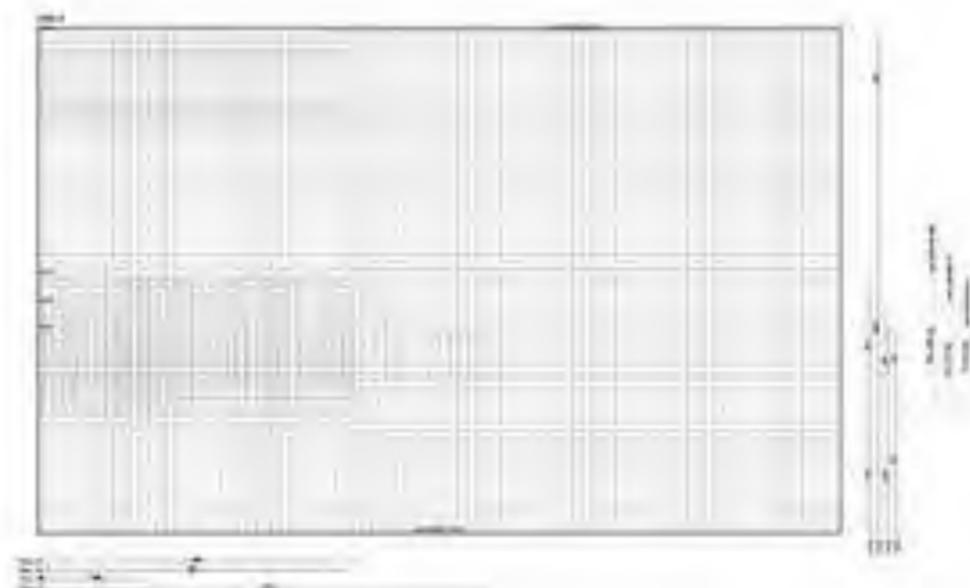
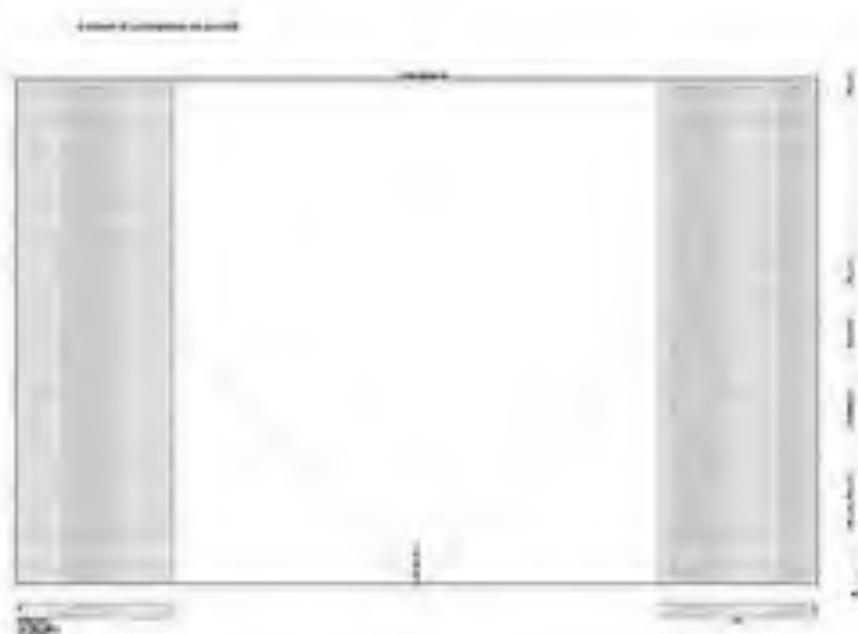
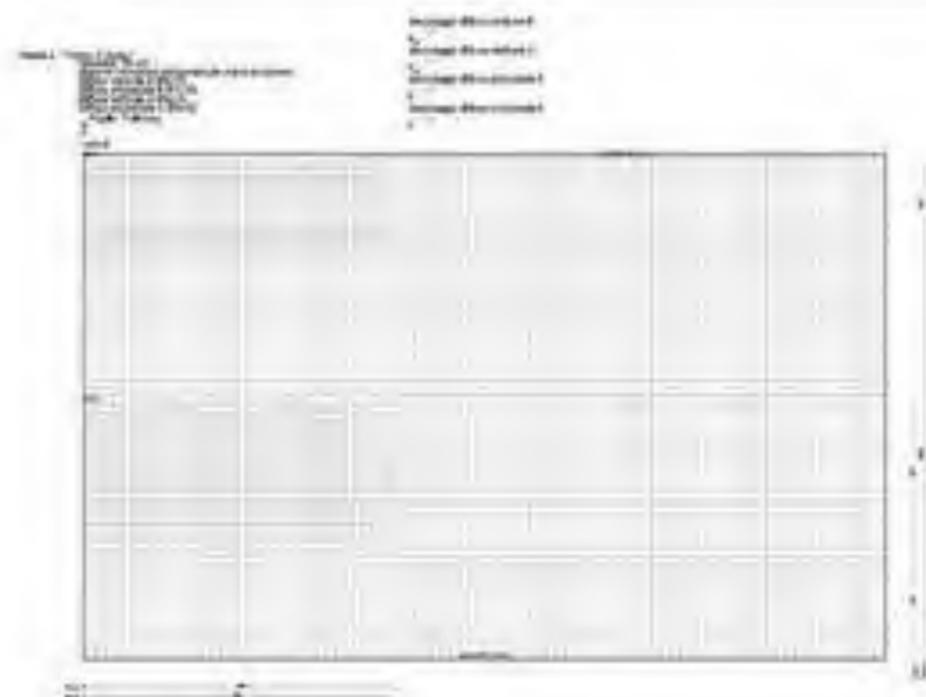
| | |
|--|--------------|
| | Ø39,7 x 6 |
| | Ø39,7 x 25 |
| | Ø70,6 x 94 |
| | Ø88,9 x 692 |
| | Ø88,9 x 2004 |



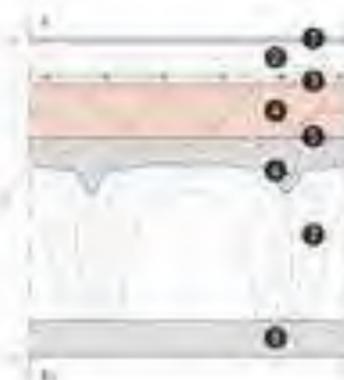
| Prescrizioni dei materiali - C15 cerasato | |
|---|--------------------|
| Classe di resistenza | C15/20 |
| Levatura | r36 |
| Classe di esposizione | XE0/0C1 |
| Dimensione max. aggregati | 20/24 mm |
| Capofila minima | 25 mm |
| Prescrizioni dei materiali - Acciaio per armature | |
| Tipologia | B450C |
| Diametri utilizzati | 40 / 65 60 / 80 |
| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrolizzata | |
| Tipologia | B450C |
| Diametro utilizzato | 40 |
| Passo | 20x20 cm |
| Distanza minima | 1 maglia |



| Prescrizioni dei materiali - C15 per beton | |
|---|---------------------|
| Classe di resistenza | +25/30 |
| Levatura | +3% |
| Classe di esposizione | XSD/SC1 |
| Dimensione max aggregati | 20/24 mm |
| Capacità porosa | 25 m ³ |
| Prescrizioni dei materiali - Acciaio per armature | |
| Tipologia | B450C |
| Diametri utilizzati | Ø6 / Ø8 / Ø12 / Ø20 |
| Prescrizioni dei materiali - Rete elettrolitica | |
| Tipologia | B450C |
| Diametro utilizzato | Ø6 |
| Passo | 20x20 cm |
| Distanza minima | 1 foglio |



C001_a



SOLAIO CONTROTERRA

Trasmittanza 0,10 W/m²K | Spessore: 12h 40'

- 1. Strato di rivestimento:**
Rivestimento in linoleum riscaldato tramite fibra sintetica (sp. 1 cm)
- 2. Strato di allattamento e integrazione impiantistica:**
Massetto alleggerito in perle per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
- 3. Strato di riscaldamento radiante:**
Riscaldamento radiante formato da un pannello preassemblato in polistirene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
- 4. Strato isolante:**
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
- 5. Strato di tenuta ai vapori:**
Membrana bituminosa autoadesiva con rinforzo di polietilene (sp. 0,3 cm)
- 6. Strato portante:**
Getto integrazivo in C.S. e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 7 cm)
- 7. Strato di ventilazione:**
Vespajo aereo con moduli in plastica (sp. 45 cm)
- 8. Strato di allattamento:**
Maggiore (sp. 10 cm)

C001_b

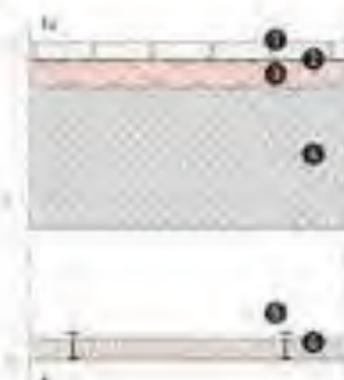


SOLAIO CONTROTERRA BAGNI

Trasmittanza 0,10 W/m²K | Spessore: 12h 40'

- 1. Strato di rivestimento:**
Pastiglia in ceramica (dim. min. 300x300 e collante) (sp. 2 cm)
- 2. Strato di allattamento e integrazione impiantistica:**
Massetto alleggerito in perle per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
- 3. Strato di riscaldamento radiante:**
Riscaldamento radiante formato da un pannello preassemblato in polistirene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
- 4. Strato isolante:**
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
- 5. Strato di tenuta ai vapori:**
Membrana bituminosa autoadesiva con rinforzo di polietilene (sp. 0,3 cm)
- 6. Strato portante:**
Getto integrazivo in C.S. e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 7 cm)
- 7. Strato di ventilazione:**
Vespajo aereo con moduli in plastica (sp. 45 cm)
- 8. Strato di allattamento:**
Maggiore (sp. 10 cm)

C002

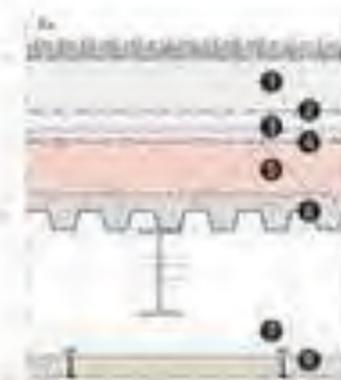


PAVIMENTAZIONE ESTERNA D'INGRESSO

Trasmittanza 0,14 W/m²K | Spessore: 15h 40'

- 1. Strato di rivestimento:**
Pavimento fibrante in blocchi di calcestruzzo vitro compresso (sp. 5 cm)
- 2. Strato impermeabilizzante:**
Doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
- 3. Strato isolante:**
Pannello isolante in XPS (sp. 7,5 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 250 (sp. 40 cm)
- 5. Sottostuttura:**
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato caldo, Ø 0,4 cm e trave di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 6. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

C003_a



TETTO VERDE

Trasmittanza 0,15 W/m²K | Spessore: 16h 50'

- 1. Strato di riempimento:**
Terriccio per giardini pensili (sp. 75 cm)
- 2. Strato filtrante:**
Geotessile in fibre di polipropilene (sp. 0,15 cm)
- 3. Strato drenante:**
Lestre rigide prefabbricate in polistirene espanso sinterizzato (sp. 6,2 cm)
- 4. Strato di separazione:**
Membrana antiradice elastoplasticochimica impermeabile prefabbricata (sp. 0,4 cm)
- 5. Strato di isolamento:**
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
- 6. Strato di sostegno:**
Elemento grecato in acciaio zincato con getto integrazivo in C.S. e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 + 4,5 cm)
- 7. Sottostuttura:**
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato caldo, Ø 0,4 cm e trave di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 8. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

C005

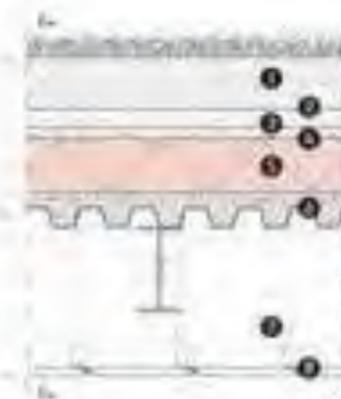


COPERTURA OSSERVATORIO

Trasmittanza 0,14 W/m²K | Spessore: 2h 27'

- 1. Strato di rivestimento, di sostegno e di isolamento:**
Pannello sandwich grecato in acciaio zincato con isolante rigido in poliestere espanso (sp. 10 + 4 cm)
- 2. Strato di rivestimento:**
Pannello in cemento rinforzato con fibre in Psk e doppia rete in fibra di vetro 60 x 90 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)

C801



TETTO VERDE MENSOLA ESTERNA

- 1. Strato di riempimento:**
Terriccio per giardini pensili (sp. 75 cm)
- 2. Strato filtrante:**
Geotessile in fibre di polipropilene (sp. 0,15 cm)
- 3. Strato drenante:**
Lestre rigide prefabbricate in polistirene espanso sinterizzato (sp. 6,2 cm)
- 4. Strato di separazione:**
Membrana antiradice elastoplasticochimica impermeabile prefabbricata (sp. 0,4 cm)
- 5. Strato di isolamento:**
Pannello isolante in XPS (sp. 15 cm)
- 6. Strato di sostegno:**
Elemento grecato in acciaio zincato con getto integrazivo in C.S. e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 + 4,5 cm)
- 7. Sottostuttura:**
Orditura metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato caldo, Ø 0,4 cm e trave di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 8. Strato di rivestimento:**
Pannello in cemento rinforzato con fibre in Psk e doppia rete in fibra di vetro 60 x 90 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)

CV01_a



PARETE PERIMETRALE CONTROTERRA

Trasmittanza: 0,12 kWh/m²K Spessore: 14h 42'

- 1. Strato filtrante:**
Membrana piovola in HDPE con tessuto non-tessuto fibrante termoisolato in polipropilene (sp. 1,7 cm)
- 2. Strato impermeabilizzante:**
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
EPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 20 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 25G, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
- 5. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 6. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 7. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in polietilene armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)

CV01_m



PARETE PERIMETRALE CONTROTERRA MUSEO

Trasmittanza: 0,12 kWh/m²K Spessore: 14h 42'

- 1. Strato filtrante:**
Membrana piovola in HDPE con tessuto non-tessuto fibrante termoisolato in polipropilene (sp. 1,7 cm)
- 2. Strato impermeabilizzante:**
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
EPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 20 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 25G, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
- 5. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 6. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 7. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in polietilene armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)
- 8. Strato di rivestimento:**
Pietrille in gres porcellanato dim. 150x100 cm e collante (sp. 2 cm)

CV02

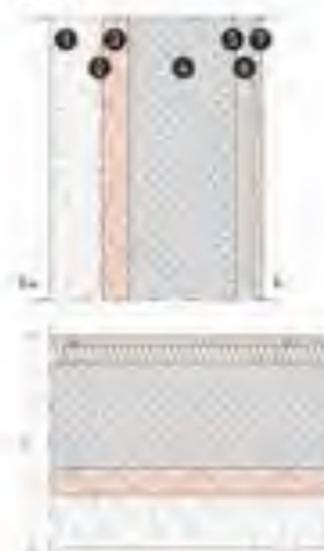


FACCIATA VENTILATA IN FIBROCEMENTO - MASSIVA

Trasmittanza: 0,14 kWh/m²K Spessore: 14h 31'

- 1. Strato di rivestimento:**
Pannello in cemento rinforzato con fibre in PVA e doppia rete in fibra di vetro 60 x 30 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)
- 2. Strato di sostegno:**
Profilo in alluminio estruso, sp. 0,2 cm (sp. 0,5 cm)
- 3. Strato isolante e di sostegno:**
Isolante in polipirene espanso rigido autoprestigante in pannelli 250 x 30 cm ricoperto da una lamina impermeabile di alluminio goffiato, con annesso profilo nervato in lega alluminio-zinco-niobio (sp. 16 cm + 4 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 25G, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
- 5. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 6. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 7. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in polietilene armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)

CV03



FACCIATA GABION WALL - MASSIVA

Trasmittanza: 0,18 kWh/m²K Spessore: 12h 42'

- 1. Strato di rivestimento:**
Gabion wall di pietra lavica con griglia in acciaio zincato, passo rete 5 cm (sp. 15 cm)
- 2. Strato impermeabilizzante:**
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
EPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 7,5 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza RCK 25G, sp. 0,08 cm (sp. 30 cm)
- 5. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 6. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 7. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" con interposta barriera al vapore in polietilene armata con rete in polipropilene, sp. 0,064 cm (sp. 2,5 cm)

CV04



FACCIATA VENTILATA IN FIBROCEMENTO - LEGGERA

Trasmittanza: 0,14 kWh/m²K Spessore: 14h 24'

- 1. Strato di rivestimento:**
Pannello in cemento rinforzato con fibre in PVA e doppia rete in fibra di vetro 60 x 30 cm con fughe di 0,5 cm (sp. 2 cm)
- 2. Strato isolante e di sostegno:**
Isolante in polipirene espanso rigido autoprestigante in pannelli 250 x 30 cm ricoperto da una lamina impermeabile di alluminio goffiato, con annesso profilo nervato in lega alluminio-zinco-niobio (sp. 16 cm + 4 cm)
- 3. Strato di irrigidimento:**
pannello in cemento Portland con rete di armatura (sp. 1,25 cm)
- 4. Strato di tenuta all'aria:**
Barriera agli agenti atmosferici in fibre di polietilene, permeabile al vapore acqueo e impermeabile all'acqua (sp. 0,02 cm)
- 5. Strato di sostegno:**
Guide a U e montanti a C in lega di alluminio magnesio e zinco, passo 50 cm, sp. 0,08 cm (sp. 7,5 cm)
- 6. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 50 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 7. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 8. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito con barriera al vapore (sp. 2,5 cm)

CV05

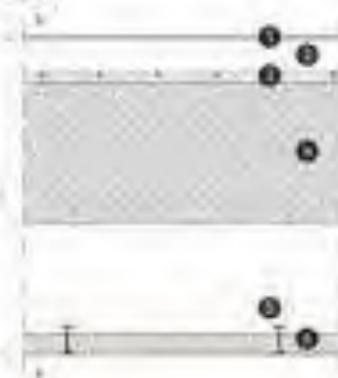


FACCIATA GABION WALL - LEGGERA

Trasmittanza: 0,18 kWh/m²K Spessore: 7h 36'

- 1. Strato di rivestimento:**
Gabion wall di pietra lavica con griglia in acciaio zincato, passo rete 5 cm (sp. 15 cm)
- 2. Strato impermeabilizzante:**
doppia guaina bituminosa, sp. 0,4 cm (sp. 0,8 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
EPS con giunti sigillati con collante a base cementizia (sp. 7,5 cm)
- 4. Strato di irrigidimento:**
pannello in cemento Portland con rete di armatura (sp. 1,25 cm)
- 5. Strato di tenuta all'aria:**
Barriera agli agenti atmosferici in fibre di polietilene, permeabile al vapore acqueo e impermeabile all'acqua (sp. 0,02 cm)
- 6. Strato di sostegno:**
Guide a U e montanti a C in lega di alluminio magnesio e zinco, passo 50 cm, sp. 0,08 cm (sp. 7,5 cm)
- 7. Strato di sostegno:**
Telaio portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm, sp. 0,08 cm (sp. 5 cm)
- 8. Strato di isolamento:**
lana isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 9. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito con barriera al vapore (sp. 2,5 cm)

P002



SOLAIO INTERPIANO PIANO TERRA

Potere fonoisolante: $R_w = 42$ dB Isolamento ai rumori impattivi: $L_w = 10,8$ dB

- 1. Strato di rivestimento:**
Pavimento in linoleum incollato tramite resina sintetica (sp. 1 cm)
- 2. Strato di allentamento e integrazione impiantistica:**
Massetto alleggerito in perle per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
- 3. Strato di riscaldamento radiante:**
Riscaldamento radiante formato da un pannello presagomato in polipropilene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
- 4. Strato strutturale:**
Calcestruzzo armato, classe di resistenza ROK 250 (sp. 40 cm)
- 5. Sottotruttura:**
Orbita metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molle di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 6. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

PV01_c

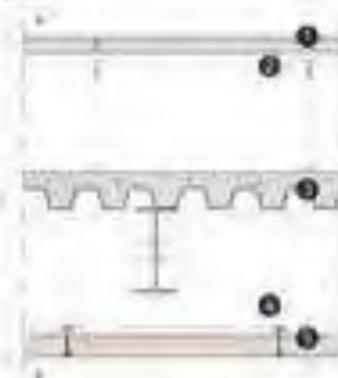


PARETE INTERNA ATTREZZATA BAGNO

Potere fonoisolante: $R_w = 57$ dB

- 1. Strato di rivestimento:**
Fianchino in ceramica dim. min. 300x400 e collante (sp. 2 cm)
- 2. Strato di impiego:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB" cm (sp. 2,5 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
Latta isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 4. Strato di sostegno:**
Telajo portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm (sp. 100 cm) (sp. 5 cm)
- 5. Strato di sostegno:**
Telajo portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm (sp. 100 cm) (sp. 5 cm)
- 6. Strato di isolamento:**
Latta isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 7. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)

P003



SOLAIO INTERPIANO PIANO PRIMO

Potere fonoisolante: $R_w = 50$ dB Isolamento ai rumori impattivi: $L_w = 8,8$ dB

- 1. Strato di rivestimento:**
Pavimento in pannelli prefabbricati per pavimenti galleggianti con rivestimento in linoleum (sp. 4 cm)
- 2. Strato di sostegno:**
Piedini in alluminio e profilo per pavimenti galleggianti (sp. 34,2 cm)
- 3. Strato di sostegno:**
Elemento grata in acciaio zincato con getto integrativo in C/S e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 x 4,5 cm)
- 4. Sottotruttura:**
Orbita metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molle di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 5. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

PV02_a

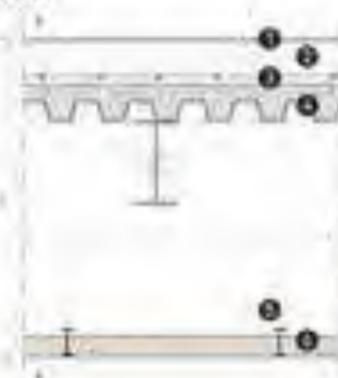


PARETE INTERNA SEMPLICE

Potere fonoisolante: $R_w = 58$ dB

- 1. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)
- 2. Strato di sostegno:**
Telajo portante in acciaio zincato realizzato tramite guide a U e montanti a C, passo 60 cm (sp. 100 cm) (sp. 7,5 cm)
- 3. Strato di isolamento:**
Latta isolante termoisolante in lana di pecora (sp. 4 cm)
- 4. Strato di rivestimento:**
Doppia latta in gesso rivestito tipo "Knauf GKB A" cm (sp. 2,5 cm)

P004



SOLAIO INTERPIANO PIANO SECONDO

Potere fonoisolante: $R_w = 54$ dB Isolamento ai rumori impattivi: $L_w = 10,8$ dB

- 1. Strato di rivestimento:**
Pavimento in linoleum incollato tramite resina sintetica (sp. 1 cm)
- 2. Strato di allentamento e integrazione impiantistica:**
Massetto alleggerito in perle per il passaggio dell'impiantistica (sp. 9 cm)
- 3. Strato di riscaldamento radiante:**
Riscaldamento radiante formato da un pannello presagomato in polipropilene e tubolari Ø 2 cm (sp. 3 cm)
- 4. Strato di sostegno:**
Elemento grata in acciaio zincato con getto integrativo in C/S e rete elettrosaldata, Ø 3 mm, maglia 20 x 20 cm (sp. 5,5 x 4,5 cm)
- 5. Sottotruttura:**
Orbita metallica con profili a "C" in acciaio zincato, pendini in filo zincato cotto, Ø 0,4 cm e molle di acciaio temperabile nichelata, passo 60 cm
- 6. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato con isolante in lana di roccia (sp. 5 cm)

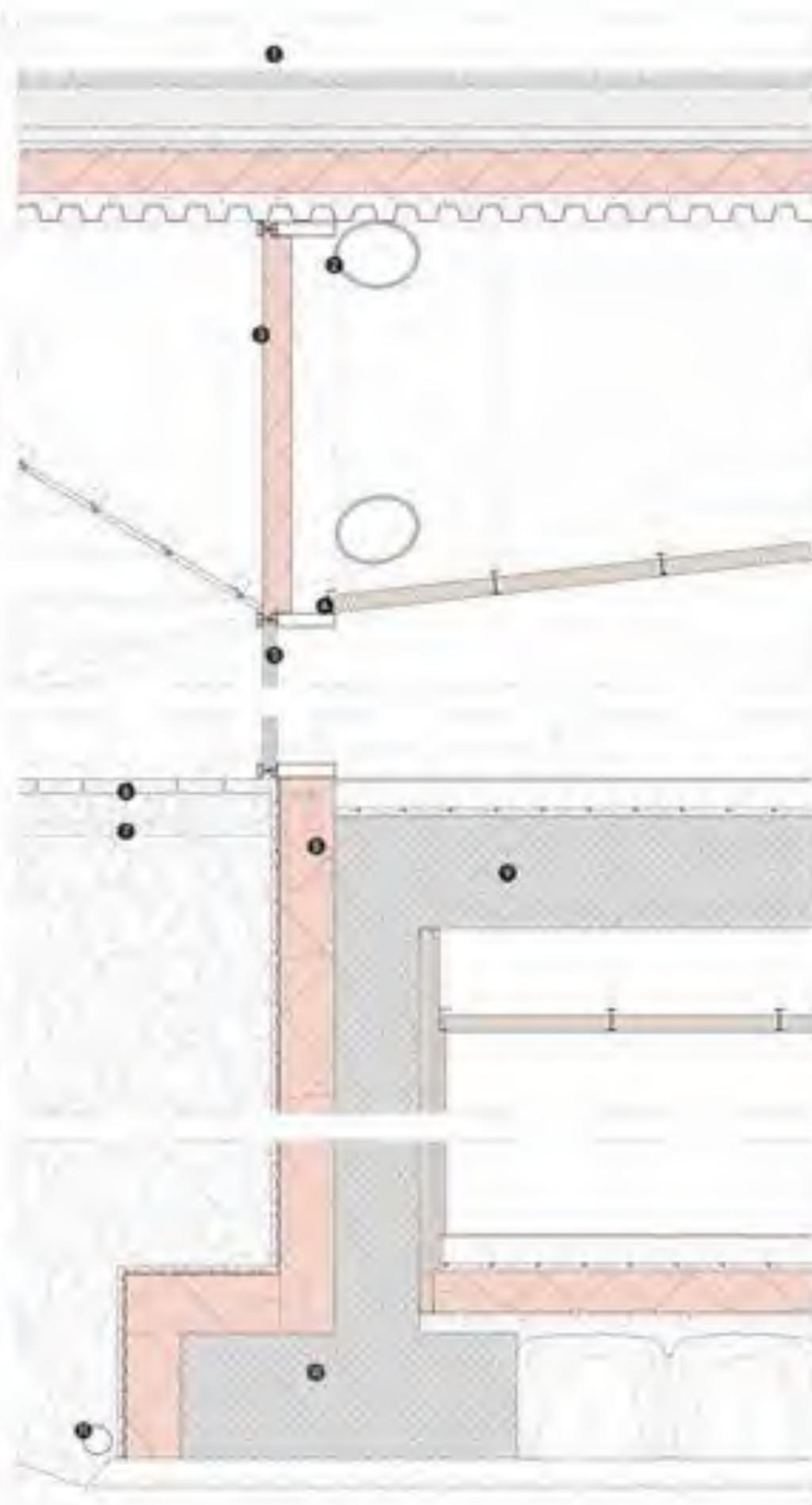
PV03



RIVESTIMENTO SFERA PLANETARIO

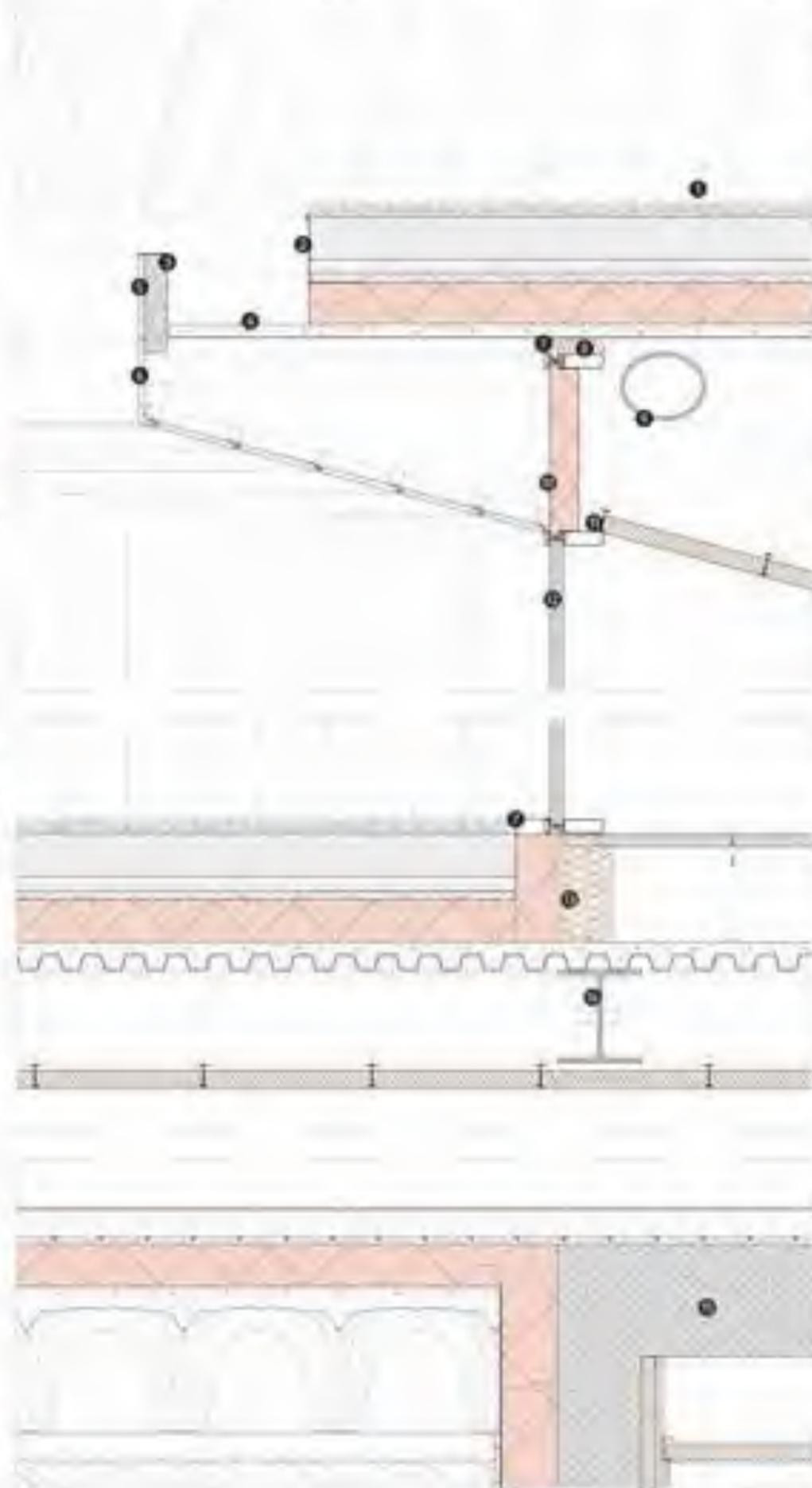
Potere fonoisolante: $R_w = 54$ dB

- 1. Strato di isolamento e rivestimento:**
Pannello fonoassorbente microforato flessibile isolante in lana di roccia, raggio di curvatura 180 cm (sp. 5 cm)
- 2. Strato di sostegno:**
Telajo in legno, 3 x 5 cm, passo 50 cm (sp. 5 cm)
- 3. Strato di rivestimento:**
Telo di proiezione bianco tessuto



1. Linea vita di ancoraggio in acciaio inossidabile di tipo AISI-316 con trebbio a 19 fili e assorbitore integrato, passo pali = 5 m
2. Reticolare spaziale formata da profili in acciaio tondi cavi (ø88,9 (2 mm), ø88,9 (6,3 mm), ø193,7 (6,3 mm), ø193,7 (12,5 mm), ø193,7 (16 mm)) e nodi "tipo Mero"
3. Pannello sandwich per facciata continua in alluminio e core in PUR
4. Profilo speciale di chiusura per controsoffitti in alluminio
5. Facciata continua a montanti e traversi in alluminio, isolamento termico ottimizzato con Uf = 0,70 $\text{w}/(\text{m}^2\text{K})$, compreso l'infisso delle vetri. Nastro isolante con pellicola riflettente, applicato sulla sottocopertina, per minimizzare la perdita di energia dovuta all'irraggiamento. Vetraggio a tripla lastra, spessore dei vetri di 82 mm in grado di sopportare carichi in vetro fino a 700 kg per traverso. Montanti strutturali in tubolari di acciaio 240 x 40 mm
6. Pavimentazione esterna in gres porcellanato, sp. 5 cm
7. Strato drenante in ghiaia
8. Profilo in acciaio con piastra saldata imbullonata alla struttura della facciata continua e alla struttura portante in CA
9. Piastra in calcestruzzo armato, classe RCK 25/30, fibrorinforzato con fibre di vetro Mindian nelle zone più sollecitate, sp. 400 mm
10. Fondazione in calcestruzzo armato, sp. 450 mm
11. Tubo di drenaggio corrugato a doppia parete in polietilene con fessurazioni per superficie di captazione a 180°, ø100mm





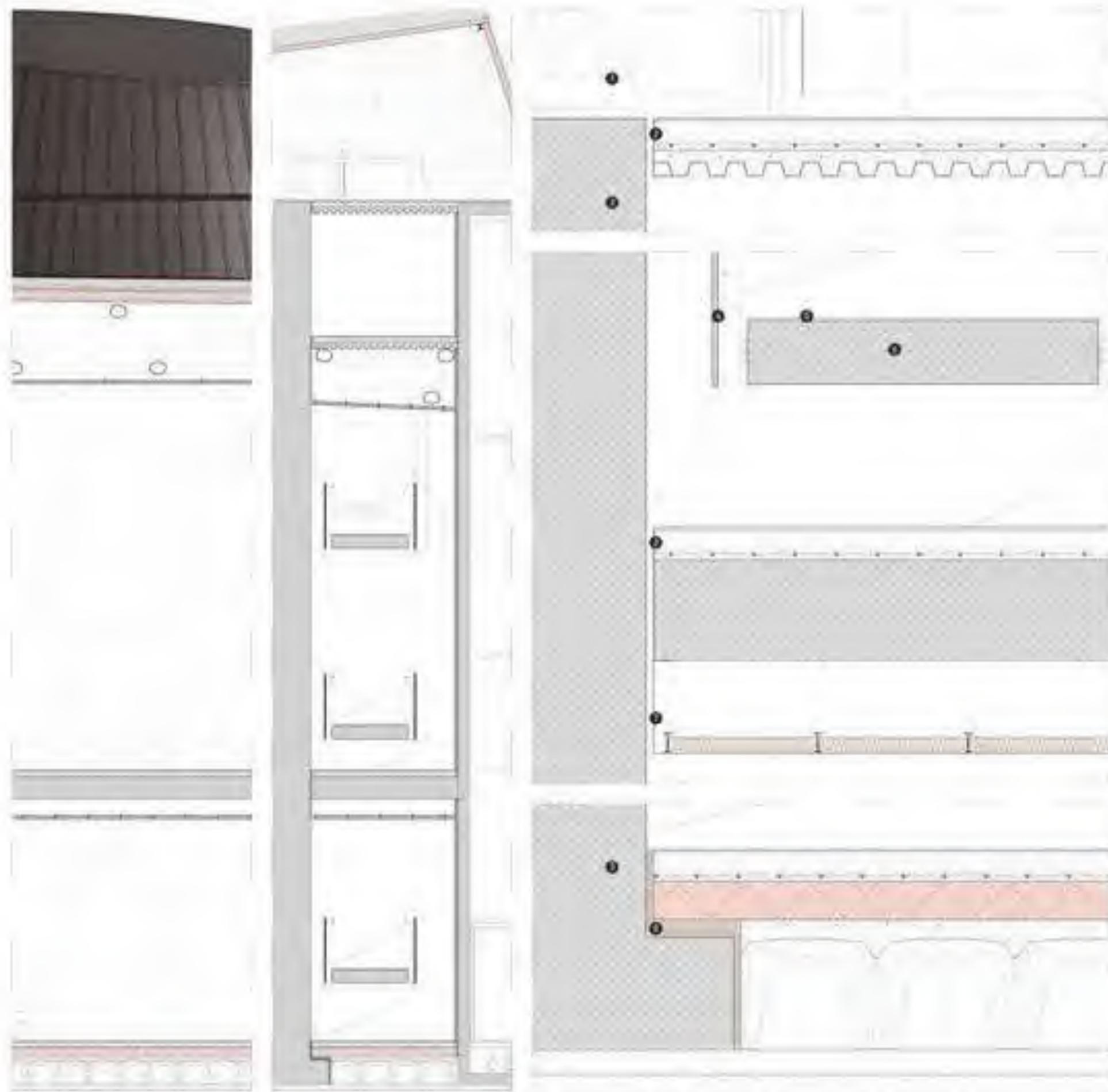
1. Linea vita di ancoraggio in acciaio inossidabile di tipo AISI-316 con trebulo a 19° e assorbitore integrato, passo pali + 5 m
2. Scossalina in alluminio di contenimento dello strato collettivo di riempimento
3. Strato di sostegno in CA, ancorato al getto collaborante tramite ferri d'armatura e sommerso da una scossalina in alluminio di protezione
4. Continuità dello strato impermeabilizzante costituito da una doppia membrana bituminosa autoadesiva con rete di rinforzo in polietilene
5. Pannello in cemento rinforzato con fibre di vetro e doppia rete in fibra di vetro 120 x 30 cm incollato allo strato di sostegno tramite collante per rivestimenti esterni
6. Pannello in cemento rinforzato con fibre di vetro e doppia rete in fibra di vetro 120 x 30 cm presagomato e provvisto di rampigocchia
7. Carter di chiusura in alluminio per facciata continua
8. Chiusura dei giunti tra lamiera grecata e traverso della facciata continua tramite schiuma poliuretanicca espansa
9. Reticolare spaziale formata da profili in acciaio tondi cavi (Ø88,9 12 mm, Ø88,9 16,3 mm, Ø193,7 16,3 mm, Ø193,7 12,5 mm, Ø193,7 19 mm) e nodi "tipo Merlo"
10. Pannello sandwich per facciata continua in alluminio e core in PUR
11. Profilo speciale di chiusura per controsoffitti in alluminio
12. Facciata continua a montanti e traversi in alluminio, isolamento termico ottimizzato con $Uf = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, compreso l'efflusso delle viti.
Nastro isolante con pellicola riflettente, applicato sulla sottocopertina, per minimizzare la perdita di energia dovuta all'inneschiamento. Vetraggio a tripla lastra, spessore dei vetri di 82 mm in grado di sopportare carichi in vetro fino a 700 kg per traverso
13. Profilo in acciaio con piastra saldata imbullonata alla struttura della facciata continua e alla cappa collaborante dello strato di sostegno
14. Trave primaria in acciaio HEA 360
15. Piastra in calcestruzzo armato, classe RCC 25/30, fibrorinforzato con fibre di vetro Minibar nelle zone più sollecitate, sp. 400 mm





1. Parapetto in gabion wall di pietra lavica locale con gabbia in acciaio zincato, passo rete 5 cm (sp. 60 cm)
2. Scossalina in alluminio di contenimento dello strato coibente
3. Profili di sostegno del rivestimento in gabion wall realizzati tramite barre in acciaio uncinato e tassellate allo strato portante interno in corrispondenza dei profili di sostegno interni
4. Telaio in lega di alluminio magnesio e zinco, passo 50 cm, sp. 0,08 cm
5. Trave primaria di fondo in acciaio HEB360
6. Pannello isolante morbido in lana di pecora (sp. 8 cm)
7. Profilo speciale di chiusura per controsoffiti in alluminio
8. Facciata continua a montanti e traversi in alluminio, isolamento termico ottimizzato con $Uf = 0,70 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, compreso l'influsso delle viti. Nastro isolante con pellicola riflettente, applicato sulla sottocopertina, per minimizzare la perdita di energia dovuta all'inquinamento. Vetraggio a tripla lastra, spessore dei vetri di 62 mm in grado di sopportare carichi in vetro fino a 700 kg per traverso. Montanti strutturali in tubolari di acciaio 240 x 40 mm
9. Pavimentazione esterna in gres porcellanato, sp 5 cm
10. Strato drenante in ghiaia
11. Profilo in acciaio con piastra saldata imbullonata alla struttura della facciata continua e alla struttura portante di fondazione
12. Tralozzo in acciaio, ø20 mm
13. Fondazione in calcestruzzo armato, sp. 450 mm
14. Tubo di drenaggio corrugato a doppia parete in polietilene con fessurazioni per superficie di captazione a 360°, ø100mm



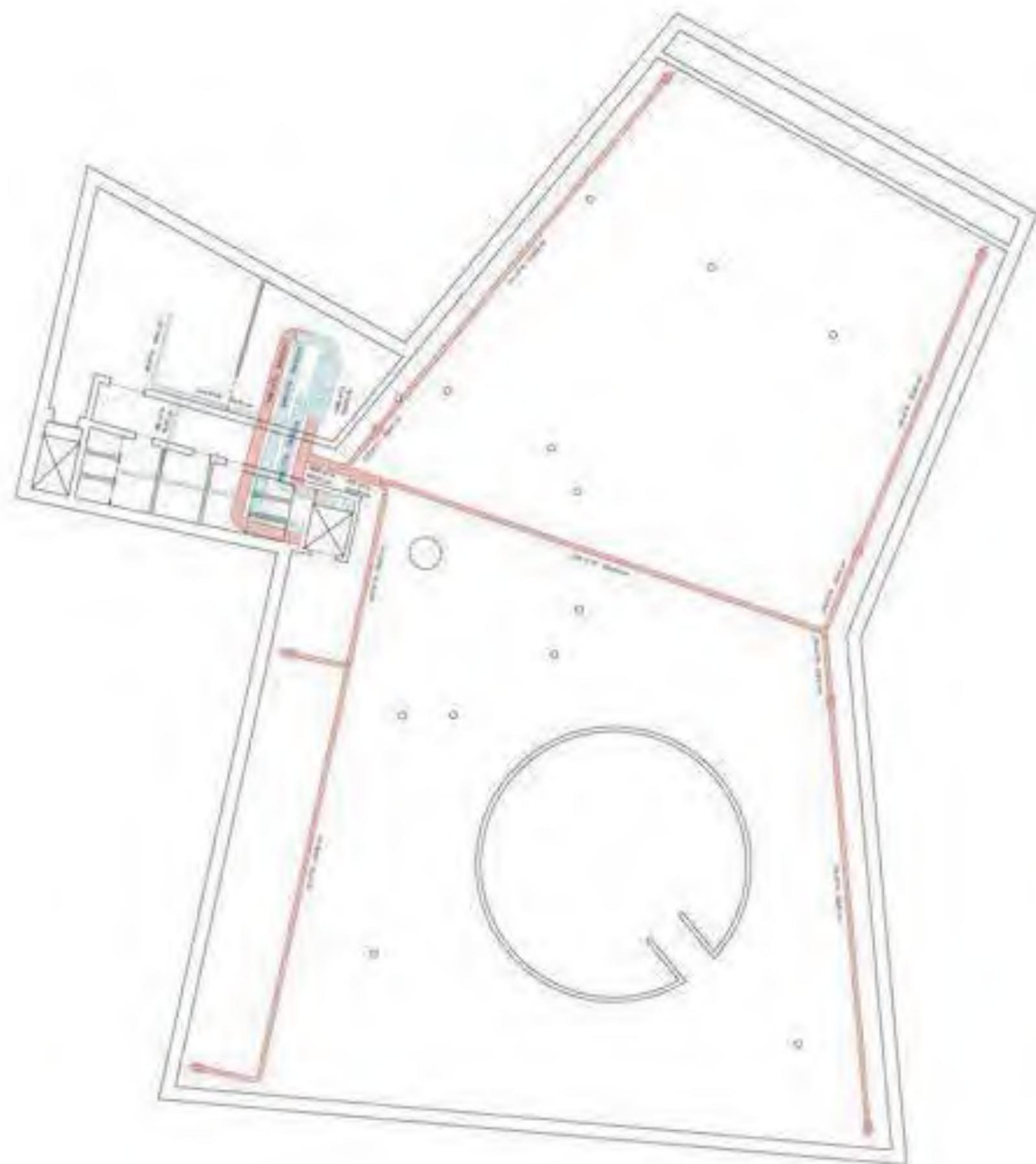
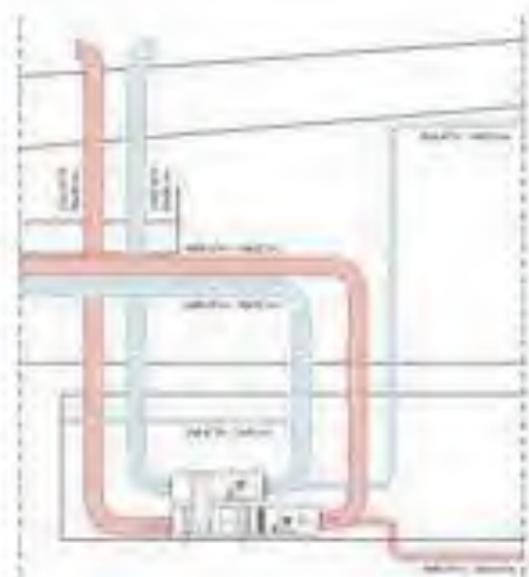


1. Telescopio ottico a riflessione
2. Pannello isolante termo-acustico per la riduzione dei rumori da calpestio
3. Pilone in calcestruzzo armato, classe RCC 25/30, e 1400 mm
4. Parapetto in foglio di lamiera di alluminio sagomato, ancorato alla scala tramite profili in acciaio con tasselli in acciaio tubolare calandrato
5. Strato di rivestimento gradini in bitume incollato tramite resina sintetica
6. Scale a chiocciola in calcestruzzo armato, classe RCC 25/30, fibrorinforzato con fibre di vetro. Modulare nelle zone più sollecitate, sp. 250 mm
7. Cornice perimetrale flessibile in alluminio preverniciato con rinforzo in PVC per coesione
8. Strato di separazione strutturale garantito attraverso la posa di pannelli isolanti morbidi in lana di pecora



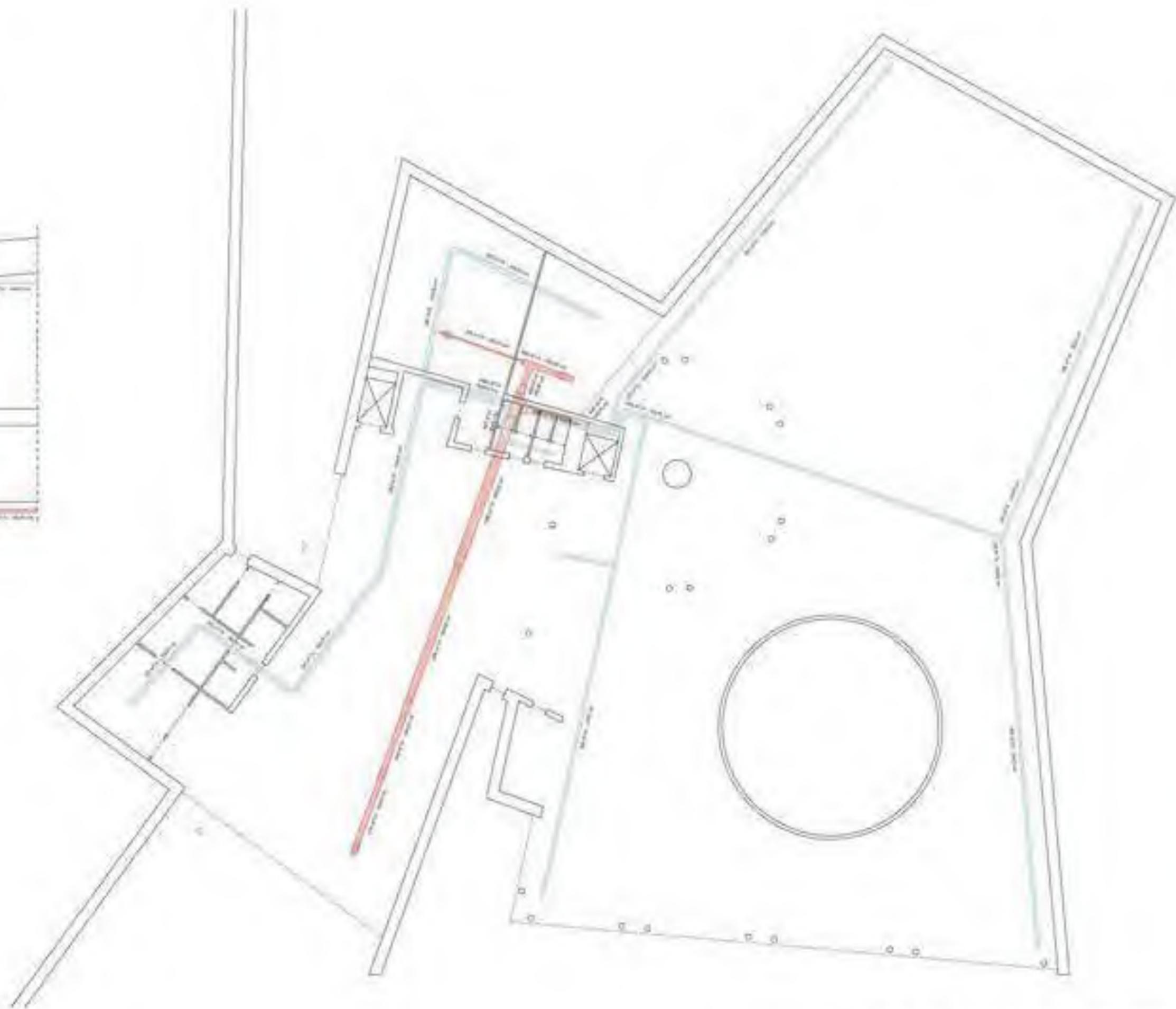
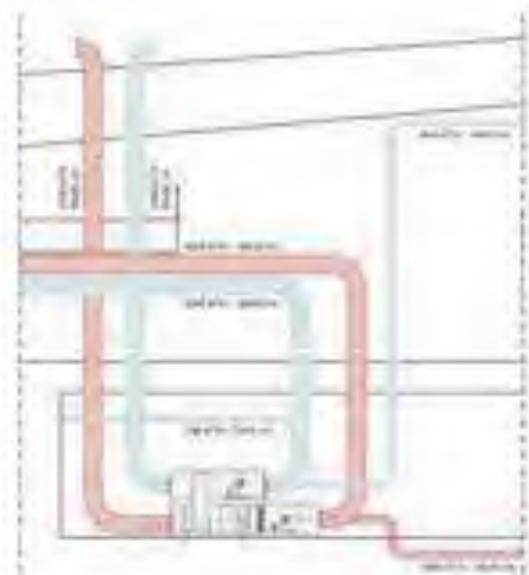
LEGENDA CANALI

- Canale di mandata
- Canale di ritorno
- Bocchetta di mandata
- Bocchetta di ripresa

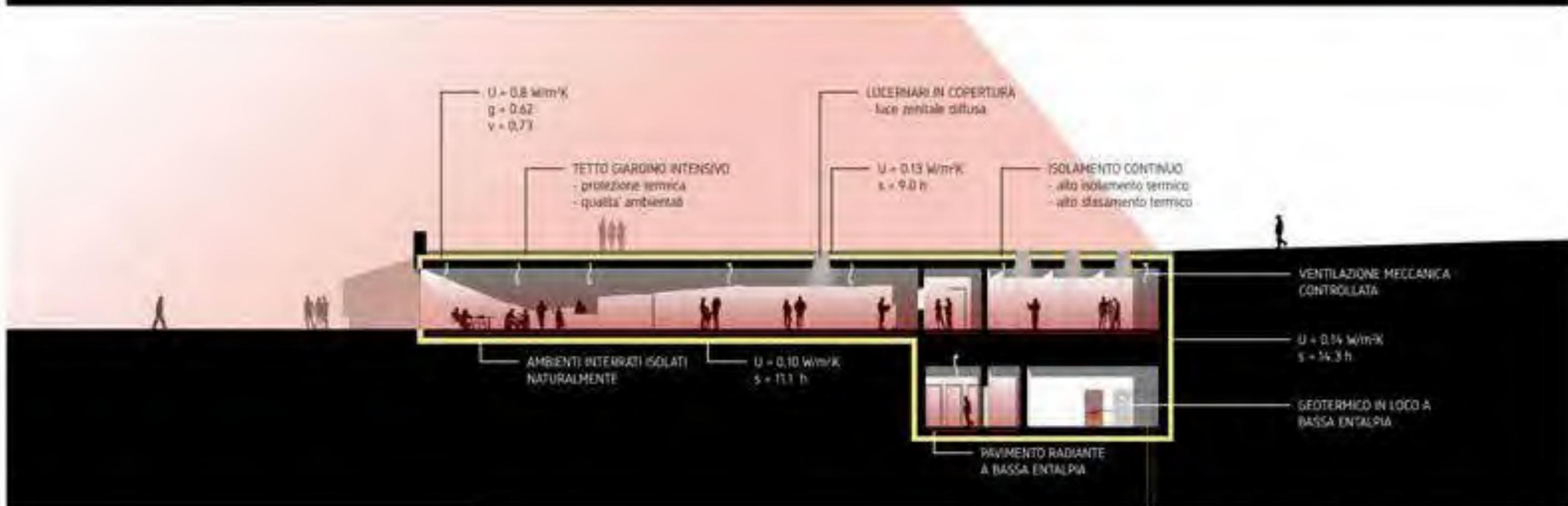
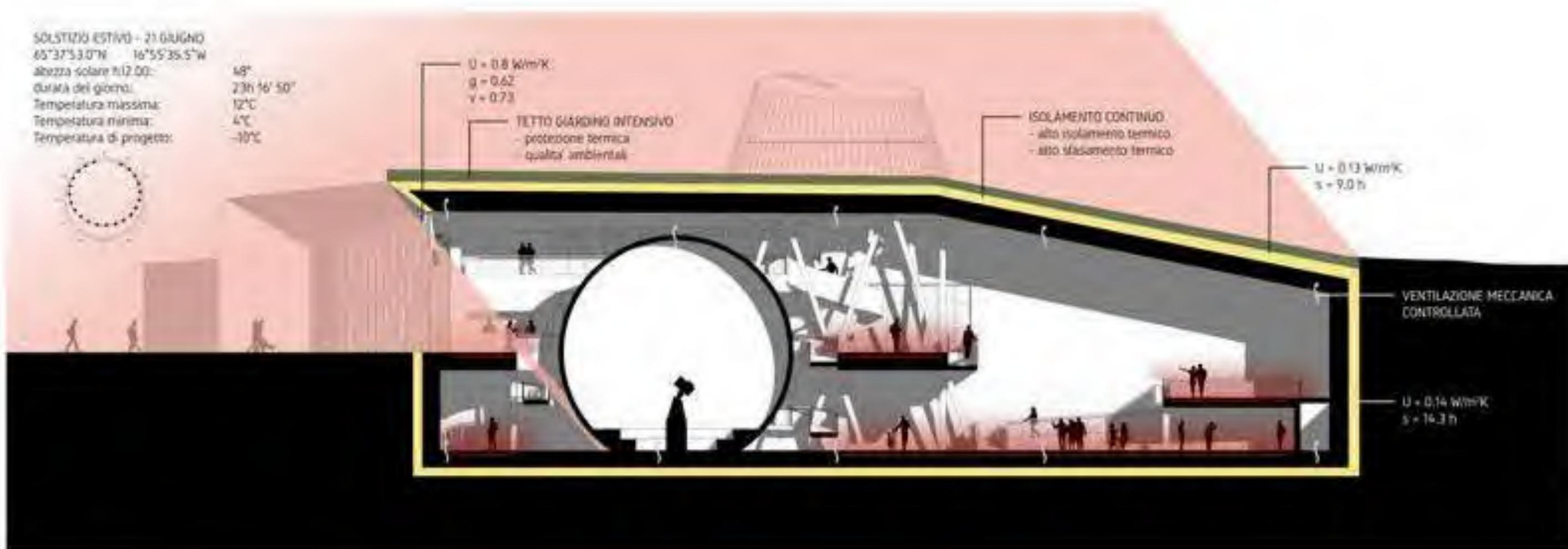


LEGENDA CANALI

- Canale di mandata
- Canale di ritorno
- Bocchetta di mandata
- Bocchetta di ripresa



SOLSTIZIO ESTIVO - 21 GIUGNO
 65°37'53.0"N 16°55'35.5"W
 altezza solare h: 12.00
 Durata del giorno: 14h 23m 16s 50"
 Temperatura massima: 12°C
 Temperatura minima: 4°C
 Temperatura di progetto: -10°C



SOLSTIZIO INVERNALE - 21 DICEMBRE

65°37'33.0"N 16°55'35.5"W

altezza solare h: 12.00°

durata del giorno: 03h 06' 24"

temperatura massima: -2°C

temperatura minima: -22°C

temperatura di progetto: -10°C



FACCIATA DINAMICA A CRISTALLI LIQUIDI

- previene l'abbagliamento invernale

- $U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $g = 0.56$

TETTO GIARDINO INTENSIVO

- protezione termica

- qualità ambientale

ISOLAMENTO CONTINUO

- alto isolamento termico

- alto sfasamento termico

$U = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 8.5 \text{ h}$

VENTILAZIONE MECCANICA
CONTROLLATA

$U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 14.3 \text{ h}$

AMBIENTI INTERRATI ISOLATI
NATURALMENTE

PAVIMENTO RADIANTE A BASSA
ENTALPIA

$U = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 12.4 \text{ h}$

FACCIATA DINAMICA A CRISTALLI LIQUIDI

- previene l'abbagliamento invernale

- $U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $g = 0.56$

TETTO GIARDINO INTENSIVO

- protezione termica

- qualità ambientale

LUCERNARI IN COPERTURA

- luce zenitale diffusa

$U = 0.13 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 8.5 \text{ h}$

ISOLAMENTO CONTINUO

- alto isolamento termico

- alto sfasamento termico

VENTILAZIONE MECCANICA
CONTROLLATA

$U = 0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 14.3 \text{ h}$

AMBIENTI INTERRATI ISOLATI
NATURALMENTE

$U = 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

$s = 12.4 \text{ h}$

PAVIMENTO RADIANTE

GEOTERMICO IN LOCO A
BASSA ENTALPIA



