

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria edile - Architettura



**Tecnologie costruttive innovative nella progettazione degli
edifici temporanei: il Padiglione Italia per la EXPO 2015 di
Milano.**

Relatore: Prof. Ing. Matteo Francesco RUTA
Correlatore: Prof. Arch. Luigi CARRETTA
Correlatore: Prof. Ing. Giulio ZANI

Tesi di Laurea di:

Narges ASADI SOHI	Matr. 707261
Gabriele VANOI	Matr. 732157
Francesco VESCOVI	Matr. 715870

Anno Accademico 2014 - 2015

Ringraziamenti

Ci sono molte persone che vorremmo ringraziare, non solo per averci aiutato nel periodo di stesura di questo lavoro, ma soprattutto per esserci state vicine durante tutti questi anni. Senza i nostri familiari ed amici il percorso che concludiamo qui sarebbe senz'altro stato più arduo.

Un ringraziamento particolare va quindi a tutte le persone che ci hanno sostenuto e con le quali abbiamo sempre condiviso le nostre esperienze; questa tesi è certamente anche merito loro.

Narges
Gabriele
Francesco

*“Una casa non deve mai essere su una collina o su qualsiasi altra cosa.
Deve essere della collina, appartenerele,
in modo tale che collina e casa possano vivere insieme,
ciascuna delle due più felice per merito dell'altra.”*

Frank Lloyd Wright

*“Arco non è altro che una fortezza causata da due debolezze,
imperò che l'arco negli edifizii è composto di 2 parti di circolo,
i quali quarti circoli,
ciascuno debolissimo per sé, desidera cadere,
e opponendosi alla ruina l'uno dell'altro,
le due debolezze si convertano in unica fortezza.”*

Leonardo da Vinci

Indice

Abstract.....	1
Abstract.....	2
Introduzione	3

CAPITOLO 1 Inquadramento ed analisi

1.1. Esposizioni universali	7
1.1.1. Introduzione.....	7
1.1.2. Cenni storici	9
1.2. Inquadramento	19
1.2.1. Localizzazione.....	19
1.2.2. Analisi dei trasporti	20
1.2.3. Analisi climatica.....	22

CAPITOLO 2 Direttive generali

2.1. Concept architettonico	27
2.1.1. Tema	27
2.1.2. Concept guida	29
2.2. Bando di concorso	30
2.2.1. Masterplan.....	30
2.2.2. Area di intervento	36
2.2.3. Contesto	38
2.2.4. Vincoli di progetto.....	39

CAPITOLO 3 Il concept architettonico

3.1. Evoluzione del concept.....	43
3.1.1. Ipotesi precedenti	43
3.1.2. Concept definitivo.....	48

CAPITOLO 4 Il progetto architettonico

4.1. Palazzo Italia	54
4.1.1. Esigenze e bisogni da soddisfare.....	54

4.1.2.	Riconversione post EXPO	56
4.1.3.	Descrizione architettonica	57
4.1.4.	Piante	60
4.2.	Edifici del Cardo	67
4.2.1.	Esigenze e bisogni da soddisfare.....	67
4.2.2.	Descrizione architettonica	69
4.2.3.	Piante	72
4.2.4.	Prospetti.....	75

CAPITOLO 5 Il progetto tecnologico

5.1.	Premesse.....	79
5.1.1.	Un punto cardine	79
5.1.2.	Qualità tecnologica	80
5.2.	Tecnologia costruttiva	81
5.2.1.	I materiali	81
5.2.2.	I pacchetti tecnologici	86
5.2.3.	Nodi tecnologici	92
5.3.	Prestazioni attese	94
5.3.1.	Specifiche tecniche dei materiali	94
5.3.2.	Verifiche tecniche sugli abachi sensibili.....	107

CAPITOLO 6 Verifiche

6.1.	Verifica delle aree	114
6.1.1.	Piante del Palazzo Italia	114
6.1.2.	Piante del Cardo.....	117
6.2.	Verifica della luminosità	120
6.2.1.	Premessa	120
6.2.2.	Fattore di luce diurna ed illuminamento	121
6.3.	Progetto antincendio	123
6.3.1.	Introduzione.....	123
6.3.2.	Identificazione delle attività generali e normative	125
6.3.3.	Numero minimo di vie d'esodo.....	126
6.3.4.	Verifica antincendio	127

CAPITOLO 7 Il progetto strutturale

7.1.	Premesse.....	130
7.1.1.	Descrizione strutturale.....	130
7.1.2.	Problematiche specifiche.....	132
7.2.	Azioni sulla costruzione	133
7.2.1.	Analisi dei carichi permanenti.....	133
7.2.2.	Analisi dei carichi variabili.....	138
7.2.3.	Combinazioni di carico.....	140
7.2.4.	Azione sismica.....	142
7.2.5.	Azione del vento	149
7.2.6.	Conclusioni.....	153
7.3.	Dimensionamento e verifiche.....	154
7.3.1.	Copertura piana	154
7.3.2.	Bulbo sospeso	159
7.3.3.	Archi in calcestruzzo	172
7.3.4.	Connessioni tra acciaio e calcestruzzo.....	186
7.3.5.	Altre connessioni critiche.....	191

CAPITOLO 8 Il progetto impiantistico

8.1.	Calcolo dei carichi termici estivi	195
8.1.1.	Premesse.....	195
8.1.2.	Condizioni al contorno e metodologia progettuale.....	197
8.1.3.	Calcolo dei carichi termici	207
8.2.	Progettazione e dimensionamento delle unità di trattamento dell'aria	223
8.2.1.	Premesse.....	223
8.2.2.	Calcolo delle U.T.A.	224
8.2.3.	U.T.A. 1.....	230
8.2.4.	U.T.A. 2.....	233
8.2.5.	U.T.A. 3.....	235
8.2.6.	U.T.A. 4.....	237
8.2.7.	U.T.A. 5.....	239

8.3.	Progettazione e dimensionamento dei condotti di mandata, ripresa ed espulsione	241
8.3.1.	Premesse.....	241
8.3.2.	Calcolo dei condotti di mandata, ripresa ed espulsione.....	242

CAPITOLO 9 Il progetto ergotecnico

9.1.	Computo metrico estimativo.....	247
9.1.1.	Introduzione.....	247
9.1.2.	Computo metrico estimativo per voci di lavoro	248
9.1.3.	Computo metrico estimativo per risorse.....	250
9.1.4.	Computo metrico estimativo degli edifici del Cardo	251
9.1.5.	Valutazioni finali sul costo dell'opera	267
9.2.	Analisi tempi	268
9.2.1.	WBS (Work Breakdown Structure)	268
9.2.2.	Squadre operative.....	269
9.2.3.	Calcolo delle durate	273
9.2.4.	WBS.....	276
9.2.5.	Diagramma PERT.....	292
9.2.6.	Diagramma di GANTT.....	294
9.2.7.	Layout di cantiere	295
	Bibliografia	297
	Indice delle figure	300

Abstract

Di expo milanese si parla ormai da diversi anni, sia per la fattibilità, sia riguardo la convenienza per un paese in piena crisi economica e soprattutto edilizia di ospitare un'esposizione mondiale. La decisione è stata presa e a breve potremo osservarne i risultati, anche se le premesse non sono certamente tra le migliori.

“Nutrire il pianeta” è il tema di quest'esposizione mondiale; la speranza è che si sia giunti ad un punto in cui la sensibilizzazione riguardo uno dei principali effetti collaterali dell'evoluzione abbia raggiunto dimensioni considerevoli. Come l'uomo è in parte responsabile della bellezza del mondo, almeno della frazione artefatta, è anche compito suo preservare la fonte alla quale si è da sempre abbeverato.

Confrontarsi con un concorso di questo tipo rappresenta senza dubbio una sfida stimolante e tra le più complesse che possano capitare; in primis perché si inserisce in un contesto, quello italiano, che si trova nella condizione ideale, toccato dal problema, ma con ancora tutte le risorse e le possibilità per reagire; in secondo luogo perché il cemento è rappresentato dal mostrare soluzioni a diversi problemi attraverso un complesso di costruzioni, quindi di contenitori, che deve pertanto rivolgersi, ugualmente e con lo stesso linguaggio, a diverse categorie di utenti con differenti livelli di conoscenza, permettendo a tutti di vivere l'esperienza. Un'ulteriore difficoltà è stata rappresentata dalla rigorosa determinatezza delle superfici interne richieste e delle aree e cubature messe a disposizione, il che ha necessariamente lasciato poco spazio alla fantasia nel determinare le forme e le volumetrie delle costruzioni.

Interessante è anche la natura richiesta agli edifici oggetto del concorso, infatti il Palazzo Italia vero e proprio avrà necessità di essere riconvertito, dopo la manifestazione, a stabile dedicato alla ricerca tecnologica e all'educazione scientifica, mentre tutte le costruzioni del Cardo sono temporanee e dovranno essere smantellate e ricollocate in spazi pubblici milanesi, con diverse funzioni.

Ovviamente tutte le costruzioni dovranno rispondere ad obiettivi ben definiti di funzionalità degli spazi, gestione dei flussi delle differenti categorie di utenti e delle merci che dovranno raggiungere le diverse zone del complesso edilizio in questione; secondariamente, ma non certo per importanza, ogni spazio edificato dovrà essere in grado di soddisfare i requisiti tecnici specificati in materia di benessere, sostenibilità ambientale e risparmio energetico, il che ha portato ad una meticolosa progettazione tecnologica ed a verifiche analitiche successive.

Non meno importante è stato lo studio ergotecnico, dal momento che, in un contesto simile, la capacità di pianificare e gestire un cantiere tanto grande quanto polimorfo è fondamentale.

In questa sede si è cercato di elaborare un progetto che rispondesse in maniera eccellente a tutti i requisiti del bando di progetto, avendo particolare cura nel pensare alle esigenze di sostenibilità, risparmio energetico, prefabbricazione e ricollocazione delle parti mobili (post-expo) riguardanti l'aspetto più delicato del “Padiglione Italia”: la parte del Cardo.

Abstract

It has been a while that we are hearing about the Expo 2015 in Milano, either it's feasibility, or it's convenience for a country deep in economic crisis, and above all the construction crisis which is supposed to host such an international event. The decision has been made and shortly we will see the results, even though the initial outcome has not been very promising.

“Feeding the planet” is the main theme of this exposition; there is the hope that we arrive at a point in which the awareness about one the main side effects of industrial revolution has been completely raised. As the human is partially responsible for the beauty of the world, at least for the artificial part, he also should be hold accountable for the preservation of the resource from which he derives.

Confronting such a competition, without a doubt, raises an exciting challenge, and the most complex of them all; primarily because it is part of Italian context, which is touched by the problem of construction crisis, but still with all the resources and the ability to react; second, because the ordeal is to find different solutions to problems through a complex of buildings, which must serve, equally and with the same language, to different categories of users with different levels of knowledge, allowing everyone to live the experience. Another problem to be encountered was the rigorous determination of the required internal surfaces and areas which left little room for being creative in the realization of any shape and form desired.

An interesting aspect of the competition is the requested functionality of the buildings. In fact the “Palazzo Italia” will need to be converted, after the event, to a permanent center for the technological research and scientific education, while all the constructions in the “Cardo” are temporary and need to be dismantled and relocated in public spaces in Milan, with different functionalities.

Obviously all the construction must meet the precisely predefined objectives of space functionalities and the flow management of different types of users and goods that should reach the various areas of the intended building complex; last but not least, every built-up area will be able to meet the technical requirements specified from standpoint of welfare, environmental sustainability and energy saving, which has led to a meticulous design technology and analytical verification at the later stage.

No less important was the building process management, as in such a context the ability to plan and manage a site as large as a polymorph is crucial.

Here we have tried to realize a project that responds extremely well to all the requirements of the procurement project, taking special care in thinking about the needs of sustainability, energy saving, prefabrication and replacement of moving parts (post-expo) regarding the 'most delicate aspect of the "Italian Pavilion": the part Cardo.

Introduzione

Il lavoro svolto prende come spunto il bando di concorso per la realizzazione del “Padiglione Italia” per l’esposizione mondiale di Milano 2015. Tale concorso è stato istituito per realizzare gli edifici che riempiono lo spazio espositivo dedicato al Paese ospitante, che riguardano quindi tutto lo spazio del Cardo.

Come verrà spiegato meglio in seguito, l’intera area espositiva dedicata all’esposizione mondiale si sviluppa lungo due assi: il Decumano, dedicato ai padiglioni dei Paesi partecipanti e il Cardo, appunto, dove si collocano gli edifici del Paese ospitante. La progettazione dei lotti di quest’ultima zona sono l’oggetto proprio della tesi che si andrà a sviluppare.

Il bando di concorso, in particolare, prevede la progettazione architettonica degli edifici italiani. Il nome “Padiglione Italia”, infatti, comprende i padiglioni temporanei da installare lungo le due coste adiacenti alla suddetta via, ma anche il Palazzo Italia: manufatto permanente e polivalente, icona del Paese ospitante durante la manifestazione, che verrà riconvertito a centro per lo sviluppo e la ricerca tecnologica ad esposizione avvenuta.

Vista la vastità dell’argomento, si è scelto di seguire le direttive del bando fino ad arrivare al livello di progettazione preliminare per tutto il lotto, ma di proseguire ed approfondire l’aspetto ritenuto più interessante solamente per una porzione: quella riguardante gli edifici temporanei.

L’obiettivo è dunque ottenere un progetto architettonico d’insieme, che approfondisca tutti gli aspetti di competenza, con un concept comune e rappresentativo dell’italianità e del tema dell’expo, coerente soprattutto con quest’ultimo, all’insegna del risparmio energetico e della massima funzionalità.

Il secondo obiettivo, forse anche più importante, è di approfondire e spingersi quanto più possibile verso una progettazione esecutiva degli edifici temporanei. Questa tipologia di manufatti rappresenta infatti una risorsa molto spesso sottovalutata nella gestione del panorama edilizio.

Dopo aver trovato un concept realmente espressivo ed aver sviluppato di conseguenza l’aspetto definitivo che devono assumere tutti gli edifici, si potrà procedere con la progettazione tecnologica dei manufatti temporanei. Essi andranno successivamente studiati anche dal punto di vista impiantistico e strutturale, ovviamente verificando di volta in volta tutti i risultati con le indagini del caso. Il tutto deve condurre infine ad una cantierizzazione dell’intervento, resa possibile dal progetto ergotecnico.

Il risultato che ci si aspetta di ottenere consiste nel dimostrare oggettivamente come un’accurata progettazione, che riguarda in particolar modo l’aspetto tecnologico e strutturale, possa restituire dei manufatti con caratteristiche uniche e sorprendenti se si pensa agli standard dell’odierno mercato edilizio italiano. Durante il percorso verranno mostrati infatti edifici con un’elevata rapidità di messa in opera, interamente smontabili e ricollocabili con facilità e senza spreco di materiale, aventi un impatto ambientale ridotto al minimo e per ultimo, ma non certo per importanza,

un costo di realizzazione comparabile a quello dell'edilizia residenziale comune. Per un diretto confronto in merito a quest'ultima caratteristica sarà essenziale rispettare il limite economico imposto dal bando di concorso.

Per sviluppare il lavoro ci si è strettamente attenuti alle direttive del suddetto bando pubblico, nei limiti della progettazione preliminare. Ci si è inoltre avvalsi di alcune risorse offerte direttamente da esso, come files di formati differenti dell'area di progetto, delle strutture esterne al bando o che interferiscono con la progettazione, rappresentazioni tridimensionali dei lotti e degli spazi adiacenti, oltre ovviamente alle informazioni utili per interfacciarsi con la morfologia del sito espositivo.

La trattazione si divide in capitoli, che coincidono coi diversi momenti in cui si è svolta l'indagine, all'inizio e alla fine di ciascun capitolo vengono espressi i requisiti cercati ed i risultati ottenuti.

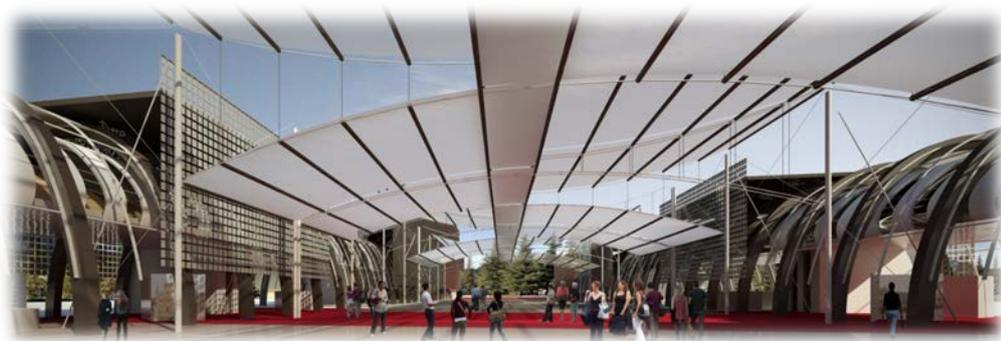


Figura 1 - Renderizzazione del progetto: vista dal passaggio del Cardo



Figura 2 - Renderizzazione del progetto: vista dalla Lake Arena

CAPITOLO **1**

Inquadramento ed analisi

1.1. Esposizioni universali

1.1.1. Introduzione

L'EXPO è un evento di scala internazionale, dove una serie di paesi decidono di esporre appunto, la loro cultura e le loro proposte per il futuro relative ad un determinato tema. Concretamente ogni nazione costruisce un proprio padiglione espositivo, che sarà espressione della propria cultura architettonica, andando a creare nell'insieme una grande area edificata. Questo ha sempre reso le esposizioni internazionali estremamente interessanti dal punto di vista architettonico, perché sono l'occasione per sperimentare e stupire anche in questo campo, potendo essere fonte di ispirazione per il futuro, dando una possibile via da seguire anche nell'edilizia. Ogni esposizione internazionale è l'occasione per parlare e approfondire un tema specifico, che viene scelto per l'importanza che ha in quel determinato periodo storico o per il paese ospitante.

Non a caso il tema scelto per l'EXPO 2015 di Milano è il cibo, risorsa estremamente preziosa, fondamentale per la vita e lo sviluppo del pianeta, ma che sempre più viene mal gestita e mal distribuita, lasciando la grande maggioranza della popolazione mondiale con il problema della fame. L'obiettivo è quindi quello di creare le basi per uno sviluppo sostenibile del pianeta, attraverso la gestione ottimale delle risorse alimentari ma non solo, perché il cibo dipende soprattutto dall'ambiente in cui viviamo.

L'EXPO inoltre è una grande occasione per il paese che la ospita, perché ha la possibilità di dimostrare la propria capacità organizzativa e la propria efficienza. Il paese ospitante si trova dunque per i mesi della durata dell'evento, sotto i riflettori, e ciò determinerà un'influenza non solo sull'immagine stessa del paese, ma anche sull'andamento dei mercati e sull'attrazione di investimenti esteri. Si tratta dunque di un evento che ha la possibilità di essere un forte volano per l'economia del paese ospitante, sia nel breve periodo, considerando l'imponente afflusso di turisti e i relativi introiti ad esso legati, sia nel lungo termine considerando la possibilità di acquistare la fiducia dei mercati.

L'ufficio internazionale delle esposizioni di Parigi (BIE), distingue le esposizioni in Internazionali e Universali. Tale istituzione ha redatto una serie di trattati per catalogare e regolamentare le esposizioni, il primo nel 1928 che è stato poi modificato nel 1972 e nel 1988. Tutte le esposizioni avvenute prima del primo trattato entrato in vigore nel 1933, vengono catalogate come internazionali o più genericamente come storiche. Con esposizione internazionale si intende un evento che deve avere le seguenti caratteristiche:

- Deve essere organizzata nel periodo tra due expo universali
- ha una durata di 3 mesi al massimo
- si estende su un'area di 25 ha al massimo
- tratta di un tema specifico

Queste regole sono entrate in vigore dopo l'expo di Shanghai del 2010, spesso l'aggettivo internazionale viene sostituito con specializzata, dove internazionale indica l'internazionalità dell'evento ma ne indica la limitatezza in durata e numero di partecipanti rispetto ad un'expo universale, e specializzata indica che il tema è più specifico e limitato. Le esposizioni universali invece, sono gli eventi di maggiore importanza e dimensione, e devono avere le seguenti caratteristiche:

- Frequenza: ogni 5 anni
- Durata massima: 6 mesi
- Costruzione dei padiglioni da parte dei partecipanti
- Dimensioni dell'area non definite
- Tema generale

La prima esposizione universale fu quella di Londra del 1851 seguita dalla seconda tenutasi a Parigi nel 1889. Nelle esposizioni universali le attrazioni principali sono i padiglioni nazionali del paese ospitante, e i padiglioni sono temporanei a parte centri congressi, anfiteatri, teatri, padiglioni dei Paesi organizzatori, che sono fissi e vengono successivamente riconvertiti.

1.1.2. Cenni storici

Nella storia ci sono state numerose esposizioni internazionali, ospitate da diversi paesi e con diversi temi principali trattati, a partire dalla prima esposizione internazionale del 1851 a Londra, con il suo Crystal Palace fino ad arrivare alla più recente del 2012 in Korea a Yeosu. Di seguito verranno citate le più importanti esposizioni internazionali per far comprendere meglio il significato di tali eventi:

➤ Londra 1851

Si tratta della prima esposizione universale, che ha avuto luogo ad Hyde Park dal 1° maggio all' 11 ottobre 1851. Il tema principale, essendo in piena rivoluzione industriale fu appunto l'industria e le nuove tecnologie ad essa legata. Celebre per la storia dell'architettura fu il Crystal Palace di Joseph Paxton, il primo edificio concepito completamente per un evento di questo tipo, totalmente in acciaio e vetro e completamente smontabile.

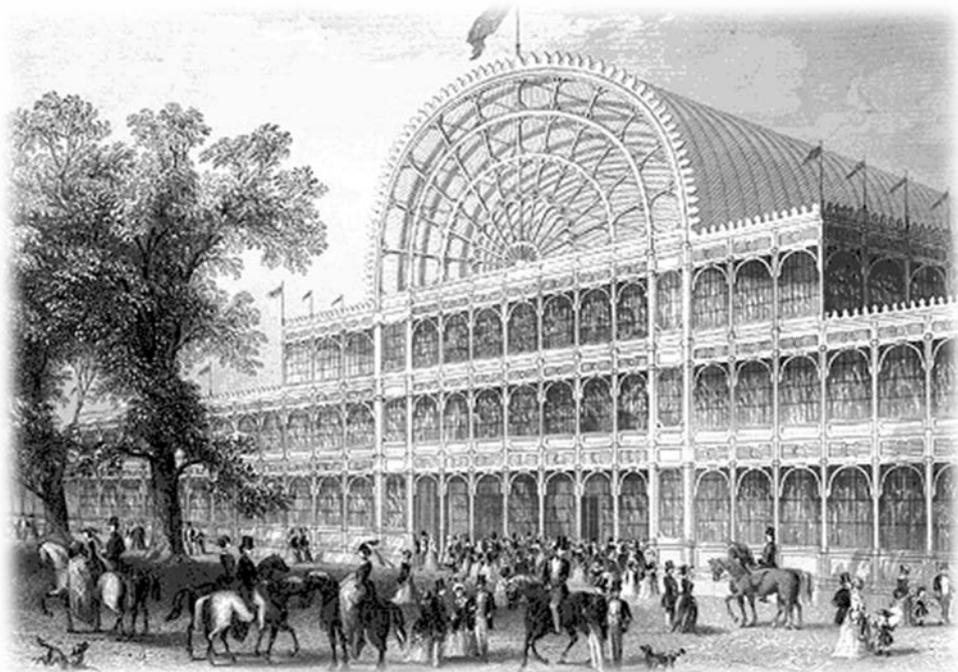


Figura 3 - Crystal Palace

➤ Parigi 1889

Questa esposizione universale durò dal 6 maggio al 31 ottobre, e venne effettuata nel Campo di Marte vicino al fiume Senna. L'evento coincise con il centenario della rivoluzione francese ed infatti questo fu il tema principale. Fu però anche uno dei primi eventi in cui si sperimentò l'utilizzo dell'energia elettrica. Il motivo principale per cui questa expo viene ricordata è però certamente la realizzazione della Torre Eiffel, progettata dall'ingegnere Gustave Eiffel, un edificio puramente monumentale e dimostrativo che fece molto

scalpore e venne aspramente criticato dagli artisti e dai cittadini Parigini, ma che oggi è forse il simbolo più conosciuto della Francia intera.

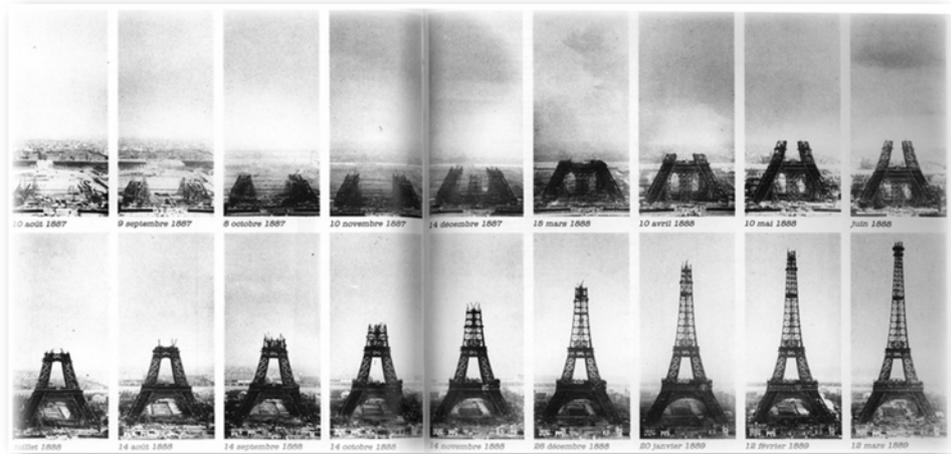


Figura 4 - Fasi della costruzione della Tour Eiffel

➤ Bruxelles 1958

Prima esposizione universale dopo la seconda guerra mondiale, si svolse dal 17 aprile al 19 ottobre. Fu un evento in cui si volle lanciare un messaggio di pace e speranza dopo le atrocità della guerra, e si chiese al mondo di guardare al futuro con speranza e fiducia nel progresso tecnologico. Viene ricordato tale evento per l'Atomium, una riproduzione gigantesca di un cristallo d'acciaio, e per il padiglione Philips, un padiglione ultra tecnologico con effetti luce e audio ottenuti tramite 425 altoparlanti integrati nell'edificio. Il progetto di tale padiglione fu di Iannis Xenakis assieme a Le Corbusier.



Figura 5 - Atomium

➤ Montreal 1967

L'evento si svolse in concomitanza con il centenario della proclamazione della federazione del Canada, nel periodo tra il 28 aprile e il 27 ottobre. Il tema fu "l'uomo ed il suo mondo". Viene ricordata per il quartiere abitativo denominato Habitat 67, un esperimento architettonico in cui celle abitative prefabbricate, sono assemblate in raggruppamenti in cui sono presenti servizi commerciali parcheggi e uffici. L'edificio è tuttora abitato. Ancor più rappresentativa fu però la cupola geodetica (padiglione USA), progettato da Richard Buckminster Fuller.



Figura 6 - Cupola geodetica

➤ Osaka 1970

Si svolse dal 15 marzo al 13 settembre, e che registrò il record di visite nella storia dell'expo con 64 milioni di visitatori. Il tema fu "progresso e armonia per l'umanità". Il parco espositivo venne progettato dall'architetto giapponese Kenzo Tange e il simbolo dell'evento fu la torre del sole di Taro Okamoto.



Figura 7 - Torre del sole

➤ Vancouver 1986

Si svolse nel periodo tra il 2 maggio e il 13 ottobre, e che ebbe come tema “mondo in movimento – mondo in contatto”, ossia il movimento delle persone così come delle idee. Uno degli elementi più importanti e che tuttora viene ricordato è il progetto della monorotaia che passava al centro del sito espositivo.



Figura 8 - Monorotaia

➤ Siviglia 1992

Si svolse tra il 20 aprile e il 12 ottobre del 1992, data di chiusura che coincise con il quinto centenario della scoperta dell’America, e per questo motivo il tema fu “L’era delle scoperte”. Questa esposizione ebbe un ottimo successo di pubblico registrando quasi i 42 milioni di visitatori. Questa esposizione è però uno degli esempi più evidenti del problema della riconversione post expo delle aree interessate, in quanto gran parte dei padiglioni di Siviglia risulta tuttora in stato di degrado.



Figura 9 - Simboli dell’esposizione di Siviglia

➤ Hannover 2000

Questo evento avvenne dal 1 giugno al 31 ottobre, ed ebbe come tema “umanità, natura, tecnologia”. Fu la prima Expo a cui venne concesso l’utilizzo intensivo di strutture preesistenti. Non ebbe un grande successo di pubblico infatti si raggiunsero appena i 18 milioni di visitatori. Tra i padiglioni più rappresentativi ed interessanti ci furono il padiglione olandese, progettato dallo studio MVRDV, in cui sono inseriti elementi naturali tipici dei paesaggi olandesi e sistemi di produzione di energia rinnovabile, e il padiglione svizzero progettato da Peter Zumthor che ricorda una catasta di legname.



Figura 10 - Padiglione svizzero

➤ Saragozza 2008

Esposizione che si svolse in Spagna tra il 14 giugno e il 14 settembre. Il tema scelto fu “acqua e sviluppo sostenibile”, per sensibilizzare il mondo sul problema della reperibilità e della scarsità dell’acqua. Tra i padiglioni che si ricordano ci sono il “padiglione ponte” di Zaha Hadid e l’edificio d’acqua, un edificio in cui le pareti sono composte da getti d’acqua che tramite sensori si interrompono per far passare i visitatori, progettato da due studi Italiani.



Figura 11 - Veduta dell’esposizione di Saragozza

➤ Shanghai 2010

Questa recente esposizione si è svolta dal 1 maggio al 31 ottobre per una durata minima di 6 mesi come richiesto dal BIE. Il tema scelto è stato “una città migliore, una vita migliore”. I padiglioni sono stati situati sulle due rive del fiume Huangpu che attraversa la città. Questa Expo risulta essere la più costosa di sempre e ha proposto alcuni padiglioni molto interessanti tra i quali quello Italiano, realizzato con un materiale innovativo, il cemento trasparente, e forse il più affascinante il padiglione della Gran Bretagna in cui un cubo di filamenti di acrilico contenenti semi di piante, si muovono al vento e incanalano all’interno dell’edificio la luce solare.



Figura 12 - Padiglione della Gran Bretagna

1.1.3. Storia delle esposizioni a Milano

Milano ha una grande tradizione di esposizioni internazionali, infatti la prima venne organizzata nel 1906 seguita poi da una serie di eventi che culminano con l'ultima esposizione universale del 2015:

➤ 1906: Trasporti

Prima esposizione universale svoltasi a Milano, nel periodo tra il 28 aprile e l'11 novembre, i padiglioni e gli edifici vennero appositamente realizzati nell'area alle spalle del castello sforzesco, che attualmente è il parco Sempione e nell'area allora occupata dalla piazza d'armi, dove nel 1929 verrà costruita la fiera di Milano. Il tema di tale evento furono i trasporti in occasione dell'inaugurazione del traforo del Sempione. Le nuove costruzioni furono 225 tra le quali l'acquario civico che risulta essere l'unica costruzione ancora esistente. Le nazioni partecipanti furono 40 mentre gli espositori 35.000, e accolse un numero di visitatori pari a circa 5 milioni, una cifra record per l'epoca. Per il tema scelto, i trasporti e in generale il dinamismo, le due aree vennero collegate da una linea ferrata elevata sulla quale circolavano motrici italiane, francesi, tedesche austriache e belghe. Molti furono i padiglioni di notevole interesse tra i quali il parco aerostatico, dove trovarono posto palloni riempiti di aria o altri gas, la mostra aeronautica dove erano esposti diverse macchine volanti tra cui l'italiano aerocicloplano e il primo dirigibile italiano. Molto interessante architettonicamente parlando fu il padiglione agraria progettato in stile liberty dall'architetto Orsino Bongi. Il 3 agosto scoppiò un incendio che distrusse molti padiglioni ma che nel giro di 40 giorni furono prontamente ricostruiti.



Figura 13 - Manifesto dell'esposizione milanese del 1906

Successivamente a questo evento venne istituita la triennale, dopo essere stata trasferita da Monza a Milano, nel nuovo palazzo dell'arte ed è l'unico evento espositivo riconosciuto dal BIE che si svolge sempre nello stesso luogo. Il palazzo dell'arte venne progettato dall'architetto Giovanni Muzio, ed è caratterizzato da 12.000 m² espositivi e spazi dedicati al pubblico. Tra gli eventi che trovarono posto in questa nuova location milanese si fa di seguito accenno ai più significativi:

➤ 1933: V triennale

Tale evento si svolse dal 10 maggio al 30 settembre nel nuovo palazzo dell'arte e che ha per tema "stile – civiltà", dove le esposizioni sono la mostra d'arte decorativa, l'esposizione di architettura, la pittura murale e la mostra di abitazione moderna che comprende 25 padiglioni. Importante fu la presenza di Gio Ponti che portò il razionalismo italiano alla triennale e quella di Mario Sironi per la pittura murale. Gli edifici più importanti realizzati per questo evento furono la villa studio per un artista di Figini e Pollini e la casa del sabato per gli sposi di Piero Portaluppi.



Figura 14 - Villa studio per un artista

➤ 1947: VIII Triennale

Si tenne a palazzo dell'arte dal 31 maggio al 14 novembre ed ebbe come tema principale "L'abitazione" legata al tema sociale della ricostruzione post guerra mondiale. La realizzazione più importante fu certamente il quartiere QT8 a Milano, un quartiere sperimentale.

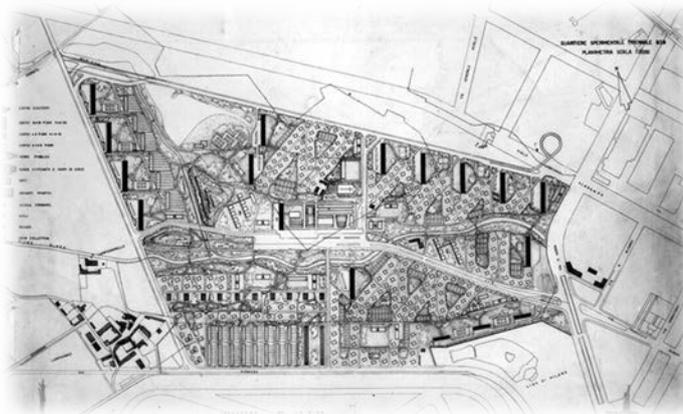


Figura 15 - Planimetria del quartiere sperimentale QT8

➤ 1951: IX triennale

Si tenne a palazzo dell'arte, al parco Sempione e nel quartiere sperimentale QT8 dal 12 maggio fino a novembre. L'esposizione comprese gli ambienti di rappresentanza (ingresso, atrio, scalone d'onore, vestibolo del primo piano e mostra dei concorsi per il Duomo), le mostre di architettura al pian terreno (Architettura a misura dell'uomo, Abitazione, Architettura del lavoro, Ospitalità, Arti grafiche e pubblicità, Architettura dello spettacolo, Mostra storica dell'architettura), le mostre al piano primo (Mostra della sedia italiana antica, Studi delle proporzioni, Arredamento dei mobili isolati) e i padiglioni stranieri, fra cui i principali furono quelli di Regno Unito, Spagna, Francia, Germania, Paesi Bassi, Svezia e Danimarca.



Figura 16 - Struttura al neon di Lucio Fontana

➤ 1954: X triennale

Si tenne al Palazzo dell'Arte di Milano dal 28 agosto al 15 novembre 1954. Parteciparono 14 Paesi stranieri: Spagna, Canada, Regno Unito, Francia, Germania, Israele, Paesi Bassi, Belgio, Austria, Svizzera, Finlandia, Norvegia, Danimarca e Svezia.



Figura 17 - Allestimento realizzato da Pier Giacomo e Achille Castiglioni

➤ 1961: XII triennale

Si tenne al Palazzo dell'Arte, mentre prendeva il via in Italia il dibattito sulla riforma del sistema scolastico nazionale. Parteciparono 13 Paesi stranieri: Cecoslovacchia, Giappone, Polonia, Messico, Paesi Bassi, Svezia, Belgio, Norvegia, Austria, Finlandia, Svizzera, Danimarca e Germania. Degna di nota fu anche la Mostra Commemorativa su Frank Lloyd Wright.

➤ 1968: XIV triennale

Diretta da Giancarlo De Carlo, si sarebbe dovuta tenere al Palazzo dell'Arte di Milano dal 30 maggio al 28 luglio, ma fu distrutta da una contestazione a poche ore dall'inaugurazione. La mostra, dedicata al tema del grande numero, affronta le diverse problematiche legate all'industrializzazione e ai mutamenti causati dall'incremento quantitativo, fenomeno che caratterizza, in ogni settore, la condizione contemporanea.

La Triennale di Milano ha successivamente ospitato numerose esposizioni dai temi più disparati ed è tuttora un'istituzione culturale internazionale che produce mostre, convegni ed eventi di arte, design, architettura, moda, cinema, comunicazione e società.

1.2. Inquadramento

1.2.1. Localizzazione



Figura 18 - Inquadramento territoriale a scala comunale dell'area espositiva

Il Sito espositivo dell'Expo 2015 di Milano è un'area situata nel settore nord-ovest del capoluogo lombardo, per il 90% posta nel comune di Milano e per il restante 10% nel comune di Rho; in un ambito fortemente infrastrutturato, grazie al collegamento diretto con i tre aeroporti della città e i principali sistemi di trasporto pubblico.

L'area occupa una superficie di 110 ettari e risulta adiacente al nuovo polo espositivo di Fiera Milano, che può essere considerato come il progetto scatenante della rivoluzione e riqualificazione urbanistica dell'intera area. L'area era occupata un tempo da impianti di produzione industriale ed è stato poi adibita sia a destinazione agricola sia per impianti di natura logistica e per servizi comunali.

1.2.2. Analisi dei trasporti

Come già accennato il sito espositivo sorge in una zona fortemente infrastrutturata. Il Sito è infatti facilmente raggiungibile a livello locale, regionale e internazionale.

- Con il tram, Utilizzando il biglietto ATM urbano, è possibile raggiungere il sito grazie alle due linee della rete tranviaria: 12 e 19. I due tram percorrono il centro di Milano e arrivano all'ingresso Est Roserio Orogel, in prossimità della Collina Mediterranea e del Biodiversity Park. Giunti al capolinea basta attraversare un ponte pedonale per raggiungere l'ingresso Est Roserio Orogel di Expo Milano 2015.
- Con la metropolitana è possibile utilizzare la linea 1 e seguire le indicazioni per la stazione di Rho Fiera Milano. La linea 1 rossa transita per le stazioni di Duomo, Cadorna e si interconnette con tutte le altre linee metropolitane. Il tempo di percorrenza previsto è di circa 25 minuti da Piazza Duomo, 35 minuti dalla Stazione Centrale, 20 minuti dalla Stazione Cadorna e 30 minuti dalla Stazione Garibaldi. È necessario munirsi di biglietto extraurbano. La stazione metropolitana di Rho Fiera Milano è direttamente collegata con l'accesso Ovest Fiorenza - San Carlo. A pochi metri dalla stazione è possibile raggiungere il piazzale dei controlli tramite un nuovo gruppo di scale. All'accesso sono presenti biglietterie e servizi al visitatore. Passati i controlli il visitatore percorre la passerella pedonale Expo-Fiera (PEF) per raggiungere il Sito.
- In treno è sufficiente seguire le indicazioni per la stazione di Rho Fiera EXPO Milano 2015. Il tempo di percorrenza previsto per raggiungere il Sito Espositivo è di circa 19 minuti dalla Stazione Garibaldi. Le linee suburbane S5-S6 e la nuova S14 da Rogoredo collegano direttamente Rho Fiera EXPO Milano 2015 con le stazioni milanesi del Passante, la linea S11 serve invece chi proviene da Monza, Seregno, Como; nella stazione di Rho Fiera EXPO Milano 2015 inoltre fermano tutti i treni delle linee regionali da Arona, Domodossola, Varese e Torino. Consulta e scarica lo schema completo delle linee suburbane e della linee regionali per scoprire come raggiungere il sito direttamente in treno. Il collegamento ferroviario ad Alta velocità si serve, in corrispondenza dell'accesso Ovest Triulza - Orogel del Sito Espositivo, della nuova fermata dedicata servita anche dalle linee suburbane regionali e dalla linea 1 della metropolitana. Per tutta la durata dell'evento, i treni della rete nazionale e internazionale fermeranno nella stazione di Rho Fiera Expo Milano 2015 in prossimità dell'ingresso del Sito Espositivo. Durante i sei mesi dell'evento, Milano sarà raggiungibile con 236 corse al giorno, di cui 148 Freccie Trenitalia, e con oltre 130.000 posti al giorno tra collegamenti nazionali e internazionali.
- Con il bus privato Gran Turismo è possibile giungere al parcheggio di Merlata, dove è presente un'area su prenotazione per la sosta. A seconda della necessità i bus GT possono essere indirizzati dal gestore al Terminal di Roserio, anch'esso su prenotazione, dove è possibile effettuare operazioni di carico/scarico dei visitatori. Dal parcheggio di Merlata le persone

raggiungono l'area controlli attraverso appositi percorsi pedonali nel parco e, passati i controlli, percorrono la passerella pedonale Expo-Merlata (PEM) per raggiungere l'area espositiva. Dal Terminal di Roserio le persone raggiungono l'area controlli a piedi, passati i quali si trovano all'interno dell'area espositiva.

- Con l'auto è possibile giungere ai parcheggi, disponibili su prenotazione di: Merlata (adiacente all'accesso Sud Merlata - Orogel); Arese (collegato con navetta gratuita con l'accesso Est Roserio - Orogel); Fiera Milano (collegato con navetta gratuita con l'accesso Ovest Firenze- San Carlo); Trenno (collegato con navetta gratuita con l'accesso Est Roserio - Orogel). Con il taxi è possibile giungere agli accessi di: Sud Merlata - Orogel; Est Roserio - Orogel.
- Per chi proviene da Milano o Pero è possibile raggiungere Expo in bicicletta al Gate Sud Merlata - Orogel. L'itinerario suggerito è lungo i controviali di corso Sempione e viale Certosa, indi via Gallarate; altresì è percorribile l'itinerario "Greenroute", un percorso fra spazi nuovi della città e aree verdi, in gran parte in sede protetta, accessibile da via Papa (nei pressi di piazzale Accursio) e da via Gattamelata (Via Domodossola e viale Duilio). Una specifica segnaletica con il simbolo della bicicletta è stata predisposta. Al Gate Sud Merlata - Orogel sono disponibili oltre 400 stalli bici private e inoltre è attivo il servizio di bike sharing BikeMi che dispone di oltre tremila bici a pedalata normale e mille bici a pedalata assistita. Al Gate Ovest Triulza - Orogel è in corso di allestimento una bicistazione con 260 stalli e un nuovo sistema di percorsi ciclabili - di prossima apertura - collegherà direttamente i comuni di Garbagnate Milanese, Bollate, Arese e Rho con Expo.
- Per quanto riguarda i viaggi in aereo, gli scali di Linate, Malpensa e Orio al Serio hanno la stessa distanza dal Sito Espositivo e mettono a disposizione dei viaggiatori delle navette per raggiungere il centro della città.

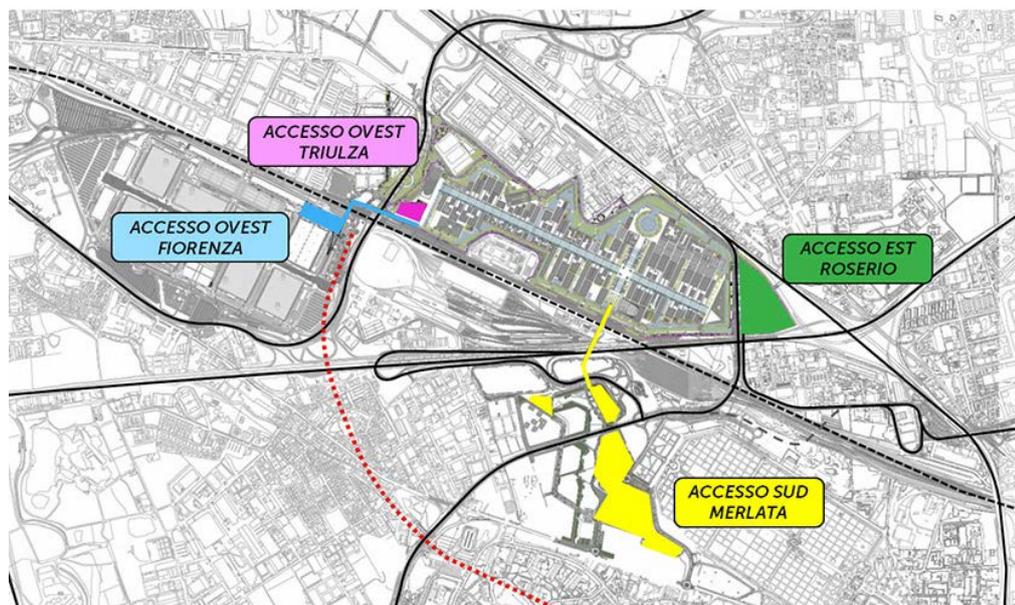


Figura 19 - Localizzazione degli accessi al sito espositivo

1.2.3. Analisi climatica

Come verrà approfondito in seguito, nel capitolo dedicato agli impianti di condizionamento, il clima milanese può essere definito temperato, anche se la sua relativa lontananza dal mare accentua alcune caratteristiche continentali.

L'umidità relativa, mediamente abbastanza alta, e le temperature estive massime che di media raggiungono quasi i 31 °C, contribuiscono a rendere Milano particolarmente difficile in estate.

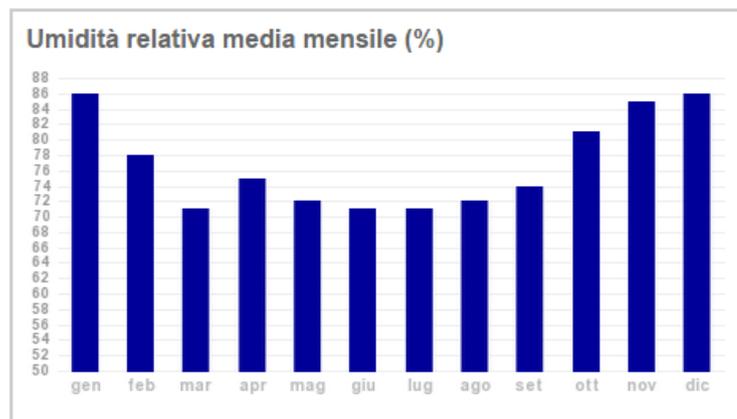


Figura 20_a - Dati di umidità relativa

In inverno le temperature possono scendere anche di molto fino ad arrivare ai 0 °C di media minima in gennaio.

La continentalità del clima milanese si fa sentire quindi nelle escursioni termiche stagionali (si va dai 30 °C di luglio agli 0 °C di gennaio) e diurni (lo sbalzo termico medio tra giorno e notte è di circa 10 °C in estate).

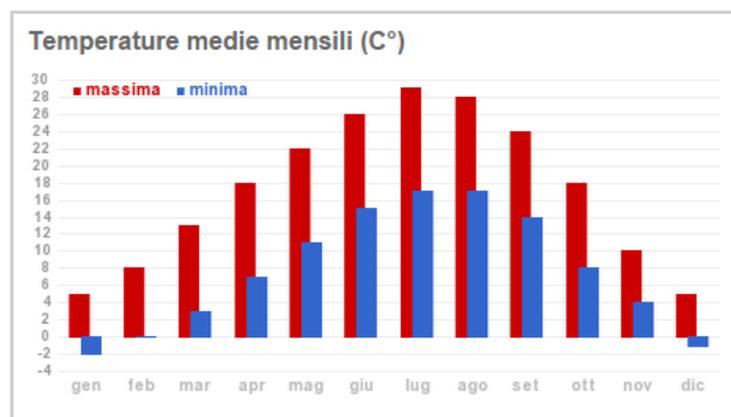


Figura 20_b - Dati di temperatura

Le precipitazioni sono costanti durante tutto l'anno con punte che vengono raggiunte nei mesi primaverili ed invernali.

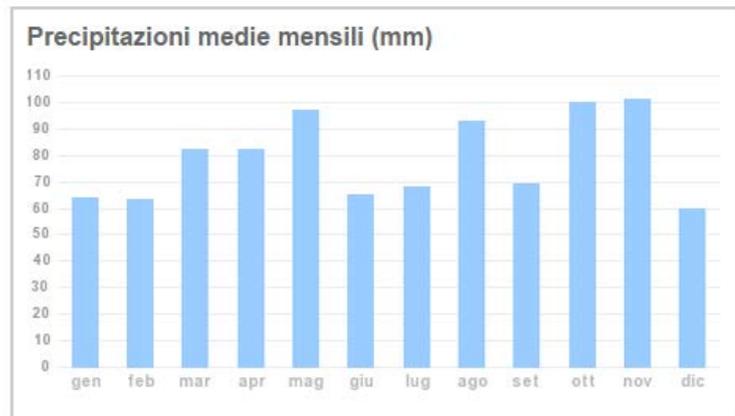
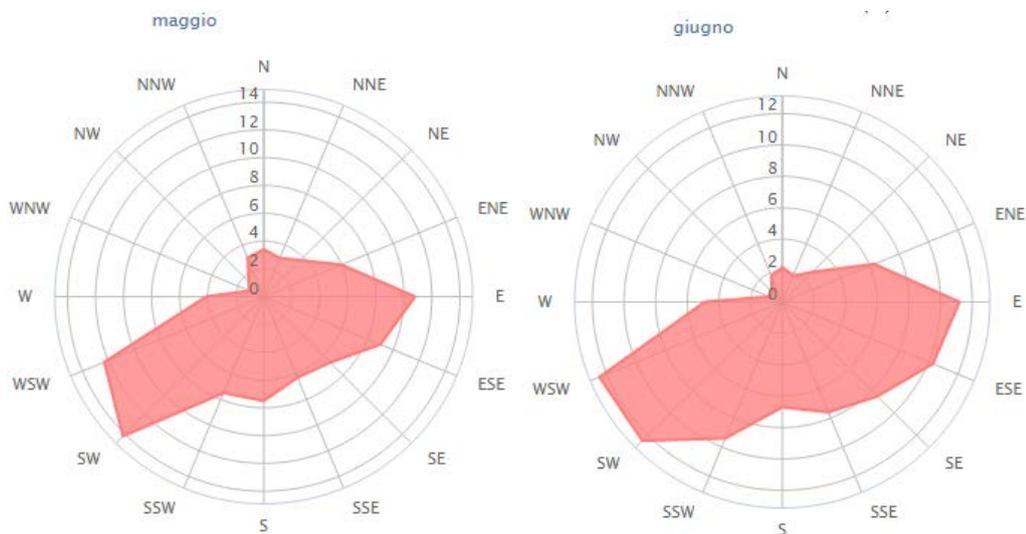


Figura 20_c - Dati delle precipitazioni

Va sottolineato il fatto che Milano, come del resto tutte le grandi città, a causa degli inquinanti e del riscaldamento delle abitazioni riesce a produrre un microclima interno che si separa da quello della periferia. Ed in effetti le aree periferiche fanno registrare delle temperature inferiori al centro cittadino. Tali differenze si assestano mediamente attorno ad 1 °C ma possono arrivare anche a 3 o 4 °C nelle notti invernali.

La zona di Milano è spesso priva di venti costanti. Questo fattore, assieme all'alta umidità, contribuisce a rendere le nebbie più probabili, soprattutto nell'interland.



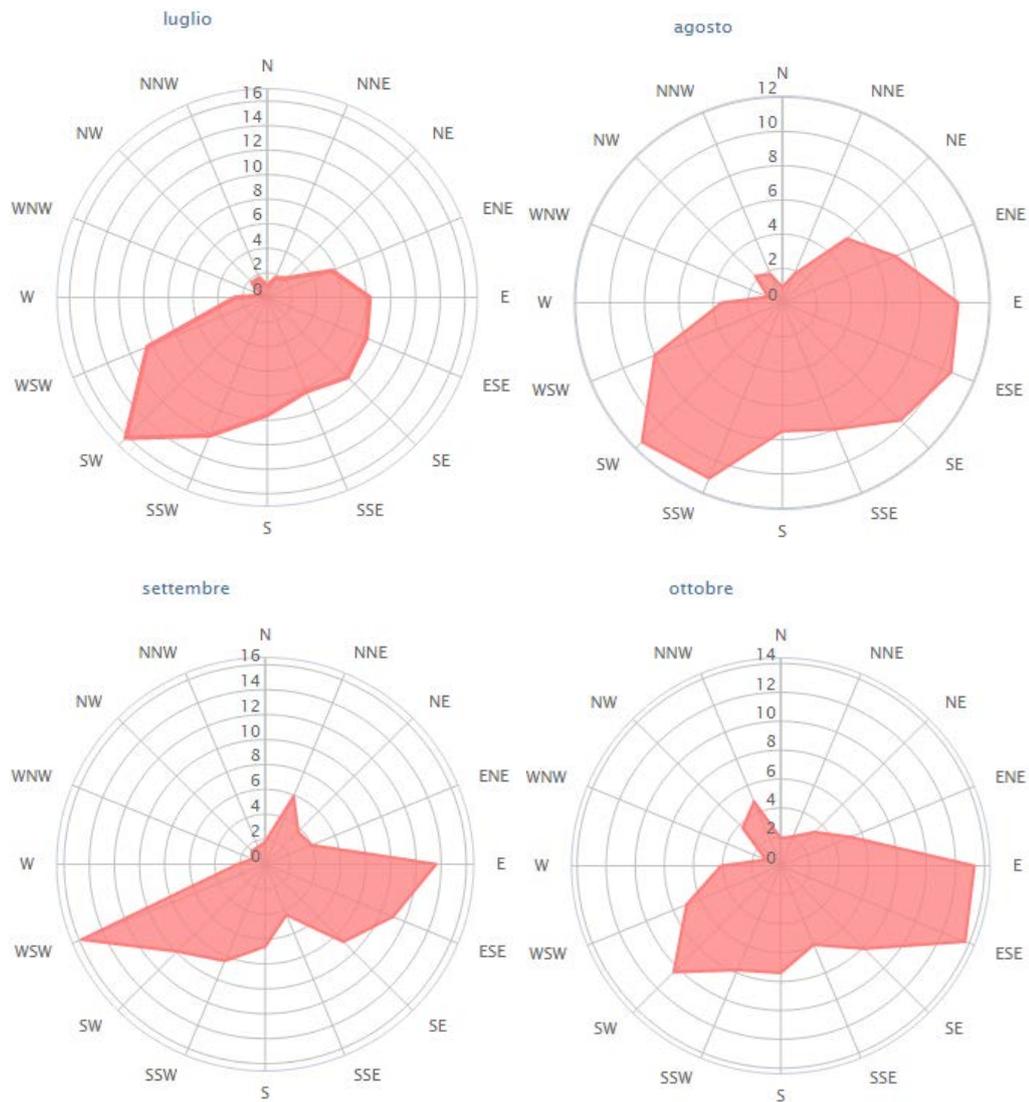


Figura 21 - Intensità e direzione dei venti durante i mesi dell'esposizione

CAPITOLO 2

Direttive generali

2.1. Concept architettonico

2.1.1. Tema

“È possibile assicurare a tutta l’umanità un’alimentazione buona, sana, sufficiente e sostenibile?” È con questa domanda che si apre la sfida dell’Esposizione Universale di Milano 2015.

Dopo averci nutrito per millenni, il pianeta Terra ha bisogno di nutrimento, fatto soprattutto di rispetto, atteggiamenti sostenibili, applicazione di tecnologie avanzate e visioni politiche nuove, per individuare un equilibrio diverso tra risorse e consumi. Expo Milano 2015 potrà essere tappa importante di questo percorso di ricerca intrapreso dall’umanità, luogo dove mettere intorno allo stesso tavolo tutti i Paesi del mondo, e dare un concreto sostegno a una nuova consapevolezza condivisa circa gli obiettivi di sviluppo e crescita della presenza umana sul pianeta.

Se novecento milioni di persone patiscono la malnutrizione e altrettanti subiscono i danni di un’alimentazione eccessiva e disordinata è evidente che il tema della sicurezza e salubrità alimentare si pone su una scala globale, che coinvolge direttamente o indirettamente la maggior parte degli individui sulla terra. Come garantire a tutti cibo sano? Come cibo e salute sono in relazione negli stili di vita, nelle attività motorie, nel benessere delle persone? Come lo sfruttamento delle risorse e la sostenibilità ambientale possono convivere? In che modo la salubrità del cibo deve influenzare le scelte di produzione dell’energia e l’uso delle risorse naturali?

Per dare risposte sempre più necessarie ed efficaci a questi temi, Organizzatore e Partecipanti dovranno lavorare insieme per rappresentare l’eccellenza nei metodi, nelle tecniche e nelle regole della produzione alimentare, le strategie per coniugare la produzione con il risparmio energetico, l’utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili, la tutela delle risorse naturali, e tra queste in primo luogo dell’acqua, primo nutrimento dell’uomo e della terra stessa.

Expo Milano 2015 vuole quindi essere un’Expo “collaborativa”, nella convinzione che le Esposizioni del XXI secolo dovranno essere momenti di confronto ma anche di collaborazione tra i diversi soggetti della comunità internazionale sulle principali sfide dell’umanità. Dall’applicazione di buone pratiche nell’agricoltura, nell’allevamento e nell’adozione degli organismi geneticamente modificati, alla salvaguardia delle biodiversità, passando non solo per il contesto produttivo, ma anche attraverso l’adozione di determinate politiche e strategie economicofinanziarie. Si tratta soltanto di alcuni dei temi rispetto ai quali la manifestazione si propone come piattaforma per il confronto e la collaborazione.

Expo Milano 2015 vuole essere, infine, opportunità di riflessione sulla storia dell’uomo e sulla produzione del cibo, sia nella sua accezione di conservazione e valorizzazione della memoria di antichi saperi, sia nella ricerca di nuove applicazioni tecnologiche.

2.1.2. Concept guida

“Vivaio Italia” è il concept guida ideato da Marco Balich per il Padiglione Italia. Una metafora che diventa immagine molto rappresentativa e iconica. Il Padiglione italiano sarà uno spazio protetto che aiuta i progetti e i talenti a “germogliare”, che operano nel Paese.

L’Albero Della Vita è l’espressione della Natura Primigenia, icona di femminilità e simbolo delle forze generatrici. L’Albero come “madre” di tutte le cose viventi che può divenire l’icona centrale del Padiglione, organizzando lo spazio secondo una distribuzione “organica” dei contenuti e delle aree tematiche. Un simbolo le cui radici, possono diramarsi anche in una lettura “orizzontale”, collegando tra loro i diversi spazi, in particolar modo l’area dedicata alle Regioni. Un concetto che nella sua globalità progettisti, artisti e designer sono chiamati a interpretare liberamente nei materiali, nelle forme, nelle dimensioni, nella tecnologia. Un “oggetto architettonico” o un’installazione, che si pone l’obiettivo di rimanere nella memoria collettiva.

Il Padiglione Italia dovrà essere concepito come uno spazio innovativo, inedito, sorprendente, unico. Uno spazio “trasparente”, che deve poter dialogare con l’ambiente circostante. Che cambia aspetto nel corso della giornata. Che respira e che vive, quasi fosse esso stesso un organismo vivente. Un punto di riferimento per imprenditori e ricercatori, capaci di rinnovare il concetto di “eccellenza italiana” del “saper fare” e del Made in Italy. Un simbolo del nuovo patto tra il Paese e il suo territorio, non più inteso in senso meramente paesaggistico, ma come leva di trasformazione e crescita.

Gli elementi cardine del progetto:

- Trasparenza - vetro, cristalli, materiali fotosensibili. Materiali di valenza metaforica e concettuale (guardare al di là del proprio ambiente, dialogare con il mondo, essere trasparenti...).
- Energia - energia come vita, strumento e mezzo, come motore di trasformazione, come faro nella notte. Nel segno del rispetto ambientale e della compatibilità.
- Acqua - un elemento fortemente legato all’identità di Milano e alle tematiche dell’Expo, simbolo dell’esistenza, della nascita, della rigenerazione, delle risorse della Terra, e anche della capacità di “riflettere il cielo”.
- Natura - elemento al centro del nostro futuro. Lo scenario da cui veniamo e verso il quale dobbiamo convergere.
- Tecnologia - uno sguardo al divenire. Espressione dell’identità di questo Paese. Una sfida. Un’opportunità.

2.2. Bando di concorso

2.2.1. Masterplan

All'interno del paesaggio che costituisce il Sito espositivo, il disegno distributivo dei partecipanti è molto semplice, volutamente ordinato in contrapposizione alla varietà e molteplicità di forme che accompagneranno le diverse modalità di partecipazione.



Figura 23 - vista a volo d'uccello da nord ovest del Sito espositivo

I due assi che strutturano la griglia del masterplan simboleggiano un percorso ideale: il Decumano si muove dal centro verso la periferia, l'asse che congiunge

simbolicamente il luogo del consumo del cibo (la città) con quello della sua produzione (la campagna). In una città come Milano, secondo Comune in Italia per produzione agricola e circondata da un grande parco agricolo, questa direttrice assume particolare rilevanza soprattutto se relazionata con l'altro asse perpendicolare, il Cardo. È un asse che rappresenta l'unione dell'anello dei parchi e delle strutture a verde che si riconnettono tra loro e che entrano virtualmente nel Sito espositivo. Lungo il Decumano, sarà offerta a tutti i Paesi l'opportunità di esprimere e rappresentare la propria ricchezza alimentare e produttiva e di far assaggiare il proprio cibo: un'esperienza sensoriale lunga un chilometro, con profumi e sapori diversi corrispondenti alle multiformi interpretazioni del tema.

Allo stesso modo il secondo asse - il Cardo - sviluppa attorno a sé gli spazi espositivi e per la degustazione curati dal Paese ospitante, l'Italia, grande interprete del tema oggetto dell'Expo, declinato secondo le sue eccellenze legate all'alimentazione, alla salute e al benessere. Qui le regioni e le città, ma anche le imprese e le associazioni, mostreranno al mondo la cultura e la tradizione italiane legate all'alimentazione, che si distinguono per l'alta qualità delle materie prime e dei prodotti finali. Ad un estremo del Cardo, in prossimità della Piazza d'Acqua, è collocato il Palazzo Italia, l'edificio che rappresenta il luogo d'incontro istituzionale tra il Paese ospitante e i Partecipanti.

Il punto d'intersezione tra il Cardo e il Decumano rappresenterà simbolicamente il luogo dove l'Italia incontra il mondo e il mondo incontra l'Italia, in una grande piazza centrale che ha le dimensioni di Piazza della Scala a Milano.



Figura 24 - Piazza Italia

Il Sito, pensato come un'isola, è circondato da un canale che porta nel progetto uno degli elementi costitutivi di questo paesaggio artefatto: l'acqua. Essa è un elemento fortemente legato al tema e rievoca la memoria dei canali di Milano, senza dimenticare la sua funzione di irrigazione e di controllo del microclima del Sito. Un contatto diretto con il canale s'instaura con le Architetture di Servizio all'interno del Sito che forniranno tutto ciò che serve a rendere gradevole la visita (bar, ristoranti, servizi igienici, spazi commerciali...). Queste sono collocate a distanza regolare all'interno della maglia ortogonale lungo il Decumano, nei principali spazi pubblici e lungo il percorso perimetrale. Le Architetture di Servizio sono strutture temporanee

interamente realizzate in legno, smontabili e riciclabili al termine dell'evento, che generano spazi permeabili come portici o ballatoi favorendo l'interazione tra lo spazio costruito e il paesaggio.

Insieme al canale i principali elementi iconici del Sito concorrono a segnare il paesaggio in corrispondenza dei punti cardinali: la Collina, l'Open Air Theatre, la Piazza d'acqua e l'Expo Center. Questi rappresentano i riferimenti per l'orientamento dei visitatori all'interno del Sito Espositivo.

La Collina, posta all'estremo sud-est del Decumano, con la sua altezza di 22 metri, costituisce uno dei grandi landmark del Sito, ospitando l'agroecosistema mediterraneo. Progettata in modo da rendere la visita fruibile da tutti, prevede un sistema di rampe che portano il visitatore sulla cima, da dove può godere della suggestiva vista del Sito dall'alto.



Figura 25 - Collina

L'Open Air Theatre, posto nella parte meridionale del Sito, in corrispondenza con l'estremo sud-ovest del Cardo, potrà ospitare circa 11.000 persone su prato e gradinate in occasione di concerti all'aperto, spettacoli teatrali e cerimonie ufficiali.



Figura 26 - Open Air Theatre

La Piazza d'acqua, alimentata dal canale, sarà un bacino d'acqua circondato da gradinate per circa 3.000 spettatori seduti che può ospitare fino a 20.000 spettatori in piedi per spettacoli con giochi d'acqua, fuochi pirotecnici, concerti e spettacoli su piattaforme e palchi galleggianti, installazioni artistiche, eventi temporanei.



Figura 27 - Piazza d'acqua

L'Expo Centre, posto all'estremo Ovest del Decumano, è formato da tre blocchi funzionali indipendenti: auditorium, performance area e palazzo uffici, con un volume complessivo di 62.965 mc.



Figura 28 - Expo Centre

Il Padiglione Zero, posto nell'area sud ovest del Sito, è il trampolino di lancio nei temi e nei linguaggi dell'Expo. Al suo interno saranno proposti i principali filoni aperti dal Tema utilizzando un linguaggio scenografico e improntato a sollecitare lo stupore e la curiosità (vero motore della conoscenza che seguirà nella visita).

Il Parco della Biodiversità sarà un grande giardino di circa 14.000 mq, collocato nell'area nord-orientale del Sito Espositivo, che riproduce la varietà della vita in un

paesaggio multiforme di grande suggestione, capace di coinvolgere emotivamente e di stimolare intellettualmente il visitatore.

Il Future Food District si sviluppa all'interno di due Padiglioni espositivi identici e nella piazza che viene a crearsi tra di essi, in cui sono collocate architetture di servizio ai visitatori e spazi per la ristorazione.

Nell'area "Food in Art", a ovest del Future Food District viene approfondito il rapporto con il cibo quale oggetto di riflessione simbolica da parte della specie umana nella storia.

Il Children Park a nord del Sito è un'area interamente dedicata ai bambini e alle famiglie che offre non solo servizi e strutture adeguate, ma anche una proposta di gioco e di conoscenza.

I Partecipanti non ufficiali, come Corporate e Partners troveranno adeguato spazio nell'area Nord Est a loro dedicata, mentre la Società Civile sarà ospitata nella Cascina Triulza, un manufatto ad uso agricolo già esistente nel Sito, parte dell'importante patrimonio storico, architettonico e ambientale costituito delle cascine milanesi. La Cascina verrà ristrutturata per ospitare spazi espositivi, una sala conferenze, uffici e uno spazio di ristorazione. La corte della cascina potrà ospitare eventi e manifestazioni all'aperto. La Cascina Triulza, ristrutturata, rimarrà come lascito alla città dopo l'Evento.



Figura 29 - Cascina Triulza

Alcuni dei paesi partecipanti che non possono o non vogliono sviluppare un proprio spazio autonomo, potranno invece sviluppare un tema che li accomuna, condividendo oltre allo spazio anche idee, tradizioni culturali, soluzioni, nuove e antiche tecnologie, gusti, musiche e conoscenze. I paesi saranno raggruppati attorno a specifiche catene alimentari (Riso, Cereali e Tuberi, Spezie, Cacao, Caffè, Frutta e Legumi) o tematiche di particolare rilevanza globale (Agricoltura e Nutrizione in Zone Aride, Mare e Isole, gli ecosistemi del Mediterraneo), creando gli spazi denominati Cluster. Ogni Paese avrà a disposizione uno spazio espositivo in cui far emergere il proprio contributo individuale allo sviluppo del tema. Le aree comuni, cuore dei Cluster, saranno dedicate a degustazione e vendita di specifici prodotti; al loro

interno avranno inoltre luogo eventi culturali e musicali e dibattiti, oltre che mostre tematiche. Si formeranno così "Villaggi" con una forte identità geografica e tematica con spazi aperti utilizzabili per eventi, ristorazione e attività commerciali, tali da garantire un'esperienza nuova e partecipata anche per il visitatore.



Figura 30 - Cluster

Anche le tende sono un elemento che caratterizza il design stesso del Sito Espositivo e ne forma parte integrante, coprendo i percorsi pedonali per proteggere i visitatori nelle giornate più soleggiate o piovose. Questi elementi, oltre ad offrire un elevato grado di comfort ambientale durante l'estate milanese, garantiscono un disegno unitario di tutta l'area. La volontà di dare coerenza e continuità tra lo spazio aperto e i contenuti dell'Esposizione, evitando le code e la concentrazione di elementi d'attrazione all'interno di padiglioni e recinti chiusi, rende necessario attrezzare e valorizzare tutti gli spazi pubblici, in modo da rendere confortevole e interessante la visita degli spazi aperti del Sito.



Figura 31 - Panorama visibile dalla collina - Parte terminale del decumano

2.2.2. Area di intervento

La Partecipazione Italiana all'esposizione, riassunta nella definizione di Padiglione Italia, si sviluppa secondo due diverse modalità alle quali corrispondono due organizzazioni spaziali differenti: gli spazi del Cardo e Palazzo Italia.

I manufatti e gli spazi aperti che si affacciano sull'asse del Cardo, un viale pavimentato largo 35 metri e lungo 325 metri che congiunge la Piazza d'Acqua a nord con la piazza della Via d'Acqua a sud, devono ospitare una molteplicità di attività espositive ed istituzionali che vogliono rappresentare la varietà e la ricchezza dell'Italia, delle diverse identità riconoscibili nei suoi territori, delle istituzioni locali, dei paesaggi, dei prodotti e delle culture.

A nord-ovest del Cardo è situato il Palazzo Italia, un elemento di straordinaria rilevanza nel Sito Espositivo, perché destinato a luogo istituzionale e di rappresentanza dello Stato e del Governo Italiano; il Palazzo si rivolge verso la Piazza d'Acqua, spettacolare scenario per eventi e area di accoglienza e sosta per i visitatori. Sono stati inoltre riservati, nella parte settentrionale del Cardo che si rivolge alla Piazza d'Acqua, spazi istituzionali, espositivi e di rappresentanza per istituzioni europee; la posizione di questi spazi, di fronte a Palazzo Italia e strettamente connessi con il sistema del Cardo, evidenzia in modo simbolico la stretta relazione tra l'Italia e l'Europa.

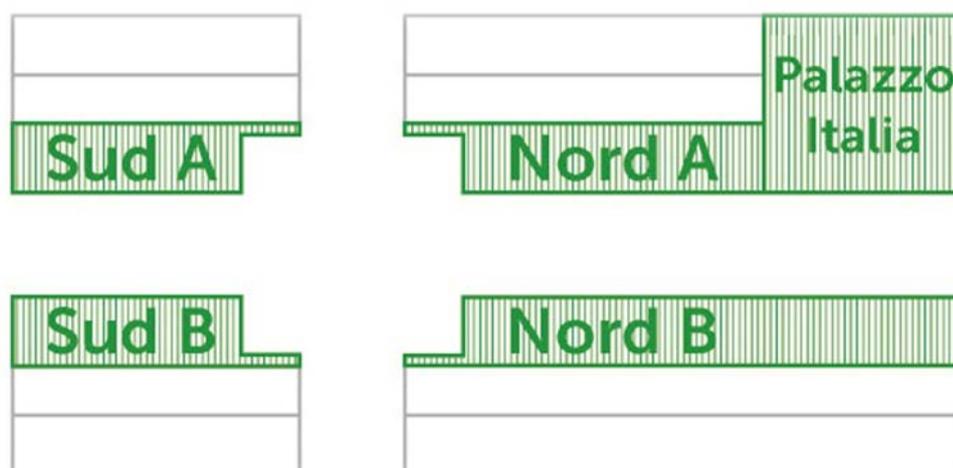


Figura 32 - Suddivisione dell'area di progetto

Il lotto **Nord A** si affaccia a sud su Piazza Italia, a nord sul lotto destinato al Palazzo Italia, a ovest confina con uno degli Hortus - spazi verdi di sosta - che lo costeggia per tutta la lunghezza e lo separa da uno dei lotti nazionali dei Partecipanti Ufficiali, a est si affaccia sul Cardo.

Il lotto **Nord B** si affaccia a sud su Piazza Italia, a nord sulla Piazza d'Acqua, a est su uno degli Hortus che lo separa da un'Architettura di Servizio, a ovest si affaccia sul Cardo.

Il lotto **Sud A** si affaccia a nord su Piazza Italia, a sud sulla piazza della Via d'Acqua, a ovest su uno degli Hortus che lo separa da uno dei lotti nazionali dei Partecipanti Ufficiali, a est si affaccia sul Cardo.

Il lotto **Sud B** si affaccia a nord su Piazza Italia, a sud sulla piazza della Via d'Acqua, a est su uno degli Hortus che lo separa da un'Architettura di Servizio, a ovest si affaccia sul Cardo.

Il lotto del **Palazzo Italia** di dimensioni 59,5 x 67 metri si affaccia a nord sulla Piazza d'Acqua, offrendo una vista privilegiata sugli eventi in questo suggestivo spazio. Ad est il manufatto si attesta sul Cardo, a sud costituisce il limite del lotto Nord A, dell'Hortus adiacente e di un lotto di un Partecipante Ufficiale, mentre sul lato ovest si trova un'area dedicata a giardino tematico.

2.2.3. Contesto

Le architetture da progettare s'inseriscono all'interno di un sistema complesso d'interventi per l'infrastrutturazione del Sito, chiamato Piastra, che comprende le reti impiantistiche, le cabine elettriche, le pavimentazioni, le aree verdi, le opere per il canale e le tende. Le opere della Piastra sono da considerarsi come invarianti e vincoli con i quali il progetto deve relazionarsi. In particolare verranno tenuti in considerazione:

- i materiali e il disegno delle pavimentazioni del Cardo, delle piazze e dei percorsi che circondano i lotti;
- le aree verdi o Hortus, che fiancheggiano i lotti dei manufatti che si affacciano sul Cardo, si compongono di ampi spazi verdi con bordure e piccoli orti ombreggiati da piante da frutto e pergolati;
- le tende che coprono il Cardo, con le relative strutture portanti e fondazioni;
- le reti impiantistiche (energia elettrica e impianti speciali, acqua potabile, acqua sanitaria, antincendio, acqua di condensazione, acque meteoriche, acque nere), alle quali i manufatti dovranno allacciarsi;
- tutti gli elementi del masterplan non inclusi nel perimetro dell'area, che non possono essere in alcun modo modificati.

Il percorso del Cardo è caratterizzato da fronti scenografici di straordinaria suggestione progettati da Dante Ferretti, un'installazione costituita da quinte trasparenti che riproducono le facciate dei palazzi italiani nelle loro diverse declinazioni storiche, rappresentando la tradizione degli spazi pubblici e la cultura della Piazza che contraddistingue il nostro Paese. Le quinte costituiranno un diaframma interposto tra il Cardo e gli edifici della Partecipazione Italiana, una scenografia che accompagnerà il visitatore alla scoperta della cultura italiana sulla quale s'innestano le prospettive d'innovazione del Paese. Tali quinte scenografiche rappresentano un elemento molto vincolante per le facciate degli edifici, proprio per questo motivo la loro configurazione finale ha facoltà di essere concordata insieme ai progettisti che si occupano delle costruzioni del Cardo.

2.2.4. Vincoli di progetto

Il progetto degli spazi s'inserisce all'interno di un masterplan complesso, per il quale sono definite chiare regole e vincoli di tipo urbanistico che dovranno guidare la progettazione.

➤ Palazzo Italia

L'altezza massima consentita dell'edificio è 25 metri. E' possibile prevedere elementi architettonici oltre l'altezza massima consentita solo se sono strutture temporanee, rimovibili al termine dell'Evento o di carattere simbolico-scenografico, o volumi e impianti tecnici finalizzati ai criteri di sostenibilità energetica.



Figura 33 - Altezze Palazzo Italia

L'edificio deve arretrarsi rispetto al limite ovest del lotto (confinante con un percorso pubblico largo 8 metri) di almeno 2 metri. Inoltre, deve arretrarsi rispetto al limite sud del lotto (confinante con il lotto del Cardo, un Hortus e il lotto di un Paese) di almeno 9,5 metri. In questa fascia di 9,5 metri di larghezza deve essere garantito il passaggio di persone e di mezzi e non possono essere previsti ingombri né aggetti. L'area entro la quale può essere realizzato il volume costruito è un quadrato di 57,5 metri di lato. La sagoma dell'edificio in qualsiasi sua parte o aggetto non deve eccedere quest'area. L'unica eccezione concessa è nel caso in cui il progettista decida di realizzare un collegamento con l'edificio del Cardo del lotto confinante (Lotto Nord A). In tal caso è possibile coprire con un aggetto la fascia di collegamento tra i due 25m edifici, garantendo comunque il passaggio di persone e mezzi al livello 0 con un'altezza minima libera di 4,5 metri.

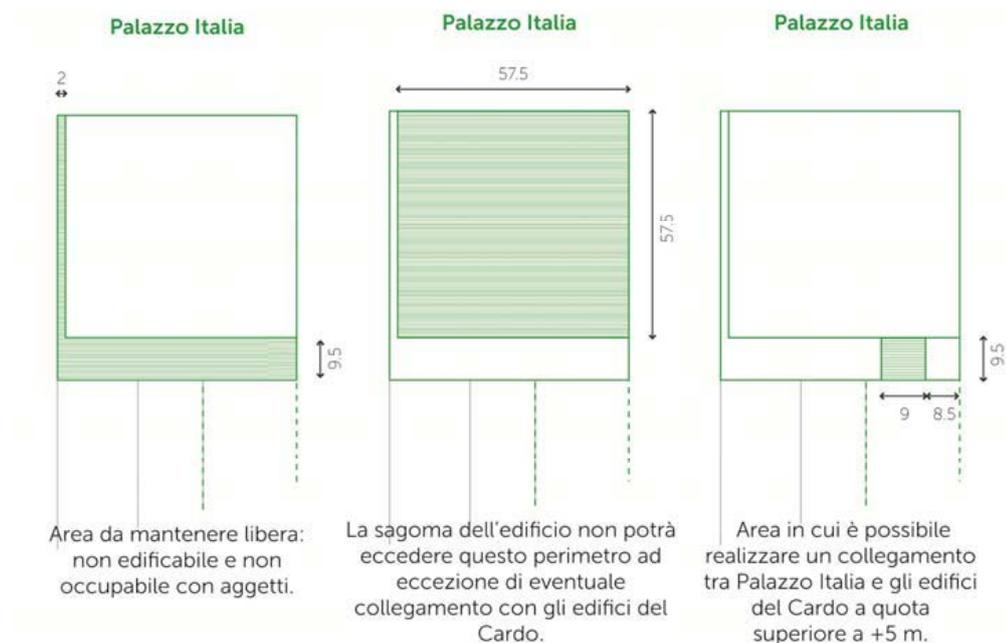


Figura 34 - Aree edificabili Palazzo Italia

➤ **Cardo**

L'altezza delle coperture degli edifici non deve superare i 12 metri. L'altezza limite per qualsiasi elemento architettonico aggiuntivo di valore simbolico, iconografico o tecnico quali elementi puntuali della copertura, lucernari, schermature solari, collegamenti verticali alla copertura, è di 17 metri.



Figura 35 - Altezze edifici del Cardo

I lotti di pertinenza del Cardo comprendono una fascia di 3 metri al confine con gli Hortus che non può essere edificata; questa fascia è destinata al passaggio di sottoservizi interrati e deve essere prevista adeguata pavimentazione. Sul fronte rivolto verso il Cardo una fascia continua di 2,20 metri sarà occupata dalla ricaduta delle strutture della facciata scenografica e non può essere edificata né soggetta ad alcun tipo di occupazione, comprese le parti interrate. Sullo stesso fronte in una fascia di 8,25 metri di ampiezza cadono le strutture di sostegno e fondazione delle tende. In quest'area è possibile edificare rispettando i vincoli e le distanze di arretramento dalle strutture di sostegno delle tende.

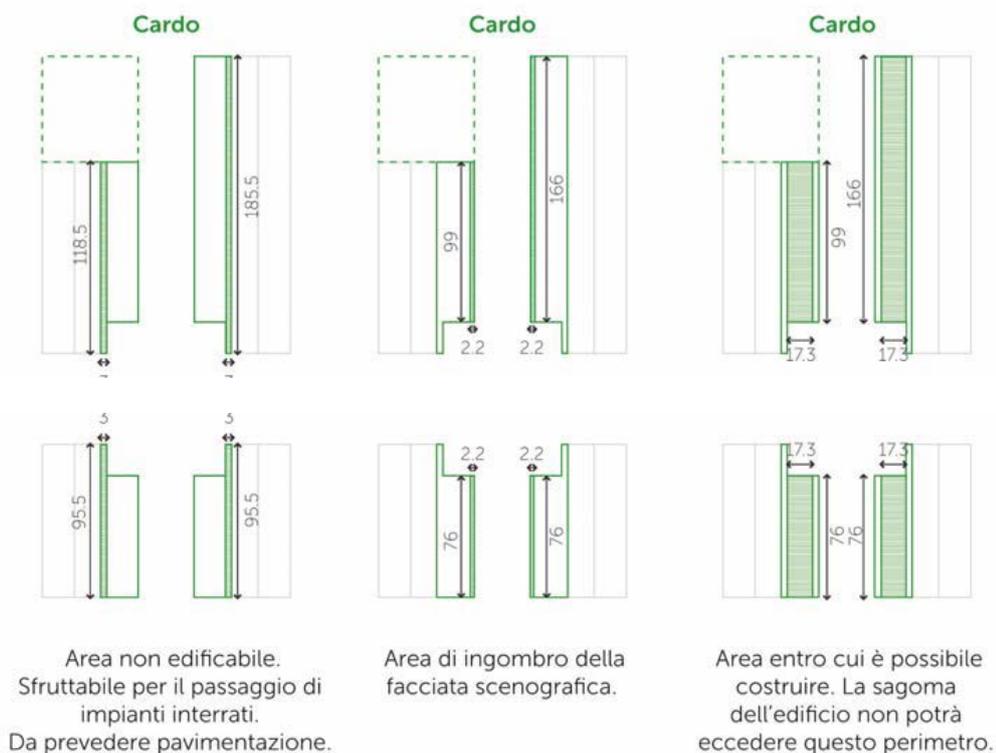


Figura 36 - Aree edificabili Cardo

CAPITOLO 3

Il concept architettonico

3.1. Evoluzione del concept

3.1.1. Ipotesi precedenti

Il percorso di definizione del concept architettonico è stato molto lungo ed è passato per diverse fasi, in cui si è arrivati allo sviluppo del concept che meglio rispondeva alle esigenze progettuali e meglio rappresentava la nostra architettonico/concettuale per il padiglione Italia. Tra le difficoltà maggiori, sicuramente figura quella di trovare un'idea architettonica in grado di far dialogare le idee che si volevano esprimere con le strette richieste volumetriche e funzionali date dalla committenza. Partendo quindi dal concept si è andata a formare gradualmente la strada da seguire. Di seguito verrà esposta l'evoluzione temporale che ha portato al progetto definitivo.

➤ Prima ipotesi: Settembre 2013

Questa prima ipotesi, parte dall'idea di creare un fulcro al centro del palazzo Italia, un percorso di risalita centrale che rappresenta l'albero della vita, l'albero visto come un percorso di crescita e scoperta della cultura e della storia agricola, industriale e del cibo in Italia



Figura 37 - Prima ipotesi schizzo 1

Al piano terra sarebbero state esposte le culture agroalimentari delle diverse regioni d'Italia, con la loro storia e la loro diversità, salendo si sarebbe seguito un percorso che porta il visitatore verso l'Italia del futuro, con esposte le innovazioni in campo agricolo industriale e alimentare in cui l'Italia sta puntando.

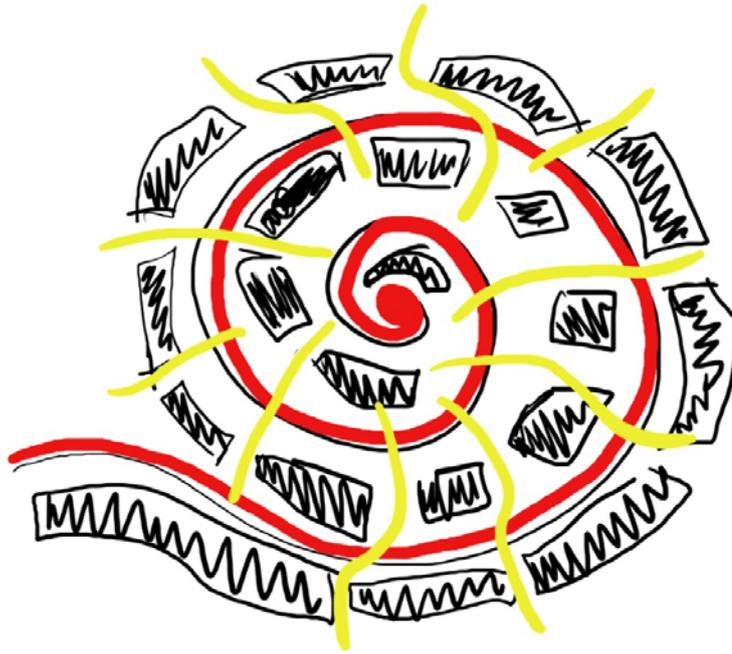


Figura 38 - Prima ipotesi schizzo 2

All'interno poi si pensava di inserire un grande spazio aperto che ospitasse un giardino interno contenente la grande varietà di flora presente in Italia, dalle conifere alla macchia mediterranea, creando così un grande giardino coperto da una copertura trasparente, che avrebbe permesso la diffusione naturale della luce e dell'aria. L'edificio sarebbe stato sollevato da terra creando una grande permeabilità al piano terra e comunicando il rispetto del suolo evitando il suo consumo irreversibile.

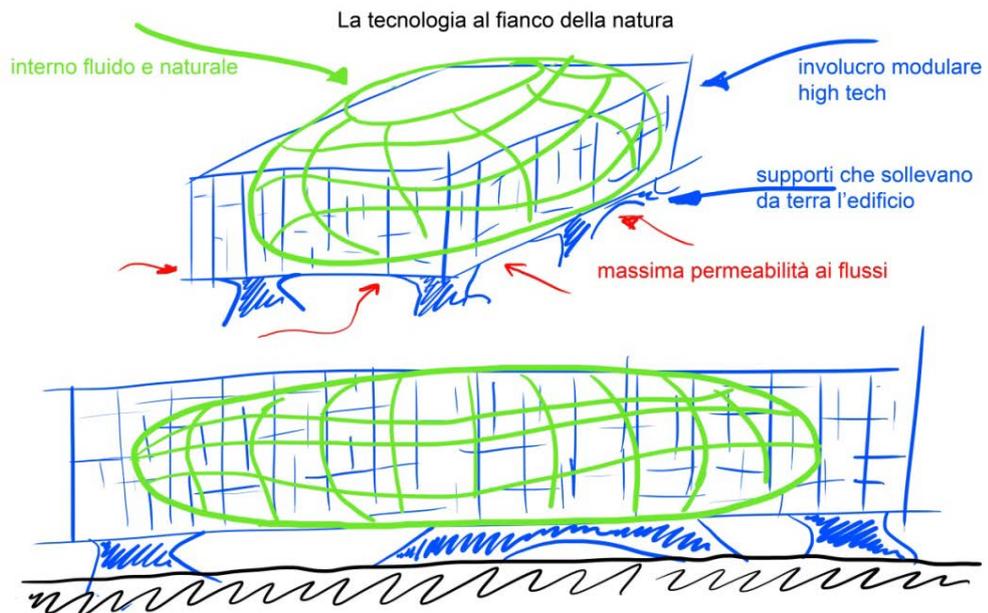


Figura 39 - Prima ipotesi schizzo 3

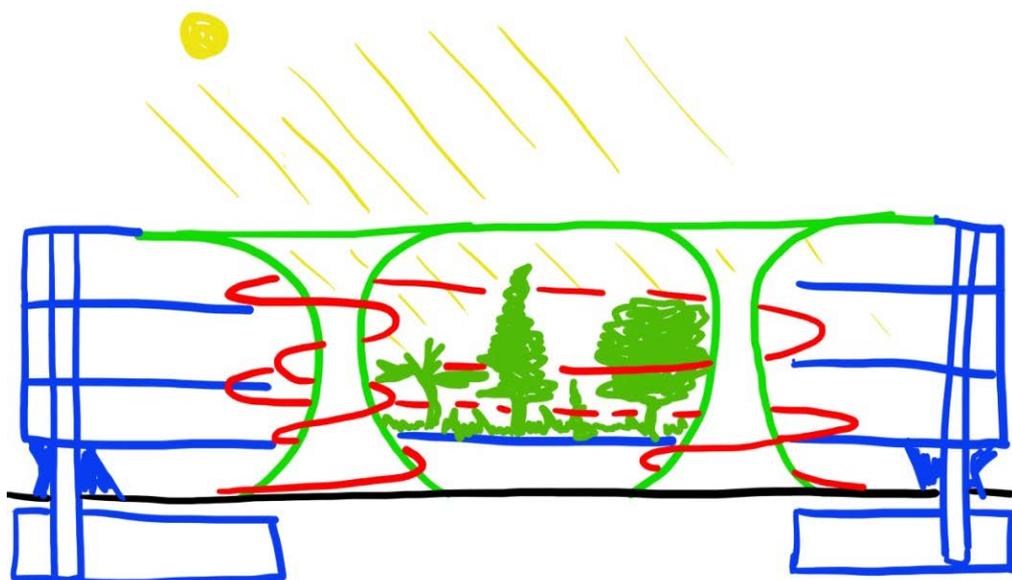


Figura 40 - Prima ipotesi schizzo 4

Questa ipotesi, seppur di grande impatto e sufficientemente legata al concept, è però stata scartata dopo poco tempo, in quanto nello sviluppo delle piante si è subito notata l'impossibilità di inserire tutte le funzioni e gli spazi richiesti alla committenza, siccome le metrature richieste riempiono quasi completamente ogni piano del palazzo Italia.

➤ Seconda ipotesi: Novembre 2013

Questa seconda alternativa, nata subito dopo che la prima è stata scartata, è nata partendo dall'idea di avere degli interni più tradizionali, per evitare il problema di riuscire a far stare tutte le funzioni, e lavorare molto di più sulle facciate per esprimere il concept. Si è partiti dunque subito con la scelta di un elemento architettonico che rappresentasse fortemente la storia architettonica italiana, e tale scelta è stata l'arco. Si è pensato quindi di legare il palazzo Italia al cardo creando un fronte comune, che richiamasse gli acquedotti romani, inclinato in modo da divenire una grande rampa d'accesso al palazzo, e realizzato con materiali estremamente moderni come acciaio e plexiglass colorato, trasparente e illuminato, così da dare una rilettura moderna all'acquedotto e legare concettualmente il flusso dei visitatori ad un flusso d'acqua.

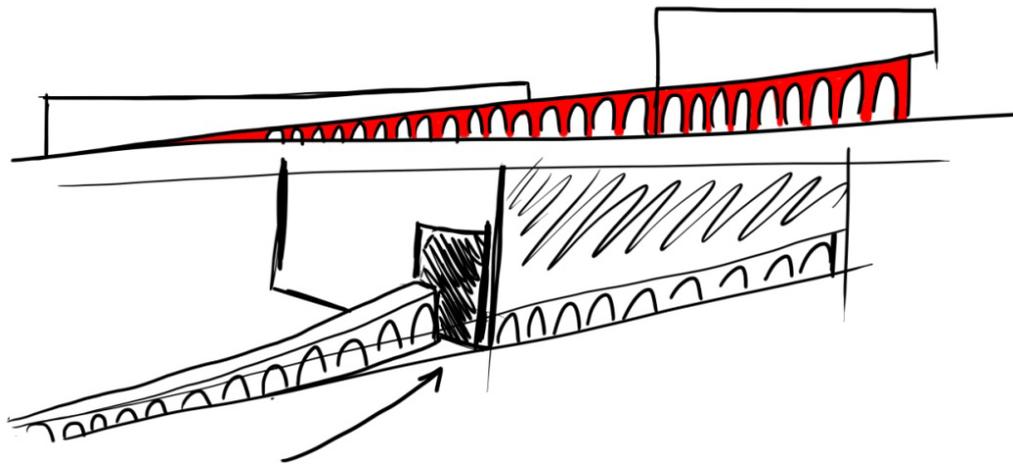


Figura 41 - Seconda ipotesi schizzo 1

Per quanto riguarda i fronti del cardo, si pensava di ricreare la suggestione di trovarsi all'interno di una via del centro storico delle città italiane, andando a creare una successione di fronti continui ad altezze diverse riprendendo i colori tipici dei centri storici.

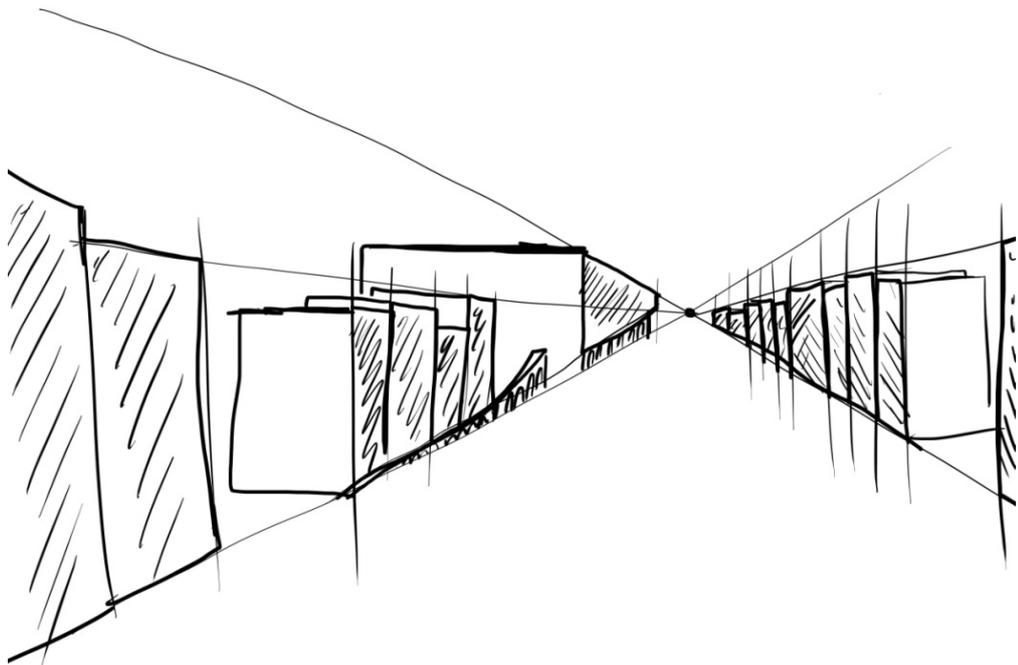


Figura 42 - Seconda ipotesi schizzo 2

Per rispondere alle richieste della committenza le facciate del palazzo Italia avrebbero dovuto essere luminose e con la possibilità di proiettare immagini e scenografie

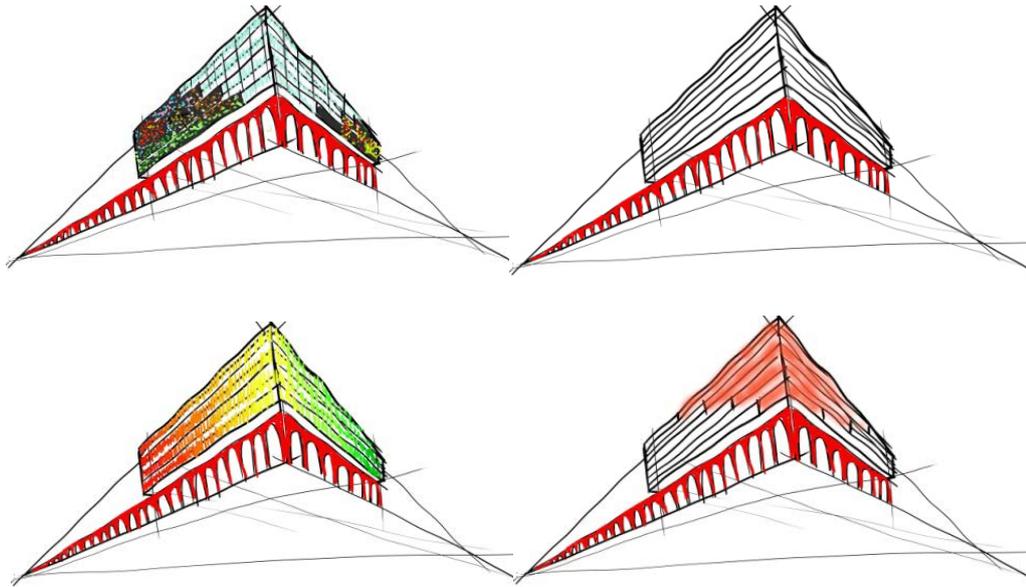


Figura 43 - Seconda ipotesi schizzo 3

Questa alternativa dopo un breve sviluppo è stata scartata, in quanto rischiava di portare ad uno scontro con quelle che erano le richieste della committenza, ossia evitare di creare un edificio monumentale, e sarebbe risultato inoltre eccessivamente didascalico riproporre l'arco nella sua forma più classica. Si è dunque optato per proporre l'utilizzo dell'arco con un'accezione più moderna e di creare un edificio innovativo e che non fosse già presente nel panorama architettonico italiano. Questo ha portato al concept architettonico definitivo da cui è nato il progetto per il padiglione Italia per l'expo 2015 di Milano.

3.1.2. Concept definitivo

Viste le molteplici declinazioni del tema e la sua complessità, non è semplice raggiungere un'unità che definisca ed esprima l'idea architettonica; proprio per questo motivo, nel progetto del Padiglione Italia, si è scelto di utilizzare un concerto di elementi che potesse ricondurre agli aspetti del tema più rappresentativi e fondamentali. In questa sede, il concept architettonico si discosta dunque dall'idea che generalmente porta a pensare ad un'immagine singola, un disegno che guida il progettista alla definizione delle forme e dei volumi di ogni costruzione.

Il progetto è perciò stato guidato - nel processo di definizione volumetrica ed architettonica - da tre aspetti fondamentali, che rappresentano l'idea di Concept, non delle due zone slegate, ma dell'area completa, vista nella sua interezza e complessità:

➤ **Spazio pubblico protagonista.**

Non può essere altrimenti in un progetto come questo, che si rivolge estremamente al pubblico, rendendolo non solo partecipe, ma appunto protagonista dell'esperienza espositiva, essendo l'utente il destinatario assoluto del messaggio principale. Pertanto l'impostazione è quella di realizzare un'opera in cui sia previsto il continuo passaggio di persone, che attraversano lo spazio senza impedimenti, ma anzi sia proprio lo spazio ad essere disegnato in modo da invitare ed accogliere il visitatore cercando di coinvolgerlo nell'esperienza.

A questo scopo calza perfettamente l'esempio delle vie dei centri storici italiani, che conducono alla piazza principale: abbastanza strette e delimitate da edifici dai fronti estremamente irregolari e variegati, sia per conformazione che per altezze, allineati però in corrispondenza della strada. Generalmente costeggiate da portici ove la vita della cittadina si esprime appieno, queste arterie rappresentano il teatro di un incontro continuo di passanti, di gruppi di persone che si fermano anche per pochi minuti a scambiarsi convenevoli ed opinioni, o anche per consumare velocemente qualche cibo caratteristico. Sono proprio queste vie, brulicanti di vita, unitamente alla piazza, il vero cuore pulsante del paese; nient'altro esprime meglio l'essenza della vita nel borgo.



Figura 44 - Portici di Bologna

➤ Elementi caratteristici dell'architettura italiana.

Dovendo necessariamente fare una cernita, per evitare di indurre nello spettatore una confusione da “parco dei divertimenti”, tra tutti i possibili si è scelto l'arco; principalmente per l'incredibile apporto che quest'invenzione ha fornito al repertorio di forme utilizzabili in qualsiasi artefatto, realizzando un connubio straordinario: una strategia strutturale ingegnosa che permette di appagare la vista dell'osservatore, consentendo finanche d'essere attraversata per ammirarla da ogni posizione senza barriere.

La genialità di questa struttura sta nello sfruttare appieno la grande resistenza della pietra, materiale da sempre molto usato per costruire, grazie alle sue ottime prestazioni sotto sollecitazioni di compressione, ma poco resistente, oltre che fragile, se sottoposto a trazione; l'arco ha infatti il pregio di redistribuire i carichi fino a terra trasmettendo solo sforzi di compressione tra le varie parti della struttura, il tutto grazie ad un sapiente studio geometrico.

L'arco come inteso in questa sede è nato in Italia, grazie alla civiltà etrusca, e affinato poi dai romani; ci sono in realtà tracce di strutture simili in civiltà antecedenti, ma queste strategie di sostegno non funzionano con un meccanismo ad arco, non si possono pertanto ritenere tali.

Esso si ritrova spesso nei portici dei centri storici, citati prima, disegnando il fronte del pianterreno degli edifici costituenti il fronte; oltre ad essere la struttura base della volta, la quale molte volte costituisce la struttura che disegna lo spazio del porticato.

Questa struttura è talmente versatile da essere stata utilizzata nella storia per opere tanto grandiose quanto utili alla collettività prima di tutto; si vedano ad esempio gli acquedotti romani, costruzione assolutamente innovativa e di un'importanza vitale nella storia.

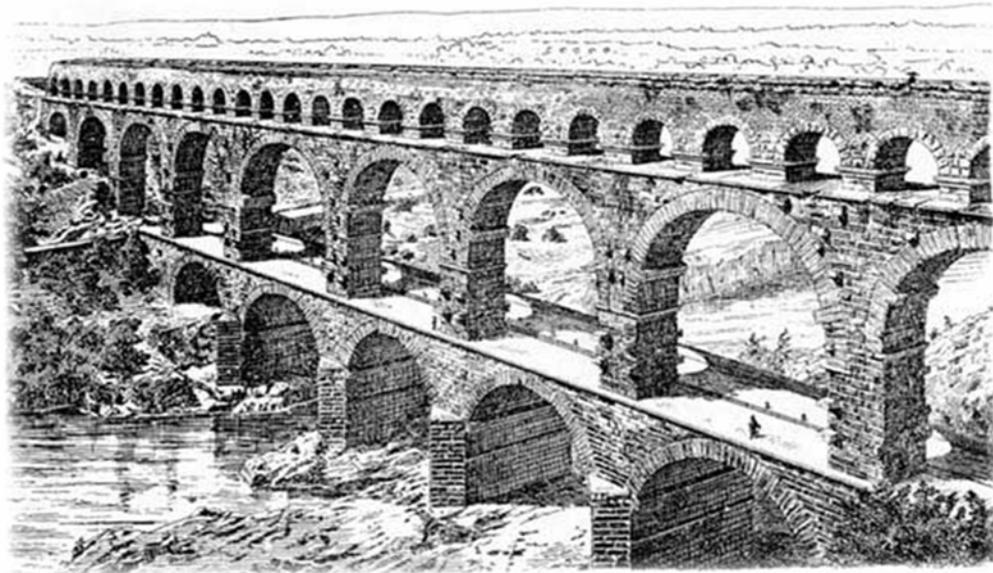


Figura 45 - Acquedotto romano

➤ **Albero della vita, suggestione che permea l'intero concetto di EXPO.**

È l'icona del padiglione, provoca una suggestione emotiva che rappresenta nel modo migliore - insieme all'idea di vivaio ad esso connessa - il significato di questa esposizione mondiale. Esso simboleggia l'unione tra le radici e lo slancio verso l'alto; ed è un elemento che si ritrova più o meno in tutte le religioni e le culture del pianeta. Nell'esegesi ebraica è insegnato che originariamente i due alberi erano uniti, in seguito Adamo ne separò le radici. L'Albero della Vita è però un adattamento di simboli già presenti presso i popoli antichi: in Egitto il sicomoro sacro come pure il Djed. Altri Alberi della Vita esistevano nella tradizione mesopotamica di Elam con potenti risonanze cosmogoniche. Sotto nomi diversi una stessa percezione si è installata in differenti culture: l'Albero della Vita si chiama l'Aśvattha in India, l'Albero Bo o la Ficus Religiosa dei Buddhisti, il Frassino, Yggdrasil dei popoli nordici, l'Asherah originale degli Assiri, così come tra le popolazioni animiste come i Dogon. L'Albero Della Vita come immagine della Natura Primigenia, icona di femminilità e simbolo delle forze generatrici. L'Albero come Madre di tutte le cose viventi.

L'Albero Della Vita diventa icona centrale del Padiglione, organizzando lo spazio attorno a sé secondo una logica di distribuzione "organica" dei contenuti e delle aree tematiche da interpretarsi in modo libero, metaforico o reale.



Figura 46 - L'Albero della Vita in un pittogramma celtico

Questi tre elementi sono i connotati principali del volto del progetto, ma per averne un chiaro disegno essi vanno sommati a tutti gli altri caratteri assunti dal Padiglione. Esso dev'essere un'icona dell'EXPO, destinata a rimanere negli anni, che rappresenta per intero il nostro Paese, ma trovando anche il modo di dialogare con tutti gli altri padiglioni e con tutti gli utenti della manifestazione. Molto importante è anche l'aspetto simbolico, lo spazio deve diventare un "contenitore di comunicazione", rivolgersi alle nuove generazioni, le uniche in grado di cambiare veramente la storia futura e rinnovare il pianeta; utilizzando quindi la tecnologia per trasmettere valori e nozioni ad un pubblico trasversale, dove ognuno possa vivere un'esperienza secondo il proprio livello di conoscenza. La partecipazione del pubblico deve perciò essere attiva, coinvolta nel percorso disegnato, affinché lo spettatore non sia solo tale, ma diventi vero e proprio agente del cambiamento. Quindi l'idea che deve permeare il Padiglione Italia è il dialogo, la comunicazione con l'intorno e l'utenza, non deve essere un edificio celebrativo, deve anzi rivolgersi a tutti con un linguaggio comprensibile e stimolante. Un concetto che esprime bene tutti gli elementi citati è il vivaio: esso è la sintesi perfetta del connubio cultura - coltura dato il duplice significato con cui si utilizza il termine; come spazio protetto di crescita per organismi viventi e come luogo dove può svilupparsi ed affinarsi il talento dei giovani e perciò l'innovazione estesa ad ogni campo. Si andrà dunque a progettare edifici che, attraverso il disegno, lo spazio e la pelle, diano l'idea di mutamento, rigenerazione e di vitalità, elementi cardine per aprire la porta di un futuro più equilibrato.



Figura 47 - Parole chiave Padiglione Italia

CAPITOLO 4

Il progetto architettonico

4.1. Palazzo Italia

4.1.1. Esigenze e bisogni da soddisfare

Si parla di un manufatto permanente che dovrà ospitare diverse tipologie di funzioni, ciascuna con particolari esigenze e fabbisogni. Al termine dell'Evento, il Palazzo Italia assumerà la veste di un "Vivaio dell'Innovazione", uno spazio per la ricerca tecnologica, la creatività, la formazione e l'educazione scientifica. Per questo motivo gli spazi dovranno offrire qualità della visita e funzionalità della gestione nel corso dell'Expo e, allo stesso tempo, dovranno essere capaci di accogliere il progetto nella possibile veste che assumerà nel futuro con la restituzione alla collettività di un luogo per la ricerca e l'innovazione scientifica.

In quanto rappresentazione del Paese Organizzatore, esso dovrà offrire un contributo fondamentale e originale allo sviluppo del Tema "Nutrire il Pianeta, Energia per la Vita", ospitando uno spazio espositivo che diventi un riferimento e un modello per tutti i Partecipanti e una tappa irrinunciabile della visita ad Expo 2015. Uno spazio flessibile e adattabile a diversi tipi di allestimento, per una serie di mostre ed esposizioni interattive e coinvolgenti. La qualità degli spazi interni e di relazione, la scelta dei materiali e delle finiture, la cura degli aspetti d'illuminazione naturale e artificiale, dovranno contribuire a creare un'architettura capace di ospitare gli allestimenti espositivi tematici. Lo spazio espositivo dovrà essere aperto e facilmente accessibile a tutti i visitatori, con un progetto che favorisca la gestione dei flussi e limiti la formazione di code anche nei periodi di elevata affluenza. Per queste ragioni si prevede che lo spazio espositivo sia collocato ai piani o livelli inferiori dell'edificio. Particolare attenzione in fase di progettazione deve essere rivolta alla gestione dei flussi interni e agli elementi di risalita e distribuzione, in modo da mantenere separati accessi e percorsi dei visitatori rispetto a quelli di servizio dedicati agli addetti e agli ospiti nazionali e internazionali.

Come edificio rappresentativo della Partecipazione Italiana, è quindi il vero snodo vitale dell'intreccio fittissimo di relazioni istituzionali e commerciali della grande piattaforma Expo Milano 2015. In particolare Palazzo Italia ospiterà gli uffici di rappresentanza per i Commissari, i rappresentanti del Governo, i Soci e i vertici della Società Expo 2015 S.p.A. e lo staff del Commissario Italiano; disporrà inoltre di pochi ambienti di alta rappresentanza da offrire permanentemente ad alcune istituzioni italiane (Regioni, Enti speciali, etc.) e di altri spazi per incontri istituzionali e orientati al business, da mettere a disposizione a rotazione a soggetti ed enti diversi. Questi spazi incarnano una funzione essenziale del Palazzo Italia, ma anche dell'Expo in quanto tale: favorire la relazione istituzionale e commerciale attraverso una visibilità e un accesso di relazioni veramente unico e inedito.

Il luogo dove il Paese Organizzatore invita e accoglie delegazioni di Partecipanti e visitatori, dovrà ospitare anche spazi per eventi in grado di accogliere un elevato numero di persone che prenderanno parte a spettacoli, concerti e cerimonie ufficiali. Lo spazio per eventi sarà collocato al piano terra, dove l'edificio s'innalza dal livello del suolo generando un'ampia piazza coperta; uno spazio il più possibile aperto e accessibile su tutti i lati; uno spazio flessibile per eventi di diverso tipo che richiedono

palchi ed allestimenti di dimensioni variabili, condizioni di acustica differenti, numero e disposizione degli spettatori facilmente adattabile; uno spazio di introduzione al Palazzo, un filtro tra esterno e interno protetto dal sole e dalla pioggia, con eventi che preparano, attirano e coinvolgono il visitatore. In questo modo l'edificio dialoga direttamente con il contesto costituito dai percorsi, dalle piazze e dalle aree verdi, garantendo un altissimo grado di permeabilità dello stesso.

Il Palazzo è la rappresentazione delle eccellenze del Paese e, come tale, dovrà offrire la possibilità di fare un'esperienza diretta e straordinaria del cibo attraverso un'offerta di ristorazione di elevata qualità e varietà. Non solo il forte richiamo del Tema, ma anche la volontà di ribadire l'importanza della cultura agricola, produttiva e culinaria del Paese determinano la scelta di ospitare ristoranti, bar e spazi per la degustazione all'interno. In particolare, è previsto un ristorante di alto livello posto all'ultimo piano o in copertura, con vista panoramica sul Sito e sugli eventi della Piazza d'Acqua. Sarà il locale irrinunciabile, l'espressione massima e simbolica della cucina italiana, il luogo della raffinatezza e dell'eleganza. Offrirà spazi riservati per cene istituzionali e di business, per eventi culinari ma anche per cene private. Una terrazza o spazio panoramico permetterà di collocare altri posti a sedere per il ristorante creando un'area all'aperto di elevata qualità e comfort. Ai piani inferiori, in corrispondenza degli spazi espositivi aperti a tutti i visitatori, sarà collocato un bar che offrirà pasti semplici e veloci a costo contenuto, garantendo una buona qualità degli spazi, delle materie prime e del servizio anche nella semplicità di un'offerta rapida e alla portata di tutti.

4.1.2. Riconversione post EXPO

Al termine della manifestazione espositiva, Palazzo Italia diventerà il “Vivaio dell’Innovazione”, uno spazio per la ricerca tecnologica, la formazione e l’educazione in campo scientifico. Il progetto del Palazzo Italia dovrà prevedere, sin dalla fase ideativa, un elevato grado di flessibilità funzionale, impiantistica e strutturale, valutando l’uso di soluzioni costruttive aperte (partizioni interne, finiture, impianti...) adattabili o facilmente rimuovibili che permettano di ridurre al minimo l’intervento di riconversione nel post-Expo. Tale intervento coinvolgerà necessariamente l’organizzazione spaziale e delle funzioni e potrà prevedere eventuali modifiche agli impianti e alle reti, pur contenendo al minimo gli interventi sugli elementi strutturali del manufatto. Il futuro “Vivaio dell’Innovazione” potrà ospitare circa 250 addetti e occuperà la totalità di Palazzo Italia. Parte delle attività saranno svolte in laboratori di analisi e prove, saranno realizzati inoltre uffici, spazi comuni, sale riunioni, una biblioteca e una sala multimediale. Al fine di facilitare la realizzazione della conversione, la progettazione architettonica, coordinata con le soluzioni strutturali e impiantistiche, dovrà provvedere alla definizione delle seguenti dotazioni e conformazioni:

- soluzioni strutturali che agevolano l’adeguamento necessario nella seconda fase di conversione dell’edificio;
- solai e sovrastruttura di separazione fra i vari piani, realizzati in modo da garantire l’assoluta impossibilità di travasi di liquidi o di sostanze da un piano a quello sottostante in occasione di sversamenti, allagamenti o altro;
- formazione di almeno un cavedio (2 m x 5 m circa) dal piano interrato fino alla copertura;
- formazione di un piano terra e primo di 2.000 mq di superficie netta utile minima;
- altezza minima dell’interpiano al piano interrato, pari a 4,50 m;
- altezza minima dell’interpiano al piano terra, pari a 7,50 m;
- altezza minima dell’interpiano al piano primo, pari a 5,50 m;
- accesso indipendente e diretto al piano interrato, classe di carico 4 (carrabile pesante).

4.1.3. Descrizione architettonica

Il progetto architettonico del Palazzo riveste un'importanza unica nel contesto in cui ci si trova ad operare. Oltre alle numerose esigenze già discusse, infatti, un'attenzione particolare del pubblico verrà sicuramente riservata all'edificio che termina lo spazio riservato al Paese ospitante. Proprio questa costruzione deve perciò creare un dialogo con la piazza d'acqua riservata ai grandi eventi e contenente l'icona dell'esposizione: l'Albero della vita. Tutto ciò non deve fuorviare tuttavia dalla funzione che il palazzo dovrà assumere una volta terminato l'evento mondiale.

Il concept è naturalmente unico e comune ad entrambe le frazioni progettuali, si può pertanto procedere operando una descrizione sommaria dell'intervento, complementare alle relative tavole.

Il dialogo tra le costruzioni si ottiene semplicemente portando gli elementi rappresentativi dell'intero progetto dagli edifici del Cardo all'interno di Palazzo Italia stesso, per fare in modo che il visitatore venga indotto quasi inconsapevolmente a compiere un percorso predefinito. Una via che attraversa l'intera area riservata al Paese ospitante e vuole trasmettere un senso di crescita, evoluzione, sviluppo, culminante proprio con il Palazzo, futuro spazio dedicato alla ricerca tecnologica e all'innovazione. Il collegamento si realizza nel tratto in cui l'edificio Nord A si affaccia su una porzione di prospetto del Palazzo.

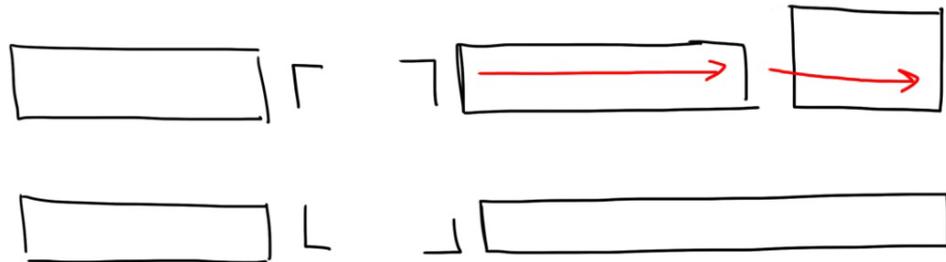


Figura 48 - Idea del percorso di collegamento

Il risultato cercato si ottiene portando l'arco, elemento cardine del progetto, all'interno del Palazzo. Creando inoltre un fulcro nel quadrante ovest della pianta, attorno al quale far ruotare l'asse principale del cardo, si ricrea uno spazio pubblico che, grazie alla sua funzione ed importanza, richiama la suggestione di una piazza italiana. La linea direttrice lungo la quale si susseguono gli archi dell'edificio Nord A viene così prolungata e curvata di 90 gradi per così dirigersi verso il retro dell'edificio, dove sono situati gli Hortus che circondano di verde l'intera area. Il fulcro attorno al quale si sviluppa la piazza coperta è un'altra parte fondamentale della progettazione. Esso infatti è costituito essenzialmente da un foro circolare che attraversa tutto lo sviluppo verticale dell'edificio, fino ad aprirsi in sommità, creando un flusso d'aria che percorre l'edificio, dalla piazza alla copertura, passante per i vari piani. Questa zona circolare verrà inoltre sfruttata per far correre una scala principale, che colleghi i primi piani dell'edificio, quelli aperti al pubblico.

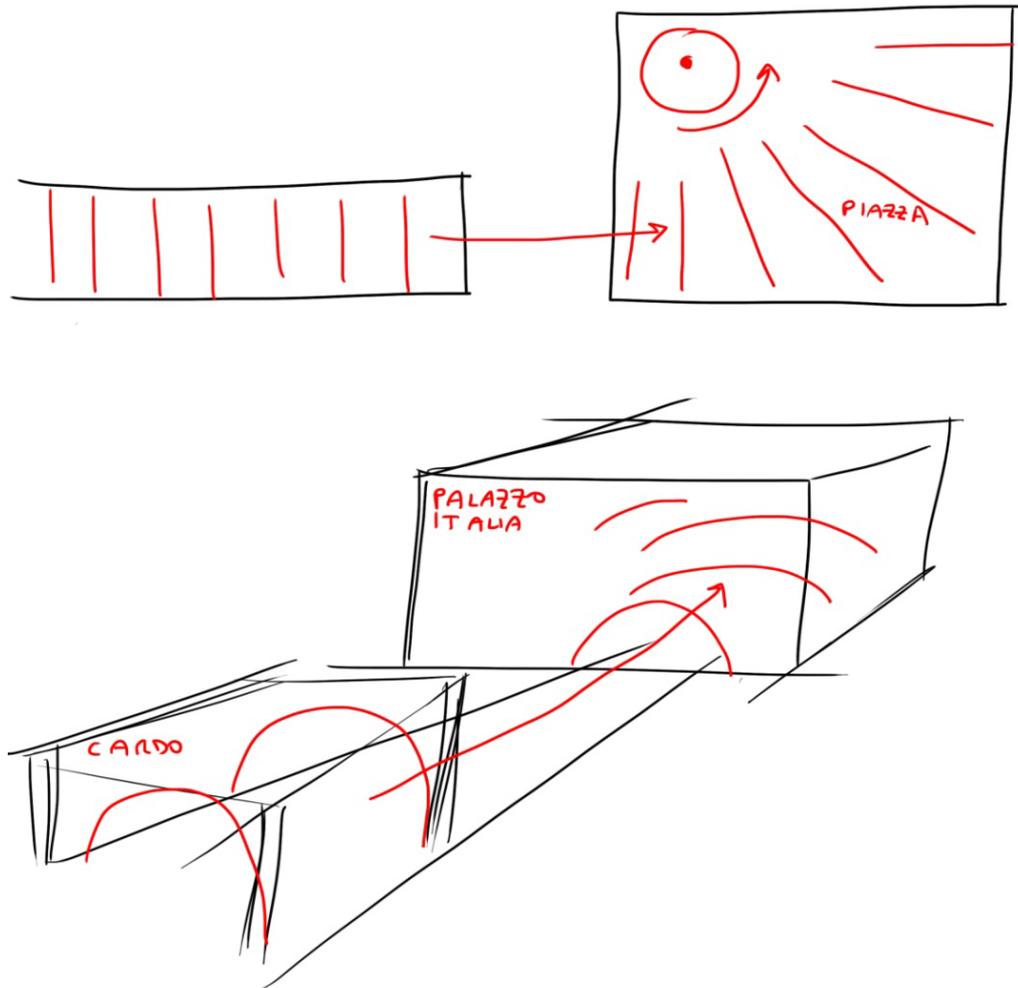


Figura 49 - Genesi della piazza coperta

Lo spazio che si viene a creare ha senz'altro un grande impatto su chiunque lo attraversi: imponenti archi sorreggono il piano superiore e sovrastano la piazza, che si apre completamente sui due lati rivolti verso lo spazio di passaggio del Cardo e verso la Lake Arena. Questo continuo dialogo tra gli spazi, permesso anche dalla geometria utilizzata, risulta inequivocabilmente evocativo per la similitudine con l'idea di spazio pubblico, o se vogliamo di "piazza", che si ha in Italia: uno spazio di passaggio, di continuo scambio di opinioni e di dialogo tra persone che sono dirette anche in posti diversi, ma che si incrociano e si fermano a conversare. Si vuole pertanto giocare con il senso italiano di "spazio pubblico" e il comune senso di "piazza" come luogo d'incontro. Il piano terra del Palazzo Italia si apre infatti su tutti e 4 i lati per accogliere persone provenienti da qualsiasi percorso e adatto anche ad ospitare piccoli eventi al coperto.

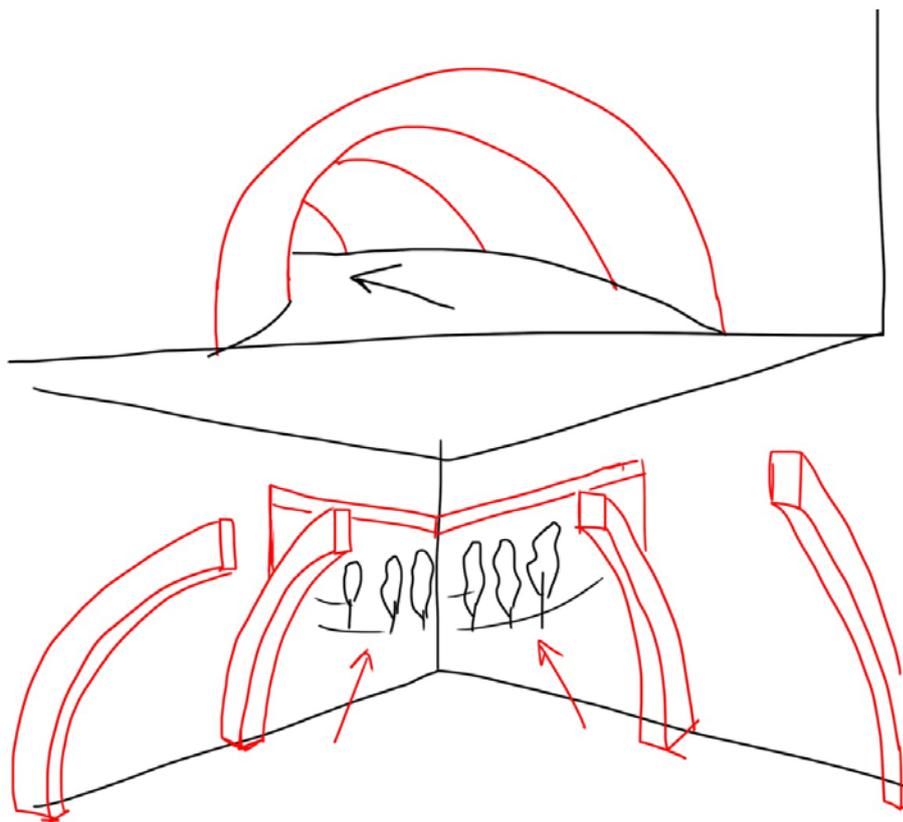


Figura 50 - Viste ipotetiche della piazza

Per quanto riguarda la pelle, infine, si è cercato di dare un richiamo iconico alla natura creando una pelle esterna con una texture che richiamasse la vegetazione, in grado di filtrare la luce solare e pensata per fare in modo che si possa muovere sotto gli input esterni, come il vento ad esempio. Una sorta di frangisole capace di interagire con l'esterno, così come l'intero edificio ha la facoltà di dialogare e di mettere in comunicazione persone provenienti da tutto il mondo.

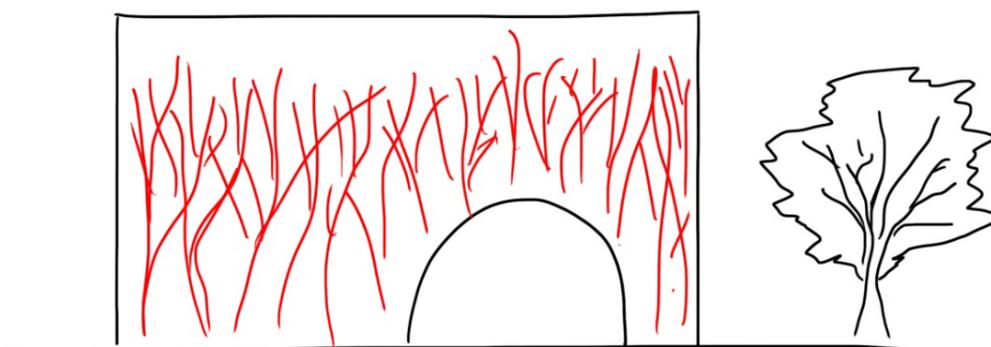


Figura 51 - Schizzo di un prospetto

4.1.4. Piante

Il bando di concorso fornisce indicazioni molto precise in merito a: funzioni, posizioni e superfici nette utili dei locali che devono essere presenti nel progetto; pertanto la progettazione architettonica degli spazi, oltre a svolgersi coerentemente con il concept adottato, deve confrontarsi con le richieste presenti nel Documento Preliminare alla Progettazione. Per alleggerire la trattazione non viene riportato l'estratto del D.P.P., ma confrontandolo con le superfici in pianta e il posizionamento dei locali, risulta immediato verificare tutte le prescrizioni specificate.

Entrando nel merito, L'impianto di ogni piano risulta suddiviso tramite due tipologie di linee guida, che fanno riferimento ad un unico punto generatore: il cilindro in vetro che taglia l'edificio in verticale, da terra fino al terrazzo in sommità. È proprio dal centro del cerchio in pianta che partono i cerchi concentrici e i raggi. Lo spazio di ogni piano del Palazzo è disegnato secondo queste due famiglie di direttrici. Un'altra caratteristica è la presenza di un elevato numero di scale, resa necessaria dall'ampiezza dello spazio interno e dall'ingente numero di utenti che si prevede ospitare.

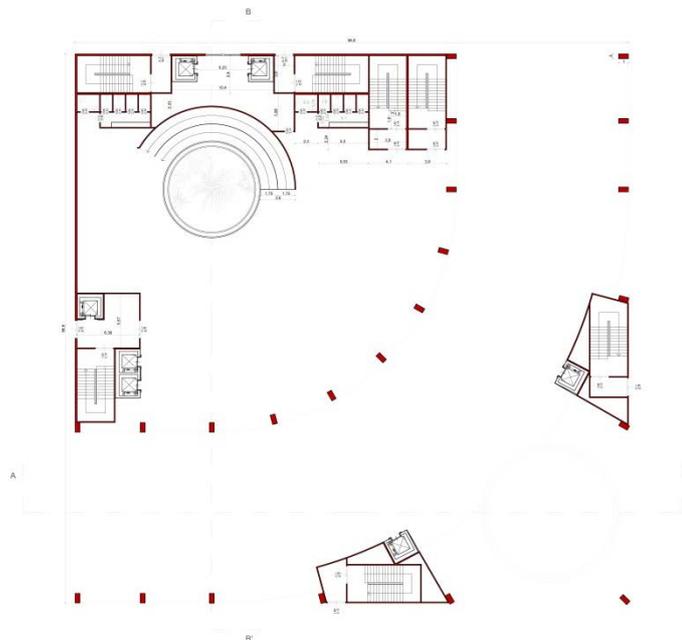


Figura 52 - Pianta del piano terra del Palazzo Italia

Il piano terra è occupato per la quasi totalità dalla piazza coperta, o spazio per eventi, che accoglie i visitatori da ogni lato, per condurli all'interno del palazzo e convogliare il flusso verso la scala principale che si sviluppa attorno al cilindro in vetro. Opposta alla piazza, sul retro dell'edificio, si trova l'ingresso per impiegati e istituzioni che utilizzano i piani superiori. Il secondo ingresso, con relative scale ed ascensori riservati, serve principalmente a dividere alla base i due flussi distinti di utenti. Nonostante questa divisione, ad ogni piano è posto un collegamento unilaterale che permette agli impiegati di raggiungere i locali aperti al pubblico, ma non viceversa. Il fulcro che fondamentale disegna lo spazio di ciascun piano è concretamente un

giardino circolare. Situato al piano terra, si sviluppa in altezza fino alla copertura; protetto da una specie di teca in vetro lungo tutta la sua altezza, si apre infine verso l'alto permettendo una continua ventilazione. È questo il "vivaio", un simbolo che richiama il significato fondamentale dell'intera esposizione, già ampiamente discusso.

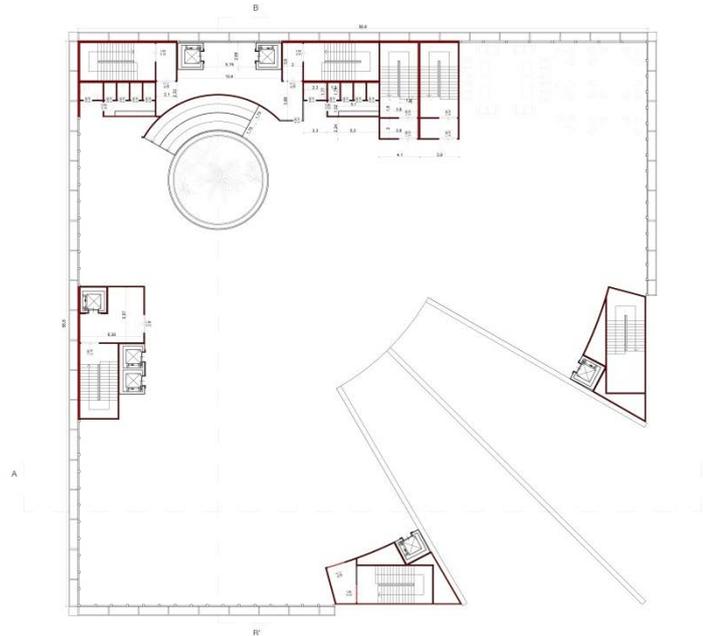


Figura 53 - Pianta del primo piano del Palazzo Italia

Il primo piano è interamente dedicato alle esposizioni. Al pavimento viene sottratto uno spicchio, andando quindi a formare una doppia altezza sulla piazza e regalando una suggestiva visione della Lake Arena e dell'Albero della vita. Una caffetteria è situata nel quadrante nord, a disposizione dei visitatori.

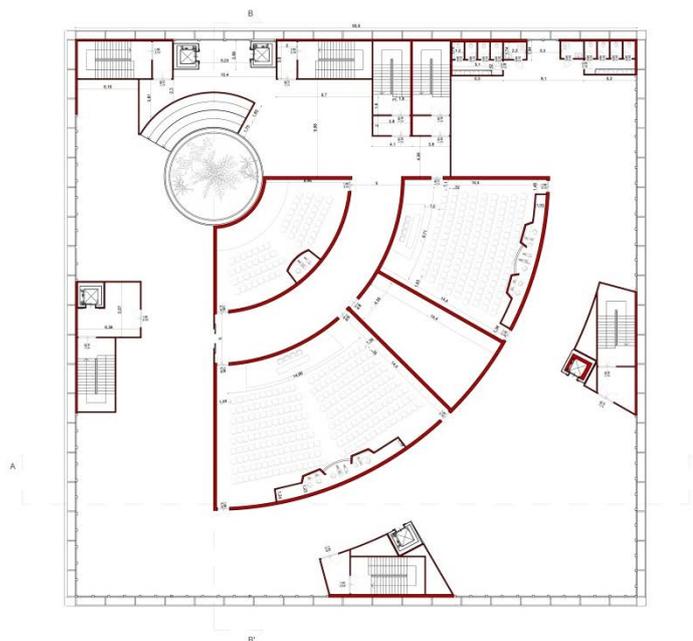


Figura 54 - Pianta del secondo piano del Palazzo Italia

Troviamo al centro del secondo piano un'area dedicata alle tre sale conferenza di grandezze diverse con foyer e deposito comuni. Questo livello è disegnato, come da concept, dalle linee direttrici descritte in precedenza per formare un grande spicchio, intorno al quale si sviluppa un'altra frazione dell'area espositiva.

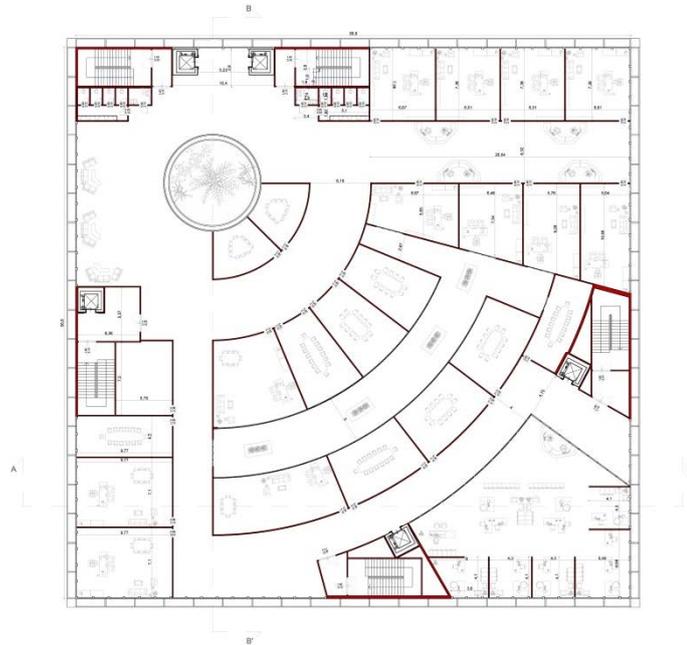


Figura 55 - Pianta del terzo piano del Palazzo Italia

Il terzo piano è interamente dedicato agli impiegati ed alle istituzioni che vi si recheranno di volta in volta. È questo il primo dei due livelli a cui i visitatori non possono accedere. Non ha più necessità di esistere la scala circolare che fino ad ora aveva percorso i piani inferiori, viene perciò liberata un'ulteriore area con apertura sull'esterno: il cilindro-vivaio. Lo spazio è, come di consueto, disegnato secondo il criterio già espresso, le linee confinano i locali con le superfici richieste da bando e, con l'inserimento di uno spazio aperto che raggiunge in altezza la copertura, si assicura un adeguato ricambio d'aria anche alle sale più interne del livello. In questo piano sono presenti essenzialmente uffici, singoli o accorpati in un unico locale, segreterie e sale riunioni con capienze differenti, oltre ad una piccola area relax posta nelle immediate vicinanze del cilindro vetrato.

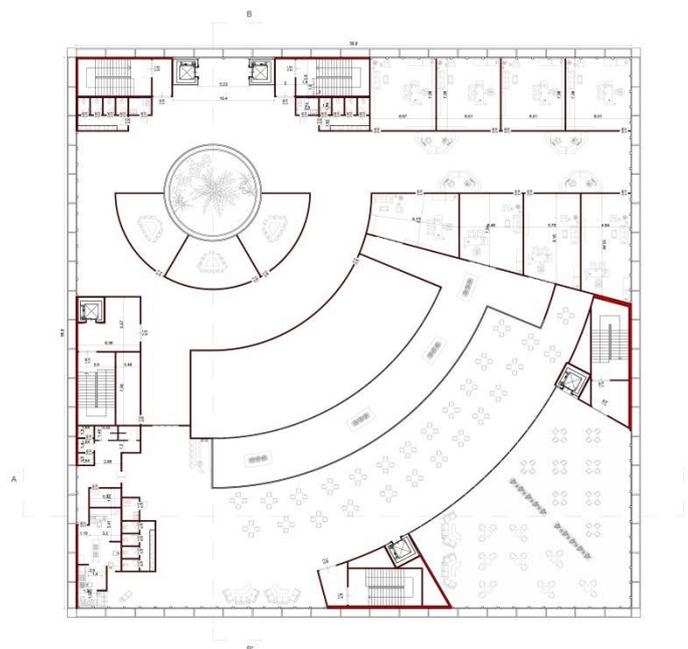


Figura 56 - Pianta del quarto piano del Palazzo Italia

Nel quarto ed ultimo piano si trovano gli uffici rimanenti, con le relative segreterie, oltre a tre piccole sale per riunioni a rotazione. La grande sala dedicata agli incontri tra le delegazioni internazionali si affaccia sulla doppia altezza che raggiunge lo spazio verde all'aperto del piano inferiore. I quadranti sud ed est del livello sono invece occupati rispettivamente del ristorante e dalla grande terrazza che, affacciandosi direttamente sulla Lake Arena e sugli spazi del Cardo, offre una panoramica scenografica dell'intero intervento ed, eventualmente, dei grandi eventi che si svolgeranno intorno all'Albero della Vita (posto nello specchio d'acqua), simbolo dell'esposizione mondiale.



Figura 57 - Sezione A-A del Palazzo Italia

Come già accennato, i blocchi dei vani scala rappresentano un ingombro non indifferente che attraversa l'edificio in verticale ed inevitabilmente influenza lo spazio ed il disegno. Si sono dovuti pertanto integrare nel migliore dei modi, volta per volta, nel disegno di ciascun piano, come chiaramente visibile dalle relative tavole. Non è superfluo spiegare inoltre che, in base al flusso previsto proveniente da ogni piano, il numero dei blocchi scale si riduce con il procedere dei piani: partendo da 7 blocchi al piano terra, per arrivare ai soli 5 dell'ultimo livello.



Figura 58 - Sezione B-B del Palazzo Italia

Dalle sezioni operate attraverso due piani ortogonali è possibile cogliere al meglio la distribuzione volumetrica degli spazi interni. Ne risultano delle istantanee ottimali che fotografano perfettamente i punti focali della costruzione: la grande piazza coperta che dal piano terra sconfinava nel primo piano e il giardino interno, che pervade idealmente tutto l'edificio in verticale. Osservando l'andamento dei solai, si nota immediatamente come lo spazio sia disegnato per assicurare il maggiore ricambio d'aria possibile per tutti gli ambienti, ovviamente nella misura in cui un edificio di queste dimensioni lo permette. Un'efficace ventilazione naturale è inoltre assicurata dal cilindro trasparente che attraversa l'edificio che, aprendosi su ogni piano, permette un flusso d'aria che si rinnova continuamente portando all'esterno l'aria calda, come un enorme camino con le sue diramazioni. Il concetto è infatti quello di creare un ambiente interno che dia una sensazione di freschezza, di salubrità, di integrazione nel contesto naturale, obiettivo verso cui ogni manufatto dovrebbe tendere.



Figura 59 - Prospetto Nord-Ovest del Palazzo Italia



Figura 60 - Prospetto Nord-Est del Palazzo Italia



Figura 61 - Prospetto Sud-Ovest del Palazzo Italia

Doveroso è un accenno ai prospetti che, attraverso la semplicità, rappresentano l'essenza del progetto: una totale aderenza al tema dell'interattività volta al risparmio di energia e al minimo consumo di risorse. Il Palazzo Italia ha infatti una pelle sostanzialmente piana, di colore chiaro, per prevenire il surriscaldamento per quanto possibile. Ma la particolarità è costituita dal tipo di frangisole (utilizzato anche per gli edifici del cardo) che ricopre la totalità della superficie laterale: piccole piastre rettangolari in alluminio microforate che oscillano sotto l'azione, anche minima, del vento. Sostenute da una sottostruttura a montanti e traversi, queste piastre variano la percentuale di foratura a seconda della necessità di schermare maggiormente alcune parti rispetto ad altre, ed è proprio attraverso queste variazioni di foratura che il disegno stilizzato della vegetazione prende forma.



Figura 62 - Effetto della facciata cinetica in presenza di vento

4.2. Edifici del Cardo

4.2.1. Esigenze e bisogni da soddisfare

Si tratta di edifici temporanei che saranno poi ricollocati in spazi pubblici della Città di Milano al termine dell'Evento. Questa particolare caratteristica impone un'attenta progettazione basata in larga misura sulla facilità di smontaggio e ricollocazione, come vedremo nei capitoli successivi.

Le costruzioni, disposte nei quattro lotti, dovranno ospitare diverse tipologie di funzioni, ciascuna con particolari esigenze e bisogni:

➤ Spazi espositivi / tema

Nei manufatti che si affacciano sul Cardo dovrà essere prevista un'area espositiva principalmente al livello terra molto permeabile, perciò facilmente accessibile in più punti, nella quale possa essere realizzata una mostra/racconto dei paesaggi e dei territori italiani di forte impatto e facilmente fruibile e godibile anche senza il rispetto di un'unica direzione di percorso di visita. L'esposizione potrà svilupparsi anche negli spazi aperti previsti all'interno del lotto e adeguatamente attrezzati, così da coinvolgere il visitatore che si trova all'esterno e invitarlo a entrare e percorrere gli spazi del manufatto. Quest'area espositiva è prevista nei due lotti settentrionali del sistema Cardo (lotto Nord A e Nord B), una collocazione che rimanda alla stretta connessione simbolica e fisica con i contenuti trasmessi negli spazi espositivi di Palazzo Italia. Anche l'Europa avrà uno dei suoi spazi espositivi all'interno del Sito nel lotto Nord B. Un'altra area di dimensioni considerevoli sarà destinata alla Corte italiana del cibo: esposizione dei cibi tipici d'Italia (prodotti e ricette) in una cornice scenica e narrativa animata da continue performance dal vivo o video registrate. L'obiettivo è prevedere uno spazio al piano terra che possa riprodurre le suggestioni di quell'elemento tipico del paese Italia che è rappresentato dalle sue piazze. Il mercato italiano, dove chi produce vende direttamente i prodotti del territorio e diventa il vero custode del legame tra culture millenarie e terre feconde, è un format ancora fortemente attuale, ripreso ed attualizzato, per esempio, dai farm markets americani. Quest'area è prevista nei due lotti meridionali del sistema Cardo (lotto Sud A e Sud B), e con le sue attività si aprirà e colonizzerà gli spazi aperti, il viale del Cardo, gli Hortus, la Piazza della Via d'Acqua, coinvolgendoli in un unico grande spazio pubblico.

➤ Spazi di rappresentanza / icona

Il piano terra dei manufatti viene concepito come spazio filtrante, aperto, ricco di suggestioni imponenti e autonome, capace di offrire racconti e performance di facile comprensione e consumo, particolarmente favorevole all'incontro, al dialogo, al ritrovo e al passeggio; il primo piano invece privilegia le funzioni istituzionali. Questi spazi prevedono una decina di uffici per delegazioni permanenti d'istituzioni italiane (Ministeri, Regioni, Enti e Autonomie funzionali) e altri spazi per incontri a rotazione, secondo le esigenze e le necessità delle diverse delegazioni. Gli spazi uffici saranno declinati in diverse tipologie, da uffici di alta rappresentanza per le autorità a uffici

per lo staff e la gestione operativa delle attività. Coerentemente con quest'alta funzione istituzionale, il Cardo si dispone ad ospitare spazi di rappresentanza per istituzioni europee: l'ospitalità traduce la volontà di evidenziare e valorizzare anzitutto il nesso storico e culturale che intercorre tra Italia e Europa; in secondo luogo, il coinvolgimento delle istituzioni europee nello spazio espositivo più privilegiato di Expo 2015 sottolinea la centralità del ruolo di tutti i Paesi europei nelle questioni legate al cibo, dai suoi sistemi di produzione e trasformazione, fino al consumo.

➤ Spazi per eventi / coinvolgimento

Il mercato è luogo di esposizione, di odori, di suoni e grida, di esperienze varie, ma soprattutto d'incontro. Gli spazi aperti e coperti previsti all'interno dei lotti del Cardo e in particolare nella "Corte italiana del cibo" ospiteranno piccoli eventi per il confronto e il dibattito, per il racconto animato del vivere degli uomini. Nello stesso tempo, il mercato di oggi è anche proiezione tecnologica di messaggi, come a Time Square: le aree dovranno essere perciò dotate di megaschermi di alta qualità, sui quali scorrano continuamente filmati, promozioni, suggestioni, e racconti, secondo un palinsesto coordinato e di forte impatto. La stessa "Corte italiana del cibo" permetterà lo svolgimento continuo di piccoli eventi, spazi dove degustazioni, esposizioni e spettacolo si fondono in un'unica, coinvolgente esperienza. Una particolare attenzione sarà rivolta allo sviluppo di spazi e contenuti per i bambini e i ragazzi. In particolare si prevede un laboratorio di cucina e sperimentazione (lotto Sud B, piano primo) che potrà organizzare piccoli eventi, dimostrazioni, attività, che rappresentino la filiera che va dall'acquisto, preparazione, consumo, igiene del cibo, fino al controllo dei processi di smaltimento dei rifiuti.

➤ Spazi per la ristorazione / sensorialità / laboratorio di cucina

Nell'area Cardo dovrà essere predisposta un'offerta articolata di cibo: da una parte un ristorante e una caffetteria, dall'altra offerte di cibo di strada, di facile allestimento, particolarmente compatibile con la dimensione del mercato. Anche per l'area dedicata alle istituzioni europee è previsto un bar/caffetteria al piano primo, con un'ampia terrazza per un momento di sosta all'aperto. La Partecipazione Italiana lungo il Cardo potrà esprimere l'influenza italiana nel mondo presentando i suoi modelli non solo di cibo e cucina, ma anche la nostra cultura della trasformazione alimentare che connota il Made in Italy nella straordinaria varietà di prodotti, tradizionali ma anche evoluti e innovativi.

4.2.2. Descrizione architettonica

La fase di concept è una delle fasi più delicate del processo di progettazione architettonica, in quanto, rappresenta la base della buona riuscita del progetto stesso, determinandone la coerenza architettonica e in misura non minore il buon funzionamento dell'organismo edilizio. In questo caso si è dovuto far dialogare quelle che erano le richieste della committenza, che ha fornito delle direttive molto specifiche sul senso architettonico dell'edificio, con i vincoli progettuali spaziali e quelle che sono le nostre idee e le nostre suggestioni. In primo luogo si è deciso fin da subito di cercare un elemento che fosse centrale nel progetto, che divenisse la base su cui costruire tutto il progetto stesso. La scelta è stata quindi quella di prendere l'arco, elemento presente in tutta la storia dell'architettura italiana e sinonimo di efficienza strutturale oltre che richiamo alla perfezione della natura. Avendo grandi luci da coprire, l'idea è stata quella di sfruttare al massimo l'arco, creando delle grandi arcate trasversali all'asse principale di sviluppo dell'edificio, in modo da creare un grande spazio coperto perfetto per spazi espositivi quali quelli presenti al piano terra.

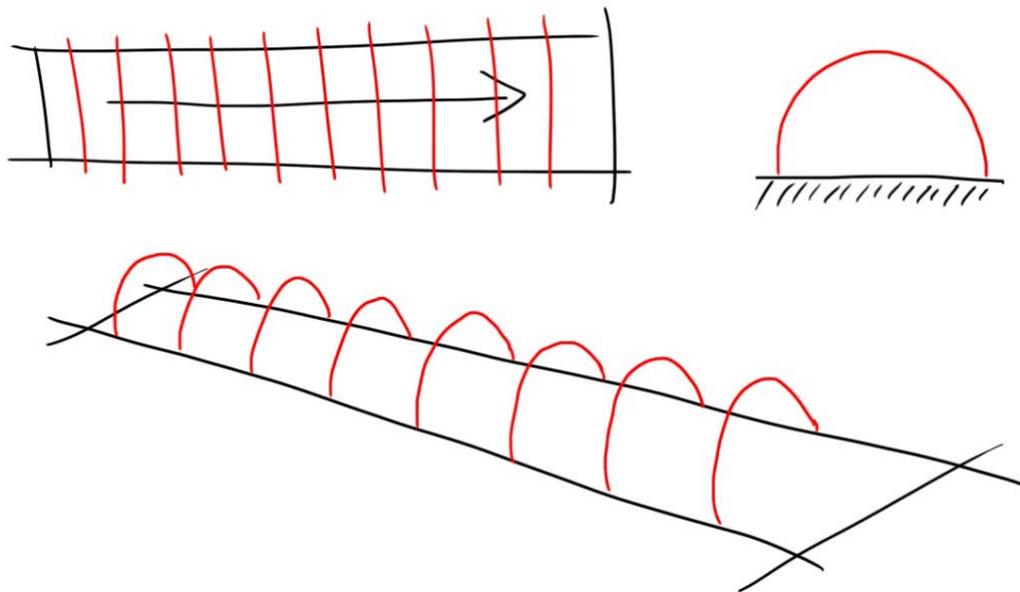


Figura 63 - Sviluppo delle arcate lungo l'edificio

Essendo specificato dalla committenza che il cardo fosse su due livelli si è pensato, per mantenere lo spazio libero al piano terra, di creare una seconda struttura appesa agli archi, in modo da creare un livello superiore dove poter inserire le destinazioni d'uso richieste. La struttura appena introdotta presenterà perciò una geometria fortemente vincolata dagli archi portanti esterni. Gli spazi andranno quindi dimensionati tenendo conto dei limiti di superficie del lotto progettuale e dei vincoli dati dalla morfologia della struttura esterna. Le piante finali risulteranno verificare perfettamente i limiti superficiali indicati dal Documento Preliminare alla Progettazione.

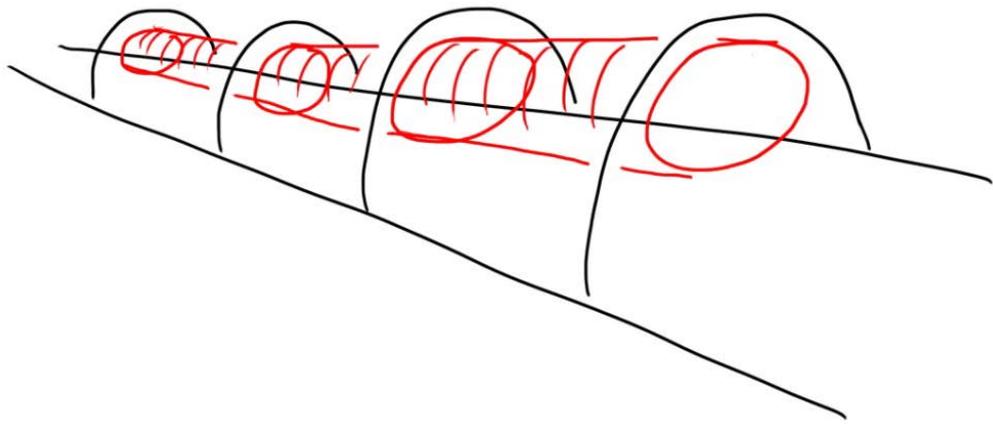


Figura 64 - Posizionamento della seconda struttura appesa agli archi

A questo punto si è reso necessario pensare a come filtrare la luce e proteggere gli spazi dagli agenti atmosferici. Non solo, è stato inoltre necessario tenere in considerazione la presenza del sistema di copertura della via del cardo, un sistema di tende sorrette da cavi, ancorati a dei pali in acciaio con un loro passo preciso. Tali tende inoltre, risultano essere a coppie alternate, una volta alte 14 m e una volta 7.

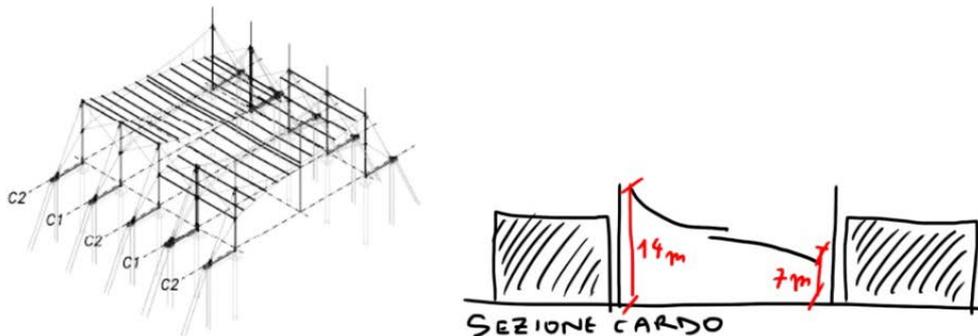


Figura 65 - Tende di copertura del Cardo, viste in sezione ed in prospetto

Per creare un effetto scenico di sorpresa e dare movimento al fronte, che altrimenti sarebbe stato uguale per centinaia di metri, si è pensato di creare un involucro esterno che protegge dalla pioggia e filtra la luce nel punto in cui le tende sono alte 7 m, e quindi impedirebbero la vista sulla via dall'interno. Inoltre in presenza di tale involucro si è pensato di posizionare gli elementi di risalita e gli impianti. Tali elementi diventeranno dunque dei "volumi tecnici". Le zone in cui le tende sono alte 14 m permettono invece un'ampia vista sulla via di passaggio del Cardo, verranno pertanto protette con una copertura semitrasparente che riparerà dalla pioggia l'edificio e filtrerà la luce, permettendo nel contempo la vista dell'esterno.

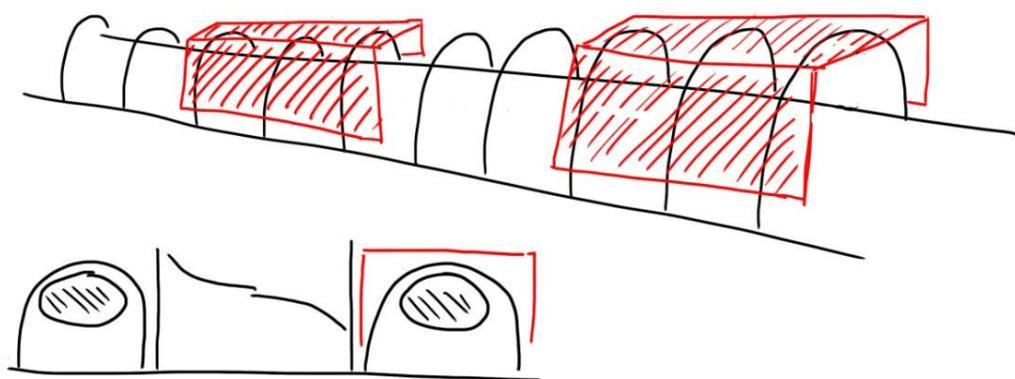


Figura 66 - Schema di posizionamento delle coperture dei manufatti del Cardo

4.2.3. Piante

Anche per gli edifici del cardo si è dovuto far dialogare il concept con le precise richieste di funzioni e relative metrature da inserire all'interno degli edifici. Per alleggerire la trattazione non viene riportato l'estratto del D.P.P., ma anche in questo caso è sufficiente verificarne la coerenza con le superfici in pianta e il posizionamento dei locali nelle tavole di progetto in allegato.

Le piante sono state disegnate cercando di avere al piano terra uno spazio completamente libero e flessibile per gli spazi espositivi. Per quanto riguarda il piano primo, si è partiti invece dagli elementi di risalita in modo da soddisfare i requisiti minimi per le vie di fuga. Le piante al primo piano sono state disegnate in modo da dare la percezione di essere all'interno di uno spazio unico. I locali impiantistici e gli elementi di risalita sono stati posizionati in corrispondenza delle zone in cui è presente la facciata cinetica, in modo da creare dei blocchi tecnici dove concentrare i servizi e le funzioni che necessitano di impianti (cucine, bar, ecc.).

A titolo esemplificativo si riportano le immagini di una porzione del Cardo, per assicurare una migliore comprensione del disegno in pianta. Ciascuno dei manufatti, come già espresso in precedenza, presenta le stesse caratteristiche strutturali e morfologiche, pertanto si rimanda alle relative tavole per uno studio più approfondito.

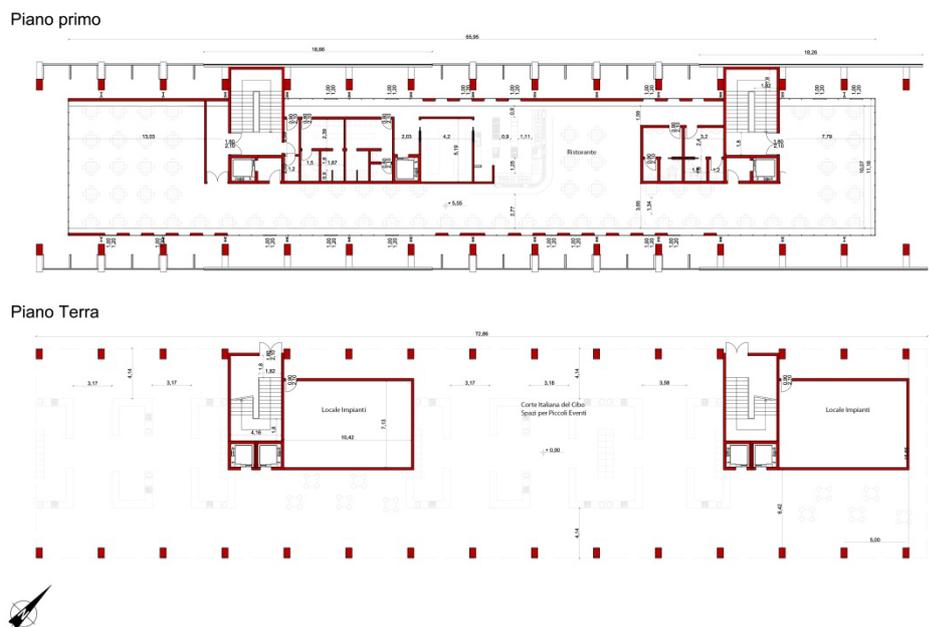


Figura 67 - Piante dei due livelli di uno degli edifici del Cardo: Sud A

Al piano terra nel Cardo Sud A viene posizionata una zona espositiva e la corte italiana del cibo, dove sarà possibile effettuare delle degustazioni. Stessa cosa nell'edificio Sud B, dove in più sarà adibita una parte per piccoli eventi e manifestazioni. Il piano terra del Cardo Nord A sarà completamente adibito a

esposizioni, mentre il Sud B avrà una parte riservata all'esposizione di altri enti o istituzioni. Per quanto riguarda il piano primo, nell'edificio Sud A sarà posizionato un ristorante che offrirà un servizio self service. Nell'edificio Sud B, sarà presente il laboratorio del cibo, dove bambini ed adulti potranno sperimentare ed apprendere diverse tecniche e informazioni legate al mondo del cibo e della cucina. All'interno del "bulbo" dell'edificio Nord A sono presenti uffici e sale riunione per le istituzioni dell'expo. Il piano primo dell'edificio Nord B infine, presenta uffici e sale riunione per le istituzioni europee, oltre ad un bar/caffetteria con le relative terrazze al coperto.

Vengono di seguito riportate alcune sezioni, per dare un quadro più completo della morfologia dello spazio interno. I due livelli sono così immediatamente distinguibili e identificabili attraverso le forme differenti, come anche le funzioni.



Figura 68 - Sezione longitudinale (in 2 parti) di uno degli edifici del Cardo: Nord B

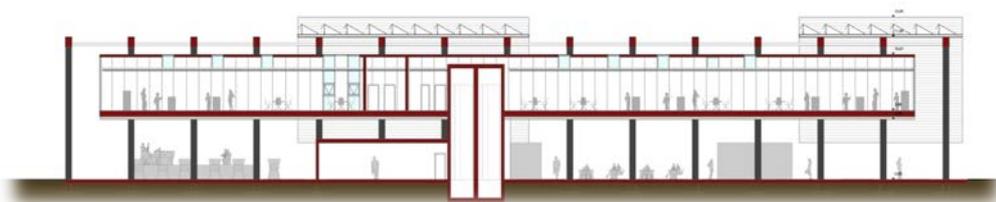


Figura 69 - Sezione longitudinale di uno degli edifici del Cardo: Sud B

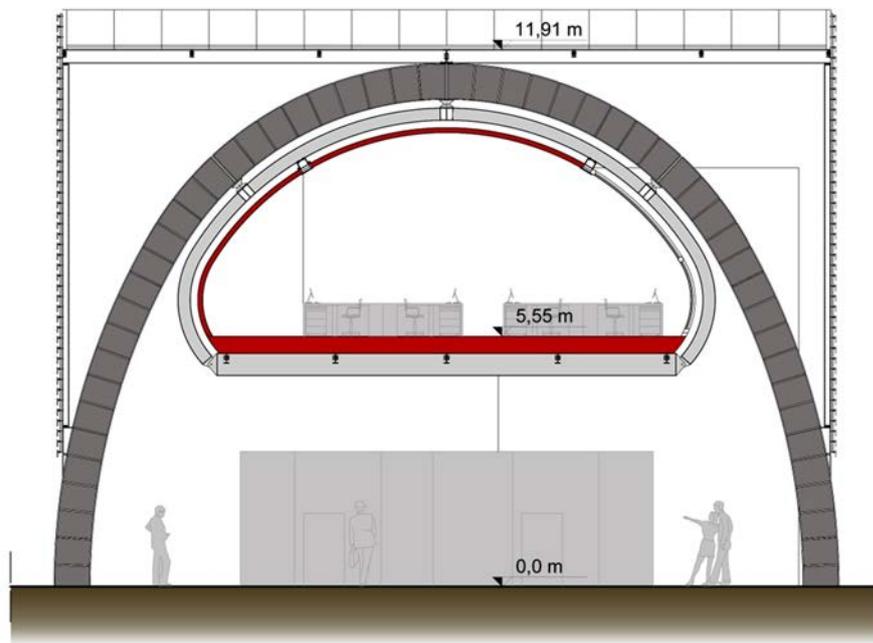


Figura 70 - Sezione trasversale di uno degli edifici del Cardo: Nord B

4.2.4. Prospetti

I prospetti degli edifici del cardo risultano essere molto semplici, scelta dettata dal fatto di avere fronti molto lunghi ed evitare quindi di appesantirli troppo.

Essendo la presenza delle tende molto forte, è stato deciso di seguire il ritmo da esse dettato posizionando, in corrispondenza dei punti in cui le tende sono basse e impediscono la vista sul cardo, i “blocchi tecnici” rettangolari, che presentano le facciate cinetiche e risultano essere maggiormente esposti alla luce solare. Facciata cinetica che lega gli edifici del cardo al palazzo Italia, e rende omogeneo e lineare il progetto. Dove invece le tende risultano essere più alte, è stata posizionata la copertura mobile in tessuto, in questo modo anche dall’interno della via del cardo è possibile apprezzare gli archi e avere la percezione del primo piano sospeso. Viceversa, dall’interno del “bulbo”, è possibile apprezzare la vista sulla via del cardo. Sul ritmo e la modularità si è lavorato anche nei prospetti del bulbo, proponendo un’alternanza tra pannelli sandwich e pannelli in policarbonato. Dietro alle facciate cinetiche invece sono stati posizionati solo pannelli sandwich siccome la facciata stessa funge da schermatura solare.



Figura 71 - Prospetto a visuale libera di uno degli edifici del Cardo: Sud A

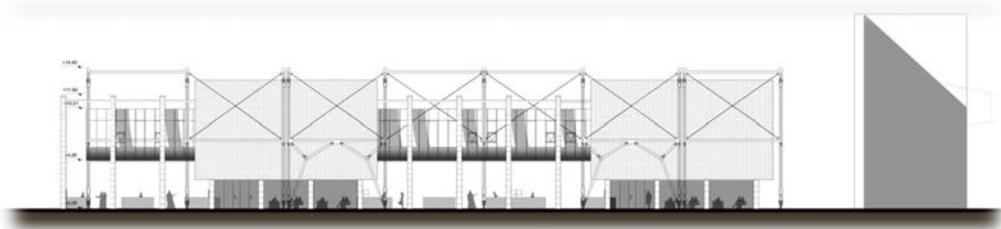


Figura 72 - Prospetto del Cardo Sud A con la visibile presenza delle tende

I prospetti quindi presentano una ritmicità che dialoga molto bene con le tende già esistenti, oltre a legarsi alla storia architettonica italiana richiamando i porticati. Ritmicità che si sposa alla perfezione con la prefabbricazione, fondamentale per realizzare un manufatto rapido da montare ed a fine evento rapido da smontare e ricollocare.

I colori che sono stati scelti, sono colori neutri e chiari, questo per evitare un surriscaldamento da irraggiamento solare, un problema da non sottovalutare dato

che l'evento si svolge nel periodo estivo. Colori chiari che rispondono anche alle richieste della committenza, che vorrebbe un edificio antitirionfale e che sia un vettore per l'esposizione e lo sviluppo, e che quindi non distolga l'attenzione dal vero centro dell'esposizione, l'alimentazione e il cibo. Per tutte queste ragioni gli edifici presentano delle linee semplici e pulite. In particolare l'involucro del bulbo ha un colore bianco, che riflette completamente i raggi solari. Gli archi invece, così come altre parti di costruzione come i frangisole, hanno un colore grigio, più o meno scuro, proprio per sottolineare il contrasto tra le due strutture e accentuare la differenza tra i due componenti fondamentali del complesso.

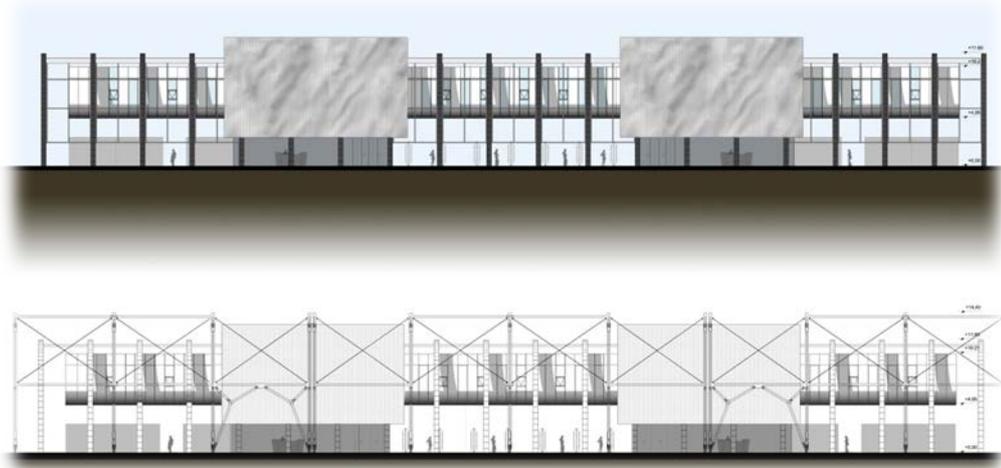


Figura 73 - Prospetto del Cardo Nord A: prima senza e poi con l'impatto delle tende

CAPITOLO 5

Il progetto tecnologico

5.1. Premesse

5.1.1. Un punto cardine

Il semplice concetto su cui si basa tutta la strategia progettuale consiste nel realizzare una costruzione fortemente evocativa, che abbia la capacità di attirare l'utenza dall'esterno e di accompagnarla ad una nuova consapevolezza globale, mediante il percorso che si snoda al suo interno. Tutto ciò si realizza mediante un impianto inusuale, che si nota a distanza, ma che lascia spazio ad un ampio attraversamento fruibile al pubblico. Per poter realizzare un disegno di questo tipo, è necessaria una particolare accuratezza nella progettazione strutturale, ma ancor prima una valutazione preliminare dei carichi a cui si deve far fronte.

Altro veicolo di difficoltà è la necessità di conferire ad un edificio temporaneo e ricollocabile un aspetto adeguato al contesto in cui si inserisce: un'esposizione mondiale, sottoposta quindi ad un occhio molto attento ai particolari.

L'aspetto tecnologico è perciò, senza alcun dubbio, il cuore del progetto in esame. Permette infatti di rispondere al meglio a tutte le richieste del bando di concorso, lasciando spazio ad una progettazione strutturale che esula certamente dall'ordinario.

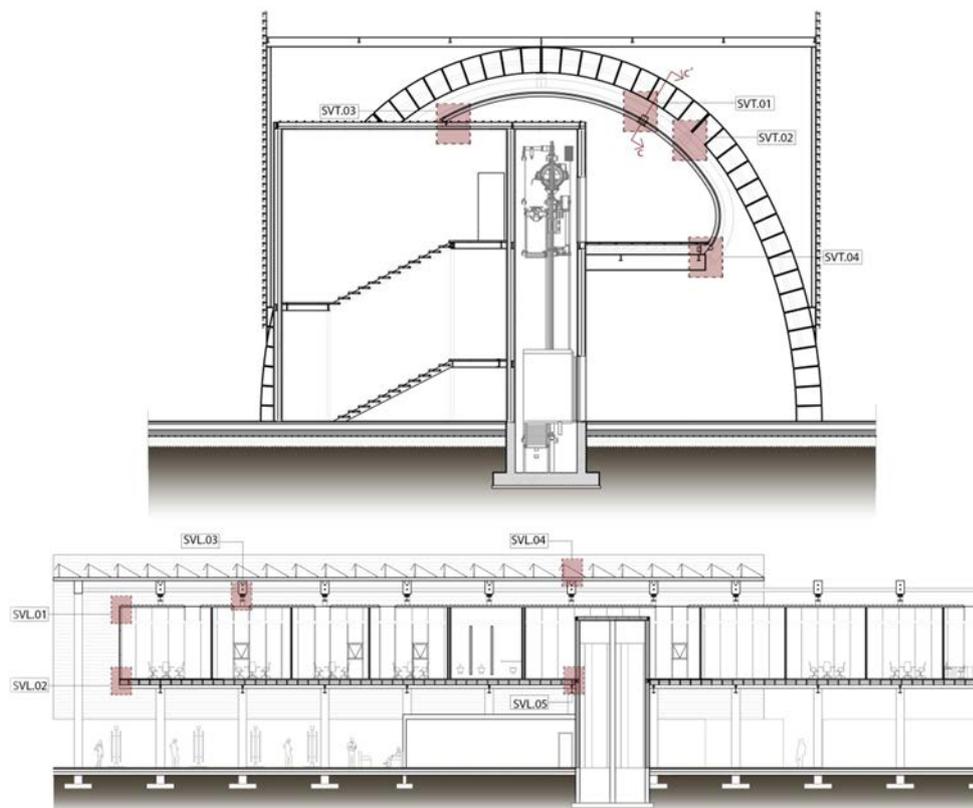


Figura 74 - Sezioni tecnologiche, trasversale e longitudinale

5.1.2. Qualità tecnologica

Il concetto titolato rappresenta la capacità di rispondere nel migliore dei modi alle varie esigenze che si presentano quando si vuole edificare un oggetto. Può assumere diversi significati, in base alle richieste cui deve far fronte; nel caso in esame esistono diversi criteri che determinano la validità delle scelte operate su materiali e tecniche costruttive:

- **Leggerezza;**
come già indicato, il progetto architettonico ha già assunto questa direzione, presentando un unico spazio completamente “interno”: il bulbo. Esso deve necessariamente trasmettere il minor carico possibile alla struttura esterna, in modo da ottimizzare la struttura e i costi di riflesso, pertanto la scelta dei materiali e dei metodi di giunzione risulta essere fondamentale.
- **Velocità di assemblaggio, smontaggio e ricollocamento;**
è praticamente un requisito del bando di concorso, in quanto la progettazione di edifici temporanei risulta tanto più valida quanto maggiore è la velocità di messa in opera e smantellamento dell'intero complesso.
- **Minima percentuale di sfrido e quasi completo riutilizzo dei materiali;**
la costruzione risulta estremamente ottimizzata solo quando i materiali di risulta si riducono al minimo, non solo nella messa in opera iniziale, ma anche e soprattutto nel ricollocamento. Progettare la tecnologia in modo da riutilizzare i materiali è senz'altro un valore aggiunto, non solo per il progetto in sé, ma principalmente per l'ambiente, in quanto si evita di produrre rifiuti o di consumare ulteriore energia per rimpiazzare i materiali.
- **Utilizzo di materiali quasi completamente riciclabili;**
questo criterio va a completare il precedente nel caso in cui un elemento tecnico risulti danneggiato e non riutilizzabile, in quanto esso può facilmente essere smaltito senza necessariamente ricorrere ad una procedura speciale. Un innegabile vantaggio per l'ambiente.
- **Basso costo;**
non c'è bisogno di ulteriori precisazioni in merito, si sottolinea unicamente la disponibilità economica contenuta del budget per la realizzazione dell'intero complesso del Cardo: 11 milioni di euro.

Per valutare oggettivamente le risposte offerte, si è scelto di operare un confronto tra due diverse soluzioni: una con il metodo innovativo di costruzione a secco, con partizioni rivestite in cartongesso, solai con lamiera grecate e vetro curvo per le parti trasparenti; l'altra soluzione, che verrà ampiamente descritta in seguito, riguarda materiali e tecniche specificatamente progettate per la situazione in esame.

L'esame condotto seguendo i criteri sopra citati ha portato alla conclusione attesa: accogliere l'alternativa studiata su misura porta benefici sotto ogni punto di vista.

5.2. Tecnologia costruttiva

5.2.1. I materiali

È doveroso dedicare uno spazio alla semplice esposizione di alcuni dei materiali utilizzati, in quanto tutt'ora scarsamente utilizzati in ambito edile e difficilmente rintracciabili su cataloghi di uso comune. Per maggiori informazioni sulle specifiche di ciascuno si rimanda alla consultazione delle schede tecniche allegate.

- Travetti in legno LVL (Laminated Veneer Lumber);
è una tipologia di legno ingegnerizzato, formato da diversi strati sottili assemblati con collanti. Viene tipicamente utilizzato per le parti strutturali, in quanto offre diversi vantaggi rispetto al tipico legname lavorato: essendo fabbricato in stabilimento sotto controlli specifici, è più forte, di una forma più regolare e più uniforme. Grazie alla sua natura composita, è molto meno sensibile alle deformazioni, torsioni, curvature o fessurazioni rispetto ai legnami convenzionali. I profili vengono prodotti con sezione rettangolare (come quelli utilizzati nel progetto), ma anche ad I, per sfruttarne il maggiore momento d'inerzia.



Figura 75 - Esempi di travetti in legno LVL

- Blocchi in polistirene espanso sinterizzato con grafite;
leggero ed economico, è un particolare tipo di isolamento che, oltre ad avere ottime proprietà meccaniche, contenendo polvere di grafite all'interno aiuta ad abbassare il contributo dell'irraggiamento alla trasmissione del calore attraverso il materiale. Nel progetto viene utilizzato come alleggerimento della parte portante di solaio, ma senza trascurare la sua funzione primaria di isolamento termico.



Figura 76 - Blocco in EPS additivato con grafite

- Pannelli in lana di kenaf;
si tratta di un isolante naturale di ottima qualità a base di fibre di kenaf e/o canapa provenienti direttamente dalla coltivazione, alle quali viene aggiunta una minima quantità di fibre di poliestere. Viene aggiunto anche, a richiesta, un prodotto naturale ignifugo. Le fibre non contengono alcuna sostanza proteica e, di conseguenza, non è necessario effettuare alcun accorgimento contro insetti quali tarme e coleotteri. È un prodotto decisamente innovativo, riconosciuto come naturale ed ecocompatibile per l'intero ciclo della sua vita e, come tale, riconosciuto dal marchio ICEA per la certificazione di materiale specifico per la bioedilizia.

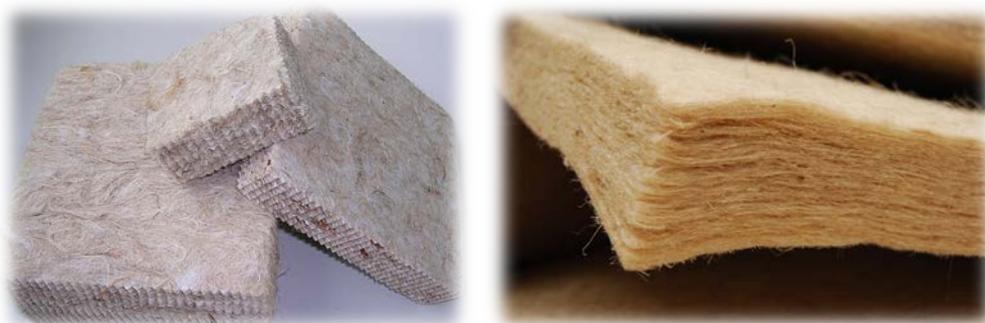


Figura 77 - Pannelli in lana di kenaf

- Pannelli acustici in lana di roccia;
utilizzati per il controsoffitto del vano scala, assicurano una resistenza al fuoco di classe REI 120 grazie alla loro fattura e spessore. La tipologia di pannello scelto è interamente riciclabile. La lana di roccia può vantare, inoltre, il marchio EUCEB che garantisce la biosolubilità delle fibre stesse.



Figura 78 - Controsoffitto con pannelli in lana di roccia

- Pannelli in lana di legno mineralizzata con magnesite;
utilizzati per le partizioni verticali del vano scala, oltre a notevoli prestazioni in campo termico e acustico, assicurano una resistenza al fuoco di classe REI 120 grazie alla loro fattura e spessore. Se aggrediti dal fuoco, si trasformano progressivamente in un isolante leggero e refrattario che protegge le strutture retrostanti. La composizione in materie prime tutte naturali (legno e magnesite) e la totale assenza di sostanze nocive rendono i pannelli scelti particolarmente indicati per il benessere dell'uomo, tanto da essere classificati ai primi posti, tra i materiali da costruzione e finitura, per la

provata ecobiocompatibilità oltre che per l'assenza di componenti nocivi. I pannelli sono elastici e robusti, facilmente maneggiabili e trasportabili, e possono essere lavorati con gli attrezzi ed utensili usati per la lavorazione del legno. Non richiedono alcuna manutenzione particolare e, nelle normali condizioni d'uso, seguono la vita dell'edificio.



Figura 79 - Pannelli in lana di legno con magnesite

- Pannelli in cartone riciclato;
yekpan è un materiale costituito interamente da cartoni per alimenti riciclati post-consumo. Grazie al particolare processo produttivo, per la realizzazione non è necessario l'impiego di colle o altri agenti tossici, poiché il polietilene presente si scioglie e funge da legante per la parte cellulosa. Si ottiene per agglomerazione ad alta temperatura un pannello solido e batteriologicamente puro che può essere sottoposto a diversi processi di finitura a seconda delle applicazioni. In particolare, nel progetto in questione è utilizzato come finitura alternativa al classico intonaco. Avvitato direttamente alla superficie da rivestire, permette un aggancio completamente a secco, nonché smontabile con facilità.



Figura 80 - Pannelli in cartone riciclato

- Pannelli metallici coibentati con curvatura a raggio variabile;
non sono di per sé elementi poco conosciuti, è però inusuale l'utilizzo che ne si fa in questa sede: sostituiscono infatti per intero le chiusure opache del bulbo grazie alla loro curvatura adattabile su richiesta. Questi pannelli sandwich presentano tutte le caratteristiche necessarie per rientrare negli elevati standard di economicità, leggerezza, rapidità di posa e facilità di smontaggio che vengono imposti. Hanno inoltre ottime caratteristiche

termiche che li rendono una valida alternativa ai sistemi tradizionali di chiusura. L'estradosso del pannello è costituito da una lastra grecata centinata a cinque greche in acciaio preverniciato, per il cuore del pannello è invece impiegata la lana di roccia inorganica biosolubile. Infine l'intradosso del pannello può essere nobilitato mediante l'impiego di una lamiera goffrata micro nervata con chiusura delle testate. La microventilazione del pannello migliora inoltre il comportamento termico complessivo della copertura e, soprattutto, determina delle condizioni di esercizio più favorevoli e costanti nel tempo per l'isolante e per la lastra metallica superiore.



Figura 81 - Pannelli sandwich con curvatura a raggio variabile con particolare del giunto

- Pannelli curvi in polycarbonato alveolare; anche questo, come il precedente, è un materiale di una certa notorietà, ma costituisce qui la parte complementare che delimita lo spazio curvo del bulbo. Dove i sandwich infatti sostituiscono le chiusure opache, il polycarbonato compone le parti trasparenti. La lastra da 16 millimetri di spessore offre un'ottima alternativa al vetro per quanto riguarda le proprietà termiche (intermedie tra quelle di una vetrocamera con aria di riempimento a vetri basso emissivi e a vetri normali), avendo nel contempo una buona trasparenza, che permetta quindi la vista dell'esterno. Quasi superfluo quindi accennare a come questo materiale rappresenti una soluzione rispondente ai canoni imposti nella scelta di materiali e tecnologia.

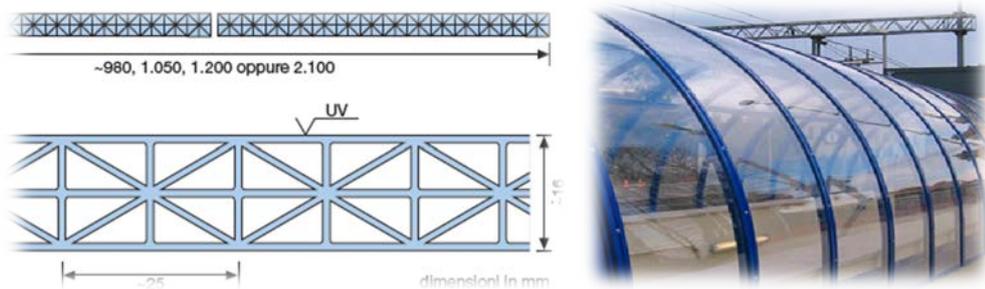


Figura 82 - Particolare del polycarbonato alveolare ed esempio di applicazione

- Pannelli in paglia compressa; ultimi, ma non certo per importanza, sono gli elementi che fungono da ossatura di tutte le partizioni interne dell'intero complesso: Ekopanel. I pannelli consistono di un nocciolo di paglia altamente compressa, la cui alta resistenza meccanica è il risultato di un processo di produzione collaudato già

da molti anni in svariati impianti di produzione in tutto il mondo. Questo non prevede l'impiego di collanti ed additivi chimici, se non per il velo di colla utilizzato per il fissaggio del rivestimento, che è costituito da un foglio di cartone riciclato. Si elencano le principali caratteristiche del sistema costruttivo in pannelli Ekopanel:

- hanno caratteristiche meccaniche e fisiche eccellenti;
- sono autoportanti, non necessitano quindi di una struttura di supporto;
- la messa in opera è più semplice e più rapida, ad esempio, dei sistemi in cartongesso;
- il montaggio non richiede attrezzature speciali;
- consentono tutte le finiture superficiali normalmente praticate per le pareti, dalla pittura alla rasatura e all'intonaco, dalle piastrelle alla carta da parati;
- sono certificati secondo le norme europee CE;
- la paglia è un prodotto naturale, rinnovabile, con un ciclo di produzione annuale, riciclabile al 100%, altamente biodegradabile;
- hanno un bassissimo fabbisogno di energia primaria per la loro produzione (praticamente nullo, essendo la paglia uno scarto della produzione dei cereali), bilancio CO2 eccellente;
- hanno un'alta resistenza e stabilità meccanica alle variazioni di temperatura;
- hanno un'ottima capacità di isolamento e di accumulo termico;
- sono eccellenti per insonorizzare e migliorare l'acustica degli ambienti;
- presentano un'alta permeabilità al vapore acqueo, e rappresentano quindi un contributo importante per la creazione di ambienti salubri;
- hanno un'alta resistenza alla formazione di muffe e parassiti;
- nonostante la pessima nomea della paglia, la reazione e resistenza al fuoco dei pannelli è del tutto rispettabile.

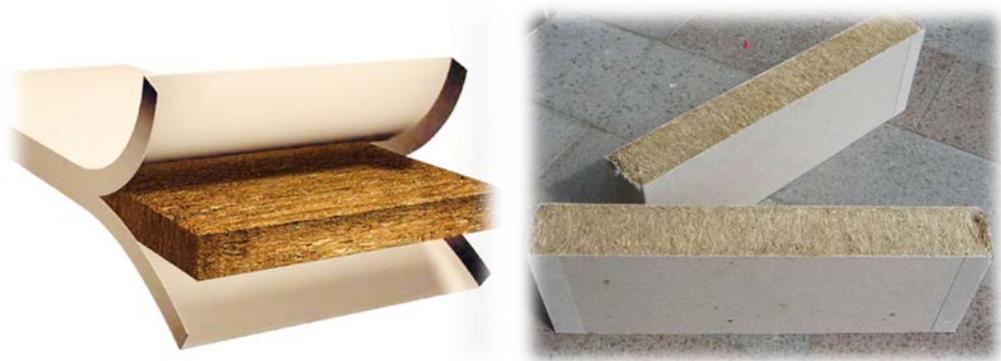


Figura 83 - Pannelli Ekopanel

5.2.2. I pacchetti tecnologici

Una descrizione discorsiva degli abachi non può che essere complementare alle tavole esplicative in allegato, specialmente quando si trattano metodi di costruzione inusuali.

➤ C.O.1

La stratigrafia è praticamente identica a quella delle piazze antistanti ai tratti del cardo, recuperabile dal documento preliminare alla progettazione, fatta eccezione per il colore della superficie calpestabile. È un pacchetto costituito essenzialmente da un sottofondo, una griglia di separazione, una parte granulare e due strati in conglomerato bituminoso, con una finitura in grado di resistere al calpestio derivante dal grande afflusso di persone.

➤ P.O.2A

Il solaio su cui sorgono gli spazi del bulbo presenta una prima grande particolarità: la morfologia dello strato portante del pacchetto. I travetti in legno LVL sono infatti intervallati da blocchi in polistirene espanso con aggiunta di grafite, che svolgono funzione di alleggerimento e di isolamento. La solidità dello strato è garantita dalla presenza di lunghe viti che, attraversando i blocchi di isolante, si fissano ai due travetti trasversalmente consecutivi.



Figura 84 - Messa in opera del solaio in travetti di legno e blocchi di isolante

Questa soluzione presenta molti vantaggi nel confronto con le abitudini costruttive tradizionali. I costi contenuti sono certamente un valido argomento, in quanto il prezzo dei materiali, ma soprattutto di manodopera e noli, è sensibilmente inferiore rispetto ad una tecnologia usuale. Ma questo concetto verrà approfondito in uno dei

capitoli successivi. La leggerezza dei materiali è un vantaggio sia strutturale che ergotecnico: permette infatti di avere minori carichi gravanti sulla costruzione e, contemporaneamente, una rapida messa in opera collegata anche ad un minore sforzo richiesto agli operatori. Altro vantaggio è la semplicità di adattamento del pacchetto all'alloggiamento impiantistico: con dei semplici fori nell'isolante si ricavano canali per il passaggio degli impianti attraverso il solaio. La capacità di essere montato, smontato e ricollocato rapidamente e con facilità rappresenta infine una proprietà più che vantaggiosa nel contesto nel quale ci si trova ad operare. Vale la pena di informare, inoltre, che la validità di tale soluzione è stata comprovata nella realizzazione di una passive house in territorio francese dove, per costruirla, 4 operatori hanno impiegato 4 soli giorni e unicamente con l'ausilio di attrezzature minute, quelle solitamente già in possesso degli operai.

Al di sopra di questo strato viene posata la barriera al vapore del tipo "Riwega DS 65 PE" e successivamente si realizza uno spazio per il passaggio impiantistico orizzontale mediante dei listelli di legno, posizionati con orditura perpendicolare a quella dei travetti. Il doppio pannello OSB avvitato superiormente ai listelli funge da appoggio per la pavimentazione smontabile in laminato, posata senza collante, grazie ad incastri autobloccanti. L'intradosso del pacchetto appena descritto non necessita di alcun controsoffitto, che non viene perciò previsto: l'intenzione è di mostrare limpidamente all'utenza il metodo di costruzione utilizzato.

➤ P.O.2B

Le scale e gli ascensori presenti nell'edificio sono tutti dei blocchi a sé stanti, con una struttura propria, che intersecano il resto della costruzione. Anche le rispettive pareti e coperture si differenziano dal resto delle partizioni, soprattutto a causa del requisito di resistenza al fuoco a cui devono rispondere. La chiusura superiore del vano scala, in particolare, ha una stratigrafia molto leggera ed essenziale. Appoggiata alle travi secondarie in acciaio si ha una lamiera grecata, a cui si agganciano i pendini che reggono il controsoffitto in pannelli di lana di roccia del tipo "Rockfon Pacific", analizzati nel precedente paragrafo. Questi pannelli garantiscono una protezione sufficiente alle strutture, tale da assicurare la classe REI 120 alla partizione. L'intercapedine è isolata con lana di kenaf del tipo "Isolkenaf P".

➤ P.V.1A

La partizione verticale della scala è composta essenzialmente da un'orditura in profili d'acciaio, una guida a U a terra ed una in sommità permettono l'inserimento dei montanti a C a cui vengono successivamente avvitati i pannelli di chiusura in lana di legno mineralizzata con magnesite del tipo "Eraclit PV", il tutto dopo aver riempito l'intercapedine con lana di kenaf dello stesso tipo citato in precedenza. Si inserisce inoltre la barriera al vapore sul lato interno dell'isolante. Anche in questo caso sono i pannelli di finitura a soddisfare il requisito di una classe REI 120 di resistenza al fuoco per la partizione.

➤ P.V.2A - P.V.2B

Tutte le partizioni verticali interne sono realizzate col sistema "Ecopanelly", vale a dire per mezzo dei pannelli in paglia pressata, presentati precedentemente, inseriti direttamente all'interno di profili guida ad U e opzionalmente ancorati alla testa o al

piede ad altri profili ad L, che possono svolgere anche da supporto per il lato della parete.

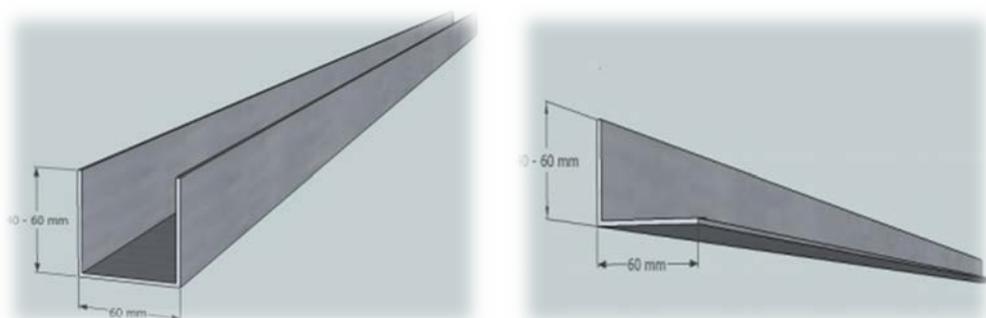


Figura 85 - Profili in ferro usati per ancorare teste, piedi e lati dei pannelli

I pannelli di una parete si agganciano poi l'un l'altro mediante delle particolari clip, avente ciascuna quattro bandierine, che vengono poi piegate manualmente per adattare la forma alla funzione desiderata. Questo meccanismo consente di fissare un pannello singolo, ma anche di collegare due pannelli tra loro. Le clip hanno 6 fori ciascuna dove vengono inserite successivamente le viti.

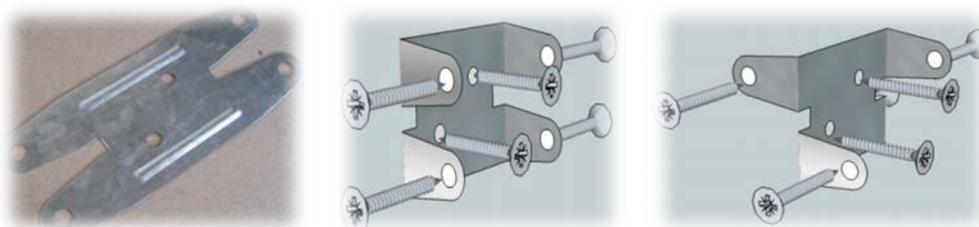


Figura 86 - Clip che funge da ulteriore guida per i pannelli, con due differenti piegature

Detti pannelli possono essere adattati a qualunque forma semplicemente tagliandoli mediante gli utensili in possesso degli addetti alla posa. Per ripristinare l'integrità del pannello è sufficiente ricoprire la superficie rimasta senza rivestimento con un particolare nastro adesivo adatto allo scopo. Le partizioni realizzate con questo sistema permettono inoltre un'installazione impiantistica semplice e rapida, è possibile infatti forare per intero la parete mediante appositi dispositivi.

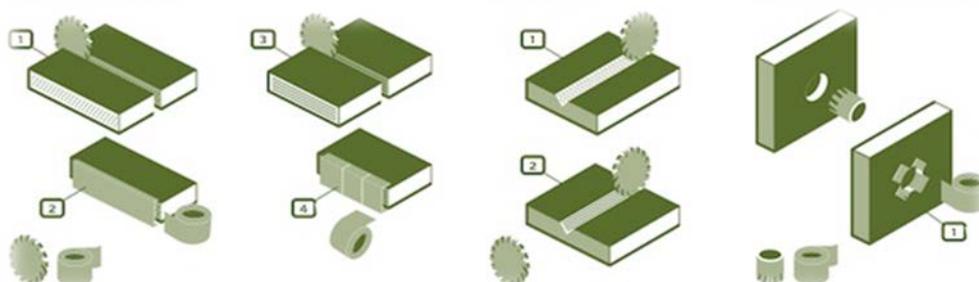


Figura 87 - Schema illustrativo delle possibili operazioni di adattamento dei pannelli

Le finiture delle pareti sono realizzate con dei pannelli in cartone riciclato del tipo “Yekpan” che vengono semplicemente avvitati alla superficie.

Le pareti dei bagni risultano assemblate in modo simile, differiscono solo per quanto riguarda lo spessore, dato che sono costituite da 2 pannelli tra i quali si trova un’intercapedine per il passaggio degli impianti idrosanitari. La costruzione risulta identica a quella del pannello singolo, con l’aggiunta di una barriera al vapore tra la finitura interna del bagno e l’Ecopanel che la sostiene.



Figura 88 - Sistema Ekopanel a doppio pannello con montanti di rinforzo in legno

➤ C.C.2 - C.C.3

Inizialmente l’idea era quella di chiudere il bulbo con una superficie interamente in vetro curvo ad alte prestazioni, ma il costo eccessivo, nonché il carico elevato gravante sulla struttura obbligarono a cercare un’alternativa. La soluzione da adottare doveva essere indubbiamente più performante (secondo i canoni espressi in precedenza: leggerezza, economicità, rapidità di posa, ecc..), perciò si è scelto di realizzare un involucro costituito da moduli. In particolare la superficie laterale e superiore del bulbo viene divisa per tutta la sua lunghezza in strisce da 1 metro, ciascuna striscia è a sua volta frammentata in 3 porzioni di arco (laterale destra, superiore e laterale sinistra). Si ottiene in tal modo una chiusura curvilinea interamente composta da moduli da 1 metro di base di cui abbiamo però 2 tipologie, a seconda della posizione di collocamento: uno che forma le superfici superiori e l’altro quelle laterali. La suddivisione in moduli torna utile nella progettazione di pieni e vuoti dell’involucro, infatti in seguito allo studio della luminosità si può decidere come costruirlo in base alle necessità. Gli elementi da combinare sono 2: pannelli sandwich con curvatura a raggio variabile del tipo “Rexcop” e lastre curve in policarbonato alveolare del tipo “Makrolon multi UV 3x16/25”. Una maggior densità di pannelli sandwich permette alla chiusura di avere maggiori prestazioni in campo di isolamento termico e di schermatura dalla luce; al contrario, le lastre in policarbonato alveolare permettono il passaggio della luce in maniera comparabile

rispetto ad un vetro e possono diventare apribili come comuni finestre. Per quanto riguarda i sandwich, ogni pannello è strutturato in modo da incastrarsi perfettamente col pannello successivo, come già illustrato; per le lastre trasparenti invece si necessita di specifici telai in acciaio e policarbonato studiati appositamente. È opportuno specificare che entrambe le tipologie di pannello sono autoportanti.

Nonostante nodi tecnologici siano illustrati esaurientemente negli elaborati grafici in allegato, uno di essi merita qualche parola. Si è accennato precedentemente di come la chiusura curvilinea sia suddivisa in moduli, osservando il bulbo nel suo piano trasversale si possono osservare 3 moduli costituenti la superficie che lo delimita. I due moduli laterali, siano essi indifferentemente in policarbonato o pannelli sandwich, si appoggiano alla base sulla trave secondaria di bordo del solaio; invece i due nodi alla testa, in corrispondenza peraltro dei due appoggi del terzo modulo (quello in sommità), necessitano di un vincolo legato alla struttura portante. Esso viene ottenuto mediante degli agganci puntuali alle travi calandrate, realizzati ognuno con due profili a C accoppiati, a cui viene fissata una piastra che corre longitudinalmente all'edificio, così da permettere l'appoggio di tutti i moduli in successione. Questo nodo viene chiaramente provvisto di un isolamento, per evitare dei ponti termici. Questa particolare soluzione permette inoltre di avere una sottostruttura che funziona anche da aggancio superiore e laterale per le partizioni interne. Il metodo appena descritto consente praticamente di "portare all'interno" dell'involucro una struttura che è essenzialmente esterna, in quanto il bulbo che si sta analizzando rimane una struttura interamente appesa.

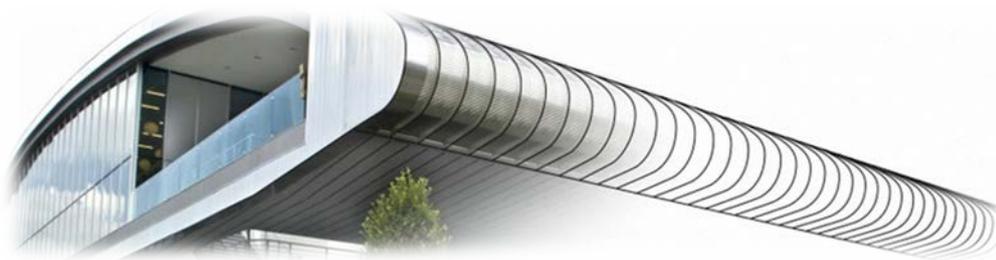


Figura 89 - Esempio di come appare il bulbo dall'esterno

➤ R.C.1

Il bulbo risulta sempre schermato dalla pioggia, pertanto non ha necessità di un'accurata progettazione in tal senso. Infatti per alcuni tratti è prevista la copertura piana in lamiera (con possibile innesto successivo di pannelli solari) che ripara completamente dalla pioggia, lasciando però spazio al passaggio dell'aria grazie alla geometria appositamente progettata. In tal modo viene assicurata una ventilazione naturale che permette il disperdersi verso l'alto dell'aria calda proveniente dal piano terra, adibito in genere alle esposizioni e suscettibile quindi di affollamento. Ove questa copertura non sia presente, la schermatura alla pioggia è assicurata dalla progettazione di un sistema di tende regolabili posizionate tra gli archi in calcestruzzo esterni. Esse vengono sostenute da una sottostruttura in acciaio composta da traversi, montanti rompitratta e guide curvilinee agganciate agli archi che dirigono il moto ascendente o discendente delle tende. Si tratta di un sistema meccanizzato che svolge o riavvolge le tende a seconda della condizione atmosferica. Le tende, di

colore chiaro, sono costituite da strati di tessuto non tessuto uniti da un film di poliestere del tipo "Dacron/Poliestere/Dacron".

➤ **R.R.1**

Una parte del grande impatto visivo del Cardo è data dalla presenza delle facciate cinetiche: sono esse costituite da montanti e traversi in acciaio, cui vengono applicate delle sottili piastre forate in alluminio. Ogni lamiera rettangolare è ancorata ad un tubolare mediante 2 tasselli che le lasciano un certo gioco, permettendone quindi l'oscillazione sotto l'azione, anche minima, del vento. I fori sulle piastre cambiano di numero e dimensione a seconda della maggiore o minore necessità di luce per l'ambiente dietro la facciata; essa ha infatti la principale funzione di frangisole. Mai come in questo caso le immagini risultano essere significative.



Figura 90 - Costruzione della facciata ed effetto visivo in caso di vento

5.2.3. Nodi tecnologici

Il progetto tecnologico presenta molti punti che necessitano di approfondimento. A questo scopo sono state realizzate diverse tavole che analizzano e mostrano a scala ingrandita tutte le zone critiche dell'intero manufatto. Si rimanda quindi ad una consultazione grafica delle tavole in allegato per l'indagine completa.

Esiste però un nodo per cui non sono sufficienti tutte le rappresentazioni bidimensionali operate, la sua complessità infatti necessita di una visualizzazione tridimensionale per comprenderne al meglio la morfologia. Il nodo SVT 01 è praticamente il metodo che ha consentito alla struttura esterna del bulbo di "entrare" nell'ambiente interno per fornire un aggancio alle pareti interne e un appoggio per fissare il rivestimento. In breve, senza questa soluzione, l'impianto dell'intero edificio non avrebbe potuto realizzarsi a causa problemi principalmente legati alle partizioni interne.

Di seguito viene mostrata la costruzione del nodo:

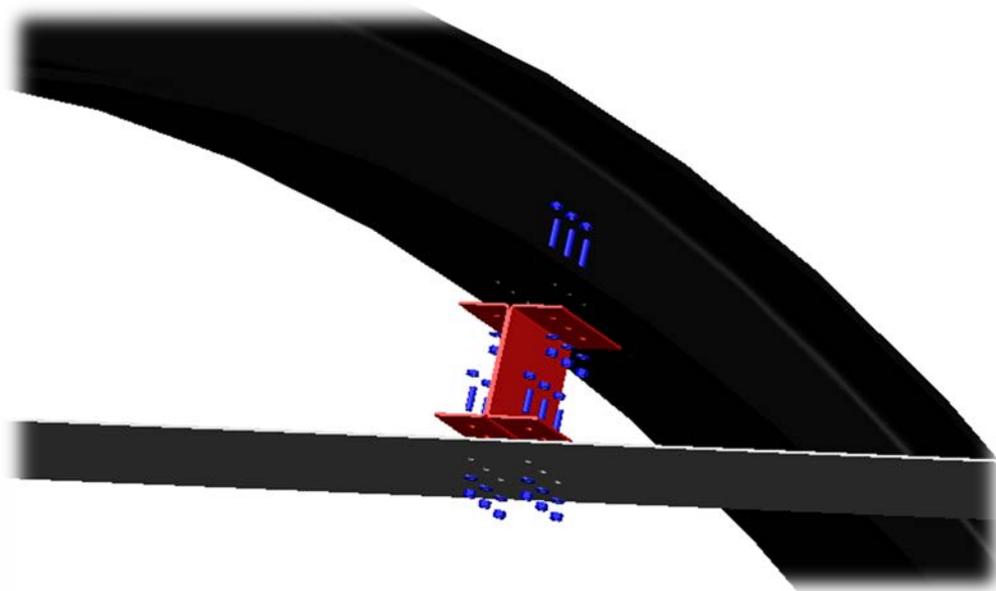


Figura 91 - Fissaggio della lamiera con la trave calandrata mediante le C accoppiate

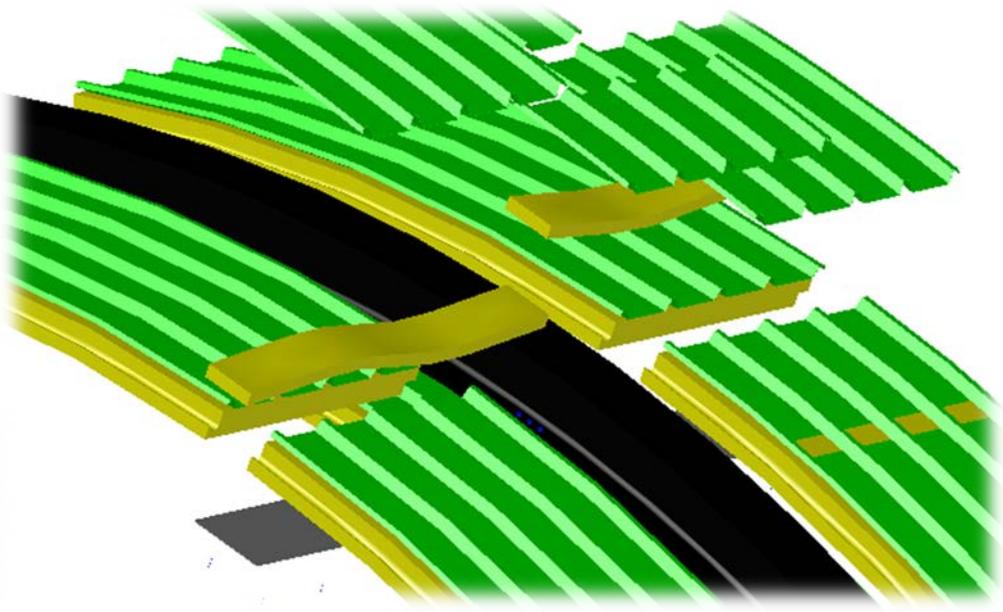


Figura 92 - Fissaggio dei pannelli sandwich e riempimento degli spazi con isolante + lamiera

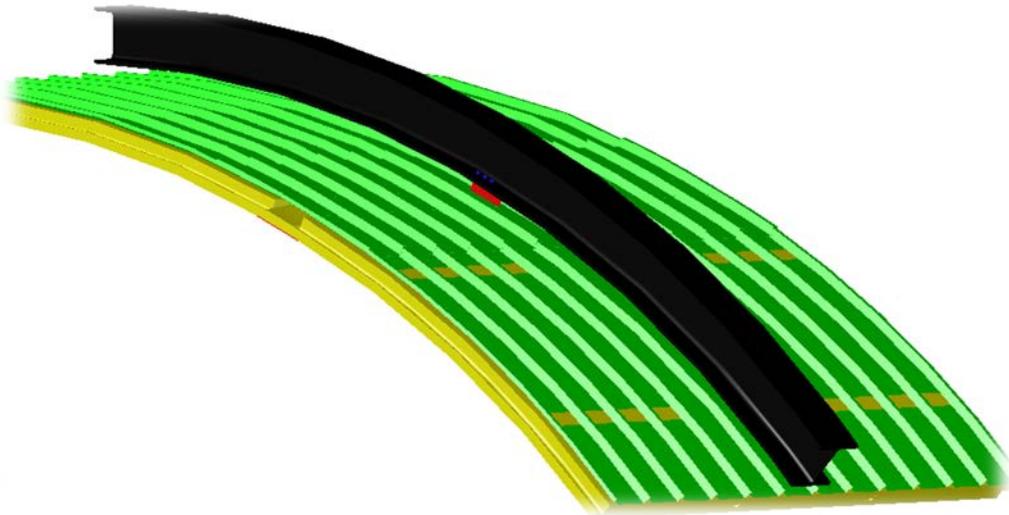


Figura 93 - Nodo ultimato e vista del rivestimento del bulbo dall'esterno

5.3. Prestazioni attese

5.3.1. Specifiche tecniche dei materiali

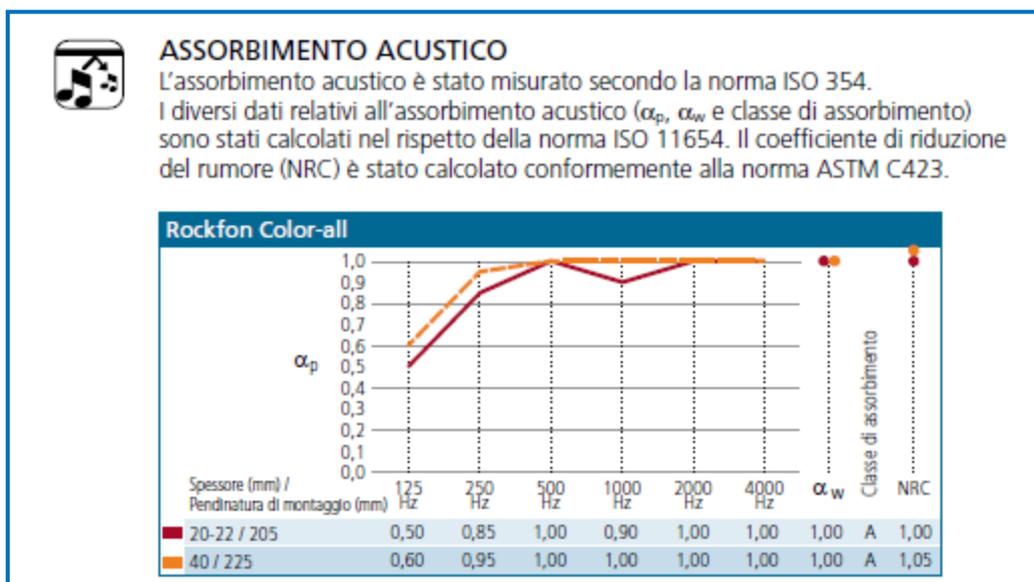
Le tavole degli abachi riportano molti più materiali di quelli descritti in precedenza, in questo paragrafo vengono riportate le loro caratteristiche più significative per integrare il quadro sulle tecnologie utilizzate

- Barriera al vapore in polietilene rinforzato di tipo *Riwega DS 65 PE*:

Caratteristiche		DS 46 PE	DS 65 PE	DS 188 Alu	DS 1500 SYN
Materiale:		PE retinato	PE	PE retinato/Alu	PP PE Alu PE PP
Massa areica (g/m ²):	EN 1849-2	110	188	170	128
Densità (kg/m ³):	EN 1849-1	500	940	567	427
Spessore (mm):	EN 1849-2	0,22	0,2	0,3	0,3
Larghezza rotolo (mm):	EN 1848-2	1500	3000	1500	1500
Lunghezza rotolo (m):	EN 1848-2	50	33	50	50
Peso rotolo (kg):		14,1	10,89	12,75	10
Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore (μ):	EN 12572	181.818	700.000	500.000	5.000.000
Strato d'aria equivalente al passaggio del vapore - Sd (m):	EN 12572	40,00	140,00	150,00	1500,00
Coefficiente di permeabilità al vapore (kg/m*s*Pa):	EN 12572	0,0011*10 ⁻¹²	0,0003 *10 ⁻¹²	0,0004 *10 ⁻¹²	0,00004 *10 ⁻¹²
DVA diffusione vapore acqueo (g/m ² /24 ore):	EN 12572	0,6	0,2	0,2	0,02
Conducibilità termica lambda-λ (W/mK):		0,4	0,4	0,4	0,4
Calore specifico (J/KgK):		1800	1800	1800	1800
Classe di impermeabilità:	EN13859-1	W1	W1	W1	W1
Resistenza strappo:					
- lungo (N/5 cm):	EN12311-1	>220	>175	>280	>219
- trasverso (N/5 cm):		>190	>160	>250	>134
Reazione al fuoco:	DIN 4102-1	F	E	F	E
Colore:		bianco trasparente	trasparente/blu	alu bianco	bianco

Figura 94 - Estratto della scheda tecnica Riwega

- Controsoffitto in pannelli in lana di roccia tipo *Rockfon Color-all*:





PROTEZIONE INCENDIO

Generalità: I prodotti Rockfon sono essenzialmente composti da lana di roccia. La lana di roccia è un materiale incombustibile il cui punto di fusione supera i 1 000 °C.

Reazione al fuoco:

Rockfon Color-all: Euroclasse A1 secondo la norma EN 13501-1.

Rockfon Color-all, collezione Precious Tones: Euroclasse A2-s1,d0 secondo la norma EN 13501-1.

Resistenza al fuoco:

Risultato	Dimensioni (mm)	Bordo	Rapporto di prova N
REI 120	600 x 600 x 20	A & E	in corso di aggiornamento

Le prove di resistenza al fuoco sono in corso di aggiornamento al momento della stampa di questo catalogo. I nuovi certificati e gli aggiornamenti sono disponibili, in tempo reale, sul sito internet:

www.rockfon.it



RESISTENZA ALL'UMIDITÀ E ALLA FLESSIONE

A livello dimensionale, i prodotti Rockfon sono stabili anche in condizioni di umidità che possono arrivare al 100%. Possono essere messi in opera a temperature comprese tra 0 °C e 40 °C, senza che sia necessaria alcuna acclimatazione.

Rockfon Color-all è stato testato secondo la norma NF EN 13964 e classificato 1/C/0N. Tuttavia, alcuni formati dei moduli (larghezza superiore a 700 mm) sono classificati 2/C/0N. (Prova CSTB secondo la norma NF EN 13964 in condizioni di 95(+/-5)% UR, 20(+/-2) °C.)

Rockfon Color-all può essere installato nelle piscine dotate di una buona ventilazione e di un'altezza di soffitto importante, per evitare la condensazione e i getti d'acqua.



RIFLESSIONE DELLA LUCE

Secondo finitura e secondo la norma ISO 7724-2.



CONDUTTIVITÀ TERMICA

I prodotti di spessore superiore o uguale a 30 mm sono stati misurati secondo la norma EN 12667 e hanno ottenuto il seguente valore: $\lambda_0 = 37 \text{ mW/mK}$.

Resistenza termica: 20 mm - R = 0,50 mq-K/W.
40 mm - R = 1,15 mq-K/W. (ACERMI)



IGIENE

La lana di roccia non contiene alcun elemento nutritivo e non favorisce lo sviluppo di microrganismi.



MANUTENZIONE ORDINARIA

La superficie Rockfon Color-all può essere pulita con un aspiratore dotato di spazzola morbida.



AMBIENTE

Una selezione rappresentativa di controsoffitti Rockfon si pregia delle marcature "Indoor Climate" danese e "Indoor Climate" finlandese (M1) che classificano i prodotti in base alla loro innocuità per la qualità dell'aria interna.

Rockfon Color-all è riciclabile. La lana di roccia può vantare, inoltre, il marchio EUCEB.

Figura 95 - Estratti della scheda tecnica Rockfon color-all

- Pannelli in paglia compressa tipo *Ekopanel*:

<u>Ekopanel - Pannelli di paglia compressa</u>		
<u>Dati Tecnici</u>		
I pannelli Ekopanel sono certificati secondo la norma CE EN 13986, Tipo P2, sono quindi classificati come pannelli truciolari non strutturali per uso interno, e sono quindi conformi alle linee-guida della Comunità Europea per i materiali da costruzione.		
Dimensioni	(spessore x larghezza x lunghezza)	
Pannello 800	58 x 800 x 1200 - 3200 mm	
Pannello 1200	58 x 1200 x 1200 - 3200 mm	
Peso specifico	379 kg/m ³	
Peso pannello	19-23 kg/m ²	
Tolleranze dimensionali		
Lunghezza	+0 - 5 mm	
Larghezza	-3 -1 mm	
Spessore	-0 +2 mm	
Reazione al fuoco	classe E	EN 13501-1
Resistenza al fuoco	EI30	EN 13501-2
Parametri termici		
Conducibilità termica	$\lambda_D = 0,099 \text{ W/mK}$	EN 12684
Resistenza termica	$R = 0,8 \text{ m}^2\text{K/W}$	
Calore specifico	2.400 J/kg.K	
Potere fonoisolante		
Attenuazione – 1 Pannello	$R'_w = 33 \text{ dB}$	
Attenuazione – Pannello doppio	$R'_w = 45 \text{ dB}$	
Diffusione del vapor acqueo		
Fattore di resistenza	$\mu = 9,7$	EN ISO12572
Coefficiente di diffusione	$\delta = 0,074 \text{ mg/(m.h.Pa)}$	EN ISO12572
Resistenza all'urto – 50 kg	180 J	EN 596
Classe di emissione (formaldeide)	E1 (2,64 mg/m ³ h)	EN 13986

Figura 96 - Dati tecnici di Ekopanel

➤ Pannelli in polistirene espanso con aggiunta di grafite tipo *Fassa Bortolo*:

Caratteristiche	Codice di designazione	Unità di misura	
Resistenza a compressione al 10% della deformazione	CS (10)	KPa	≥ 100
Lunghezza	L	mm	L2 (±2)
Larghezza	W	mm	W2 (±2)
Spessore	T	mm	T1 (±2)
Planarità	P	mm	P4 (±5)
Ortogonalità	S	mm/m	S2 (±2)
Conducibilità termica dichiarata	λ_D	W/m·K	0,031
Massa volumica	-	Kg/m ³	20 (± 10%)
Permeabilità al vapore in campo secco	δ_a	Kg/m·s·Pa	$2,5 \cdot 10^{-12}$
Permeabilità al vapore in campo umido	δ_u	Kg/m·s·Pa	$6 \cdot 10^{-12}$
Capacità termica specifica	C_s	J/Kg·K	1450
Stabilità dimensionale	DS	%	DS(N)2
Reazione al fuoco	-	-	Classe E

Spessore pannello (mm)	Resistenza termica dichiarata (m ² k/W)
30	1,0
40	1,3
50	1,6
60	1,9
80	2,6
100	3,2
120	3,9
140	4,5
160	5,2
180	5,8
200	6,5
220	7,1
240	7,7

Figura 97 - Estratti della scheda tecnica Fassa Bortolo

➤ Pannelli semirigidi in lana di kenaf tipo *Isolkenaf 60 kg/m³*:

Spessore (UNI EN 12431)		
d _L a 250 Pa:	mm	25,8
d _F a 2000 Pa:	mm	23,1
d _B a 50000 Pa:	mm	20,2
Massa Volumica Apparente (UNI EN 1602)		
	kg/m ³	60,3
Resistenza alla trazione:		
- perpendicolare alle facce (UNI EN 1607)	KPa	5,8
- parallela alle facce (UNI EN 1608)	KPa	7,6
Resistenza alla compressione (UNI EN 826)		
- al 10% di deformazione relativa	KPa	1,9
Stabilità dimensionale (UNI EN 1604)		
- a freddo (-25 °C):		
lunghezza:	%	-0,21
larghezza:	%	-0,23
spessore:	%	-0,22
- a caldo (70 °C):		
lunghezza:	%	0,61
larghezza:	%	0,57
spessore:	%	0,53
Rigidità dinamica (UNI EN 29052-1)	MN/m³	5,8
REQUISITI BIOCHIMICI E DI DURABILITA' campione 30mm		
Parametro	Unita di Misura	Valore
Assorbimento d'acqua (UNI EN 1609 – Metodo A)	kg/m ³	0,119
Trasmissione del Vapore d'acqua (UNI EN 12086):		
- Permeabilità al vapore acqueo (δ)	kg/(m s Pa)	45*10 ⁻¹²
- Fattore di resistenza alla diffusione al vapore acqueo (μ)	-	4,3

Figura 98 - Caratteristiche fisico-meccaniche di Isolkenaf

Parametro	Unita di Misura	Valore
Resistenza e conduttività termica		
- a 10 °C	W/m ^{°K}	0,038
- a 20 °C	W/m ^{°K}	0,039
Calore Specifico	J/ Kg °C	2050

Figura 99 - Caratteristiche termiche di Isolkenaf

INDICE DI VALUTAZIONE (DIFFERENZA DEI LIVELLI TRA CAMERA DISTURBANTE E CAMERA DISTIRBUATA) RIFERITO ALLA CURVA CAMPIONE (500 Hz) CALCOLATA NELLA BANDA DI FREQUENZA 100 ÷ 4000Hz

$$R_w = 50 \text{ dB}$$

COEFFICIENTE ACUSTICO DI ASSORBIMENTO α – UNI EN 20354

$$\alpha = 0,62$$

REQUISITI DI COMPORTAMENTO AL FUOCO E AL CALORE UNI 9177

Comportamento al fuoco e al calore

Euroclasse F

Figura 100 - Caratteristiche acustiche e comportamento al fuoco di Isolkenaf

➤ Lamiera grecata tipo *Marcegaglia* spessore 0,8 mm:

Spessore Thickness	Peso Weight
mm	kg/m ²
0,6	5,89
0,7	6,87
0,8	7,85
1,0	9,81

Figura 101 - Caratteristiche del profilo della lamiera

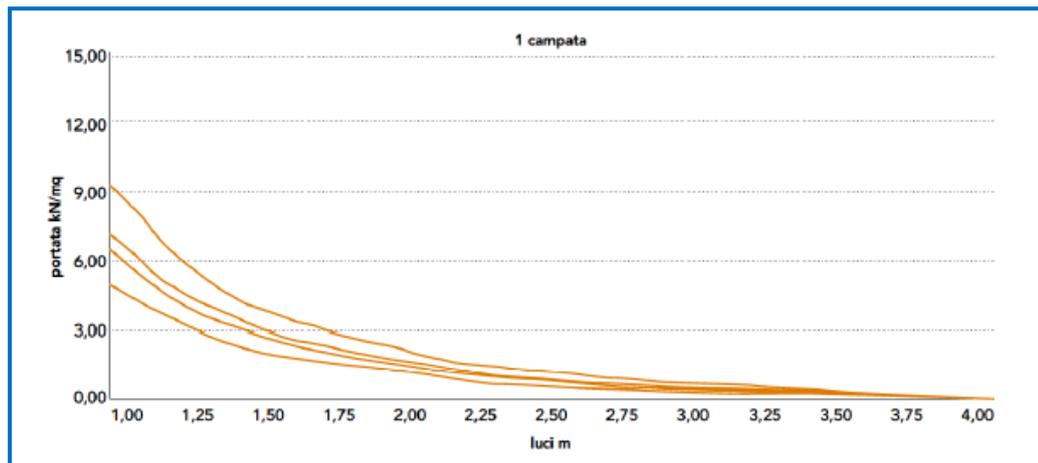


Figura 102 - Diagramma di portata della lamiera, per una campata

EGB 1250													▲ ▲ 1 campata 1 span	
Spessore Thickness mm	Distanza fra gli appoggi in m - Supports spacing (m)													
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	
Carico massimo uniformemente distribuito in kg/m ² - Max load capacity kg/m ²														
0,6	4,93	3,13	2,16	1,57	1,18	0,81	0,58	0,42	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	
					1,19	0,93	0,74	0,61	0,50	0,42	0,35	0,30	0,26	
0,7	6,34	4,04	2,78	2,03	1,40	0,96	0,68	0,50	0,37	0,27	0,21	0,15	0,12	
					1,54	1,20	0,96	0,79	0,65	0,54	0,46	0,39	0,34	
0,8	7,04	4,48	3,09	2,25	1,61	1,11	0,79	0,57	0,42	0,32	0,24	0,18	0,13	
					1,71	1,33	1,07	0,87	0,72	0,60	0,51	0,44	0,37	
1,0	9,16	5,83	4,02	2,93	2,13	1,47	1,04	0,76	0,56	0,42	0,32	0,24	0,18	
					2,22	1,74	1,39	1,14	0,94	0,79	0,67	0,57	0,49	

Figura 103 - Carico massimo sopportabile dalla lamiera, per una campata

➤ Travetti in legno stratificato LVL:

Stati limite Resistenze caratteristiche ft,g,k - Microlamellare									
tipo tensione		flessione	traz.//	traz. _	pres.//	pres. _	taglio l.	taglio t.	torsione
		fmgk	ftg0k	ft90gk	fc0gk	fc90gk	fvgk		
		daN/cm ²							
L.L.M	GL 28 H	224,0	140,0	3,6	220,0	44,0	16,2	21,6	21,6
	GL 24 H	192,0	136,0	3,6	192,0	44,0	16,2	21,6	21,6
LVL		400,0	300,0	4,0	300,0	50,0	40,0	50,0	30,0

Figura 104 - Schema delle resistenze caratteristiche del legno LVL

➤ Pannelli OSB tipo Dataholz:

Spessore [mm]	>6-10	>10-18	>18-25	
ρ_k [kg/m ³]	550	550	550	
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	0	18,0	16,4	14,8
	90	9,0	8,2	7,4
$f_{t,k}$ [N/mm ²]	0	9,9	9,4	9,0
	90	7,2	7,0	6,8
$f_{c,k}$ [N/mm ²]	0	15,9	15,4	14,8
	90	12,9	12,7	12,4
$f_{v,k}$ [N/mm ²]		6,8	6,8	6,8
$f_{r,k}$ [N/mm ²]		1,0	1,0	1,0
E_m [N/mm ²]	0	4930	4930	4930
	90	1980	1980	1980
$E_{t,c}$ [N/mm ²]	0	3800	3800	3800
	90	3000	3000	3000
G_v [N/mm ²]		1080	1080	1080
G_r [N/mm ²]		50	50	50
				OSB
ρ [kg/m ³]				650
λ [W/mK]				0,13
μ				30/50

Figura 105 - Proprietà meccaniche e fisiche di OSB

in conformità alla certificazione del produttore e/o in conformità alla decisione 2007/348/EC della commissione	in conformità a UNI EN 1995-1-2	$\rho_k = 450 \text{ kg/m}^3$, 20 mm
	$\geq 600 \text{ kg/m}^3$, $\geq 9 \text{ mm}$	Velocità di carbonizzazione B_d 0,9 mm/min
Euroclasse	D	Nota: per altre masse volumiche e spessori la velocità di carbonizzazione deve essere calcolata utilizzando la seguente equazione: $B_{0,p,t} = B_0 k_p k_h$ $k_p = \sqrt{(450/\rho_k)}$ $k_h = \sqrt{(20/h_p)}$ ρ_k ... Massa volumica caratteristica in kg/m^3 h_p ... Spessore pannello in mm
Classe di emissioni di fumo	s2	
Classe di produzione di gocce	d0	
... esclusi i rivestimenti dei pavimenti		

Figura 106 - Comportamento al fuoco di OSB

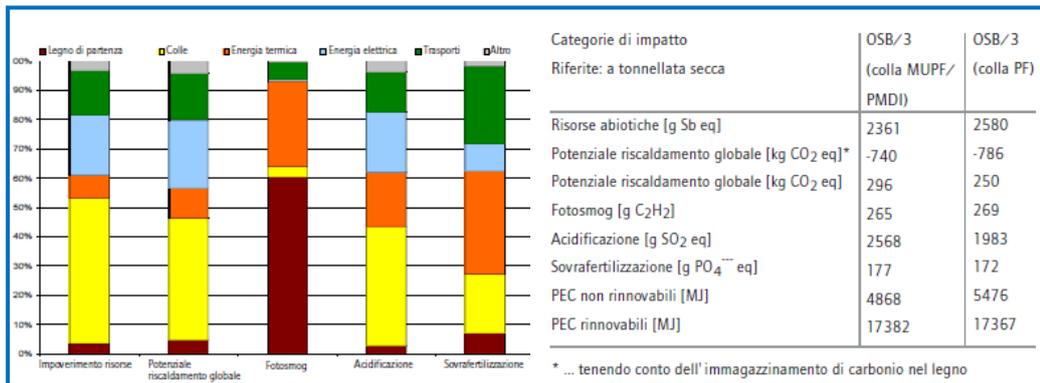


Figura 107 - Proprietà ecologiche di OSB

➤ Pannelli in legnomagnesite tipo *Eraclit*:

Coefficiente di resistenza alla diffusione del vapore acqueo $\mu = 5$
Permeabilità vapore $\delta_a \approx \delta_u = 40 \text{ kg/msPa} \times 10^{-12}$
Elevato calore specifico ($C = 2,01 \text{ kJ/kgK}$).
Potere calorifico superiore: 970 cal/g, potere calorifico inferiore 608 cal/g.
Absoluta stabilità dimensionale ($\Delta < 0,05\%$).
Campo d'impiego: fino a 200°C e U.R. 100%.
Elevata inerzia termica (da 500 a 1000 $\text{kJ/m}^3\text{K}$).
Elevata resistenza al fuoco (fino a REI 180).
Elevato potere fonoisolante (58 dB ISO R 717 parete spessore 154 mm).
Elevato potere fonoassorbente (fino a $\alpha_m = 0,88$ tra 125 e 4000 Hz).
Elevata capacità di scambio termoigrometrico con l'ambiente.
Costanza delle prestazioni nel tempo, imputrescibilità e durabilità (prova su pannelli in opera da 44 anni – Università di Monaco).
Eccellente resistenza meccanica: resistenza agli urti di palla (certificazioni "antipallone" – allegato D della norma UNI EN 13964:2005).
Elevata resistenza in ambienti difficili quali industrie, cucine, esterni etc.
Inattaccabilità da insetti, termiti e ratti (South African B.S./C.S.I.R.).
Assenza di amianto, fibre inorganiche o altre sostanze nocive.
Ecobiocompatibilità (Istituto per la Baubiologia e l'Ecologia di Neubeuern (D)).

Figura 108 - Caratteristiche fisico-tecniche dei pannelli Eraclit

Spessore	mm	25	35	50
Peso	kg/m ²	17,0	19,5	24,0
Massa volumica mat. secco	kg/m ³	680	560	480
Conduttività termica dichiarata secondo UNI EN 13168 λ_d	W/mk	0,095	0,095	0,095
Resistenza a flessione secondo UNI EN 13168	N/mm ²	≥ 2	≥ 2	≥ 1,5
Resistenza minima a flessione richiesta da UNI 9714 ¹	N/mm ²	2,00	1,40	1,00
Resistenza media a flessione misurata secondo UNI 9714 ¹	N/mm ²	3,08	3,35	2,67
Resistenza a compressione secondo UNI 13168		≥ 0,2	≥ 0,2	≥ 0,15
Reazione al fuoco secondo EN13501		B-s1, d0	B-s1, d0	B-s1, d0
Reazione al fuoco: Omologazioni classe 1 secondo DM 26/06/84 e circolare n. 3 MI.SA. (95) del 28/02/95.		VE049A10PCD100011	VE049A10PCD100018	VE049A10PCD100019

Figura 109 - Dati tecnici dei pannelli Eraclit

➤ **Pavimentazione in laminato tipo Parkover:**

Pannello HDF	Idrofugo in massa, densità > 860 kg.\m ³
Trattamento speciale	Superficie Woodline e Incastri Water Protect
Contro Bilanciatura	Carta Kraft impregnata di resina melaminica
Garanzia	25 anni
Posa in opera senza colla	Facile e veloce, mediante nuovo incastro autobloccante
Profilo	Standard senza bisellatura
Resistenza abrasione	AC3
Resistenza all'impatto EN 13329	IC1
Resistenza ai graffi	3N
Resistenza agenti chimici	gruppo 3: 4
Resistenza ai piedi dei mobili	nessun danno visibile
Resistenza bruciature di sigaretta	grado 4
Resistenza alla luce	grado > 6
Resistenza termica	0,034 m ² K\W
Emissione Formaldeide EN 120	Qualità innocua E1 8mg/100 g
Variazione dimensionale umidità	30% - 85% HR/23°C Lungh. e Largh.: 0,13%

						
Classe d'uso  	Possibile la posa in opera fino a 96 mq senza giunti di dilatazione	Igienico e antiscarro	Compatibile con il riscaldamento a pavimento	Resistente agli agenti chimici	Bassa emissione di formaldeide, smaltimento equiparato ai rifiuti domestici	Protezione incastro con paraffina

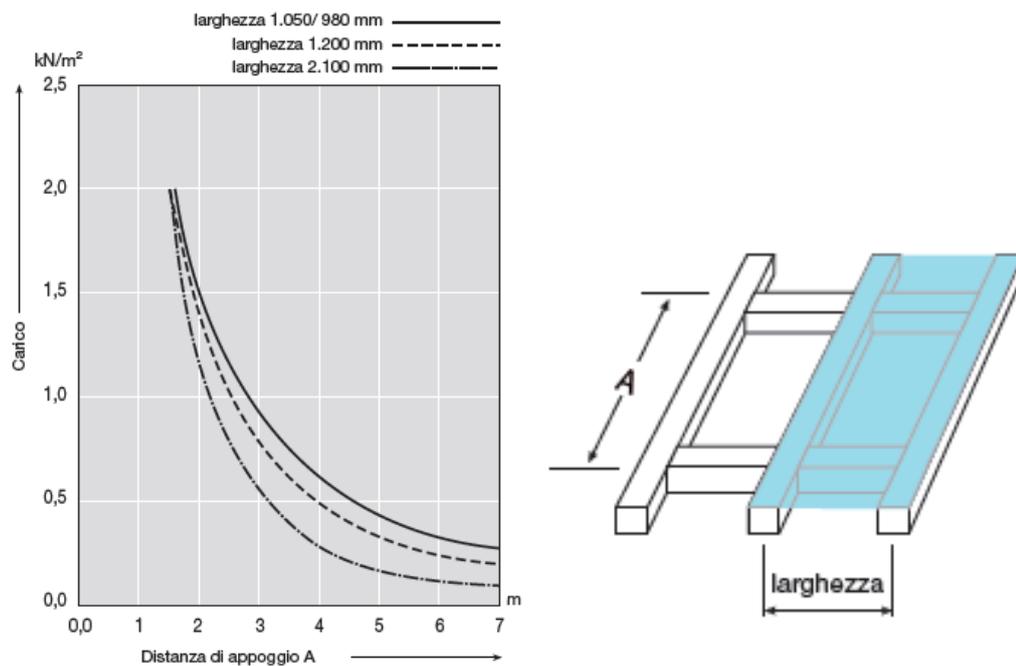
Figura 110 - Scheda tecnica di Parkover

➤ Pannelli curvi in polycarbonato alveolare *tipo Makrolon multi UV 3 x 16/25*:

Peso	2,5 kg/m ²	
Larghezza della lastra	980, 1.050, 1.200 e 2.100 mm	
Lunghezze massime disponibili	da 2.000 a 15.000 mm	
Raggio minimo di curvatura a freddo ⁽¹⁾	3.000 mm	
Trasmissione luminosa τ_{D65} (le lastre sono opache alla radiazione UV)	clear 1099: white 1146: IQ-Relax: bronze 1845:	circa 66 % circa 54 % circa 46 % circa 26 %
Trasmissione solare totale g	clear 1099: white 1146: IQ-Relax: bronze 1845:	circa 62 % circa 55 % circa 44 % circa 45 %
Trasmittanza termica unitaria Ug	2,0 W/m ² K	
Coefficiente di dilatazione termica α	0,065 mm/m °C	
Possibile dilatazione dovuta al calore e all'umidità	3 mm/m	
Max. temperatura di lavoro senza carico	120°C	
Potere fono isolante Rw	18 dB	
Reazione alla combustione ⁽²⁾		
• Europa	clear 1099, white 1146 bronze 1845	} B-s1, d0 (EN 13501-1)
• Germania	clear 1099, white 1146, bronze 1845, IQ-Relax	
• Francia	clear 1099 white 1146	} M1 (NF P 92501/505) M2 (NF P 92501/505)
• Italia	Tetto e controsoffitto	
		classe 1 (CSE/RF2/75A & 3/77)

Figura 111 - Dati tecnici di Makrolon multi UV 3 x 16/25

È essenziale specificare, prima di riportare le caratteristiche di resistenza meccanica, che il polycarbonato alveolare deve portare unicamente il proprio peso, dato che è coperto in ogni punto dalle intemperie, rispettivamente da coperture fisse o mobili.



Carico	kN/m ²	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	Larghezza in mm
Lunghezza o distanza tra i supporti A	m	3,5	2,8	2,4	2,0	1,6	1.050/980
	m	3,2	2,5	2,1	2,0	1,5	1.200
	m	2,8	2,3	2,0	1,8	1,5	2.100

Figura 112 - Carico sopportabile da Makrolon multi UV 3 x 16/25

➤ Tendaggio in dacron e poliesterre tipo *Isolcavi*:

Classe termica: F (155 °C) secondo norme IEC 626-3 Sheet 500

Caratteristiche tecniche Dacron/Poliesterre/Dacron							
Tipo	DPD50	DPD75	DPD100	DPD125	DPD190	DPD250	DPD350
Spessore mm	0.16	0.18	0.21	0.23	0.30	0.35	0.45
spess. Pet μ	50	75	100	125	190	250	350
Gr/Mq	150	185	220	260	350	430	570
Mq/Kg	6.667	5.405	4.545	3.846	2.857	2.326	1.754
Rigidità KV	6	7	9	10	15	17	20
Carico di rottura N/cm	110	140	160	200	300	330	400
Allungamento a rottura %	20	20	20	20	20	20	20

Figura 113 - Estratto della scheda tecnica di Isolcavi

➤ Pannelli sandwich a curvatura variabile tipo *Rexcop*:

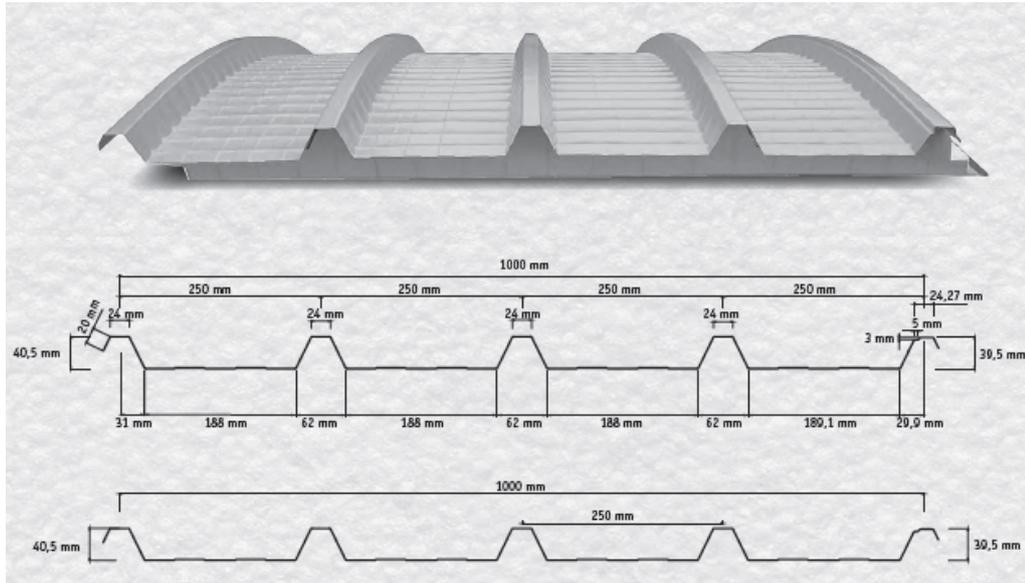


Figura 114 - Caratteristiche dimensionali del pannello Rexcop

	U.M.	EPS tradizionale	NEW REXPOL	Norma di riferimento
Trasmissione del vapore d'acqua	m ² 24h	40	40	UNI EN 13163:2009 - UNI 9054:1980
Resistenza a flessione	kPa	≥ 350	≥ 170	UNI EN 13163:2009 - UNI EN 12089:1999
Coefficiente di dilatazione lineare	k ⁻¹	0,05x10 ⁻³	0,05x10 ⁻³	UNI EN 13163:2009
Stabilità dimensionale				
a) 23°C-50% U.R.		≤ 0,2	≤ 0,2	UNI EN 13163:2009 - UNI EN 1603
b) 23°C-90% U.R.		≤ 1	≤ 1	UNI EN 13163:2009 - UNI EN 1603
Resistenza alla fiamma del materiale isolante	Euroclasse	E	E	UNI EN 11925-2:2005 - UNI EN 13823:2005
Classe reazione al fuoco del pannello		Classe 1	Classe 1	D.M. 26/5/1994
Resistenza alla diffusione del vapore	Adimensionale	40-100	20-40	UNI EN 13163:2009 - UNI EN 10351:1994
Absorbimento d'acqua per capillarità dell'isolante	% vol.	< 3	< 3	UNI EN 13163:2009 - UNI EN 12087:1999
Temperature d'impiego del pannello	°C	< 85	< 85	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica del pannello con EPS spessore 4 cm(*)	W/m ² K	0,69	0,63	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica del pannello con EPS spessore 5 cm(*)	W/m ² K	0,57	0,52	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica del pannello con EPS spessore 6 cm(*)	W/m ² K	0,49	0,45	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica media del pannello con EPS spessore 8 cm(*)	W/m ² K	0,37	0,34	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica media del pannello con EPS spessore 10 cm(*)	W/m ² K	0,29	0,27	UNI EN 13163:2009
Trasmissione termica media del pannello con EPS spessore 12 cm(*)	W/m ² K	0,25	0,23	UNI EN 13163:2009

Figura 115 - Caratteristiche tecniche del pannello Rexcop

➤ Pannelli in materiale riciclato tipo *Yekpan Evostone*:

<i>materiale vergine</i>	-
<i>materiale riciclato post-consumo</i>	100% in percentuali variabili tra carta, polietilene, alluminio
<i>altri materiali presenti</i>	film protettivo

Figura 116 - Composizione del pannello Yekpan

PROPRIETA'	RISULTATI	METODO
Specific Weight (density) peso specifico densità	0,917 gr/cm3	Picnometro UNI EN ISO 1183-1
Formaldehyde rilascio formaldeide	< 0,1 mgHCHO/(m2*h)	EN 717-2:1994
Screwing Capability (90° to the surface) resistenza all'estrazione della vite a 90° dalla superficie	113 N/mm	EN 320:11993
Screwing Capability (parallel to the surface) resistenza all'estrazione della vite dal bordo	1.222 N	EN 320:11993
Thickness Swelling (1 hour in boiling water) variazione dello spessore dopo 1 ora in acqua bollente	3,7%	EN ISO 62/99 met.2
Thickness Swelling (24 hour 23°C in water) variazione dello spessore dopo 24 ore in acqua a 23°	1,1%	EN ISO 62:2001 met.1
Compressive Strength resistenza alla compressione	6,8 Mpa	EN ISO 604:1996
Tensile Strength resistenza alla trazione		EN ISO 527:1996
Breaking load carico di rottura	2.416 N	EN ISO 527:1996
Tensile Strength resistenza a trazione	12 Mpa	EN ISO 527:1996
Modulus modulo di elasticità	1.294 Mpa	EN ISO 527:1996
Elongation at maximum load allungamento al carico massimo	3,4%	EN ISO 527:1996
Bending Strength resistenza alla flessione		EN ISO 178:2003
Bending Strength resistenza alla flessione	15,1 Mpa	EN ISO 178:2003
Modulus modulo di elasticità	784 Mpa	EN ISO 178:2003
Impact Resistivity with small ball resistenza all'urto con sfera di piccolo diametro	> 80 N no sign > 80 N nessuna impronta	EN 438-2:2005, par.20
Impact Resistivity with big ball resistenza all'urto con sfera di grande diametro	h > 1600 mm no sign h > 1600 mm nessuna impronta	EN 438-2:2005, par.21
Lightfastness resistenza alla luce	> 6	EN 438-2:2005, par.27
Shore D Hardness durezza metodo Shore D	59	EN ISO 868:2003
Brinell Hardness durezza metodo Brinell	> 1,6 Kg/mm2 < 4,8 Kg/mm2	UNI EN 1534
Scratch resistance resistenza alla graffiatura	3	UNI EN 9428:1989
Resistance to cigarette resistenza alla sigaretta	3	UNI EN 9241:1987 UNI FA 275:1989
Resistance to temperature resistenza agli sbalzi di temperatura	5 - no defetcs	UNI 9429:1989
Surface resistance to dry heat resistenza delle superfici al calore secco	D (UNI 10944/00)	EN 12722:2009
Surface resistance to wet heat resistenza delle superfici al calore umido	/// (Classe UNI 10944/00)	EN 12721:2009
Surface resistance to cold liquids resistenza delle superfici ai liquidi freddi	/// (Classe UNI 10944/00)	EN 12720:2009
Fire Resistivity resistenza al fuoco	B2	DIN 4102
Heat Insulation Coefficient coefficiente di isolamento termico	0,13	DIN 52612

Figura 117 - Caratteristiche tecniche del pannello Yekpan

5.3.2. Verifiche tecniche sugli abachi sensibili

Per assicurare la validità delle soluzioni proposte per realizzare l'edificio sono indispensabili delle verifiche riguardanti la presenza o meno di condensa superficiale e/o interstiziale. Logicamente le indagini si effettuano esclusivamente sui pacchetti che costituiscono l'involucro, che separano cioè ambiente interno (climatizzato) da ambiente esterno od interno non riscaldato.

Queste analisi vengono effettuate su tutto il periodo dell'anno in quanto, con la progettazione effettuata, si intende proporre un manufatto trasferibile e perfettamente funzionante anche una volta concluso il periodo espositivo.

I dati riportati di seguito si riferiscono a verifiche effettuate con l'ausilio del programma Jvap.

➤ C.C.2 - C.C.3

Le chiusure curvilinee non necessitano di verifiche di questo tipo, in quanto non presentano una successione di strati, ma sono realizzate con un unico elemento, la cui adeguatezza è stata progettata e certificata dal produttore.

➤ P.O.2A

Discorso differente bisogna fare per il solaio del bulbo, descritto in precedenza, che divide l'interno del primo piano dallo spazio inferiore: il piano terra espositivo, uno spazio interno non riscaldato.

Proprietà principali della struttura

Nome struttura	P.O.2A
Localizzazione	MILANO (MI)
Tipo struttura	Pavimenti, solai su porticati o cantinati
Numero strati	8
Spessore totale	0,3322 m
Resistenza termica totale	9,085 m ² K/W
Trasmittanza termica totale	0,1101 W/(m ² K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2008	0,38 W/(m ² K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2010	0,33 W/(m ² K)

Condensa superficiale

Tabella risultati

	T. esterna (°C)	Press. est. (Pa)	T. interna (°C)	Var. (Pa)	P. Interna (Pa)	Press. Sat. (Pa)	T. Sup. min (°C)	Fatt. Temp.
Ottobre	14,00	1412,00	20,00	203,51	1635,87	2044,83	17,86	0,6434
Novembre	7,90	958,00	20,00	616,24	1635,87	2044,83	17,86	0,8232
Dicembre	3,10	671,00	20,00	877,15	1635,87	2044,83	17,86	0,8734
Gennaio	1,70	590,00	20,00	950,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8831
Febbraio	4,20	645,00	20,00	900,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8646
Marzo	9,20	943,00	20,00	629,88	1635,87	2044,83	17,86	0,8019
Aprile	14,00	1163,00	20,00	429,88	1635,87	2044,83	17,86	0,6434

Tabella 1 - Calcolo dei fattori di temperatura.

Conclusioni

Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831

Resistenza termica minima acc ettabile: 2,1385 m²K/W

Resistenza termica totale dell'elemento: 9,0850 m²K/W

Accumulo Condensa Interstiziale

Tabella risultati

Mese
Ottobre
Novembre
Dicembre
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre

Tabella 1 - Accumulo di condensa all'interno della struttura.

■	Condensazione
■	Evaporazione
■	Condensa residua o superiore al limite

Legenda

CEL	— Sup. esterna
CEL	— interf. 1
CEL	— interf. 2
CEL	— interf. 3
CEL	— interf. 4
LEG	— interf. 5
LEG	— interf. 6
FRV	— interf. 7
LEG	— Sup. interna

Composizione interfacce

Note

Condensa non presente



➤ P.O.2A

In maniera analoga alla precedente si verifica la chiusura orizzontale del vano scala e ascensore.

Proprietà principali della struttura

Nome struttura	P.O.2B
Localizzazione	MILANO (MI)
Tipo struttura	Pavimenti, solai su porticati o cantinati
Numero strati	5
Spessore totale	0,1983 m
Resistenza termica totale	3,3769 m ² K/W
Trasmittanza termica totale	0,2961 W/(m ² K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2008	0,38 W/(m ² K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2010	0,33 W/(m ² K)

Condensa superficiale

Tabella risultati

	T. esterna (°C)	Press. est. (Pa)	T. interna (°C)	Var. (Pa)	P. Interna (Pa)	Press. Sat. (Pa)	T. Sup. min (°C)	Fatt. Temp.
Ottobre	14,00	1412,00	20,00	203,51	1635,87	2044,83	17,86	0,6434
Novembre	7,90	958,00	20,00	616,24	1635,87	2044,83	17,86	0,8232
Dicembre	3,10	671,00	20,00	877,15	1635,87	2044,83	17,86	0,8734
Gennaio	1,70	590,00	20,00	950,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8831
Febbraio	4,20	645,00	20,00	900,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8646
Marzo	9,20	943,00	20,00	629,88	1635,87	2044,83	17,86	0,8019
Aprile	14,00	1163,00	20,00	429,88	1635,87	2044,83	17,86	0,6434

Tabella 1 - Calcolo dei fattori di temperatura.

Conclusioni

Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831

Resistenza termica minima accettabile: 2,1385 m²K/W

Resistenza termica totale dell'elemento: 3,3769 m²K/W

Accumulo Condensa Interstiziale

Tabella risultati

Mese
Ottobre
Novembre
Dicembre
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre

Tabella 1 - Accumulo di condensa all'interno della struttura.

	Condensazione
	Evaporazione
	Condensa residua o superiore al limite

Legenda

CEL	Sup. esterna
CEL	interf. 1
CEL	interf. 2
INA	interf. 3
MET	interf. 4
LEG	Sup. interna

Composizione interfacce

Note

Condensa non presente



➤ P.V.1A

Si verifica ora la chiusura verticale del vano scala e ascensore.

Proprietà principali della struttura

Nome struttura	P.V.1A
Localizzazione	MILANO (MI)
Tipo struttura	Pareti
Numero strati	4
Spessore totale	0,1502 m
Resistenza termica totale	3,0715 m²K/W
Trasmittanza termica totale	0,3256 W/(m²K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2008	0,37 W/(m²K)
Trasmittanza max DLgs 311 - 2010	0,34 W/(m²K)

Condensa superficiale

Tabella risultati

	T. esterna (°C)	Press. est. (Pa)	T. interna (°C)	Var. (Pa)	P. Interna (Pa)	Press. Sat. (Pa)	T. Sup. min (°C)	Fatt. Temp.
Ottobre	14,00	1412,00	20,00	203,51	1635,87	2044,83	17,86	0,6434
Novembre	7,90	958,00	20,00	616,24	1635,87	2044,83	17,86	0,8232
Dicembre	3,10	671,00	20,00	877,15	1635,87	2044,83	17,86	0,8734
Gennaio	1,70	590,00	20,00	950,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8831
Febbraio	4,20	645,00	20,00	900,79	1635,87	2044,83	17,86	0,8646
Marzo	9,20	943,00	20,00	629,88	1635,87	2044,83	17,86	0,8019
Aprile	14,00	1163,00	20,00	429,88	1635,87	2044,83	17,86	0,6434

Tabella 1 - Calcolo dei fattori di temperatura.

Conclusioni

Mese critico: Gennaio, con fattore di temperatura 0,8831

Resistenza termica minima acc ettabile: 2,1385 m²K/W

Resistenza termica totale dell'elemento: 3,0715 m²K/W

Accumulo Condensa Interstiziale

Tabella risultati

Mese
Ottobre
Novembre
Dicembre
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre

Tabella 1 - Accumulo di condensa all'interno della struttura.

	Condensazione
	Evaporazione
	Condensa residua o superiore al limite

Legenda

CEL	— Sup. esterna
CEL	— interf. 1
CEL	— interf. 2
FRV	— interf. 3
CEL	— Sup. interna

Composizione interfacce

Note

Condensa non presente



CAPITOLO 6

Verifiche

6.1. Verifica delle aree

6.1.1. Piante del Palazzo Italia

Si riporta di seguito una tabella in cui vengono confrontate le direttive date dalla committenza in merito a superfici e posizione dei locali, con le soluzioni architettoniche operate, allo scopo di verificarne la coerenza.

FUNZIONI		POSIZIONE RICHIESTA	POSIZIONE EFFETTIVA	SUP. NETTA utile richiesta (mq)	SUP. NETTA utile effettiva (mq)	TOT richiesta (mq)	TOT effettiva (mq)
SPAZI ESPOSITIVI	SPAZI ESPOSITIVI: Spazi adatti ad ospitare esposizioni a rotazione o permanenti di vario genere	piano +1 o piani intermedi (se al piano +1, altezza minima di interpiano = 4,50 m)	Piano primo e piano secondo	2.500	3.200	2.500	3.200
	SPAZIO PER EVENTI: Piazza coperta	piano 0 (altezza minima di interpiano = 7,50 m altezza libera minima = 6 m)	Piano terra	1.000	2.670	1.920	3.575
SPAZI PER EVENTI	SALA CONFERENZE/MEETING: (250 posti) Sala conferenze principale attrezzata con locali regia, cabine per interpreti, impianto per videoproiezioni su due schermi	piani intermedi (altezza minima di interpiano = 4,50 m)	Piano secondo	300	297,9		
	SALA CONFERENZE/MEETING: (150 posti) Sala conferenze attrezzata con locali regia, cabine per interpreti, impianto per videoproiezioni su due schermi		Piano secondo	200	198,8		
	SALA CONFERENZE/MEETING: (50 posti) Sala conferenze attrezzata con locali regia e impianto per videoproiezioni su uno schermo		Piano secondo	100	120		

	<p>FOYER Spazio di rappresentanza comune alle tre sale attrezzato con guardaroba</p>		Piano secondo	200	205		
	<p>LOCALE DEPOSITO Locali a servizio delle tre sale per il deposito di attrezzature tecniche</p>		Piano secondo	120	120		
SPAZI DI RAPPRESENTANZA	<p>SALA DELEGAZIONI Sala di alta rappresentanza per gli incontri ufficiali di delegazioni internazionali e relativi servizi</p>	piani superiori	Quarto piano	250	250	2.350	2.350
	<p>UFFICI ALTA RAPPRESENTANZA - Ufficio destinato al Commissario Italiano - Ufficio destinato alla Rappresentanza del Governo - 2 uffici destinati ad altre istituzioni o enti</p>		Quarto piano	4 x 70 280	4 x 70 280		
	<p>UFFICI DI RAPPRESENTANZA Uffici destinati ad ospitare: - 2 Commissari - l'Amministratore Delegato di Expo 2015 - il Direttore del Padiglione Italiano - 2 referenti per l'ufficio relazioni istituzionali - 1 referente per l'ufficio per marketing - 1 referente per l'ufficio per il cerimoniale - 2 rappresentanti del BIE - 4 rappresentanti del Governo - 2 persone a rotazione</p>		Terzo piano e quarto piano	16 x 50 800	16 x 50 800		
	<p>SEGRETERIE Open space che prevede spazi attrezzati, situati in corrispondenza degli uffici di rappresentanza, destinati ad ospitare 2/3 persone ciascuno con funzione di segreteria degli uffici corrispondenti</p>		Terzo piano e quarto piano	8 x 30 240	8 x 30 240		

	SALA RIUNIONI DEL COMMISSARIO REX Sala riunioni da 10/ 12 persone in comunicazione con l'ufficio del Commissario		Terzo piano e quarto piano	40	40		
	SALE RIUNIONI DA 10/12 PERSONE 4 sale attrezzate per riunioni attorno a un tavolo con impianto per videoproiezioni		Terzo piano e quarto piano	4 x 40 160	4 x 40 160		
	SALE RIUNIONI DA 6 PERSONE 2 sale attrezzate per riunioni attorno a un tavolo		Terzo piano e quarto piano	2 x 20 40	2 x 20 40		
	SALE RIUNIONI A ROTAZIONE 3 sale utilizzabili a rotazione destinate a tutti i componenti della Partecipazione Italiana, anche a coloro che hanno uno spazio espositivo nel 25Cardo. Dovranno avere un accesso separato rispetto agli uffici.		Terzo piano e quarto piano	3 x 40 120	3 x 40 120		
	SALE RIUNIONI VIP 3 sale riunioni destinate permanentemente ad alcuni componenti della Partecipazione Italiana. Dovranno avere un accesso separato rispetto agli uffici.		Terzo piano e quarto piano	3 x 40 120	3 x 40 120		
	UFFICI Uffici destinati ad ospitare 20 persone appartenenti allo staff operativo		Terzo piano	300	390		
SPAZI PER LA RISTORAZIONE	CAFFETTERIA Luogo di ristoro per il pubblico in visita agli spazi espositivi		Primo piano	150	150	1.050	1.200
	RISTORANTE Ristorante (capienza 100 posti), cornice esclusiva con vista panoramica per ospiti selezionati del Palazzo Italia		Quarto piano	600	750		
	TERRAZZA PANORAMICA Terrazza panoramica per eventi esclusivi, anche attrezzabile con posti a sedere aggiuntivi per il ristorante		Quarto piano	300	300		

6.1.2. Piante del Cardo

La verifica è identica al caso precedente ed anche in questo caso ci si serve di una tabella.

FUNZIONI		POSIZIONE RICHIESTA	POSIZIONE EFFETTIVA	SUP. NETTA utile richiesta (mq)	SUP. NETTA utile effettiva (mq)	TOT richiest a (mq)	TOT effettiv a (mq)
LOCALI TECNICI E DI SERVIZIO	LOCALI PER IMPIANTI Locali per gli apparati meccanici, elettrici, idraulici, di climatizzazione e quant'altri siano necessari al funzionamento degli edifici (impianti meccanici in copertura non inclusi)	100 mq (Nord A, P.0) 200 mq (Nord B, P.0) 100 mq (Sud A, P.0) 100 mq (Sud B, P.0)	148 mq (Nord A, P.0) 222 mq (Nord B, P.0) 148 mq (Sud A, P.0) 74 mq (Sud B, P.0)	500	592	500	592
	SPAZI ESPOSITIVI Spazi adatti ad ospitare esposizioni a rotazione o permanenti di vario genere, inclusi locali di deposito	Cardo Nord A e B, piano terra e piano primo	Cardo Nord A e B, piano terra	2.800	3.390	4.200	5.663
	SPAZO ESPOSITIVI (ALTRE ISTITUZIONI O ENTI) Spazi adatti ad ospitare esposizioni a rotazione o permanenti di vario genere a cura di istituzioni europee o altri enti, inclusi locali di deposito	Cardo Nord B	Cardo Nord B	500	500		
CORTE ITALIANA DEL CIBO Spazio espositivo con aree per degustazioni e piccoli eventi, inclusi locali di deposito	Cardo Sud A e B piano terra	Cardo Sud A e B piano terra	900	1.773			
SPAZI ESPOSITIVI	LABORATORIO DEL CIBO Area eventi e laboratorio di cucina per bambini, inclusi locali di deposito	Cardo Sud B Piano primo	Cardo Sud B Piano primo	650	600	950	947
	SPAZI PER PICCOLI EVENTI Piccoli spettacoli dal vivo, video, dimostrazioni e degustazioni	Cardo Sud A e B piano terra	Cardo Sud B piano terra	300	347		

SPAZI DI RAPPRESENTANZA	SALE RIUNIONI DA 10/12 PERSONE PER ISTITUZIONI EUROPEE 2 sale attrezzate per riunioni attorno a un tavolo con impianto per videoproiezioni	Cardo Nord B Piano primo	Cardo Nord B Piano primo	2X40	1x55	550	552
				80			
	SALE RIUNIONI A ROTAZIONE PER ISTITUZIONI EUROPEE 3 sale utilizzabili a rotazione			3X40	3x37		
				120	111		
	UFFICI DI RAPPRESENTANZA PER ISTITUZIONI EUROPEE 2 Uffici destinati a delegati e commissari			2X40	2x37		
				80	74		
	SEGRETERIA PER UFFICI DI RAPPRESENTANZA PER ISTITUZIONI EUROPEE Open space che prevede spazi attrezzati, situati in corrispondenza degli uffici di rappresentanza, destinati ad ospitare 2/3 persone ciascuno con funzione di segreteria degli uffici corrispondenti			2 x 30	2x21		
		60	42				
	UFFICI PER ISTITUZIONI EUROPEE Uffici destinati ad ospitare 12 operativi	180	240				
	DEPOSITO	30	30				
	SALE RIUNIONI DA 10 PERSONE 4 sale attrezzate per riunioni attorno a un tavolo con impianto per videoproiezioni	Cardo Nord A Piano Primo	Cardo Nord A Piano Primo	4x40	1x55	730	506
				160	2x37		
	SALE RIUNIONI A ROTAZIONE 6 sale utilizzabili a rotazione			6x40	1x55		
				240	3x37		
UFFICI Uffici destinati ad ospitare 20 operativi	300	189					
DEPOSITO	30	22					

SPAZI PER LA RISTORAZIONE	CAFFETTERIA Luogo di ristoro per il pubblico in visita alle esposizioni, compreso di spazi di preparazione e pulizia, spazi di somministrazione, spazi per gli addetti, deposito	Cardo Nord Piano terra	/	150	/	1.050	1.042
	CAFFETTERIA Luogo di ristoro per il pubblico in visita alle esposizioni, compreso di spazi di preparazione e pulizia, spazi di somministrazione, spazi per gli addetti, deposito	Cardo Nord B Piano primo (terrazza o copertura)	Cardo Nord B Piano primo (terrazza o copertura)	150 mq al coperto 150 mq all'aperto	352 mq al coperto 128 mq all'aperto		
	RISTORANTE Capienza 150 persone, compreso di spazi di preparazione e pulizia, spazi di somministrazione, spazi per gli addetti, deposito	Cardo Sud A Piano primo	Cardo Sud A Piano primo	600	562		

6.2. Verifica della luminosità

6.2.1. Premessa

Per calibrare al meglio la progettazione architettonica risulta necessario uno studio che indichi quante e quali parti degli edifici convenga rendere trasparenti o, viceversa, opache. Come specificato meglio in seguito, infatti, è stata prevista una pelle modulare, che ha facoltà di essere continuamente modificata in fase di progettazione per adattarsi al meglio alle condizioni mutevoli di temperature e condizioni atmosferiche.

Questo strumento eccezionale, che si concretizza nella modularità del rivestimento, deve necessariamente essere supportato da un'adeguata analisi dell'illuminazione, sulla quale base è stato successivamente progettato il rivestimento degli edifici.

È di primaria importanza affermare che il problema maggiore sarà la schermatura dei raggi solari contemporanea ad una buona permeabilità ed ad una trasparenza che, come da richiesta della committenza, dev'essere una caratteristica fondamentale degli edifici. Il problema nasce dal periodo in cui si concretizza l'esposizione mondiale: durante l'estate le elevate temperature e il grande irraggiamento solare cozzano necessariamente con il risparmio energetico per favorire un adeguato livello di comfort. L'unico elemento su cui si può agire in via preventiva, per non far aumentare esponenzialmente i costi ed i consumi dell'impianto, è rappresentato dal rivestimento dell'edificio.

Si vedrà in seguito come, per ottenere degli edifici ottimizzati in tal senso, si sia resa necessaria la progettazione di una seconda pelle, oltre al rivestimento primario, che regoli ulteriormente l'impatto dei raggi solari.

6.2.2. Fattore di luce diurna ed illuminamento

Il fattore di luce diurna è un parametro introdotto per valutare l'illuminazione naturale all'interno di un ambiente confinato. Esso è attualmente riconosciuto dalla normativa italiana in ambito di edilizia residenziale, scolastica ed ospedaliera (Decreto Min. Sanità 5/7/75, Decreto Min. 18/12/75, Circ. Min. Lavori Pubblici n° 13011, 22/11/74) ed è prioritario per garantire un'illuminazione diurna ottimale nei locali.

All'interno di un ambiente chiuso, l'illuminamento naturale nei diversi punti di uno spazio interno è costituito da tre componenti:

- _ l'apporto di luce proveniente dalle sorgenti primarie esterne (la volta celeste, il sole);
- _ l'apporto di luce dovuto alle riflessioni delle superfici di eventuali ostruzioni urbane esterne;
- _ l'apporto di luce dovuto alle riflessioni multiple che si verificano all'interno dell'ambiente.

Nella valutazione delle condizioni di illuminazione naturale interna si considera il caso più sfavorevole che si verifica in assenza di radiazione solare diretta, caratterizzata invece da una forte direzionalità in funzione della posizione del sole.

Per non limitare il calcolo su un unico punto viene utilizzato il fattore medio di luce diurna (FLDm), dove per medio si intende mediato su più punti di misura dell'ambiente interno in rapporto con l'esterno: in questo modo è possibile valutare meglio l'illuminazione globale nel locale confinato.

I valori richiesti dalle normative possono variare in funzione delle varie destinazioni d'uso dei locali: vi sono tuttavia dei valori di soglia al di sotto dei quali non sono verificate le condizioni di illuminazione naturale sufficienti alle specifiche esigenze. Uno schema di valutazione indicativo può essere il seguente:

FLDm < 1% = insufficiente

1% < FLDm < 2% = discreto

2% < FLDm < 4% = buono

FLDm > 4% = ottimo

Limitarsi a considerare solo le superfici finestrate per i rapporti aeroilluminanti non soddisfa i requisiti igienico-sanitari nei locali: rispettare il fattore medio di luce diurna significa distribuire correttamente le finestre e valutarne la capacità di garantire condizioni di illuminazione naturale confortevoli nell'ambiente confinato.

Al fine di garantire una buona illuminazione naturale è stata effettuata una simulazione, con il software Daylight visualizer, dell'irraggiamento solare primaverile ed estivo di quattro lotti del Cardo:

- _ Nord A;

- Sud A;
- Nord B;
- Sud B.

I risultati ottenuti dal programma hanno consentito di posizionare adeguatamente le facciate cinetiche che, oltre a dare il movimento alla facciata lungo tutto lo spazio del Cardo, hanno soprattutto la funzione di schermare il sole.

In seguito si è tornati a verificare nuovamente gli edifici nella condizione finale, con le schermature applicate, i risultati ottenuti certificano la bontà delle scelte operate.

Per quanto riguarda il fattore di luce diurna (FLD), si è ottenuta una media di 4% per le sale riunioni, 6% per gli uffici open space e 7% per i laboratori del cibo e i ristoranti.

Lo studio accurato della luce solare, anche con l'ausilio di programmi computerizzati, è stato essenziale nel permettere un'efficiente progettazione dell'involucro. I risultati sono confermati dalle prove restituite dai vari software, di cui si riporta di seguito un estratto. Per una completezza di informazioni si rimanda invece alle tavole allegate.

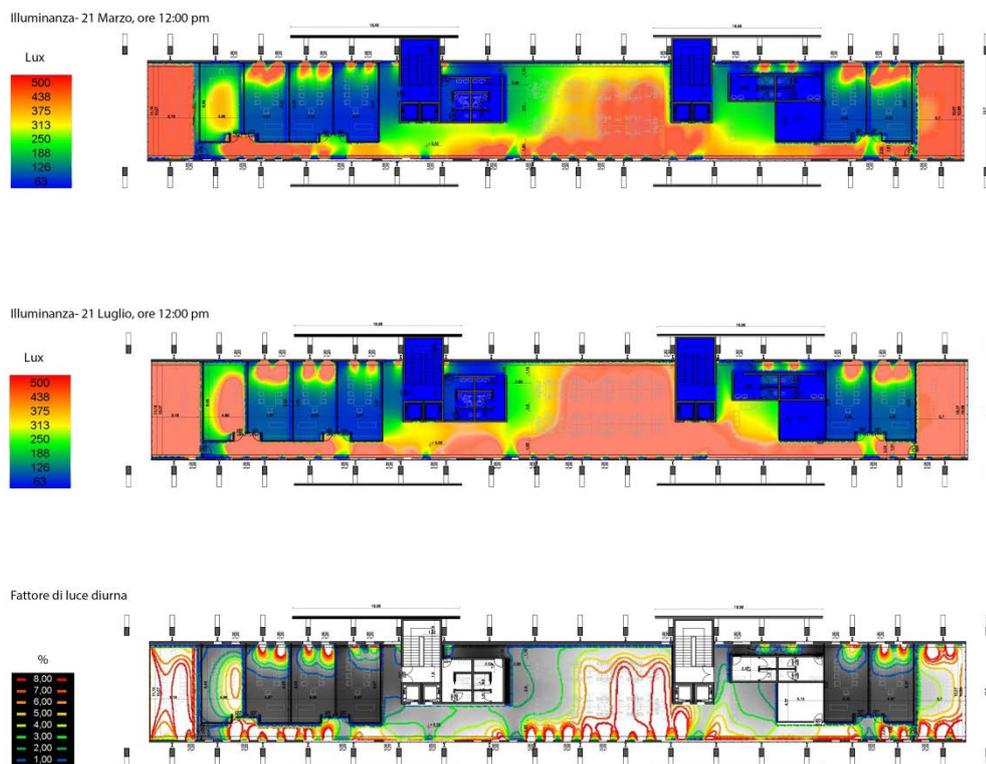


Figura 118 - Studio illuminotecnico dell'edificio Nord A del Cardo

6.3. Progetto antincendio

6.3.1. Introduzione

Il progetto antincendio ha come scopo l'adeguamento della struttura alle normative vigenti al fine di poter assicurare la piena sicurezza ai fruitori. La progettazione antincendio è un'attività integrata della progettazione degli edifici che interviene nel campo dell'architettura nonché quello dell'impiantistica, della struttura, delle scienze dei materiali, il cui scopo è di assicurare la salvaguardia e l'incolumità delle persone mediante il conseguimento dei seguenti obiettivi primari:

- la riduzione al minimo delle occasioni d'incendio;
- la stabilità delle strutture portanti per un tempo utile ad assicurare il soccorso agli occupanti;
- la limitata produzione di fuoco e fumi all'interno delle opere e la limitata propagazione del fuoco alle opere vicine;
- la possibilità che gli occupanti lascino gli edifici indenni o che gli stessi siano soccorsi in altro modo;
- la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

L'attività di prevenzione incendi è diventata, nel tempo, sempre più centrale nella definizione di un progetto edilizio, sia per la sua importanza in ordine alla sicurezza degli utilizzatori, sia perché intrinsecamente costituita da un insieme di aspetti interdisciplinari legati al raggiungimento degli obiettivi comuni di salvaguardia delle persone e delle squadre di soccorso e, in seconda istanza, alla salvaguardia delle cose. È quindi una procedura che, oltre alla sua obbligatorietà, diventa il riferimento continuo, sia in fase di progetto, che in fase di realizzazione per il coordinamento del progetto.

Gli aspetti toccati dalla prevenzione incendi sono tanti e tutti di grande importanza. A partire dalla resistenza al fuoco delle strutture fino ad arrivare all'efficienza delle separazioni tagliafuoco di compartimentazione. Sono coinvolte nel processo anche le finiture e persino gli arredi per il requisito della reazione al fuoco, ovvero per la caratteristica relativa al comportamento delle finiture nei confronti della rapidità di propagazione d'incendi. Ma l'aspetto principale della prevenzione incendi è quello che disciplina i criteri di progettazione del layout distributivo. Nella sua impostazione principale il progetto architettonico deve necessariamente individuare i limiti individuati dai sistemi delle vie di esodo, dalle dimensioni dei compartimenti, dalla collocazione delle destinazioni d'uso ai diversi piani.

Il rischio legato all'incendio viene espresso come il prodotto della frequenza dell'incendio (la probabilità dell'avvenimento dell'evento incendio), per la sua magnitudo (la valutazione dell'estensione e della gravità dei danni al verificarsi dell'evento incendio).

Nell'obiettivo di ridurre il rischio d'incendio si prendono misure di prevenzione che mirano alla riduzione della frequenza dell'incendio attraverso:

- _ realizzazione di impianti a regola d'arte;
- _ utilizzazione di materiali incombustibili;
- _ segnaletica di sicurezza;
- _ formazione del personale.

Le misure di protezione antincendio che puntano alla riduzione della magnitudo dell'incendio nel verificarsi dell'evento si dividono in misure passive e attive, a seconda della necessità o meno dell'intervento d'un operatore.

Fanno parte delle misure passive:

- _ impianti di estinzione;
- _ allarme antincendio;
- _ ventilazione ed evacuazione fumi.

Le misure attive riguardano invece:

- _ uscite di piano;
- _ vie d'esodo;
- _ distanze di percorso;
- _ accessibilità ai soccorsi;
- _ resistenza delle strutture;
- _ compartimentazione incendio;
- _ reazione al fuoco dei materiali.

Occorre ricordare che la sicurezza nei confronti del rischio incendio deve essere anche garantita per le persone che presentano disabilità o impedita o ridotta capacità motoria.

6.3.2. Identificazione delle attività generali e normative

Si identificano le attività soggette alle visite di prevenzione incendi, ai sensi del Decreto del Presidente della Repubblica del 1 agosto 2011, n° 151 (Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n° 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n°122). Tale Decreto individua le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e disciplina, per il deposito dei progetti, per le visite tecniche e per l'esame dei progetti, la verifica delle condizioni di sicurezza antincendio che, in base alla vigente normativa, sono attribuite alla competenza del Corpo nazionale dei vigili del fuoco.

Attività principali:

- attività n° 65: locali di spettacolo e di trattenimento in genere, impianti e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone, ovvero di superficie lorda in pianta al chiuso superiore a 200 m². Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico. Oltre 200 persone.
- attività n° 69: locali adibiti ad esposizione e/o vendita all'ingrosso o al dettaglio, fiere e quartieri fieristici, con superficie lorda superiore a 400 m² comprensiva dei servizi e depositi. Sono escluse le manifestazioni temporanee, di qualsiasi genere, che si effettuano in locali o luoghi aperti al pubblico.

Normativa generale vigente:

- D.M. 10 Marzo 2005: "Classi di reazione al fuoco per i prodotti da costruzione da impiegarsi nelle opere per le quali è prescritto il requisito della sicurezza in caso d'incendio".
- D.M. 09 Marzo 2007: "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco".
- Lettera Circolare del Ministero dell'Interno: "Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del CNVVF. Chiarimenti ed indirizzi applicativi".
- D.M. 16 Febbraio 2007: "Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere di costruzione".

6.3.3. Numero minimo di vie d'esodo

Vie d'esodo o uscite sono ritenute indipendenti quando sia minimizzata la probabilità che possano essere contemporaneamente rese indisponibili dagli effetti dell'incendio.

Si considerano indipendenti coppie di vie d'esodo o di uscite per le quali:

- l'angolo formato dai percorsi sia superiore a 45°;
- tra i percorsi esista separazione di adeguata resistenza al fuoco, come esemplificato nell'illustrazione 8-1.

Nella tabella seguente è riportato il numero minimo di:

- _ vie d'esodo indipendenti da ciascun compartimento;
- _ uscite indipendenti da ciascun piano, soppalco, locale.

Affollamento	Numero minimo
≤ 50 occupanti	1 [1]
≤ 500 occupanti	2
> 500 occupanti	3

[1] Sia comunque rispettata la massima lunghezza del *corridoio cieco* di cui al paragrafo 8.8.2

Figura 119 - Numero minimo di vie d'esodo

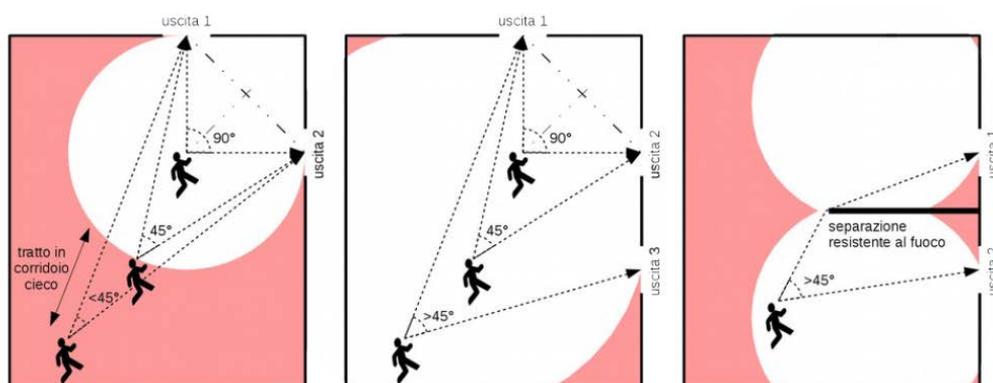


Figura 120 - Posizionamento ottimale delle uscite

6.3.4. Verifica antincendio

Le piante del cardo sono state pensate per essere estremamente sicure ed, in caso di emergenza, per facilitare la rapida evacuazione dei visitatori. Sono stati scelti inoltre, materiali con elevata resistenza al fuoco, per evitare la propagazione di incendi e ridurre al minimo i rischi da essi derivanti. Trattandosi di un'esposizione universale, si prevede un notevole e continuo afflusso di visitatori, per queste ragioni, è stata data grande importanza al posizionamento di blocchi scala di evacuazione REI 120. Sono stati inseriti in corrispondenza di quelli chiamati "blocchi tecnici", dei vani scala in acciaio zincato, di notevole dimensione, larghi 180 cm ossia tre moduli da 60 cm, corrispondente al modulo minimo per una scala di evacuazione che garantisce il deflusso di una fila di persone. In questo caso quindi, le scale presenti garantiscono la fuga di tre file di persone contemporanee.

Si è cercato inoltre di fare in modo che le vie di fuga non distino più di 30 m da ogni punto del primo piano. Ogni vano scala, oltre ad essere REI 120 e quindi estremamente resistente al fuoco, sbocca direttamente all'esterno in modo da far trovare all'istante le persone in un luogo sicuro e libero da fumi.

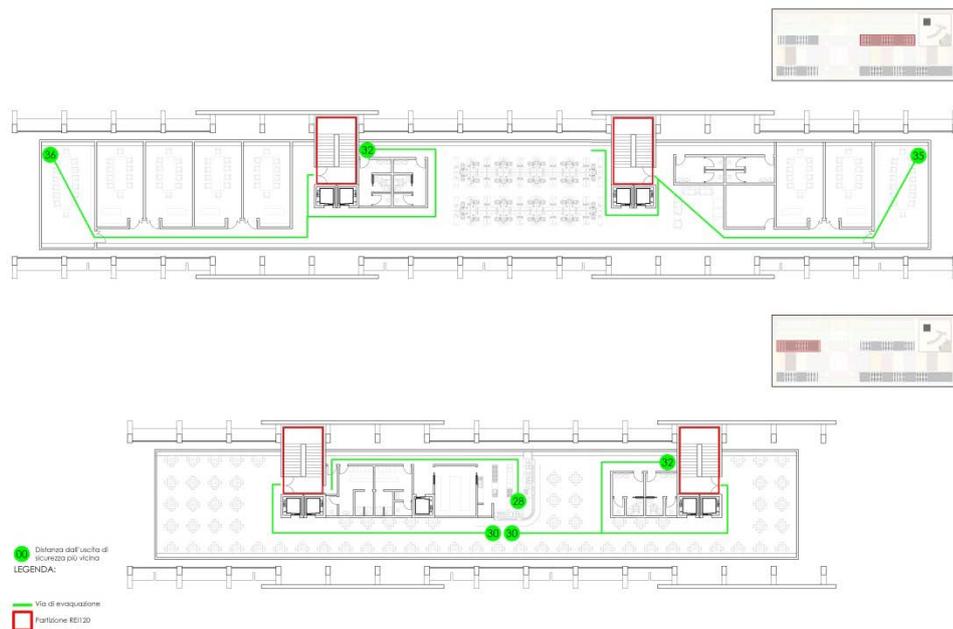


Figura 121 - Estratti di verifiche antincendio per i tratti Nord A e Sud A del Cardo

CAPITOLO 7

Il progetto strutturale

7.1. Premesse

7.1.1. Descrizione strutturale

A questo punto la morfologia architettonica degli edifici del cardo risulta abbastanza chiara; si vuole ora concentrare l'attenzione sulla struttura portante che sostiene l'intero spazio progettato.

Come già ampiamente specificato, uno dei punti di forza dell'intero complesso è la realizzazione di un unico piano chiuso ermeticamente, quello superiore, che consente un notevole risparmio economico dato, come verrà dimostrato in seguito, dalla minore volumetria da climatizzare. Le difficoltà principali di questa scelta ricadono necessariamente sul progetto strutturale; difficoltà che si accentuano ulteriormente a causa dell'evento di cui andrà a far parte la costruzione: un'esposizione mondiale come quella in questione richiede infatti, da parte degli edificati che ne fanno parte, un pregevole impatto visivo. La scelta di non nascondere, ma anzi, di esaltare gli elementi strutturali è una conseguenza del discorso appena fatto, dal momento che sono proprio questi a conferire un ulteriore prestigio al complesso.

La struttura portante del Cardo è completamente suddivisibile in moduli, sempre per le ragioni sin qui specificate; il prevalente sviluppo longitudinale imposto dal bando di concorso è stato sfruttato per ottenere una modularità che risponde perfettamente alle espresse esigenze di economicità (la riduzione della varietà degli elementi da utilizzare è indubbiamente un vantaggio) e conseguente facilità e rapidità di posa (assemblare volta per volta porzioni sempre identiche risulta molto più rapido e riduce il rischio di errori nella messa in opera).

Si descrive ora il modulo tipo, lungo 5 metri e largo quanto l'edificio che andrà a comporre mediante l'accostamento longitudinale degli stessi, vale a dire 17,3 metri. Il bulbo che racchiude il piano superiore ha una struttura completamente in acciaio, la parte che sostiene il solaio è costituita da travi secondarie che corrono longitudinalmente e scaricano il peso sulle travi principali, il cui sviluppo trasversale incontra alle due estremità le travi calandrate, sempre in acciaio.

Queste ultime sostengono tutto il peso del bulbo e lo trasmettono agli archi esterni che scaricano a terra. Le travi calandrate hanno una forma che deriva da quella degli archi appena citati, per estendere e sfruttare lo spazio interno il più possibile.

Gli archi sono costituiti da conci di calcestruzzo post-compresso di geometria determinata, che vengono assemblati e impilati secondo uno schema preciso (descritto successivamente) per formare il prodotto finale. Le arcate sono ispirate alla catenaria, la forma particolare che ricorda un arco e permette lo scarico a terra dei carichi mediante la trasmissione di sforzi esclusivamente di compressione, sfruttando quindi le risorse del materiale sottoposto unicamente a tale sollecitazione. Questa particolare geometria consente un risparmio notevole di materiale in cambio di un'attenta progettazione geometrica.

Lo studio effettuato per ricercare questa curvatura ha dato esito negativo, in quanto la forma ottenuta era troppo acuta per permettere la realizzazione di uno spazio interno che rispondesse ai requisiti del bando di concorso. Si è comunque tentato di

raggiungere un buon compromesso tale da sfruttare al massimo la resistenza a compressione del calcestruzzo. Dai calcoli effettuati si osserverà come, in ogni caso, sia stata prevista una post-compressione mediante cavi per ottenere il risultato desiderato.

3 sono i nodi che consentono la connessione delle due strutture appena descritte, 1 in corrispondenza della chiave dell'arco e 2 laterali, in posizione speculare l'un con l'altro. Si tratta di nodi a cerniera se osservati nel piano forte dell'arco, ovvero nel piano su cui si adagiano i due vertici a terra e la chiave, si comportano invece come incastri se considerati nel piano ortogonale al precedente.

Al di sopra di questi moduli si alternano coperture fisse in lamiera e teli mobili; per le parti fisse è stata prevista una struttura, modulare anch'essa, calcolata in modo da supportare senza problemi l'innesto di eventuali pannelli solari posizionabili in sede post-expo; essa è praticamente identica a quella appena descritta per quanto riguarda la parte piana, che viene in questo caso sostenuta da pilastri che scaricano alla base degli archi sopra descritti. Questi pilastri fungono anche da montanti per la struttura di sostegno delle facciate cinetiche.

Le uniche parti in aggiunta a quelle indicate si riferiscono ai vani scala e ai vani ascensore, abbinati ai sostegni degli spigoli per i locali adibiti a contenere gli impianti. Sempre in acciaio, queste strutture a telaio si ripetono in maniera identica in corrispondenza degli elementi da sostenere, anch'essi tutti uguali tra loro.



Figura 122 - Immagine tridimensionale di un modulo strutturale

7.1.2. Problematiche specifiche

Risulta chiaro dalla descrizione come l'edificio in questione risulti molto particolare per quanto concerne il modo di sostenersi, infatti si tratta essenzialmente di una struttura in acciaio prismatica appesa ad un porticato costituito da arcate in conci di calcestruzzo post-compresso. Si tratta quindi di affrontare problematiche che esulano essenzialmente dai progetti comunemente analizzati.

Complesse sono in particolar modo le verifiche sugli elementi costituenti gli archi portanti, i conci, soggetti a carichi differenti l'uno rispetto all'adiacente e che, in taluni casi, presentano stati di sforzo triassiali.

Altra difficoltà si riscontra nell'utilizzo di un meccanismo di post-compressione che non può essere studiato secondo un ottimizzato percorso dei cavi, data la natura dei conci e la loro modalità di messa in opera, ma va quindi assunto come coincidente con la linea media di ciascun concio di calcestruzzo.

Lo studio delle connessioni, inoltre, porta ad escogitare metodi particolari per realizzare cerniere laddove il progetto lo richieda, alle volte unendo parti geometricamente molto diverse all'interfaccia.

Altro esempio è offerto dal comportamento dell'edificio sottoposto a sollecitazioni orizzontali, realizzare dei controventi che non intacchino la pulizia del prospetto risulta essere estremamente difficile, perciò va considerata l'idea di studiare un bulbo abbastanza rigido da trasmettere il carico in modo quasi perfetto a tutte le arcate.



Figura 123 - Connessione tra le due strutture, in acciaio e calcestruzzo

7.2. Azioni sulla costruzione

7.2.1. Analisi dei carichi permanenti

Si riportano di seguito, a titolo esemplificativo, le tabelle riassuntive utilizzate nei calcoli. Le dimensioni indicate (aree e lunghezze) sono relative solamente alla porzione di Cardo Nord B, per non appesantire la trattazione.

P.O.2A					
strati	[m ³ /m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pavimentazione in laminato		0,007		6	0,06
barriera al vapore in polietilene		0,0002	940	0,188	0,00188
pannello OSB		0,0125	550	6,875	0,06875
pannello OSB		0,0125	550	6,875	0,06875
listelli di legno di abete grezzo (0,04x0,04 m), 1 ogni 50 cm	0,0032	0,04	450	1,44	0,0144
polistirene espanso con grafite		0,3	20	6	0,06
travetti in LVL (0,05x0,3 m), 1 ogni 60 cm	0,03	0,3	481	14,43	0,1443
carico nominale totale [kN/m ²]					0,41808
Area [m ²]					1342,23

Figura 124 - Carico del solaio al primo piano

P.O.2B					
strati	[m ³ /m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
lamiera grecata in acciaio		0,0008		2,7	0,027
isolamento in lana di kenaf		0,08	30	2,4	0,024
pannelli rigidi in lana di roccia		0,02		2,4	0,024
carico nominale totale [kN/m ²]					0,075
Area [m ²]					371,55

Figura 125 - Carico della copertura di vano scala, ascensore e locale impianti

P.V.1A					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli in lana di legno		0,035		19,5	0,195
profili a C in acciaio zincato, 1 ogni 60 cm	1,67	0,1		0,9185	0,009185
profili a U in acciaio zincato, 2 per parete	0,74	0,1		0,53333	0,00533
isolamento in lana di kenaf		0,08	30	2,4	0,024
barriera al vapore in polietilene		0,0002	940	0,188	0,00188
pannelli in lana di legno		0,035		19,5	0,195
carico nominale totale [kN/m ²]					0,43040
altezza parete [m]					2,7
carico per unità di lunghezza [kN/m]					1,16208
lunghezza parete [m]					289,86

Figura 126 - Carico delle pareti tagliafuoco di vano scala e locale impianti

P.V.2B					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli Yekpan in cartone riciclato		0,015	917	13,755	0,13755
pannelli Ecopanel in paglia e cartone riciclato		0,06	379	22,74	0,2274
profili a U in acciaio zincato, 2 per pannello	0,67	0,06		0,32000	0,00320
pannelli Yekpan in cartone riciclato		0,015	917	13,755	0,13755
carico nominale totale [kN/m ²]					0,5057
altezza parete [m]					3
carico per unità di lunghezza [kN/m]					1,5171
lunghezza parete [m]					122,83

Figura 127 - Carico delle pareti divisorie semplici

P.V.2A					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli Yekpan in cartone riciclato		0,015	917	13,755	0,13755
barriera al vapore in polietilene		0,0002	940	0,188	0,00188
pannelli Ecopanel in paglia e cartone riciclato		0,06	379	22,74	0,2274
profili a U in acciaio zincato, 2 per pannello	0,67	0,06		0,32000	0,00320
profili a U in acciaio zincato, 2 per pannello	0,67	0,06		0,32000	0,00320
pannelli Ecopanel in paglia e cartone riciclato		0,06	379	22,74	0,2274
pannelli Yekpan in cartone riciclato		0,015	917	13,755	0,13755
carico nominale totale [kN/m ²]					0,73818
altezza parete [m]					3
carico per unità di lunghezza [kN/m]					2,21454
lunghezza parete [m]					59,06

Figura 128 - Carico delle pareti dei bagni

C.C.2					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli sandwich curvi con polistirene espanso		0,14		7,5	0,075
carico nominale totale [kN/m ²]					0,075
altezza parete [m]					8,75
carico per unità di lunghezza [kN/m]					0,65625
lunghezza parete [m]					166

Figura 129 - Carico del rivestimento in pannelli sandwich a curvatura variabile

C.C.3					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli in policarbonato alveolare		0,016		2,5	0,025
carico nominale totale [kN/m ²]					0,025
altezza parete [m]					8,75
carico per unità di lunghezza [kN/m]					0,21875
lunghezza parete [m]					166

Figura 130 - Carico del rivestimento in lastre curve di policarbonato

R.R.1					
strati	[n°/m ²]	spessore [m]	densità ρ [kg/m ³]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
piastre forate in alluminio	24,267	0,001		1,1793762	0,011793762
scatolari a sezione quadrata	4			5,64	0,0564
tasselli di sostegno alla lamiera (2 per foglio)	44			0,418	0,00418
carico nominale totale [kN/m ²]					0,072373762
altezza parete [m]					8
carico per unità di lunghezza [kN/m]					0,578990096
lunghezza parete [m]					199,48

Figura 131 - Carico della facciata cinetica esterna al bulbo

C.O.2				
strati	in pianta [m ² /pannello]	[kg/pannello]	peso nominale [kg/m ²]	carico nominale [kN/m ²]
pannelli solari	1,91418	18,6	9,716954518	0,097169545
tubolare in acciaio (0,05x0,005x0,002 m)	1,91418	8,58452	4,484698409	0,044846984
lamiera (1,35x1,046x0,002 m)	1,91418	22,02876	11,50819672	0,115081967
carico nominale totale [kN/m ²]				0,257098496
Area [m ²]				1634,09

Figura 132 - Carico della copertura piana con installazione di pannelli solari

Per dimensionare i travetti in legno LVL si è fatto riferimento alle tabelle e agli schemi statici proposti dai produttori, scegliendo infine delle sezioni che permettessero una facile messa in opera del solaio per come è stato pensato (blocchi di polistirene uniti ai travetti).

Per gli elementi divisorii interni si valuta il peso secondo una convenzione espressa in normativa e riportata qui di seguito; essa restituisce un carico uniformemente distribuito per unità di superficie a fronte di un carico uniformemente distribuito linearmente come dato di input, questo a condizione che i carichi per unità di lunghezza trovati siano sottoposti ad un'adeguata ripartizione sul solaio cui sono ancorati.

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

Figura 133 - Sovraccarichi per unità di superficie

7.2.2. Analisi dei carichi variabili

Il carico da neve si calcola tramite la formula:

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

Dove:

- q_s = carico sulla copertura [kN/m²];
- μ_j = coefficiente di forma;
- q_{sk} = valore caratteristico di riferimento del carico da neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni e dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose sul territorio [kN/m²];
- C_E = coefficiente di esposizione;
- C_t = è il coefficiente termico che considera lo scioglimento della neve e il rispettivo abbattimento del carico; tale coefficiente si basa sull'isolamento termico che fornisce la copertura e in mancanza di dati più certi è posto unitario.

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

Figura 134 - Coefficiente di forma

Zona I – Mediterranea

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad (3.3.9)$$

$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

32

Figura 135 - Valori di q_{sk}

Per Milano si utilizza la prima espressione dato che il comune è situato circa a 175 metri s.l.m.

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

Figura 136 - Valori del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia

Il carico da neve è stato perciò posto pari a 1,2 kN/m².

Ora vengono valutati i sovraccarichi dovuti alla destinazione d'uso degli ambienti tramite le indicazioni della N.T.C. 2008.

Cat.	Ambienti	q _k [kN/m ²]	Q _k [kN]	H _k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

Figura 137 - Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici

I carichi evidenziati si riferiscono alle diverse tipologie di ambienti e destinazioni d'uso presenti nell'edificio, essi vanno perciò valutati volta per volta per scegliere quello che più rappresenta il caso reale.

7.2.3. Combinazioni di carico

Per predimensionare e successivamente verificare le strutture non vanno semplicemente applicati i carichi derivanti dalle analisi appena condotte, sono invece necessarie determinate combinazioni che vanno a maggiorare gli effetti dell'uno o dell'altro contributo, a seconda del caso che si vuole modellare.

Si riporta di seguito un estratto della normativa N.T.C. 2008 che definisce chiaramente le tipologie di combinazioni:

<p>Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.</p>	
<p>– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):</p>	$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$
<p>– Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:</p>	$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$
<p>– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:</p>	$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$
<p>– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:</p>	$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$
<p>– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):</p>	$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$
<p>– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):</p>	$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$
<p>Nelle combinazioni per SLE, si intende che vengono omessi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2.</p>	

Figura 138 - Differenti combinazioni di carico

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 139 - Valori dei coefficienti di combinazione

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 140 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

Dove il significato dei simboli è:

- γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;
- γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_{Q1} = coefficiente parziale delle azioni variabili;

I coefficienti utilizzati nei calcoli sono chiaramente quelli sfavorevoli.

7.2.4. 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 in termini di 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 P_{VR} , nel periodo di riferimento VR.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Si è scelto di indagare lo stato limite di salvaguardia della vita, SLV: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Nella tabella seguente si desume la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l’azione sismica agente:

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

Figura 141 - Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

Si sceglie ora la vita nominale V_N di un’opera strutturale, 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.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Figura 142 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il coefficiente d'uso si ricava in base alla classe d'uso.

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

Figura 143 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Figura 144 - Classi d'uso degli edifici

A questo punto si ricerca il periodo di ritorno dell'evento sismico, attraverso l'espressione:

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

I cui termini sono stati definiti in precedenza.

In base alle coordinate del sito e al periodo di ritorno, si possono ricavare, mediante tabelle allegate alla normativa, i valori di a_g , F_o e T_c^* .

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, nel caso in esame la categoria C:

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

Figura 145 - Categorie di sottosuolo

Nonché di una condizione topografica T1, secondo la seguente classificazione:

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

Figura 146 - Categorie topografiche

L'obiettivo è rappresentare graficamente lo spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali. Le condizioni al contorno definite in precedenza consentono di sfruttare la normativa, rappresentando quindi lo spettro di risposta come una funzione definita a tratti:

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

Figura 147 - Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Nelle espressioni riportate, T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale. Per quanto riguarda gli altri parametri non ancora definiti:

- S = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_s \cdot S_T$, i cui valori si ricavano dalle tabelle riportate in seguito;
- η = fattore che altera lo spettro per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione $\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55$; dove ξ (espresso in percentuale) viene valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- T_C = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_C \cdot T^*_C$, i cui valori si ricavano dalle tabelle riportate in seguito;
- T_B = periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro, dato da $T_B = T_C/3$;
- T_D = periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso mediante la relazione $T_D = 4,0 \cdot a_g/g + 1,6$.

Di seguito i coefficienti di amplificazione stratigrafica (S_s e C_C) e quello di amplificazione topografica (S_T):

Categoria sottosuolo	S_s	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Figura 148 - Espressioni di S_s e C_C

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

Figura 149 - Espressioni di S_T

Si sta ora indagando lo stato limite di salvaguardia della vita, cioè uno stato limite ultimo; per fare verifiche in queste condizioni occorre considerare le capacità dissipative della struttura attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovreresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. Lo spettro di progetto $S_d(T)$ si ottiene quindi riducendo le ordinate attraverso la sostituzione di η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. Tale valore dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Si assume comunque $S_d(T) \geq 0,2 a_g$.

La costruzione in esame presenta caratteristiche che rendono estremamente complessa la valutazione di q , pertanto si sceglie cautelativamente di assumere il fattore di struttura come unitario.

A questo punto si procede con l'analisi lineare statica, che consiste nell'applicazione di forze statiche equivalenti alle forze di inerzia indotte dall'azione sismica. Essa può essere effettuata a condizione che il periodo del modo di vibrare principale nella direzione in esame (T_1) non superi $2,5 T_c$ o T_D e che la costruzione sia regolare in altezza. Per costruzioni civili o industriali che non superino i 40 m di altezza e la cui massa sia approssimativamente uniformemente distribuita lungo l'altezza, T_1 può essere stimato utilizzando la formula seguente:

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

Dove H è l'altezza della costruzione in [m] e C_1 vale 0,085 per costruzioni con struttura a telaio in acciaio, 0,075 per costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato e 0,05 per costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura.

Si ricava quindi dallo spettro di progetto il valore corrispondente di accelerazione al piede $S_d(T_1)$.

Attraverso la combinazione di carico sismica si stima il peso dei vari elementi della costruzione, che trasforma l'accelerazione in forza sismica, mediante la formula che segue il secondo principio della dinamica:

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

Dove:

- _ F_h = forza sismica orizzontale [kN];
- _ $S_d(T_1)$ = ordinata dello spettro sismico di progetto [g];
- _ W = peso complessivo della costruzione [kN];
- _ λ = coefficiente pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T_1 < 2T_c$, pari a 1 in tutti gli altri casi;
- _ g = accelerazione di gravità.

Come specificato in precedenza, l'edificio è costituito da 2 strutture distinte rigidamente interconnesse, perciò esse oscilleranno con la stessa accelerazione, ma avranno un'inerzia differente all'istante finale dell'oscillazione, a causa della diversa massa di cui si fanno carico. Pertanto nella modellazione e nelle verifiche analitiche,

al fine di indagare il caso peggiore possibile, si applicano due forze distinte che sollecitano arco in cls e bulbo in acciaio. Queste azioni vengono applicate cautelativamente nei punti che creano le condizioni più gravose alle quali possono essere sottoposti gli elementi dell'intera struttura, cioè alla base del bulbo e alla chiave dell'arco.

Il carico orizzontale derivante dall'azione sismica viene applicato indistintamente in entrambe le direzioni lungo le quali si sviluppa l'edificio; inoltre, essendo esso costituito interamente da moduli uguali, è possibile semplificare i calcoli indagando gli effetti sul singolo modulo, sottoposto ad un'adeguata forza.

Si riportano di seguito il foglio di calcolo utilizzato per determinare i carichi sismici.

DATI INIZIALI				
vita nominale	$V_N =$		50	[anni]
coefficiente d'uso	$C_U =$		1	[/]
periodo di riferimento	$V_R =$		50	[anni]
altezza edificio	$H =$		12,8	[m]
stato limite ultimo SLV	$P_{VR} =$		10%	[/]
periodo di ritorno	$T_R =$		474,561	[anni]
parametri in base alle coordinate e al periodo di ritorno	$a_g =$		0,439	[g]
	$F_o =$		2,68	[/]
	$T_C^* =$		0,28	[s]
terreno in categoria C				
categoria topografica T1				

SPETTRO ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI				
limite dei tratti	$T_B =$		0,149	[s]
	$T_C =$		0,447	[s]
	$T_D =$		1,779	[s]
coefficiente	$S =$		1,500	[/]
fattore viscoso	$\eta =$		1,000	[/]
fattore di struttura	$q =$		1,000	[/]



periodo proprio	$T_1 =$		0,3383588	[s]
accelerazione al piede	$S_d(T_1) =$		1,76478	[g]

ricalcolo dei carichi in combinazione SLV				
carichi considerati	archi in cls		4131,972	[kN]
	travi calandrate HEA 280		175,264479	[kN]
	travi principali IPE 500		117,031934	[kN]
	travi secondarie IPE 220		83,53215	[kN]
	solaio		275,09664	[kN]
	pareti		80,609256	[kN]
	pilastri HEB 160		48,29706	[kN]
	travi primarie IPE 300		50,2656	[kN]
	travi secondarie IPE 160		44,156	[kN]
affollamento		1887	[kN]	

azione sismica (agente su tutto il Cardo Sud A)				
combinazione sismica	$W = G_1 + G_2 + \gamma_{2i} \cdot Q_1 =$	6138425,12 [N]	6138,42512	[kN]
punto di applicazione	$h = 2H/3 =$		8,53333333	[m]
accelerazione al piede	$S_d(T_1) =$		1,76478	[g]
coefficiente	$\lambda =$		1	[/]
accelerazione di gravità	$g =$		9,81	[m/s ²]
Forza orizzontale	$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g =$	1104278,28 [N]	1104,27828	[kN]

azione sismica sul bulbo in acciaio (agente su un unico modulo)				
combinazione sismica	$W = G_1 + G_2 + \gamma_{2i} \cdot Q_1 =$	1863734,46 [N]	1863,73446	[kN]
punto di applicazione	$h =$		4,93	[m]
accelerazione al piede	$S_d(T_1) =$		1,76478	[g]
coefficiente	$\lambda =$		1	[/]
accelerazione di gravità	$g =$		9,81	[m/s ²]
numero di moduli	$n =$		13	[/]
Forza orizzontale	$F_h = (S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g) / n =$	25790,6477 [N]	25,7906477	[kN]

azione sismica sugli archi in cls (agente su un unico modulo)				
combinazione sismica	$W = G_1 + G_2 + \gamma_{2i} \cdot Q_1 =$	4274690,66 [N]	4274,69066	[kN]
punto di applicazione	$h =$		11,2	[m]
accelerazione al piede	$S_d(T_1) =$		1,76478	[g]
coefficiente	$\lambda =$		1	[/]
accelerazione di gravità	$g =$		9,81	[m/s ²]
numero di moduli	$n =$		13	[/]
Forza orizzontale	$F_h = (S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g) / n =$	59153,835 [N]	59,153835	[kN]

7.2.5. 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.

La velocità di riferimento v_b corrisponde al valore tabellato di $v_{b,0}$ qualora l'altitudine sul livello del mare del sito progettuale sia inferiore od uguale al valore di a_0 corrispondente alla zona di riferimento dove sorge la costruzione.

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,010
2	Emilia Romagna	25	750	0,015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,020
7	Liguria	28	1000	0,015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,020

Figura 150 - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_s a seconda della zona

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

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b \cdot C_e \cdot C_p \cdot C_d$$

Dove:

- p = pressione del vento [N/m²];
- q_b = pressione cinetica di riferimento [N/m²];
- C_e = coefficiente di esposizione;
- C_p = coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;
- C_d = coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

La pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

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

Dove:

- _ ρ = densità dell'aria, pari a 1,25 [kg/m³];
- _ v_b = velocità di riferimento del vento [m/s].

Il coefficiente di esposizione 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 dalle formule seguenti:

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

Dove:

- _ k_r, z_0, z_{min} sono valori assegnati nella tabella seguente;
- _ c_t = coefficiente di topografia, posto generalmente uguale a 1.

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

Figura 151 - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Infine il coefficiente dinamico c_d tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali.

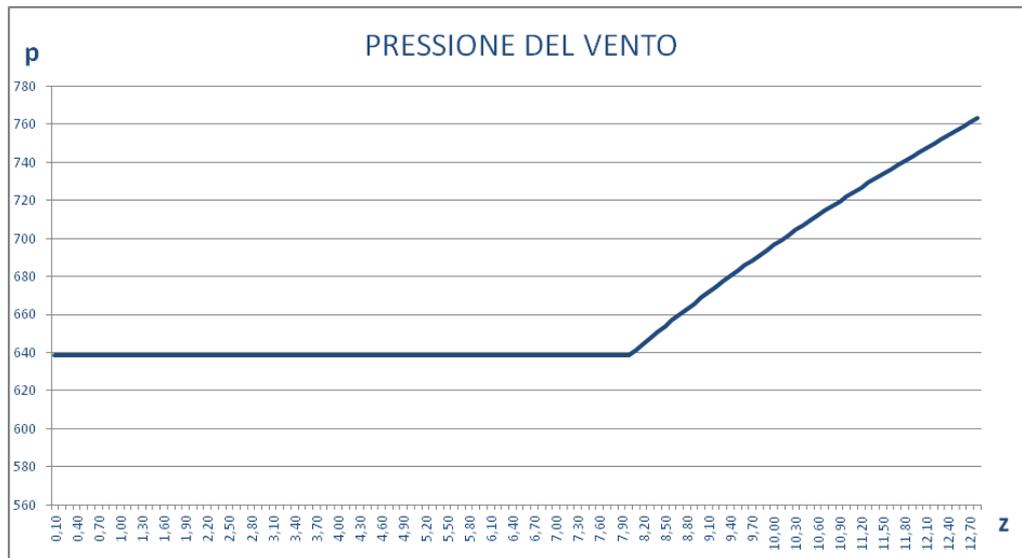
Trovate le pressioni variabili con l'altezza, si calcolano le superfici di edificio al fine di ottenere i carichi del vento nelle due direzioni principali in cui l'edificio offre una resistenza. Sul lato lungo va necessariamente fatta una distinzione, in quanto la

presenza a tratti di facciate cinetiche modifica l'azione del vento sull'edificio grazie alla loro capacità di dissiparne in parte l'energia.

Si riporta di seguito il foglio di calcolo utilizzato per valutare i carichi del vento.

DATI INIZIALI			
zona di inserimento		Zona 1	
velocità di riferimento	$v_B =$	25	[m/s]
densità dell'aria	$\rho =$	1,25	[kg/m ³]
pressione cinetica di riferimento	$q_b = 1/2 * \rho * v_b^2 =$	390,63	[N/m ²]
categoria di esposizione IV	$K_r =$	0,22	
	$z_0 =$	0,3	[m]
	$z_{min} =$	8	[m]
coefficiente topografico	$c_t =$	1	
coefficiente di forma	$c_p =$	1	
coefficiente dinamico	$c_d =$	1	

PRESSIONE DEL VENTO			
coefficiente di esposizione	$c_e(z) = K_r^2 * c_t * \ln(z/z_0) * [7 + c_t * \ln(z/z_0)]$	per	$z \geq z_{min}$
	$c_e(z) = c_e(z_{min})$	per	$z < z_{min}$
pressione del vento	$p = q_b * c_e * c_p * c_d =$	variabile con l'altezza	[N/m ²]



vento in direzione x (agente su tutto il Cardo Sud B)			
superfici di competenza	$A_x (z < 8) =$	49,69	[m ²]
	$A_x (z \geq 8) =$	50,87	[m ²]
Forza orizzontale x	$F_x = A_x * p =$	70538,974	[N] 70,539 [kN]

vento in direzione y (agente su tutto il Cardo Sud B)				
vento intercettato solo dal cilindro	Ay1 (z<8) =		293,26	[m ²]
	Ay1a (z≥8) =		49,35	[m ²]
	Ay1b (z≥8) =		131,57	[m ²]
vento intercettato anche dalle facciate cinetiche	Ay2 (z<8) =		317,9	[m ²]
	Ay2a (z≥8) =		151,81	[m ²]
	Ay2b (z≥8) =		131,57	[m ²]
Forza orizzontale y1	Fy1 = Ay1 * p =	316829,046 [N]	316,829	[kN]
Forza orizzontale y2	FY2 = Ay2 * p =	413770,264 [N]	413,770	[kN]

7.2.6. Conclusioni

Come appena osservato, i carichi sopportati dalla struttura sono divisi in diverse categorie:

- _ carichi permanenti strutturali;
- _ carichi permanenti non strutturali;
- _ carichi da precompressione;
- _ carichi accidentali;
- _ azioni eccezionali.

Dopo aver ottenuto i valori sopra descritti, le combinazioni di carico restituiscono volta per volta le azioni con cui verificare le strutture, in base alle condizioni al contorno che si vogliono indagare.

Il carico da neve è stato calcolato e utilizzato nelle combinazioni, ove previsto, in funzione del fatto che dopo l'esposizione mondiale gli edifici del Cardo verranno smantellati e ricollocati in nuovi siti. Identico è il motivo per cui il carico dei pannelli solari entra a far parte delle azioni per cui dimensionare la struttura, nonostante questi non siano presenti nel progetto presentato in questa sede.

I carichi da precompressione sono stati omessi fino a questo punto, ma verranno calcolati successivamente, qualora se ne presentasse la necessità.

Dai calcoli effettuati sulle azioni eccezionali, si nota immediatamente come l'azione orizzontale causata dal sisma prevalga di gran lunga su quella del vento. Pertanto l'azione sismica verrà assunta come dato di input per il dimensionamento e la verifica della struttura in esame. I carichi del vento non verranno dunque più considerati durante la trattazione.

7.3. Dimensionamento e verifiche

7.3.1. Copertura piana

La copertura piana del Cardo si presenta ad intervalli regolari, essa infatti non copre interamente gli edifici in questione, ma sfrutta i pilastri che sorreggono la facciata cinetica (situata sempre in corrispondenza della copertura che si sta indagando) per appoggiarsi lateralmente e trasferire il carico alla base degli archi portanti. Il modulo tipo della copertura piana è quindi costituito da 7 travi secondarie che scaricano sulle 2 principali posizionate trasversalmente, ognuna di queste è divisa in 2 parti, in corrispondenza della trave secondaria centrale, per motivi di trasportabilità.

Come accennato in precedenza si è previsto, per la copertura, di adottare un sistema che possa sostenere senza problemi un successivo innesto di pannelli solari, in alternativa alle lamiere per ora presenti. Pertanto la maglia portante deve essere progettata sulla base di carichi più gravosi rispetto a quelli attualmente agenti.

Dopo aver valutato i carichi derivanti dalla copertura si procede direttamente al predimensionamento delle travi secondarie, il cui schema statico è quello di una trave semplicemente appoggiata con un carico uniformemente distribuito applicato.

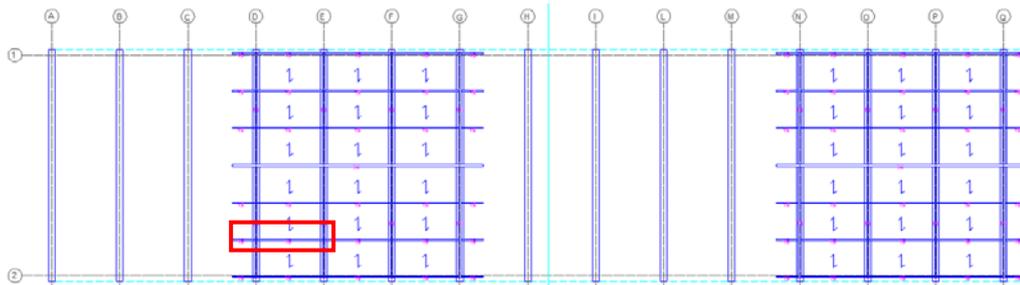


Figura 152 - Indicazione di una delle travi secondarie di copertura, di seguito analizzate

TRAVI SECONDARIE

DATI INIZIALI					
lunghezza trave	L =			5	[m]
interasse travi	i =			2,78	[m]
modulo elastico	E =	210000	[Mpa]	210000000	[kN/m ²]
carichi permanenti	G ₁ (strutturali) =	0,04484698	[kN/m ²]	0,12467462	[kN/m]
	G ₂ (non strutturali) =	0,21225151	[kN/m ²]	0,5900592	[kN/m]
carichi variabili	Q ₁ (neve) =	1,2	[kN/m ²]	3,336	[kN/m]
PREDIMENSIONAMENTO					
combinazione SLE rara	q = G ₁ +G ₂ +Q ₁ =			4,05073382	[kN/m]
predim. alla freccia	f = L/250 =			0,02	[m]
freccia reale	f = 5/384 * qL ⁴ /(EI)				
inerzia necessaria	I = 250*(5/384 * qL ⁴)/(L*E) =	7,8488E-06	[m ⁴]	784,87991	[cm ⁴]

scelta del profilo	IPE 160				
peso proprio	$P =$	15,77	[kg/m]	0,1577	[kN/m]
momento d'inerzia	$I_x =$	869,29	[cm ⁴]	8,6929E-06	[m ⁴]
modulo resistente elastico	$W_{el,x} =$	108,66	[cm ³]	0,00010866	[m ³]
modulo resistente plastico	$W_{pl,x} =$	123,86	[cm ³]	123860	[mm ³]

tipo di acciaio	S 235				
	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]		

Con la combinazione di carico SLE rara si stima la freccia reale mantenendo incognito il momento d'inerzia, che si ottiene in un secondo momento confrontando l'espressione ottenuta con il limite ammissibile di freccia (L/250).

Dal momento d'inerzia necessario si sceglie quindi il profilo della trave.

Il tipo di acciaio invece è stato scelto secondo criteri economici.

Seguono quindi le verifiche in esercizio e a rottura:

VERIFICHE					
verifica alla freccia (SLE)					
ridefinisco G_1	$G_1 = G_1(\text{tubolari}) + P(\text{trave}) =$			0,28237462	[kN/m]
combinazione rara	$q = G_1 + G_2 + Q_1 =$			4,20843382	[kN/m]
reazioni vincolari agli estremi	$V_a = V_b = q \cdot L / 2 =$			10,5210846	[kN]
freccia limite	$f = L / 250 =$			0,02	[m]
freccia massima	$f = 5 / 384 \cdot q L^4 / (EI) =$			0,01876097	[m]

verifica alla flessione monoassiale (SLU)					
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
fattori di sicurezza parziali	$\gamma_{G1} =$			1,3	
	$\gamma_{G2} =$			1,5	
	$\gamma_{Q1} =$			1,5	
combinazione fondamentale	$q = \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_{Q1} \cdot Q_1 =$			6,25617581	[kN/m]
reazioni vincolari agli estremi	$V_a = V_b = q \cdot L / 2 =$			15,6404395	[kN]
momento resistente	$M_{rd} = W_{pl} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			27721047,6	[N*mm]
momento agente	$M_{ed} = q L^2 / 8 =$	19,5505494	[kN*m]	19550549,4	[N*mm]

Al carico stimato inizialmente va aggiunto il peso proprio della trave appena dimensionata, in modo da verificare nuovamente la freccia in esercizio.

Mediante la combinazione di carico SLU fondamentale si indaga invece la flessione monoassiale. Valutando il momento massimo agente e confrontandolo con quello resistente (ottenuto grazie al modulo plastico resistente del profilo scelto e alla tensione di snervamento caratteristica dell'acciaio), si soddisfa la verifica.

In maniera quasi analoga si procede al dimensionamento delle travi principali, fatta eccezione per lo schema di carico che devono sopportare. Esse sono infatti travi in appoggio caricate ai nodi e con due carichi concentrati in campata ad uguale distanza; si tratta quindi di un caso di flessione in 4 punti.

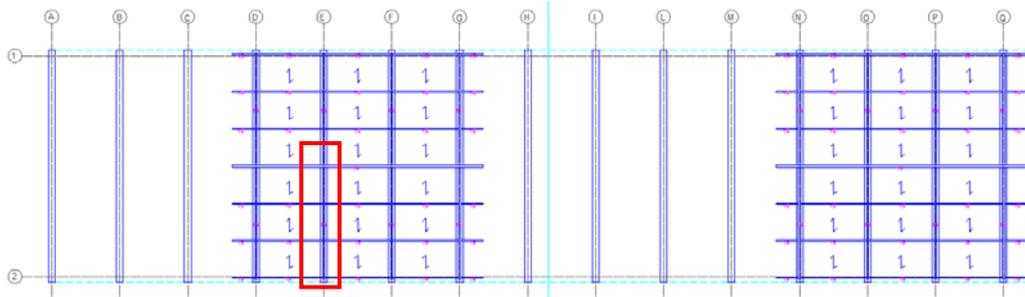


Figura 153 - Indicazione di una delle travi primarie di copertura, di seguito analizzate

TRAVI PRIMARIE

DATI INIZIALI					
lunghezza trave	L =			8,35	[m]
distanza dall'appoggio	b =			2,78	[m]
interasse travi	i =			5	[m]
modulo elastico	E =	210000	[Mpa]	210000000	[kN/m ²]

PREDIMENSIONAMENTO					
carichi concentrati in b	$V_b =$			21,0421691	[kN]
predim. alla freccia	$f = L/250 =$			0,0334	[m]
freccia reale	$f = ((V_b * b) / 24EI) * (3 * L^2 - 4 * b^2)$			da flessione in 4 punti	
inerzia necessaria	I =	6,1944E-05	[m ⁴]	6194,3728	[cm ⁴]

scelta del profilo	IPE 300				
peso proprio	P =	42,24	[kg/m]	0,4224	[kN/m]
momento d'inerzia	$I_x =$	8356,1	[cm ⁴]	8,3561E-05	[m ⁴]
modulo resistente elastico	$W_{el,x} =$	557,07	[cm ³]	0,00055707	[m ³]
modulo resistente plastico	$W_{pl,x} =$	628,36	[cm ³]	628360	[mm ³]

tipo di acciaio	S 235				
	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]		

Come già accennato, il procedimento è simile a quello delle travi secondarie, si discosta solamente per la formula utilizzate per ricavare l'espressione della freccia reale.

Il profilo della trave si sceglie ugualmente secondo il momento d'inerzia necessario e il tipo d'acciaio è identico al precedente.

Analogamente alle travi secondarie, le verifiche in esercizio e a rottura:

VERIFICHE					
verifica alla freccia (SLE)					
reazioni vincolari	$R_a = R_b =$			22,8056891	[kN]
freccia limite	$f = L/250 =$			0,0334	[m]
freccia massima	$f = ((V_b * b / 24EI) * (3 * L^2 - 4 * b^2)) + (5 / 384 * (q * L^4) / EI) =$			0,02628306	[m]

verifica alla flessione monoassiale (SLU)					
carichi concentrati in b	$V_b =$			31,280879	[kN]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
fattori di sicurezza parziali	$\gamma_{G1} =$			1,3	
	$\gamma_{G2} =$			1,5	
	$\gamma_{Q1} =$			1,5	
combinazione fondamentale	$q = \gamma_{G1} * G_1 =$			0,54912	[kN/m]
reazioni vincolari sui pilastri	$R_a =$			49,2138946	[kN]
reazioni vincolari sull'arco	$R_b =$			98,4277891	[kN]
momento resistente	$M_{rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			140632952	[N*mm]
momento agente	$M_{ed} = qL^2/8 + V_b * b =$	91,7465961	[kN*m]	91746596,1	[N*mm]

Va aggiunto quindi il carico distribuito dato dal peso proprio della trave, in modo da verificare nuovamente la freccia in condizioni di esercizio.

Mediante la combinazione di carico SLU fondamentale si valuta ancora una volta il momento massimo agente che, essendo inferiore a quello resistente, convalida la verifica a flessione monoassiale.

Il passo successivo consiste nel dimensionamento dei pilastri che sostengono la copertura ai lati (dato che essa si appoggia centralmente alla cima degli archi). Questi sopportano dunque due tipi di carico: uno concentrato alla sommità (reazioni vincolari delle travi) e uno distribuito lungo l'altezza (peso delle facciate cinetiche).

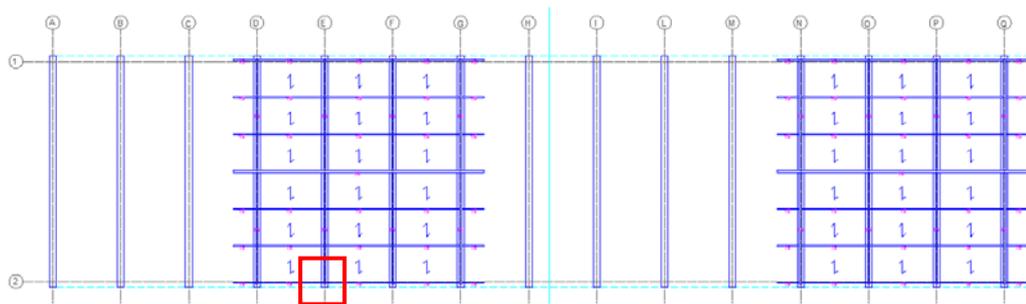


Figura 154 - Indicazione di uno dei pilastri di bordo, di seguito analizzati

PILASTRI DI BORDO

DATI INIZIALI

altezza pilastro	$H =$	8	[m]	8000	[mm]
interasse pilastri	$i =$			5	[m]
modulo elastico	$E =$	210000	[Mpa]	210000000	[kN/m ²]

PREDIMENSIONAMENTO

fattore di sicurezza parziale	$\gamma_{G2} =$			1,5	
carichi concentrati (N)	applicati in cima (R_a)	$N_I =$		49,2138946	[kN]
	applicati ai lati (facciata cin.)	$N_{II} =$		4,34242572	[kN]
carico di punta alla base	$N = N_I + N_{II} =$	53,5563203	[kN]	53556,3203	[N]

tipo di acciaio	S 235				
	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]

area necessaria	$A = N / f_{yk} =$	227,899235	[mm ²]	2,27899235	[cm ²]
-----------------	--------------------	------------	--------------------	------------	--------------------

scelta del profilo	HEB 160				
peso proprio del profilo	P =	42,59	[kg/m]	0,4259	[kN/m]
area della sezione	A =	54,25	[cm ²]	5425	[mm ²]
base della sezione	b =	16	[cm]	160	[mm]
altezza della sezione	h =	16	[cm]	160	[mm]
spessore dell'anima	t _w =	0,8	[cm]	8	[mm]
spessore delle ali	t _a =	1,3	[cm]	13	[mm]
raggio d'inerzia (minore)	i _y =	4,05	[cm]	40,5	[mm]
momento d'inerzia (minore)	I _y =	889,23	[cm ⁴]	8892300	[mm ⁴]
modulo resistente elastico	W _{el,y} =	111,15	[cm ³]	0,00011115	[m ³]
modulo resistente plastico	W _{pl,y} =	169,96	[cm ³]	169960	[mm ³]

Nel predimensionamento si stima l'entità dei carichi applicati e, dopo aver scelto un acciaio coerente con i tipi utilizzati fin'ora, si ricava un'area minima.

In realtà questa procedura è ben poco discriminante in quanto, solitamente, il criterio di verifica più restrittivo in questi casi è l'instabilità a carico di punta.

VERIFICHE					
verifica a compressione semplice (SLU)					
fattore di sicurezza parziale	γ _{G1} =			1,3	
ridefinisco il carico di punta	N _{ed} = N _I + N _{II} + P*H*γ _{G1} =	57,9856803	[kN]	57985,6803	[N]
area resistente della sezione	A =	54,25	[cm ²]	5425	[mm ²]
area minima necessaria	A = N/f _{yk} =			246,747576	[mm ²]

verifica di stabilità delle aste compresse (SLU)					
sezione classe 1 perchè c/t =	16,75	< o =	33	=	33 * √(235/f _{yk})
fattore di sicurezza	γ _{M1} =			1,05	
coefficiente	β (condizioni di vincolo) =			1	
lunghezza libera inflessione	L ₀ = L*β =			8000	[mm]
snellezza dell'asta	λ _L = L ₀ /i =	197,530864	< o =	200	
carico critico euleriano	N _{cr} = π ² *EI/L ₀ ² =			287682,022	[N]
snellezza adimensionale	λ = √(A*f _{yk} /N _{cr}) =			2,10512283	
curva d'instabilità	h/b =	1	< o =	1,2	
fattore di imperfezione	α (da tabella) =			0,49	
	φ = 0,5*[1+α*(λ-0,2)+λ ²] =			3,18252615	
coefficiente	χ = 1/(φ+√(φ ² -λ ²)) =	0,17955415	< o =	1	
resistenza all'instabilità	N _{b,Rd} = χ*A*f _{yk} /γ _{M1} =			218008,664	[N]
carico di punta alla base	N _{ed} = N _I + N _{II} + P * H =			57985,6803	[N]

Con la combinazione di carico a stato limite ultimo, dopo aver verificato il pilastro a compressione semplice aggiungendo il peso proprio, si segue la procedura della normativa per la verifica di stabilità.

Dai calcoli effettuati si nota chiaramente come la condizione che determina la scelta della sezione sia in realtà la snellezza dell'asta e non il carico di punta. Infatti il rapporto tra lunghezza di libera inflessione e raggio d'inerzia minore si trova appena al di sotto del limite massimo (200), mentre la resistenza a carico di punta è superiore di un ordine di grandezza rispetto all'azione agente.

7.3.2. Bulbo sospeso

La struttura di questa zona si compone di una maglia rettangolare per il solaio e di travi calandrate che trasmettono le sollecitazioni agli archi in cls. I calcoli sono condotti anche in questo caso considerando un modulo tipo, mentre i carichi applicati sono quelli derivanti dal più gravoso degli spazi, il Cardo Sud A.



Figura 155 - Rappresentazione tridimensionale della morfologia di una porzione del bulbo

Il modulo tipo si compone di: 2 travi principali posizionate trasversalmente allo sviluppo dell'edificio; 5 travi secondarie che corrono in direzione ortogonale alle precedenti e che scaricano su di esse il carico del solaio e del rivestimento; 2 travi calandrate incerniate ai 2 estremi delle principali.

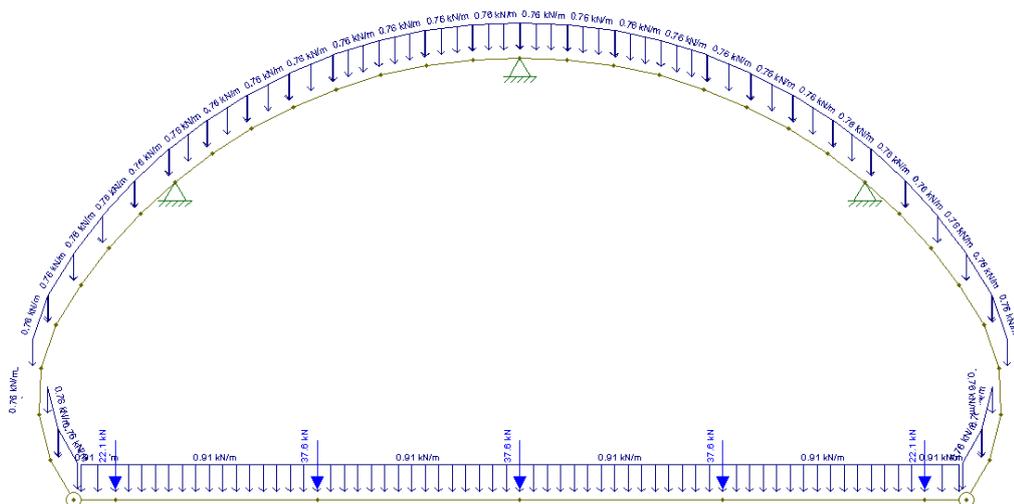


Figura 156 - Schema statico e di carico di un modulo del bulbo visto frontalmente

Come nel caso della copertura piana, si comincia dalle travi secondarie. Lo schema di carico è di trave in semplice appoggio con carico uniformemente distribuito, pertanto il procedimento di calcolo è identico al caso precedente.

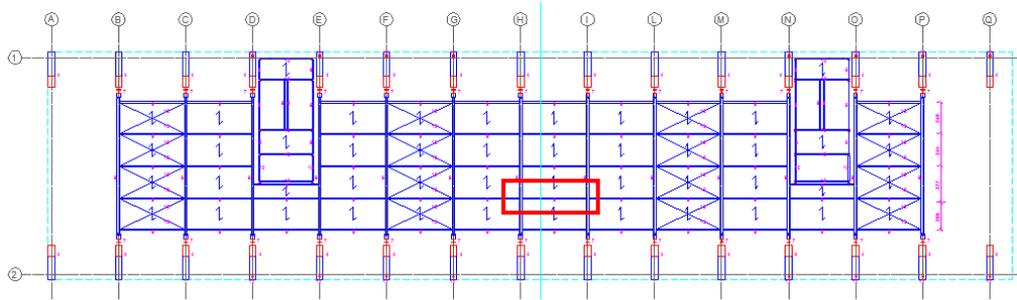


Figura 157 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave secondaria esemplificativa

TRAVI SECONDARIE

DATI INIZIALI					
lunghezza trave	L =	5	[m]	5000	[mm]
interasse travi	i =	2,4	[m]	2400	[mm]
modulo elastico	E =	210000	[Mpa]	210000000	[kN/m ²]
			[kN/m]	[kN/m ²]	[kN/m]
Carichi permanenti	G ₁ (strutturali)	=		0,2043	0,49032
	G ₂ (non strutturali) P.O.	=		0,21378	0,513072
	G ₂ (non strutturali) P.V.	=	1,744	0,8	1,92
Carichi variabili	Q ₁ (affollamento)	=		3	7,2

PREDIMENSIONAMENTO					
combinazione SLE rara	q = G ₁ +G ₂ +Q ₁ =			10,123392	[kN/m]
predim. alla freccia	f = L/250 =			0,02	[m]
freccia reale	f = 5/384 * qL ⁴ /(EI)				
inerzia necessaria	I = 250*(5/384 * qL ⁴)/(L*E) =	1,9615E-05	[m ⁴]	1961,53274	[cm ⁴]

scelta del profilo	IPE 220				
peso proprio	P =	26,2	[kg/m]	0,262	[kN/m]
base	b =	11	[cm]	110	[mm]
altezza	h =	22	[cm]	220	[mm]
spessore anima	t _w =	0,59	[cm]	5,9	[mm]
spessore ali	t _a =	0,92	[cm]	9,2	[mm]
area	A =	33,37	[cm ²]	0,003337	[m ²]
raggio d'inerzia (minore)	i _y =	2,48	[cm]	24,8	[mm]
momento d'inerzia	I _x =	2771,84	[cm ⁴]	2,7718E-05	[m ⁴]
momento d'inerzia (minore)	I _y =	204,89	[cm ⁴]	2048900	[mm ⁴]
modulo resistente elastico	W _{el,x} =	252	[cm ³]	0,000252	[m ³]
modulo resistente plastico	W _{pl,x} =	285,41	[cm ³]	285410	[mm ³]

tipo di acciaio	S 235				
	f _{yk} =	235	[N/mm ²]		

Non resta che verificare il profilo scelto:

VERIFICHE				
verifica alla freccia (SLE)				
ridefinisco il carico G_1	$G_1 = G_1 + P =$		0,75232	[kN/m]
combinazione SLE rara	$q = G_1 + G_2 + Q_1 =$		10,385392	[kN/m]
reazioni vincolari agli estremi	$V_a = V_b = q * L / 2 =$		25,96348	[kN]
freccia limite	$f = L / 250 =$		0,02	[m]
freccia massima	$f = 5 / 384 * q L^4 / (EI) =$		0,01451959	[m]

verifica alla flessione monoassiale (SLU)				
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$		1,05	
fattori di sicurezza parziali	$\gamma_{G1} =$		1,3	
	$\gamma_{G2} =$		1,5	
	$\gamma_{Q1} =$		1,5	
combinazione fondamentale	$q = \gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_{Q1} * Q_1 =$		15,427624	[kN/m]
reazioni vincolari agli estremi	$V_a = V_b = q * L / 2 =$		38,56906	[kN]
momento resistente	$M_{rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$		63877476,2	[N*mm]
momento agente	$M_{ed} = q L^2 / 8 =$	48,211	[kN*m]	48211325

Aggiungendo il peso proprio con i dovuti coefficienti a seconda della combinazione di carico, si operano le verifiche alla freccia e quella a flessione monoassiale, che certificano la bontà della scelta fatta.

Si riporta la modellazione mediante il programma Ftool:

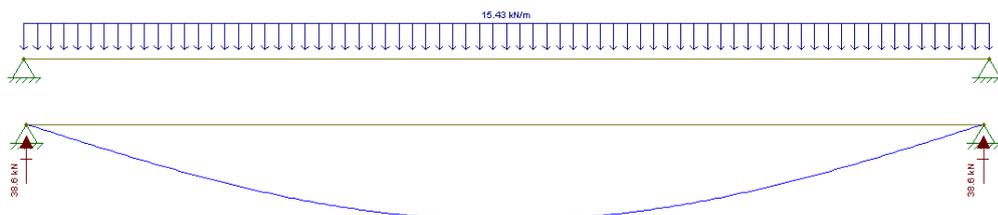


Figura 158 - Schema statico e calcolo della deformata della trave secondaria del bulbo

Ottenute le reazioni vincolari delle travi secondarie, si procede con le principali. Le due travi primarie del modulo sono in semplice appoggio e caricate ciascuna con 5 carichi concentrati in corrispondenza dei vincoli con le secondarie. In particolare, le 3 forze centrali si riferiscono ai carichi valutati in precedenza, mentre le 2 forze agli estremi rappresentano i carichi derivanti dalle travi di bordo, portanti metà del carico delle normali secondarie con, in aggiunta, il peso del rivestimento laterale del bulbo.

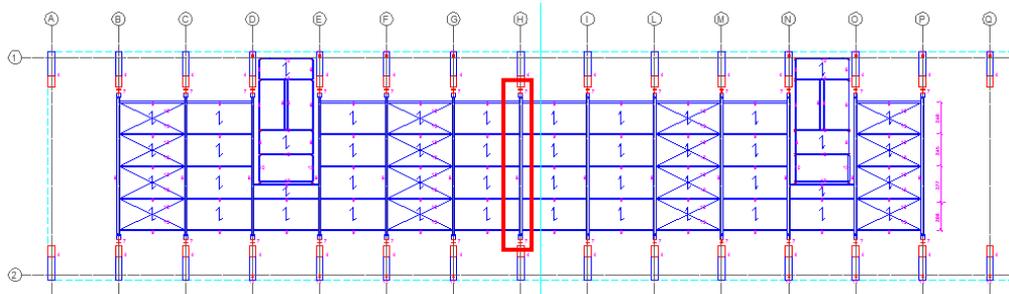


Figura 159 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave primaria esemplificativa

TRAVI PRIMARIE

DATI INIZIALI

lunghezza trave	L =			10,12	[m]
distanza dall'appoggio	b =			0,22	[m]
interasse travi	i =			5	[m]
modulo elastico	E =	210000	[Mpa]	210000000	[kN/m ²]

PREDIMENSIONAMENTO

Carichi concentrati (V)	V_a (mezzeria e laterali) =			51,92696	[kN]
	V_b (distanza dall'appoggio) =			29,24473	[kN]
predim. alla freccia	$f = L/250 =$			0,04048	[m]
freccia reale	da Th. Mohr				
inerzia necessaria	I =	0,00038742	[m ⁴]	38742,236	[cm ⁴]

scelta del profilo	IPE 500				
peso proprio	P =	90,7	[kg/m]	0,907	[kN/m]
momento d'inerzia	$I_x =$	48200	[cm ⁴]	0,000482	[m ⁴]
modulo resistente elastico	$W_{el,x} =$	1927,94	[cm ³]	0,00192794	[m ³]
modulo resistente plastico	$W_{pl,x} =$	2194,12	[cm ³]	2194120	[mm ³]

tipo di acciaio	S 235				
	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]		

La freccia reale si ricava dal teorema di Mohr, dal momento che la situazione di carico non permette una via più breve. Eguagliando poi freccia reale e limite ammissibile di spostamento, ottengo il momento d'inerzia minimo della sezione.

Una volta scelta la sezione di trave e l'acciaio costituente, si procede con le verifiche:

VERIFICHE

verifica alla freccia (SLE)					
reazioni vincolari agli estremi	$R_a = R_b =$			59,79763	[kN]
freccia limite	$f = L/250 =$			0,04048	[m]
freccia massima	$f = [3615,3/(EI)] + [5/384 * qL^4/(EI)] =$			0,03376082	[m]

verifica alla flessione monoassiale (SLU)					
Carichi concentrati	V_a (mezzeria e laterali) =			77,13812	[kN]
	V_b (distanza dall'appoggio) =			43,490935	[kN]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
fattori di sicurezza parziali	$\gamma_{G1} =$			1,3	
	$\gamma_{G2} =$			1,5	
	$\gamma_{Q1} =$			1,5	
combinazione fondamentale	$q = \gamma_{G1} * G_1 =$			1,1791	[kN/m]
reazioni vincolari agli estremi	$R_a = R_b =$			165,164361	[kN]
momento resistente	$M_{rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			491064952	[N*mm]
momento agente	$M_{ed} = R_a * L/2 - V_b * (L/2 - b) - V_a * i_{tr. sec} =$	440,104053	[kN*m]	440104053	[N*mm]

La trave non presenta nessun problema né in condizioni di esercizio, né a stato limite ultimo.

La modellazione del programma aiuta a comprendere meglio la descrizione; i carichi sono applicati a distanze differenti a seconda del posizionamento delle travi secondarie:

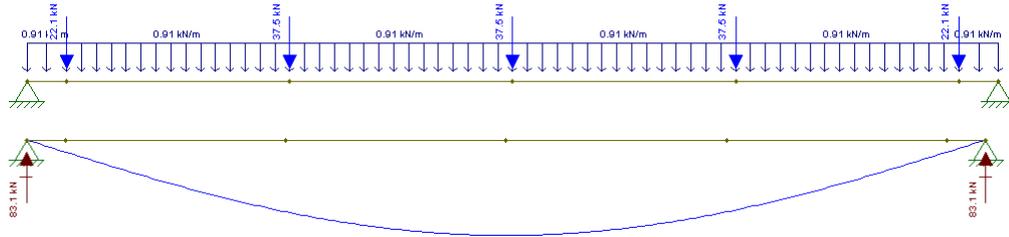


Figura 160 - Schema statico e calcolo della deformata della trave primaria del bulbo

Sono ora note le reazioni vincolari provenienti dalle primarie, si può procedere quindi al dimensionamento delle travi calandrate. Il dimensionamento di questi profili è molto più complicato rispetto ai precedenti: da un lato perché si tratta di travi curve, che quindi presentano una geometria tale da modificare le problematiche di resistenza classiche indagate fin'ora; dall'altro perché sono sottoposte ad azioni che agiscono secondo due piani differenti, vanno quindi composte durante le verifiche.

Viene di seguito illustrata la procedura di predimensionamento e verifica. In questo caso, data la complessità del calcolo, si è ricorso più frequentemente all'ausilio del programma di analisi bidimensionale per determinare le azioni agenti nelle varie condizioni di carico.

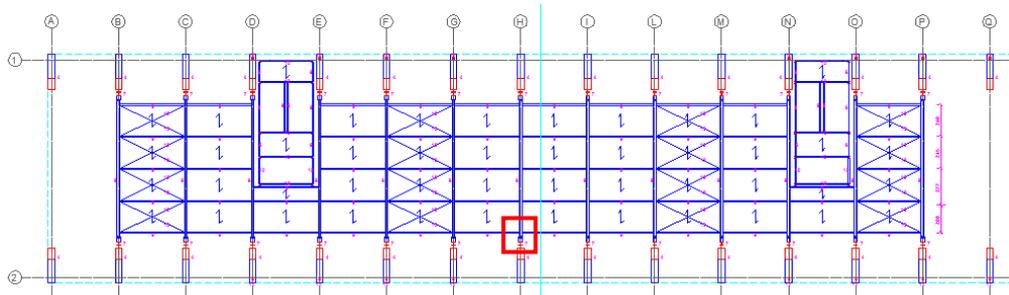


Figura 161 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave calandrate esemplificativa

TRAVI CALANDRATE

PREDIMENSIONAMENTO

da considerazioni sui carichi di flessione e trazione applicati si ricerca un profilo adeguato

scelta del profilo	IPE 330				
peso proprio	P =	49,1	[kg/m]	0,491	[kN/m]
momento d'inerzia	$I_x =$	11770	[cm ⁴]	0,0001177	[m ⁴]
modulo resistente elastico in x	$W_{el,x} =$	713,1	[cm ³]	0,0007131	[m ³]
modulo resistente plastico in x	$W_{pl,x} =$	804,3	[cm ³]	804300	[mm ³]
modulo resistente plastico in y	$W_{pl,y} =$	153,68	[cm ³]	153680	[mm ³]
area della sezione	A =	62,61	[cm ²]	6261	[mm ²]
base della sezione	b =	16	[cm]	160	[mm]
spessore dell'ala	$t_f =$	1,15	[cm]	11,5	[mm]

tipo di acciaio

S 235

$f_{yk} =$ 235 [N/mm²]

Dalle sollecitazioni valutate precedentemente, si ricerca un profilo con proprietà sufficienti per resistere alla trazione e al momento calcolati all'interno della trave.

Si verifica quindi la resistenza a stato limite ultimo, nonché l'abbassamento del nodo con la trave principale in stato limite di esercizio, se quindi il giunto è in grado o meno di assorbire lo spostamento calcolato:

VERIFICHE					
verifica a tensoflessione nel punto più sollecitato (SLU)					
fattore di sicurezza parziale	$\gamma_{G1} =$			1,3	
peso proprio calandrata	$q = P * \gamma_{G1} =$			0,6383	[kN/m]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
Momento resistente plastico	$M_{pl,x,Rd} = W_{pl,x} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			180010000	[N*mm]
Azione assiale plastica resistente	$N_{pl,Rd} = A * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			1401271,429	[N]
Azione assiale agente (da Ftool)	$N_{Ed} =$	167,7	[kN]	167700	[N]
coefficienti	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$			0,119677028	
	$a = (A - 2 * b * t_f) / A =$			0,412234467	
Momento resistente plastico corretto	$M_{N,Rd} = M_{pl,x,Rd} * (1 - n) / (1 - 0,5 * a) =$			199609999	[N*mm]
Momento agente (da Ftool)	$M_{Ed} =$	111,7	[kN*m]	111700000	[N*mm]

verifica di spostamento (SLE)		
freccia al nodo con la principale =	4 mm	assorbita dai giunti del rivestimento

La verifica tensoflessionale è stata condotta seguendo la normativa, ricavando quindi un momento resistente plastico di comodo attraverso l'utilizzo di 2 coefficienti che tengono conto dell'indebolimento sezionale dato dalla presenza di trazione. Il momento e l'azione assiale agente invece sono stati calcolati mediante il programma di analisi bidimensionale, proprio come lo spostamento reale del nodo:

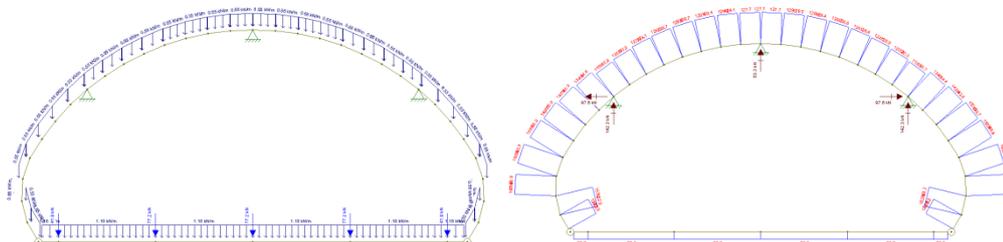


Figura 162 - Modellazione a SLU e diagramma dell'azione assiale

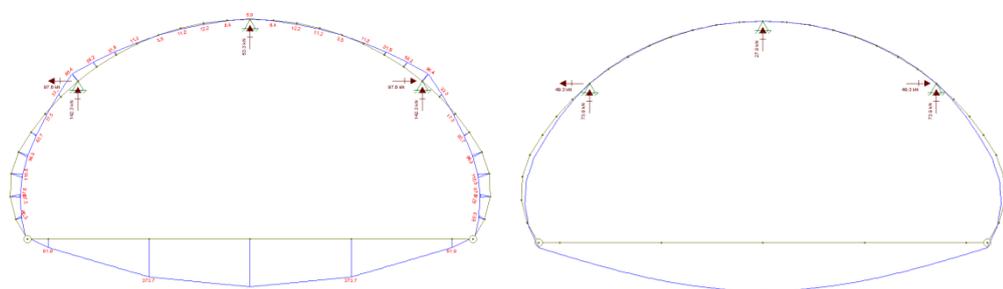


Figura 163 - Diagramma del momento a SLU e configurazione deformata a SLE

A questo punto vanno considerati gli effetti del sisma. Vanno perciò ricalcolati i carichi secondo la combinazione adeguata, vale a dire lo stato limite di salvaguardia della vita, secondo il quale è stata in precedenza valutata l'accelerazione al piede.

ricalcolo dei carichi in combinazione SLV				
coefficiente di combinazione	$\gamma_{21} =$			0,6
combinazione SLV (trave secondaria)	$q = G_1 + G_2 + \gamma_{21} * Q_1 =$		7,505392	[kN/m]
reazione vincolare trave secondaria	$V_{as} =$		18,76348	[kN]
carichi concentrati su trave primaria	$2 V_{as} =$		37,52696	[kN]
	$V_{bs} =$		22,04473	[kN]
peso proprio trave primaria	$q =$		0,907	[kN/m]

Si conduce nuovamente la verifica a tensoflessione, questa volta con il carico sismico orizzontale relativo al bulbo applicato in direzione perpendicolare allo sviluppo dell'edificio; e precisamente nel punto che determina la situazione di carico peggiore, cioè in corrispondenza del nodo fra trave primaria e calandrata. La modellazione rappresenta il caso di oscillazione dell'edificio nel piano forte degli archi portanti in calcestruzzo.

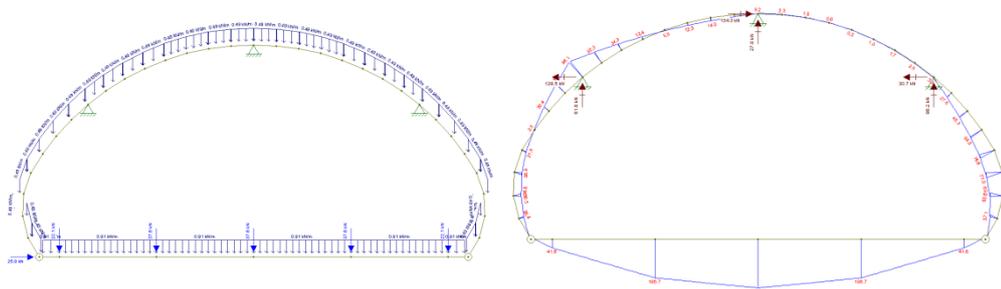


Figura 164 - Modello di carico con azione sismica concentrata e diagramma del momento a SLV

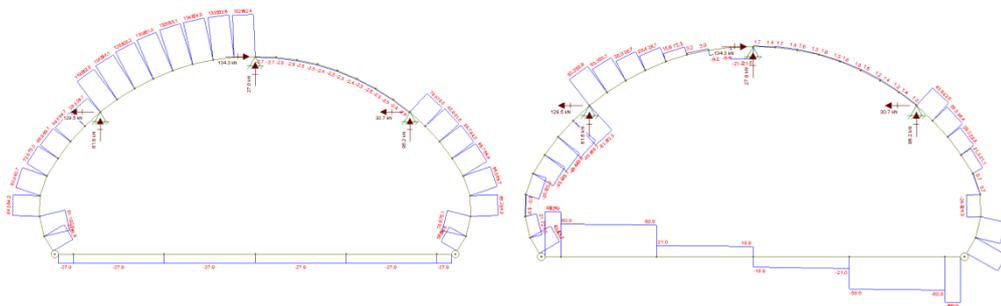


Figura 165 - Diagrammi di azione assiale e taglio, sempre a SLV

verifica a tensoflessione con azione sismica nel piano forte dell'arco (SLV)				
Forza sisma su un arco calandrato	$F_n =$		25,79064769	[kN]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$		1,05	
Momento resistente plastico	$M_{pl,x,Rd} = W_{pl} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$		180010000	[N*mm]
Azione assiale plastica resistente	$N_{pl,Rd} = A * f_{yk} / \gamma_{M0} =$		1401271,429	[N]
Azione assiale agente (da Ftool)	$N_{Ed} =$	119,1	[kN]	119100
coefficienti	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$			0,08499424
	$a = (A - 2 * b * t_f) / A =$			0,412234467
Momento resistente plastico corretto	$M_{N,Rd} = M_{pl,x,Rd} * (1 - n) / (1 - 0,5 * a) =$		207474193,7	[N*mm]
Momento agente (da Ftool)	$M_{Ed} =$	96,4	[kN*m]	96400000

La validità della verifica appena svolta porta ad indagare ulteriormente il profilo IPE 330 scelto. In particolare si vuole applicare il carico sismico sempre nel piano orizzontale, ma in direzione ortogonale al caso precedente; sollecitando quindi la trave nel suo piano sfavorito. La verifica finale cui si sottopone il profilo è quindi a

tensoflessione biassiale. In questo caso viene indagata, per semplicità, solamente la zona più sollecitata della trave calandrata, vale a dire il tratto che va dal giunto con l'arco in cls al giunto con la trave principale.

Questa volta si studia, per comodità, mezza trave calandrata, perciò anche la forza sismica riferita al bulbo va divisa a metà. L'azione assiale e il momento in direzione x si ricavano dai diagrammi derivanti dalla modellazione a SLV, ma senza azione sismica in questo piano, dato che andrà poi inserita nel piano ortogonale. Il momento in direzione y si ricava dalla schematizzazione del tratto indagato (da cerniera a cerniera) come un'asta semplicemente incastrata alla sommità. Essendo Ftool un programma di calcolo bidimensionale, non permette di inserire la forza sismica desiderata fuori piano, si è pertanto realizzato il modello sopra descritto: un'asta con un estremo libero inferiore (a cui applico la forza) e un incastro all'estremo superiore, dato che il vincolo schematizzato come cerniera in direzione x, si comporta come un incastro in direzione ortogonale (y).

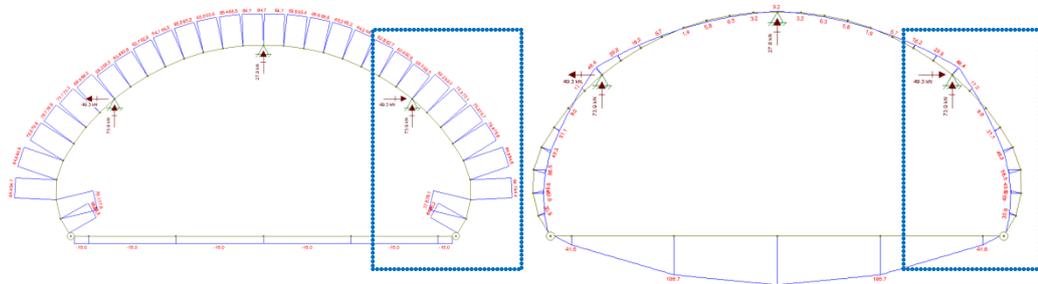


Figura 166 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV senza carico sismico



Figura 167 - Modellazione del tratto e diagramma momento y, con azione sismica fuori piano

Sempre seguendo le indicazioni della normativa, si calcolano le azioni plastiche resistenti e i coefficienti necessari; le combinazioni di questi fattori portano ad ottenere i momenti plastici resistenti corretti, in entrambe le direzioni.

verifica a tensoflessione biassiale con azione sismica nel piano debole dell'arco (SLV)								
sisma su mezzo arco calandrato		$F_{h/2} =$			12,89532384 [kN]			
fattore di sicurezza globale		$\gamma_{M0} =$			1,05			
tensione di snervamento caratteristica		$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000 [kN/m ²]			
azioni plastiche resistenti		$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			1401,271429 [kN]			
		$M_{pl,Rd,x} = W_{pl,x} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			180,01 [kN*m]			
		$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			34,39504762 [kN*m]			
coefficiente		$a =$			0,412234467			
Interfaccia N°	N [kN]	M _x [kN*m]	M _y [kN*m]	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	$M_{N,x,Rd} = M_{pl,Rd,x} \cdot (1-n) / (1-0,5 \cdot a)$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y}$	$(M_{x,Ed} / M_{N,x,Rd})^2 + (M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd})^{5n}$	< 1 ?
1 (cerniera con arco)	69,3	46,7	51,5	0,049455087	215,5325661	34,3950476	1,151916234	NO
2	73,9	17,1	46,4	0,05273782	214,7882185	34,3950476	1,088483139	NO
3	77,4	9,1	40,9	0,055235551	214,221867	34,3950476	1,05080605	NO
4	80,3	31,3	35	0,0573051	213,7526044	34,3950476	1,026450234	NO
5	85,2	49,5	28,6	0,060801925	212,9597123	34,3950476	0,999480143	SI
6	84,9	56,7	21,5	0,060587833	213,0082567	34,3950476	0,938182723	SI
7	78,2	49,9	14,2	0,055806461	214,0924152	34,3950476	0,835581405	SI
8	65,2	30,8	7,2	0,046529172	216,1960064	34,3950476	0,715312818	SI
9 (cerniera con solaio)	64,9	0	0	0,046315081	216,2445509	34,3950476	0	SI

Risulta evidente che la verifica non è soddisfatta.

Bisogna perciò operare una scelta: modificare l'acciaio oppure direttamente il profilo scelto. Nell'aumentare le prestazioni dell'acciaio ci si rende subito conto che si necessita di acciai speciali per raggiungere l'effetto desiderato. Si ritiene perciò di modificare il profilo, in modo che abbia una maggiore resistenza alla flessione nel piano sfavorito, cioè quello delle ali. Lo scopo è quello di aumentare il momento statico rispetto all'asse y, aumentando così il modulo resistente plastico (sempre in direzione y). Facendo diverse prove si nota che applicando alla IPE 330 2 piastre da 7 mm di spessore a metà tra l'anima e l'estremo libero delle ali si raggiunge il risultato desiderato, ma comparando peso proprio e prestazioni del nuovo profilo creato con quelli di profili in commercio, si nota la maggior convenienza nel cambiare radicalmente la sezione.

Va ripetuto quindi l'intero procedimento per la nuova sezione:

PREDIMENSIONAMENTO					
dalla verifica a tensoflessione biassiale si ricerca un profilo che abbia un modulo plastico resistente adeguato					
scelta del profilo	HEA 280				
peso proprio	P =	76,35	[kg/m]	0,7635	[kN/m]
momento d'inerzia	I _x =	13673,28	[cm ⁴]	0,000136733	[m ⁴]
modulo resistente elastico	W _{el,x} =	1012,84	[cm ³]	0,00101284	[m ³]
modulo resistente plastico in x	W _{pl,x} =	1112,22	[cm ³]	1112220	[mm ³]
modulo resistente plastico in y	W _{pl,y} =	518,13	[cm ³]	518130	[mm ³]
area della sezione	A =	97,26	[cm ²]	9726	[mm ²]
base della sezione	b =	28	[cm]	280	[mm]
spessore dell'ala	t _f =	1,3	[cm]	13	[mm]

Il nuovo profilo scelto ha caratteristiche ottimali in termini di resistenza flessionale in entrambe le direzioni, rispetto al precedente, a scapito di un moderato aumento del peso proprio.

tipo di acciaio	S 235				
	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]		

Il tipo di acciaio rimane sempre coerente con il resto della costruzione.

Si opera nuovamente la verifica a tensoflessione in stato limite ultimo e quella a spostamento in stato limite di esercizio, adottando il nuovo profilo:

VERIFICHE					
verifica a tensoflessione nel punto più sollecitato (SLU)					
fattore di sicurezza parziale	$\gamma_{G1} =$			1,3	
peso proprio calandrata	$q = P * \gamma_{G1} =$			0,99255	[kN/m]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
Momento resistente plastico	$M_{pl,x,Rd} = W_{pl,x} * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			248925428,6	[N*mm]
Azione assiale plastica resistente	$N_{pl,Rd} = A * f_{yk} / \gamma_{M0} =$			2176771,429	[N]
Azione assiale agente (da Ftool)	$N_{Ed} =$	169,3	[kN]	169300	[N]
coefficienti	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$			0,077775736	
	$a = (A - 2 * b * t_f) / A =$			0,251490849	
Momento resistente plastico corretto	$M_{N,Rd} = M_{pl,x,Rd} * (1 - n) / (1 - 0,5 * a) =$			262583778,9	[N*mm]
Momento agente (da Ftool)	$M_{Ed} =$	112,3	[kN*m]	112300000	[N*mm]

verifica di spostamento (SLE)		
freccia al nodo con principale =	3 mm	assorbita dai giunti del rivestimento

Variando la trave, logicamente variano anche le azioni agenti, va perciò rimodellata la struttura con i nuovi dati:

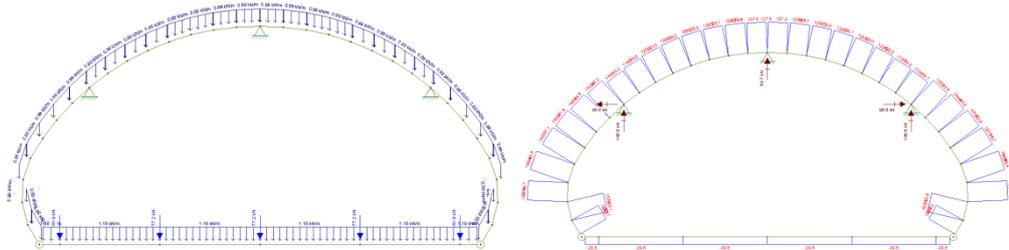


Figura 168 - Modellazione a SLU e diagramma dell'azione assiale

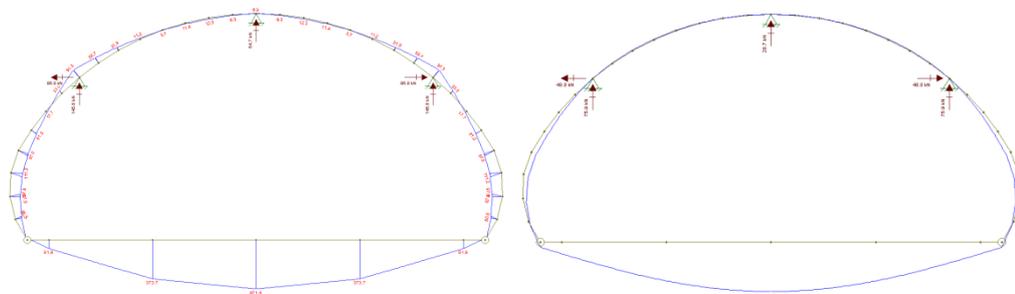


Figura 169 - Diagramma del momento a SLU e configurazione deformata a SLE

Si prosegue ricalcolando i carichi con la combinazione in stato limite di salvaguardia della vita:

ricalcolo dei carichi in combinazione SLV					
coefficiente di combinazione	$\gamma_{21} =$			0,6	
combinazione di carico (trave secondaria)	$q = G_1 + G_2 + \gamma_{21} * Q_1 =$			7,505392	[kN/m]
reazione vincolare trave secondaria	$V_{as} =$			18,76348	[kN]
carichi concentrati su trave primaria	$2 V_{as} =$			37,52696	[kN]
	$V_{bs} =$			22,04473	[kN]
peso proprio trave primaria	$q =$			0,907	[kN/m]

E ricreando il modello di analisi bidimensionale in situazione di SLV con carico sismico agente in direzione y:

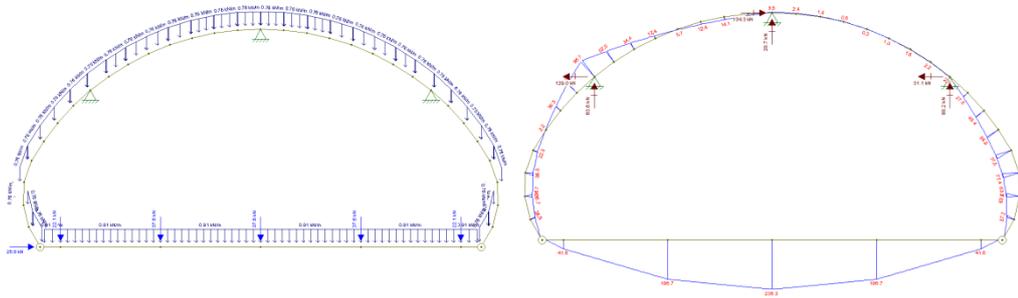


Figura 170 - Modello di carico con azione sismica concentrata e diagramma del momento a SLV

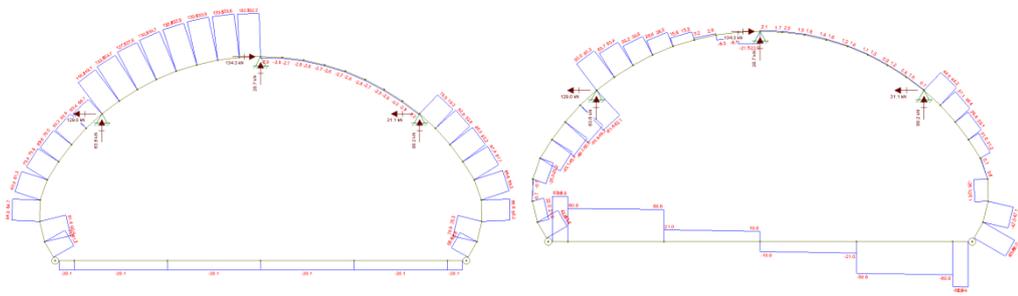


Figura 171 - Diagrammi di azione assiale e taglio, sempre a SLV

Il tutto allo scopo di ricavare le azioni agenti per verificare il profilo a tensoflessione con la presenza dell'azione sismica suddetta:

verifica a tensoflessione con azione sismica nel piano forte dell'arco (SLV)					
Forza sisma su un arco calandrato	$F_n =$			25,79064769	[kN/m]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
Momento resistente plastico	$M_{pl,x,Rd} = W_{pl,x} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			248925428,6	[N*mm]
Azione assiale plastica resistente	$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$			2176771,429	[N]
Azione assiale agente (da Ftool)	$N_{Ed} =$	119,1	[kN]	119100	[N]
coefficienti	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$			0,054714059	
	$a = (A \cdot 2 \cdot b \cdot t_f) / A =$			0,251490849	
Momento resistente plastico corretto	$M_{N,Rd} = M_{pl,x,Rd} \cdot (1-n) / (1-0,5 \cdot a) =$			269150101,9	[N*mm]
Momento agente (da Ftool)	$M_{Ed} =$	96,7	[kN*m]	96700000	[N*mm]

Rimane l'ultima verifica da affrontare, la tensoflessione biassiale con azione sismica applicata fuori piano, in direzione x. Il procedimento, la modellazione e la schematizzazione sono quelli già affrontati in precedenza, ovviamente ora si indaga una sezione differente, la HEA 280.

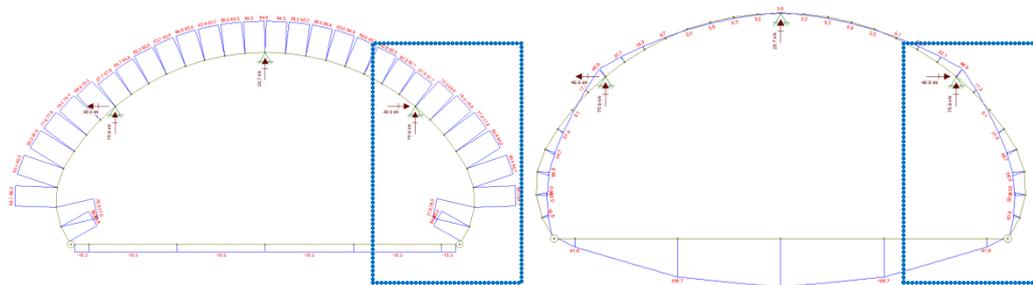


Figura 172 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV senza carico sismico



Figura 173 - Modellazione del tratto e diagramma momento y, con azione sismica fuori piano

Si riporta di seguito la verifica finale, condotta seguendo il D.M. del 14 Gennaio 2008:

verifica a tensoflessione biassiale con azione sismica nel piano debole dell'arco (SLV)								
sisma su mezzo arco calandrato		$F_H/2 =$			12,89532384	[kN]		
fattore di sicurezza globale		$\gamma_{M0} =$			1,05			
tensione di snervamento caratteristica		$f_{yk} =$		235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]	
azioni plastiche resistenti		$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$				2176,771429	[kN]	
		$M_{pl,Rd,x} = W_{pl,x} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$				248,9254286	[kN*m]	
		$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$				115,9624286	[kN*m]	
coefficiente		$a =$				0,251490849		
Interfaccia N°	N [kN]	M _x [kN*m]	M _y [kN*m]	$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd}$	$M_{N,x,Rd} = M_{pl,Rd,x} \cdot (1-n) / (1-0,5 \cdot a)$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y}$	$(M_{x,Ed} / M_{N,x,Rd})^2 + (M_{y,Ed} / M_{N,y,Rd})^{5n}$	< 1 ?
1 (cerniera con arco)	70,2	46,9	51,5	0,032249596	275,5463806	115,962429	0,906291391	SI
2	74,3	17,2	46,4	0,03413312	275,0100873	115,962429	0,859193663	SI
3	77,8	9,1	40,9	0,035741006	274,5522759	115,962429	0,831177106	SI
4	80,6	31,4	35	0,037027314	274,1860268	115,962429	0,814207825	SI
5	85,5	49,7	28,6	0,039278355	273,5450909	115,962429	0,792642926	SI
6	85,2	56,9	21,5	0,039140536	273,5843319	115,962429	0,762322561	SI
7	78,3	50	14,2	0,035970704	274,4868743	115,962429	0,718619888	SI
8	65,2	30,9	7,2	0,029952617	276,2003968	115,962429	0,672051669	SI
9 (cerniera con solaio)	64,8	0	0	0,029768858	276,2527181	115,962429	0	SI

La parte superiore (il tratto tra i due giunti con l'arco) non ha necessità di essere studiata in quanto, essendo equiparabile ad una biella caricata solamente ai nodi, è sufficiente osservare che non possiede linea elastica in direzione x per escludere la necessità della verifica appena condotta.

Con la verifica a tensoflessione biassiale si conclude il dimensionamento delle travi calandrate e perciò dello stesso bulbo in acciaio.

Alcuni moduli, come si può osservare dalle piante strutturali, vengono inoltre irrigiditi attraverso il posizionamento di cavi incrociati all'intradosso del solaio. Questi

controventi si fissano in corrispondenza dei vertici della maglia che costituisce la struttura portante del solaio. Tale irrigidimento permette una migliore risposta del bulbo e, di conseguenza, dell'intero edificio alle sollecitazioni orizzontali.

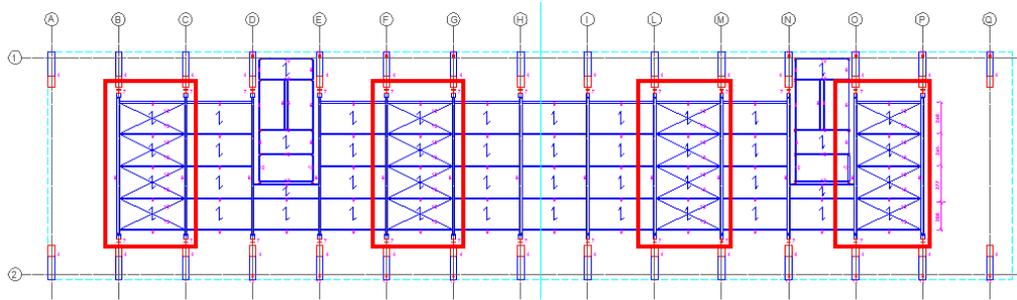


Figura 174 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione delle porzioni di solaio controventate

7.3.3. Archi in calcestruzzo

Parlando sempre di un modulo, il bulbo appena dimensionato si appende mediante 3 connessioni a cerniera (se viste nel piano del bulbo; incastri se osservate fuori piano) all'elemento portante più esterno, di cui si approfondisce ora la morfologia. Questa struttura trasmette a terra l'intero carico del modulo ed è composto da conci prefabbricati in calcestruzzo. La scelta di utilizzare degli elementi già pronti e non da gettare in opera si giustifica con la rapidità di posa e di smantellamento, requisiti che accompagnano indirettamente questo bando di concorso. Per una costruzione di questo tipo si necessita inoltre di un'assoluta precisione nel montaggio, obiettivo realizzabile solamente mediante l'utilizzo di elementi prefabbricati.

Le porzioni che costituiscono la metà di un arco sono tutte differenti l'una dall'altra (fatta eccezione per l'area costante della sezione ortogonale alla linea d'asse) in quanto vanno a comporre un tracciato che si avvicina all'andamento della catenaria, come già spiegato in precedenza. Il materiale è stato scelto proprio in conseguenza dell'idea di sfruttare la geometria per ottenere un arco in totale compressione, infatti il cls è il materiale che meglio risponde a questo tipo di sollecitazione.

Come già accennato, l'andamento degli archi progettati si discosta dalla perfetta catenaria per ovvi motivi di spazio, questo porta ad avere necessariamente sforzi di trazione che non possono in alcun modo essere sopportati dai semplici conci, essendo elementi finiti ed accostati e non porzioni di una trave continua. Risulta perciò evidente come gli "anelli deboli" siano proprio le zone d'interfaccia, in quanto si presentano essenzialmente come una soluzione di continuità. Semplificazione che non è però del tutto realistica, dal momento che ogni giunto tra i conci è realizzato mediante 4 barre filettate in acciaio, che facilitano la messa in opera e garantiscono una resistenza a taglio aggiuntiva nei confronti delle sollecitazioni orizzontali, in conformità con la nuova normativa sismica.

Si è resa quindi necessaria la progettazione di una post-compressione che legasse insieme i vari segmenti e riportasse ciascun tratto ad una condizione di assenza di trazione. La costruzione dell'arco viene realizzata mediante l'appoggio ad una centinatura di blocchi preassemblati a terra di 4 conci, tenuti in forma da 4 barre filettate in acciaio per ogni sezione, che collegano i conci l'uno con l'altro. La post-tensione viene realizzata in seguito, per mezzo di cavi che corrono lungo tutto lo sviluppo curvilineo della geometria arcuata.

Per studiare questa struttura si utilizza un approccio di tipo tensionale, andando ad analizzare gli sforzi creatisi alle interfacce tra i diversi conci in tutte le possibili condizioni di carico. È stato nuovamente utilizzato il programma di analisi bidimensionale Ftool per coadiuvare le verifiche calcolando le azioni agenti nei vari punti di interesse.

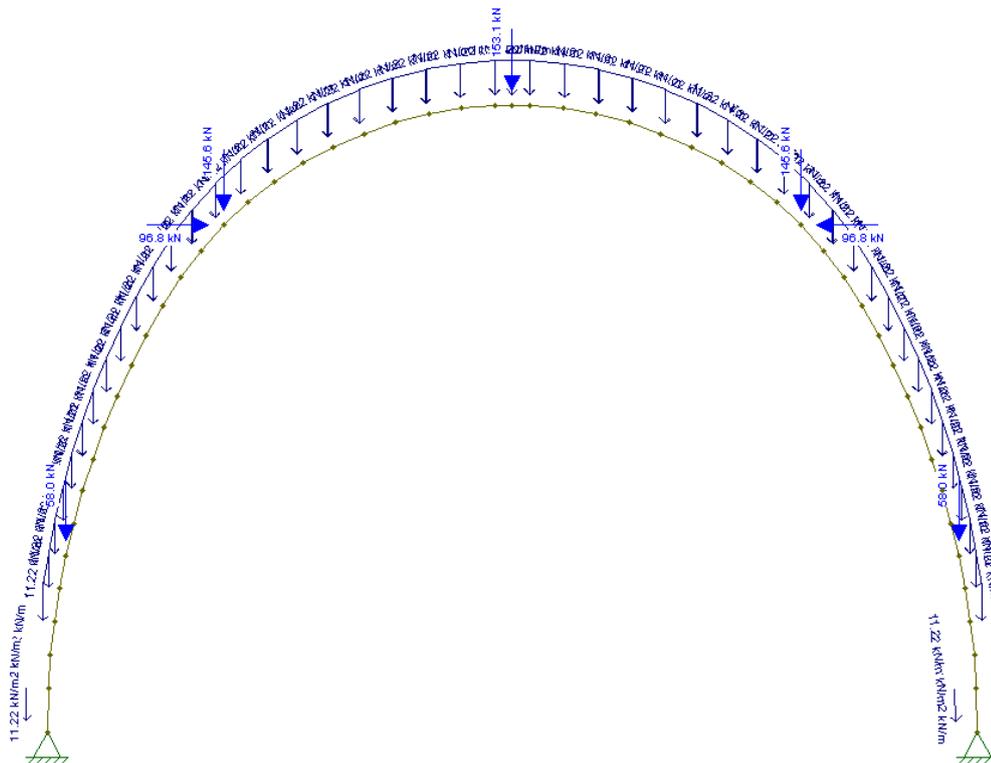


Figura 175 - Schema statico e di carico di un arco visto frontalmente

La progettazione di quest'ultima frazione strutturale si apre con un predimensionamento della sezione trasversale dei conci, il cui limite superiore deriva da considerazioni spaziali in materia di fruibilità e di superfici sfruttabili per le esposizioni.

Il passaggio seguente consiste nella ricerca della massima compressione aggiuntiva necessaria ad eliminare la presenza di trazione in tutto l'arco, in particolar modo si indagano i punti schematizzati, vale a dire le interfacce tra i conci. Il carico di post-tensione si ottiene analizzando ciascuna sezione a livello tensionale nelle diverse condizioni di carico cui può essere sottoposto l'arco.

PREDIMENSIONAMENTO					
dimensioni arco	$b(x) =$	50	[cm]	0,5	[m]
	$h(y) =$	80	[cm]	0,8	[m]
area sezionale	$A =$			0,4	[m ²]
momento d'inerzia	$I_x =$			0,02133333	[m ⁴]
momento d'inerzia	$I_y =$			0,00833333	[m ⁴]
densità cls	$\rho =$			2200	[kg/m ³]
peso proprio arco in cls (al metro lineare)	$q =$			8,6328	[kN/m]
fattore di sicurezza parziale	$\gamma_{G1} =$			1,3	
peso proprio arco in cls (combinazione SLU)	$q =$			11,22264	[kN/m]

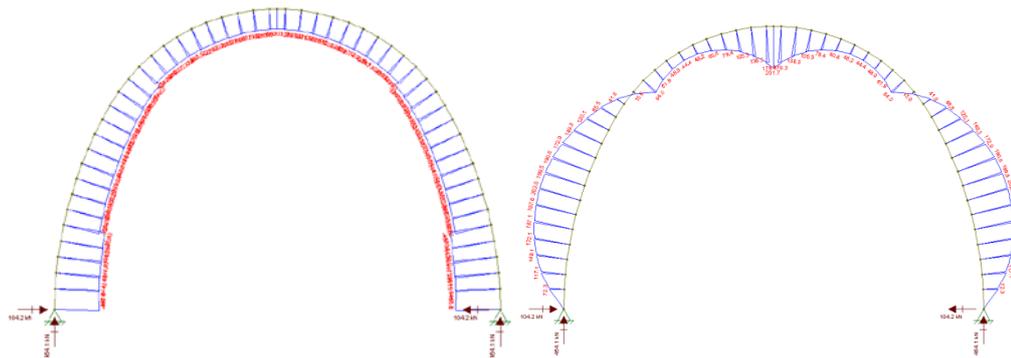


Figura 176 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLU

trovo la postcompressione necessaria per portare a 0 le trazioni (SLU)			
interfaccia n°	N [kN]	M _x [kN*m]	N _p [kN] = A*(-N/A+M _x /I _x *y/2)
1 (terra)	458,2	0	-458,2
2	452,8	72,5	90,95
3	449,3	117,5	431,95
4	444,2	149,7	678,55
5	438,6	172,7	856,65
6	432	187,8	976,5
7	370,3	198,3	1116,95
8	363,8	202,7	1156,45
9	357,4	200,1	1143,35
10	350,8	191	1081,7
11	343,4	173,3	956,35
12	335	149,6	787
13	328,3	120,1	572,45
14	320,4	85,2	318,6
15	310,7	41,1	-2,45
16	296,3	15,9	-177,05
17	284,5	85,3	355,25
18	242	62,8	229
19	239,1	49,4	131,4
20	235,4	44,5	98,35
21	232,2	48,1	128,55
22	228,3	60,3	223,95
23	224,2	79	368,3
24	219,4	104,9	567,35
25	214,4	137,9	819,85
26 (cima)	203	201,5	1308,25

Nella colonna di sinistra sono indicati tutti i punti su cui si svolge l'indagine (in realtà solo la metà di essi, data la condizione di struttura simmetrica e simmetricamente caricata) nella condizione di stato limite ultimo con combinazione fondamentale. Le due colonne centrali rappresentano le azioni agenti in corrispondenza di ogni sezione: compressione e momento; del secondo importa il modulo, non tanto il segno, dato che è indifferente da quale parte la sezione sia tesa. Si tratta praticamente un caso di presso-flessione retta, dove lo scopo ultimo è portare l'azione assiale all'interno del nocciolo centrale d'inerzia, spostando l'asse neutro all'estremità della sezione, per realizzare una condizione di sezione interamente compressa, dove il calcestruzzo può sfruttare interamente le proprie risorse. Nella

colonna di destra viene indicata l'azione di post-compressione necessaria a portare ogni sezione in condizione di totale compressione, ottenendo quindi sezioni interamente reagenti. Per fare questo si segue l'equazione di equilibrio che eguaglia lo sforzo di post-tensione allo sforzo totale agente nel punto più sfavorito della sezione, vale a dire nel punto ove si presenta la trazione massima. Moltiplicando poi lo sforzo di post-compressione per l'area si ottiene la relativa forza.

postcompressione massima necessaria (SLU)					
forza di postcompressione	$N_p =$			1308,25	[kN]

La grandezza trovata fa riferimento alla condizione di carico SLU.

Ripetendo il procedimento si indaga quindi una seconda condizione di carico: SLV con azione sismica nel piano forte dell'arco.

PREDIMENSIONAMENTO					
dimensioni arco	$b(x) =$	50	[cm]	0,5	[m]
	$h(y) =$	80	[cm]	0,8	[m]
area sezionale	$A =$			0,4	[m ²]
momento d'inerzia	$I_x =$			0,02133333	[m ⁴]
momento d'inerzia	$I_y =$			0,00833333	[m ⁴]
densità cls	$\rho =$			2200	[kg/m ³]
peso proprio arco in cls (al metro lineare)	$q =$			8,6328	[kN/m]
forza sismica sull'arco	$F_h =$			59,153835	[kN]
forza sismica sul bulbo	$F_h =$			25,7906477	[kN]

Per ricavare le azioni corrette agenti sull'arco bisogna considerare i differenti carichi del sisma sull'arco e sul bulbo. I due corpi sono infatti sottoposti alla medesima accelerazione orizzontale, quella provocata dal sisma, ma avendo essi due masse di competenza diverse, il comportamento nel caso in esame si modella con due forze applicate ciascuna nel punto più sfavorito dell'oggetto cui si riferisce, per rimanere in condizioni di sicurezza. Quando si analizza l'arco dunque, oltre a riportare le forze che insistono regolarmente su di esso, compreso il carico sismico applicato in sommità, vanno applicate le reazioni vincolari, uguali e contrarie, derivanti dal bulbo sottoposto all'azione sismica insistente su di esso.

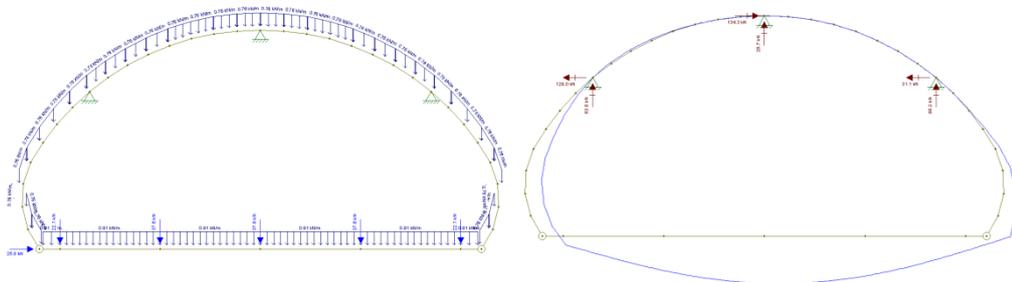


Figura 177 - Modello del bulbo con sisma alla base e deformata con reazioni vincolari, a SLV

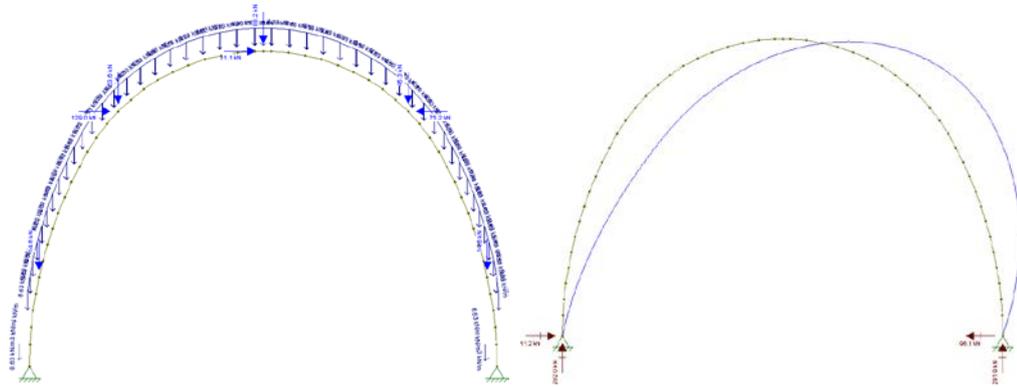


Figura 178 - Modello dell'arco con reazioni del bulbo con sisma in sommità e deformata, a SLV

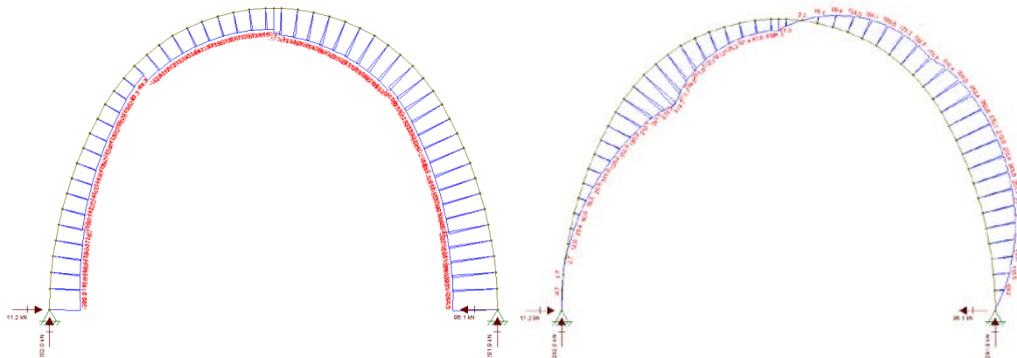


Figura 179 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV con sisma agente nel piano forte

Si riporta di seguito la tabella che analizza la situazione di carico corrente: anche in questo caso si studia essenzialmente una pressoflessione retta, essendo il carico sismico diretto nel piano dell'arco in cui si sviluppano i momenti dovuti alle normali condizioni di stabilità. Il procedimento è identico al precedente: dopo aver riportato in tabella i valori di azione assiale e momento per ogni nodo in esame, si ricerca mediante l'equazione di equilibrio la forza di post-compressione necessaria a portare l'asse neutro all'estremo della sezione più critica, ottenendo una sezione interamente reagente e sottoposta a compressione su tutta la superficie. Diversamente dalla precedente però, in questa situazione vanno studiate tutte le sezioni di interfaccia tra i conci di calcestruzzo costituenti l'arco, essendo quest'ultimo una struttura simmetrica, ma caricata in maniera non simmetrica nel caso in esame. Si otterranno perciò 52 diverse condizioni di carico della medesima sezione, situate lungo lo sviluppo curvilineo della geometria arcuata.

postcompressione per portare a 0 le trazioni con sisma nel piano forte dell'arco (SLV)			
interfaccia n°	N [kN]	M _x [kN*m]	N _p [kN] = A*(-N/A+M _x /I _x *y)
1 (sinistra)	202,7	0	-202,7
2	196,1	5,9	-151,85
3	190,9	5,8	-147,4
4	185,5	0,3	-183,25
5	180	8,7	-114,75
6	174,3	20,7	-19,05
7	153,8	35,4	111,7
8	148	52,5	245,75
9	142	71,8	396,5
10	135,9	93,7	566,85
11	129,2	117,6	752,8
12	122,9	143,6	954,1
13	116,7	170,9	1165,05
14	110,4	199,3	1384,35
15	109	230,1	1616,75
16	94,4	264	1885,6
17	130,7	300,6	2123,8
18	132,7	258,8	1808,3
19	134,4	221,4	1526,1
20	135,9	188	1274,1
21	137,5	158,3	1049,75
22	138,3	133,3	861,45
23	139,3	111,4	696,2
24	140,3	93,6	561,7
25	141,1	79,9	458,15
26	141,7	70,2	384,8
27	66,5	50,8	314,5
28	71,5	16,1	49,25
29	76,9	13,7	25,85
30	82,7	44,6	251,8
31	88,8	74,3	468,45
32	94,3	102,8	676,7
33	100,9	129,1	867,35
34	107,1	152,7	1038,15
35	113,4	173,4	1187,1
36	208,6	190,8	1222,4
37	216,6	224,8	1469,4
38	223,6	250	1651,4
39	229,2	265,9	1765,05
40	234,2	275,3	1830,55
41	239,1	280,8	1866,9
42	243,8	282,3	1873,45
43	248,2	279,7	1849,55
44	252,4	271,3	1782,35
45	257,3	258,2	1679,2
46	260,3	240,3	1541,95
47	277,4	218,2	1359,1
48	282,5	190	1142,5
49	283,8	156,6	890,7
50	285,4	117,6	596,6
51	287,1	70,4	240,9
52	293,8	0	-293,8

postcompressione massima necessaria con sisma nel piano forte (SLV)				
forza di postcompressione	$N_p =$		2123,8	[kN]

Andando a leggere il valore maggiore della colonna di destra, ottengo la massima forza di post-compressione necessaria in condizione di carico SLV con sisma agente nel piano forte dell'arco.

La terza ed ultima configurazione di carico studiata si riferisce ad un sisma agente nel piano sfavorito dell'arco, chiaramente sempre in condizioni di stato limite di salvaguardia della vita.

PREDIMENSIONAMENTO					
dimensioni arco	$b(x) =$	50	[cm]	0,5	[m]
	$h(y) =$	80	[cm]	0,8	[m]
area sezionale	$A =$			0,4	[m ²]
momento d'inerzia	$I_x =$			0,02133333	[m ⁴]
momento d'inerzia	$I_y =$			0,00833333	[m ⁴]
densità cls	$\rho =$			2200	[kg/m ³]
peso proprio arco in cls (al metro lineare)	$q =$			8,6328	[kN/m]
forza sismica su metà arco	$F_N/2 =$			29,5769175	[kN]
forza sismica su metà bulbo	$F_N/2 =$			12,8953238	[kN]

Si procede come di consueto analizzando solo metà dell'arco data la simmetria di carico e struttura.

postcompressione per portare a 0 le trazioni con sisma nel piano debole dell'arco (SLV)				
interfaccia n°	N [kN]	$ M_x $ [kN*m]	M_y [kN*m]	$N_p = A*(-N/A + M_x/I_x*y + M_y/I_y*x)$
1 (terra)	248,3	0	394,3	4483,3
2	243,3	38,2	373,9	4530
3	239,8	61,8	348,4	4404,5
4	235,5	78,6	322,9	4228,8
5	230,9	90,7	297,4	4018,15
6	225,9	98,8	271,9	3777,9
7	207,2	102,5	246,9	3524,35
8	202,2	102,9	222,2	3235,95
9	196,9	99,8	198	2927,6
10	192,1	93,4	173,8	2594
11	186,8	82,5	150	2231,95
12	180,1	68,7	126,6	1854,35
13	174,4	52,3	103,7	1462,25
14	169,8	33,4	81,2	1055,1
15	159,6	10,1	59,1	625,35
16	151	19,4	37,8	448,1
17	147,1	54,8	69,8	1101,5
18	121,5	42,6	57,1	883,2
19	119,9	34,3	45,6	684,55
20	118,3	29,5	35,2	525,35
21	115,8	27,8	26,3	408,3
22	113,3	29,6	18,3	328,3
23	110,9	33,5	11,8	281,95
24	108,5	40,1	6,8	273,85
25	105,7	49,2	3,3	302,9
26 (cima)	104	67,8	0	404,5

Si può facilmente osservare come, a differenza dei due casi precedenti, compaia ora anche un momento in direzione ortogonale a quello analizzato di consueto. Si tratta

della flessione dovuta all'azione sismica. Per riempire la tabella riportata ci si è avvalsi della schematizzazione con il solito programma di analisi bidimensionale, operando in seguito una sovrapposizione degli effetti. In particolare si sono dapprima ricavati i valori di azione assiale e momento x , in condizioni di stato limite di salvaguardia della vita, mediante i modelli di bulbo ed arco in visualizzazione frontale, non caricati dal sisma. Successivamente si sfrutta la schematizzazione del comportamento del bulbo in acciaio a flessione fuori piano, già vista nei paragrafi precedenti, vale a dire la semplice asta verticale incastrata in sommità (in corrispondenza del nodo laterale a cerniera con l'arco), che rappresenta la parte attraverso cui la flessione da sisma si trasmette alla struttura più esterna. Le si applica quindi alla base la metà del carico sismico di competenza del bulbo, ottenendo così le reazioni vincolari da riportare successivamente sulla metà dell'arco in calcestruzzo. Si agisce in maniera simile per ricavare il comportamento a flessione dell'arco fuori piano, la cui metà viene modellata con un'asta verticale incastrata a terra. Le viene poi applicata in sommità la metà del carico sismico agente sull'arco, oltre alle reazioni uguali e contrarie provenienti dall'azione sismica sul bulbo, calcolate in precedenza, e applicate all'altezza del nodo tra le due strutture. Si tenga presente la duplice natura del vincolo attraverso cui le due strutture si scambiano le azioni: si tratta infatti di un vincolo tridimensionale. Esso agisce come una cerniera se visto nel piano frontale, ma si comporta da incastro se osservato nel piano ortogonale, vale a dire quando si osserva il comportamento della struttura soggetta al carico sismico fuori piano. Si riportano di seguito i modelli utilizzati per ricavare le azioni agenti sulla struttura.

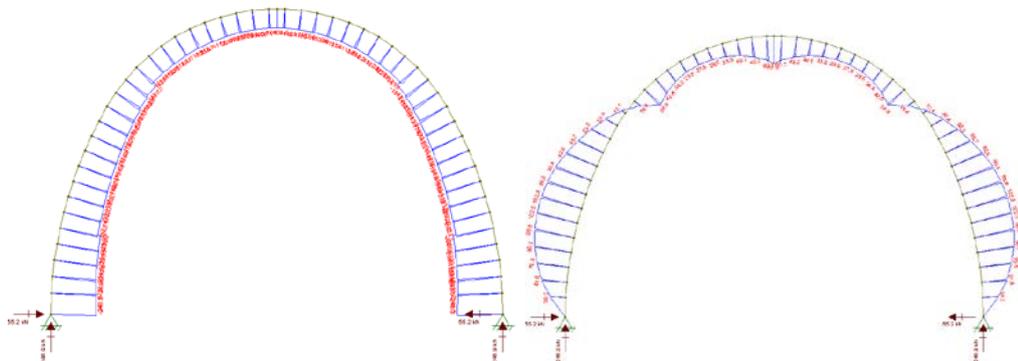


Figura 180 - Diagrammi di azione assiale e momento x , a SLV senza carico sismico

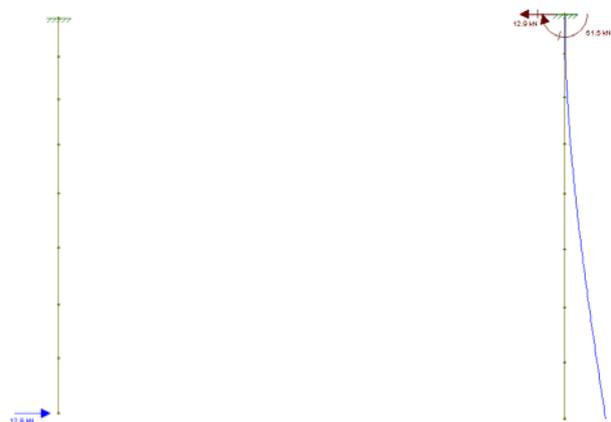


Figura 181 - Tratto del bulbo e deformata con reazioni vincolari, a SLV con sisma fuori piano



Figura 182 - Modello di carico dell'arco e diagramma momento y, a SLV con sisma fuori piano

Come di consueto, il massimo valore presente nella colonna di destra restituisce il valore di post-compressione necessario.

postcompressione massima necessaria con sisma nel piano debole (SLV)				
forza di postcompressione	$N_p =$		4530	[kN]

Proprio la combinazione appena analizzata risulta essere la più gravosa, si utilizza pertanto l'ultimo dato ottenuto come valore di input per il predimensionamento della post-tensione.

dimensionamento dei cavi di postcompressione (SLV)					
tensione caratteristica	$f_{ptk} =$	1860	[N/mm ²]	1860000	[kN/m ²]
tensione di tiro iniziale	$\sigma_{pi} = 0,7 * f_{ptk} =$	1302	[N/mm ²]	1302000	[kN/m ²]
perdite di tensione	$\Delta\sigma_{pf} = 30\% \sigma_{pi} =$	390,6	[N/mm ²]	390600	[kN/m ²]
tensione di tiro al netto delle perdite	$\sigma_{pfi} = \sigma_{pi} - \Delta\sigma_{pf} =$	911,4	[N/mm ²]	911400	[kN/m ²]
area acciaio necessaria	$A_{s_{min}} = \max(N_p) / \sigma_{pfi} =$	4970,375247	[mm ²]	0,00497038	[m ²]
diametro di trefolo	$\phi =$	15,2	[mm]	0,0152	[m]
area di trefolo	$A_t =$	139	[mm ²]	0,000139	[m ²]
numero di trefoli	$n_t =$			36	
area complessiva trefoli	$A_s = A_t * n_t =$	5004	[mm ²]	0,005004	[m ²]
compressione da trefoli al tempo iniziale	$P_i = \sigma_{pi} * A_s =$	6515208	[N]	6515,208	[kN]
compressione da trefoli a tempo infinito	$P_f = \sigma_{pfi} * A_s =$	4560645,6	[N]	4560,6456	[kN]
diametro cavo equivalente	$\phi^* =$	79,84060554	[mm]	0,07984061	[m]

Dal catalogo dei trefoli ArcelorMittal si ottengono i dati necessari, quali la tensione caratteristica, il diametro e l'area dei trefoli. Considerando una tensione di tiro iniziale pari al 70% della caratteristica e computando al 30% le perdite totali di tensione a tempo infinito, si calcola il numero e l'area dei trefoli necessari per fornire almeno la compressione necessaria.

tipo di calcestruzzo	C 35/45		
	$f_{ck} =$	35	[N/mm ²]

Dopo aver assegnato una classe di resistenza al calcestruzzo di cui sono composti i conci, si può procedere con le verifiche. Nel caso in questione risulta molto difficile

ridurre il numero di verifiche cui sottoporre la struttura per analizzare unicamente le più restrittive. Infatti la particolare geometria e le numerose condizioni di carico, unitamente alla presenza di cavi di post-compressione, rendono necessarie verifiche multiple, ad istanti differenti e con diverse condizioni al contorno.

VERIFICHE							
verifica a pressoflessione retta a tempo iniziale (SLE)							
area netta di cls	$A_c = A - A_s =$				394996	[mm ²]	0,394996 [m ²]
compressione da trefoli al tempo iniziale	$P_i =$				6515208	[N]	6515,208 [kN]
criterio di verifica per combinazione di carico rara	$\sigma_c < 0,6 \cdot f_{ck} =$				21	[N/mm ²]	21000 [kN/m ²]

La prima verifica consiste nell'analisi della condizione iniziale in cui si trova l'edificio, si studia quindi l'istante in cui è terminata l'intera struttura ed i cavi non hanno ancora maturato nessuna perdita di tensione. Si ha quindi una situazione che va studiata allo stato limite di esercizio, in quanto la struttura deve essere in grado di assorbire qualunque carico rimanendo in campo elastico senza accumulare alcuna deformazione irreversibile, per poter fornire successivamente (allo stato limite ultimo) tutte le risorse plastiche di cui dispone.

interfaccia n°	N [kN]	P_i [kN]	N_{Ed} [kN] = N+ P_i	$ M_{Ed,x} $ [kN*m]	σ_c [kN/m ²] = $(N_{Ed}/A_c) + (M_{Ed,x}/I_x) \cdot y/2$	$0,6 \cdot f_{ck}$ [kN/m ²]	$0,6 \cdot f_{ck} - \sigma_c =$	> 0 ?
1 (terra)	248,3	6515,21	6763,51	0	17122,97846	21000	3877,02154	SI
2	243,3	6515,21	6758,51	38,2	17826,5701	21000	3173,4299	SI
3	239,8	6515,21	6755,01	61,6	18256,45926	21000	2743,54074	SI
4	235,5	6515,21	6750,71	78,6	18564,32307	21000	2435,67693	SI
5	230,9	6515,21	6746,11	90,7	18779,55238	21000	2220,44762	SI
6	212,1	6515,21	6727,31	98,8	18883,83196	21000	2116,16804	SI
7	207,2	6515,21	6722,41	102,5	18940,80177	21000	2059,19823	SI
8	202,1	6515,21	6717,31	102,9	18935,39025	21000	2064,60975	SI
9	197,2	6515,21	6712,41	99,8	18864,86006	21000	2135,13994	SI
10	191,4	6515,21	6706,61	93,4	18730,17637	21000	2269,82363	SI
11	186,8	6515,21	6702,01	82,5	18514,15568	21000	2485,84432	SI
12	180,1	6515,21	6695,31	68,7	18238,44348	21000	2761,55652	SI
13	174,4	6515,21	6689,61	52,3	17916,51296	21000	3083,48704	SI
14	167,7	6515,21	6682,91	33,4	17545,17576	21000	3454,82424	SI
15	159,8	6515,21	6675,01	10,1	17088,30056	21000	3911,69944	SI
16	151	6515,21	6666,21	19,4	17240,39685	21000	3759,60315	SI
17	125,1	6515,21	6640,31	54,8	17838,57657	21000	3161,42343	SI
18	123	6515,21	6638,21	42,6	17604,51006	21000	3395,48994	SI
19	120,7	6515,21	6635,91	34,3	17443,06221	21000	3556,93779	SI
20	118,3	6515,21	6633,51	29,5	17346,9862	21000	3653,0138	SI
21	115,8	6515,21	6631,01	27,8	17308,78203	21000	3691,21797	SI
22	113,3	6515,21	6628,51	29,6	17336,20285	21000	3663,79715	SI
23	110,9	6515,21	6626,11	33,5	17403,25184	21000	3596,74816	SI
24	108,5	6515,21	6623,71	40,1	17520,92583	21000	3479,07417	SI
25	107,6	6515,21	6622,81	49,2	17689,27232	21000	3310,72768	SI
26 (cima)	104	6515,21	6619,21	67,8	18028,90831	21000	2971,09169	SI

Si tratta essenzialmente di una verifica tensionale, in quanto va a confrontare il massimo sforzo di compressione cui la sezione è sottoposta con la tensione resistente indicata da normativa per lo stato limite di esercizio. Le sezioni sono sottoposte a pressoflessione retta: l'azione assiale agente centrata deriva dal peso portato e dalla post-compressione valutata all'istante iniziale, vale a dire senza perdite; il momento x è quello derivante sempre dai carichi portati. Allo SLE la

sezione presenta un diagramma triangolare degli sforzi, attraverso l'equazione di equilibrio si ricava pertanto lo sforzo massimo agente ad un estremo della sezione.

Nella seconda verifica cambiano le condizioni al contorno, ci si riferisce ora ad un tempo infinito e ad uno stato limite ultimo. Vanno pertanto utilizzati adeguati coefficienti relativi alla combinazione di carico fondamentale.

verifica a pressoflessione retta a tempo infinito (SLU)							
area netta di cls	$A_c = A - A_s =$				394996	[mm ²]	0,394996 [m ²]
compressione da trefoli al tempo infinito	$P_f =$				4560645,6	[N]	4560,6456 [kN]
coefficiente di prec. SLU	$\gamma_p =$						1,2
compressione da trefoli al tempo infinito (comb. SLU)	$P_{f,SLU} = P_f * \gamma_p =$				5472774,7	[N]	5472,7747 [kN]
coefficiente di sicurezza	$\gamma_c =$						1,5
coefficiente di lunga durata	$\alpha_{cc} =$						0,85
resistenza a compressione	$f_{cd} = f_{ck} * \alpha_{cc} / \gamma_c =$				19,83	[N/mm ²]	19833,33 [kN/m ²]

Viene quindi valutata la compressione residua dei cavi al netto delle perdite, si calcola inoltre l'area netta di calcestruzzo eliminando l'area sezionale dei cavi.

interfaccia n°	N [kN]	$P_{f,SLU}$ [kN]	N_{Ed} [kN] = $N + P_{f,SLU}$	N_{Rd} [kN] = $0,8 * f_{cd} * A_c \geq N_{Ed} ?$	$ M_{Ed,x} $ [kN*m]	z [m] = $N_{Ed} / (f_{cd} * 0,8 * b) \leq h ?$	$M_{Rd,x}(N_{Ed}) =$ $N_{Ed} * (h/2 - 0,8 * z/2)$	$M_{Rd,x}(N_{Ed}) -$ $M_{Ed,x} =$	$\geq 0 ?$
1 (terra)	458,2	5472,7747	5930,9747	6267,269867	0	0,747601855	598,7868059	598,786806	SI
2	452,8	5472,7747	5925,5747	6267,269867	72,5	0,746921183	599,8549756	527,354976	SI
3	449,3	5472,7747	5922,0747	6267,269867	117,5	0,746480007	600,5457373	483,045737	SI
4	444,2	5472,7747	5916,9747	6267,269867	149,7	0,74583715	601,5500643	451,850064	SI
5	438,6	5472,7747	5911,3747	6267,269867	172,7	0,745131267	602,6498335	429,949834	SI
6	432	5472,7747	5904,7747	6267,269867	187,8	0,744299334	603,9419303	416,14193	SI
7	370,3	5472,7747	5843,0747	6267,269867	198,3	0,736522024	615,8086014	417,508601	SI
8	363,8	5472,7747	5836,5747	6267,269867	202,7	0,735702696	617,0363857	414,336386	SI
9	357,4	5472,7747	5830,1747	6267,269867	200,1	0,734895973	618,2411183	418,141118	SI
10	350,8	5472,7747	5823,5747	6267,269867	191	0,73406404	619,4791727	428,479173	SI
11	343,4	5472,7747	5816,1747	6267,269867	173,3	0,733131267	620,8620708	447,562071	SI
12	335	5472,7747	5807,7747	6267,269867	149,6	0,732072444	622,4251553	472,825155	SI
13	328,3	5472,7747	5801,0747	6267,269867	120,1	0,731227906	623,6668003	503,5668	SI
14	320,4	5472,7747	5793,1747	6267,269867	85,2	0,730232108	625,1250139	539,925014	SI
15	310,7	5472,7747	5783,4747	6267,269867	41,1	0,729009418	626,906871	585,806871	SI
16	296,3	5472,7747	5769,0747	6267,269867	15,9	0,727194292	629,5346044	613,634604	SI
17	284,5	5472,7747	5757,2747	6267,269867	85,3	0,725706897	631,672298	546,372298	SI
18	242	5472,7747	5714,7747	6267,269867	62,8	0,720349755	639,2552611	576,455261	SI
19	239,1	5472,7747	5711,8747	6267,269867	49,4	0,719984208	639,7660485	590,366048	SI
20	235,4	5472,7747	5708,1747	6267,269867	44,5	0,719517822	640,4165115	595,916511	SI
21	232,2	5472,7747	5704,9747	6267,269867	48,1	0,719114461	640,9779608	592,877961	SI
22	228,3	5472,7747	5701,0747	6267,269867	60,3	0,718622864	641,660831	581,360831	SI
23	224,2	5472,7747	5696,9747	6267,269867	79	0,718106057	642,3770665	563,377066	SI
24	219,4	5472,7747	5692,1747	6267,269867	104,9	0,717501015	643,2134321	538,313432	SI
25	214,4	5472,7747	5687,1747	6267,269867	137,9	0,716870763	644,0821756	506,182176	SI
26 (cima)	203	5472,7747	5675,7747	6267,269867	201,5	0,715433788	646,0534844	444,553484	SI

Il modo migliore di verificare una sezione sottoposta a questo tipo di sollecitazioni è certamente il metodo grafico, cioè mediante l'utilizzo di un dominio, funzione di N_{Rd} e M_{Rd} , tracciato in uno spazio bidimensionale con azione assiale e momento come assi cartesiani. Andando a riportare i punti di coordinate N_{Ed} e M_{Ed} sul piano, si verifica visivamente se i suddetti punti si posizionino o meno all'interno del dominio di rottura.

In questa sede è stata invece condotta una verifica analitica: si tratta essenzialmente di una verifica a flessione retta, ma con il momento resistente che diventa funzione dell'azione assiale agente, in modo che quest'ultima vada ad influenzare la resistenza teorica a flessione, modificandone il valore effettivo.

Il primo passo consiste nell'individuare la compressione agente in ogni sezione, sommando l'azione assiale con il carico di post-compressione al netto delle perdite. Si confrontano quindi i valori ottenuti con la massima azione resistente di progetto, calcolata allo stato limite ultimo, utilizzando il modello stress-block. Questa è a tutti gli effetti un'ulteriore verifica sezionale, a compressione centrata. Si controlla successivamente la coerenza della posizione dell'asse neutro in presenza di sola compressione ed a sezione plasticizzata, che deve cadere all'interno della sezione, mediante l'equazione di equilibrio traslazionale. La coordinata z , che indica la posizione dell'asse neutro, deve essere inferiore all'altezza h , dal momento che è in quella direzione che agisce il momento sollecitante; è perciò nella stessa direzione che si andrà successivamente a calcolare il momento resistente mediante la dimensione z . Si giunge quindi alla verifica a pressoflessione vera e propria, che confronta il momento resistente con quello agente. M_{Rd} si ricava come indicato in tabella, ed è funzione proprio di N_{Ed} . L'azione assiale agente determina il comportamento flessionale resistente: più la compressione è importante (nei limiti della resistenza sezionale a questo tipo di sollecitazione), più l'asse neutro si porta ad un estremo e maggiormente la sezione si plasticizza, pertanto il momento resistente (prodotto della compressione resistente per il braccio di coppia rispetto al baricentro sezionale) avrà un valore di compressione sempre maggiore, ma un braccio di coppia che si riduce con l'aumentare di N_{Ed} . Il valore limite è perciò quello in cui l'asse neutro coincide con un estremo e la sezione è in completa plasticizzazione. Si noti inoltre come il caso in esame sia praticamente quello di sezione interamente in cls, dal momento che i cavi di post-tensione e le barre filettate di collegamento tra i conci non rientrano nel calcolo, rimanendo sempre in condizioni di sicurezza.

La verifica successiva si opera a tempo infinito e in condizioni di stato limite di salvaguardia della vita, con azione sismica agente nel piano forte dell'arco.

verifica a pressoflessione retta a tempo infinito con sisma in direzione y (SLV)									
area netta di cls	$A_c = A - A_s =$					394996	[mm ²]	0,394996	[m ²]
compressione da trefoli al tempo infinito	$P_f =$					4560646	[N]	4560,646	[kN]
coefficiente di sicurezza	$\gamma_c =$							1,5	
coefficiente di lunga durata	$\alpha_{cc} =$							0,85	
resistenza a compressione	$f_{cd} = f_{ck} * \alpha_{cc} / \gamma_c =$					19,83	[N/mm ²]	19833,33	[kN/m ²]

In questo caso la giacitura della forza sismica nello stesso piano dell'arco causa la perdita di simmetria dei carichi, generando una distribuzione non simmetrica delle azioni agenti. Per questo è necessario studiare tutti i tratti in cui la struttura è stata scomposta e non solamente la metà, come si è spesso usato in precedenza. Grazie al programma Ftool si sono ricavate le azioni assiali in ogni nodo che, composte con la post-compressione depurata dalle perdite, devono risultare inferiori alla capacità sezionale di resistere a compressione centrata. Ci si accerta poi che l'asse neutro risulti interno alla sezione (la misura di z deve perciò essere inferiore all'altezza della sezione, dato che in questo caso la flessione agisce nella stessa direzione dell'altezza), anche se di poco. Per concludere la verifica si può quindi calcolare il momento resistente, in maniera identica al caso precedente, e confrontarlo con quello agente.

interfaccia n°	N [kN]	P _f [kN]	N _{Ed} [kN] = N+P _f	N _{Rd} [kN] = 0,8*f _{cd} *A _c ≥ N _{Ed} ?	M _{Ed,x} [kN*m]	z [m] = N _{Ed} /(f _{cd} *0,8*b) ≤ h?	M _{Rd,x} (N _{Ed}) = N _{Ed} *(h/2-0,8*z/2)	M _{Rd,x} (N _{Ed}) - M _{Ed,x} =	≥ 0?
1 (sinistra)	202,7	4560,646	4763,346	6267,269867	0	0,600421714	761,3317876	761,331788	SI
2	196,1	4560,646	4756,746	6267,269867	5,9	0,599589782	761,859818	755,959818	SI
3	190,9	4560,646	4751,546	6267,269867	5,8	0,598934319	762,2727481	756,472748	SI
4	185,5	4560,646	4746,146	6267,269867	0,3	0,598253647	762,6986741	762,398674	SI
5	180	4560,646	4740,646	6267,269867	8,7	0,59756037	763,129465	754,429465	SI
6	174,3	4560,646	4734,946	6267,269867	20,7	0,596841882	763,5727021	742,872702	SI
7	153,8	4560,646	4714,446	6267,269867	35,4	0,594257849	765,1397199	729,73972	SI
8	148	4560,646	4708,646	6267,269867	52,5	0,593526756	765,5753802	713,07538	SI
9	142	4560,646	4702,646	6267,269867	71,8	0,592770454	766,0224935	694,222493	SI
10	135,9	4560,646	4696,546	6267,269867	93,7	0,592001546	766,4733372	672,773337	SI
11	129,2	4560,646	4689,846	6267,269867	117,6	0,591257008	766,9642021	649,364202	SI
12	122,9	4560,646	4683,546	6267,269867	143,6	0,590362891	767,4216322	623,821632	SI
13	116,7	4560,646	4677,346	6267,269867	170,9	0,589581378	767,867894	596,967894	SI
14	110,4	4560,646	4671,046	6267,269867	199,3	0,588787261	768,317383	569,017383	SI
15	109	4560,646	4669,646	6267,269867	230,1	0,58861079	768,4167259	538,316726	SI
16	94,4	4560,646	4655,046	6267,269867	264	0,586770454	769,4409524	505,440952	SI
17	130,7	4560,646	4691,346	6267,269867	300,6	0,591346084	766,8547002	466,2547	SI
18	132,7	4560,646	4693,346	6267,269867	258,8	0,591598185	766,7083448	507,908345	SI
19	134,4	4560,646	4695,046	6267,269867	221,4	0,591812471	766,5836256	545,183626	SI
20	135,9	4560,646	4696,546	6267,269867	188	0,592001546	766,4733372	578,473337	SI
21	137,5	4560,646	4698,146	6267,269867	158,3	0,592203227	766,3554461	608,055446	SI
22	138,3	4560,646	4698,946	6267,269867	133,3	0,592304067	766,2964038	632,996404	SI
23	139,3	4560,646	4699,946	6267,269867	111,4	0,592430118	766,2252101	654,82251	SI
24	140,3	4560,646	4700,946	6267,269867	93,6	0,592556168	766,1485156	672,548516	SI
25	141,1	4560,646	4701,746	6267,269867	79,9	0,592657008	766,0892474	686,189247	SI
26	141,7	4560,646	4702,346	6267,269867	70,2	0,592732639	766,0447539	695,844754	SI
27	66,5	4560,646	4627,146	6267,269867	50,8	0,583253647	771,3384213	720,538421	SI
28	71,5	4560,646	4632,146	6267,269867	16,1	0,583883899	771,0041462	754,904146	SI
29	76,9	4560,646	4637,546	6267,269867	13,7	0,584564571	770,6402975	756,940298	SI
30	82,7	4560,646	4643,346	6267,269867	44,6	0,585295664	770,2462218	725,646222	SI
31	88,8	4560,646	4649,446	6267,269867	74,3	0,586064571	769,8281028	695,528103	SI
32	94,3	4560,646	4654,946	6267,269867	102,8	0,586757849	769,4478935	666,647893	SI
33	100,9	4560,646	4661,546	6267,269867	129,1	0,587589782	768,9876158	639,887616	SI
34	107,1	4560,646	4667,746	6267,269867	152,7	0,588371294	768,5512323	615,851232	SI
35	113,4	4560,646	4674,046	6267,269867	173,4	0,589165412	768,1038398	594,70384	SI
36	208,6	4560,646	4769,246	6267,269867	190,8	0,601165412	760,856042	570,056042	SI
37	216,6	4560,646	4777,246	6267,269867	224,8	0,602173815	760,2053565	535,405357	SI
38	223,6	4560,646	4784,246	6267,269867	250	0,603056168	759,6307125	509,630713	SI
39	229,2	4560,646	4789,846	6267,269867	265,9	0,60376205	759,1674397	493,26744	SI
40	234,2	4560,646	4794,846	6267,269867	275,3	0,604392303	758,751131	483,451131	SI
41	239,1	4560,646	4799,746	6267,269867	280,8	0,60500995	758,3407026	477,540703	SI
42	243,8	4560,646	4804,446	6267,269867	282,3	0,605602387	757,9447514	475,644751	SI
43	248,2	4560,646	4808,846	6267,269867	279,7	0,606157008	757,5720549	477,872055	SI
44	252,4	4560,646	4813,046	6267,269867	271,3	0,60668642	757,2144779	485,914478	SI
45	257,3	4560,646	4817,946	6267,269867	258,2	0,607304067	756,7950566	498,595057	SI
46	260,3	4560,646	4820,946	6267,269867	240,3	0,607682218	756,537073	516,237073	SI
47	277,4	4560,646	4838,046	6267,269867	218,2	0,609837681	755,0492369	536,849237	SI
48	282,5	4560,646	4843,146	6267,269867	190	0,610480538	754,5997878	564,599788	SI
49	283,8	4560,646	4844,446	6267,269867	156,6	0,610644403	754,4848028	597,884803	SI
50	285,4	4560,646	4846,046	6267,269867	117,6	0,610846084	754,3430489	636,743049	SI
51	287,1	4560,646	4847,746	6267,269867	70,4	0,61106037	754,1921525	683,792152	SI
52	293,8	4560,646	4854,446	6267,269867	0	0,611904908	753,5946055	753,594606	SI

Tutte le verifiche risultano soddisfatte, come si nota dalla tabella proposta.

L'ultimo controllo si opera ancora a tempo infinito e in condizioni di stato limite di salvaguardia della vita.

verifica a pressoflessione deviata a tempo infinito con sisma in direzione x (SLV)			
area netta di ds	A _c = A - A _s =		394996 [mm ²]
compressione da trefoli al tempo infinito	P _f =		4560646 [N]
coefficiente di sicurezza	γ _c =		1,5
coefficiente di lunga durata	α _{cc} =		0,85
resistenza a compressione	f _{cd} = f _{ck} *α _{cc} /γ _c =		19,83 [N/mm ²]
esponente	α =		1

La situazione di carico indagata è quella di azione sismica agente in direzione perpendicolare alla precedente, vale a dire fuori piano rispetto all'arco. Si tratta quindi di una verifica a pressoflessione deviata, eseguita sempre seguendo le indicazioni della normativa.

interfaccia n°	N [kN]	P _f [kN]	N _{Ed} [kN] = N+P _f	N _{Rd} [kN] = 0,8*f _{cd} *A _c ≥ N _{Ed} ?	M _{Ed,x} [kN*m]	z _x [m] = N _{Ed} /(f _{cd} *0,8*b) ≤ h ?	M _{Rd,x} (N _{Ed}) = N _{Ed} *(h/2-0,8*z _x /2)	M _{Ed,y} [kN*m]	z _y [m] = N _{Ed} /(f _{cd} *0,8*h) ≤ b ?	M _{Rd,y} (N _{Ed}) = N _{Ed} *(b/2-0,8*z _y /2)	(M _{Ed,x} /M _{Rd,x}) ^α + (M _{Ed,y} /M _{Rd,y}) ^α ≤ 1 ?	
1 (terra)	248,3	4560,646	4808,946	6267,2699	0	0,606169613	757,563562	394,3	0,378856008	473,477226	0,832775006	SI
2	243,3	4560,646	4803,946	6267,2699	38,2	0,605539361	757,98698	373,9	0,378462101	473,741862	0,83964503	SI
3	239,8	4560,646	4800,446	6267,2699	61,8	0,605098185	758,281872	348,4	0,378186366	473,92617	0,816635637	SI
4	235,5	4560,646	4796,146	6267,2699	78,6	0,604556168	758,642478	322,9	0,377847605	474,151549	0,784612011	SI
5	230,9	4560,646	4791,546	6267,2699	90,7	0,603976336	759,026178	297,4	0,37748521	474,391361	0,746403769	SI
6	225,9	4560,646	4786,546	6267,2699	98,8	0,603346084	759,440822	271,9	0,377091303	474,650514	0,702938246	SI
7	207,2	4560,646	4767,846	6267,2699	102,5	0,600988941	760,969248	246,9	0,375618088	475,60578	0,653824055	SI
8	202,2	4560,646	4762,846	6267,2699	102,9	0,600358689	761,371944	222,2	0,375224181	475,857465	0,602097311	SI
9	196,9	4560,646	4757,546	6267,2699	99,8	0,599690622	761,796048	198	0,374806639	476,12253	0,54686553	SI
10	192,1	4560,646	4752,746	6267,2699	93,4	0,59908558	762,177699	173,8	0,374428487	476,361062	0,487392902	SI
11	186,8	4560,646	4747,446	6267,2699	82,5	0,598417513	762,596405	150	0,374010945	476,622753	0,422897352	SI
12	180,1	4560,646	4740,746	6267,2699	68,7	0,597572975	763,12166	126,6	0,373483109	476,951037	0,355461015	SI
13	174,4	4560,646	4735,046	6267,2699	52,3	0,596854487	763,564954	103,7	0,373034055	477,228096	0,285791011	SI
14	169,8	4560,646	4730,446	6267,2699	33,4	0,596274655	763,920312	81,2	0,37267166	477,450195	0,213791933	SI
15	159,6	4560,646	4720,246	6267,2699	10,1	0,594988941	764,700667	59,1	0,371868088	477,937917	0,13686401	SI
16	151	4560,646	4711,646	6267,2699	19,4	0,593904908	765,350462	37,8	0,371190567	478,344039	0,104370486	SI
17	147,1	4560,646	4707,746	6267,2699	54,8	0,593413311	765,642679	69,8	0,370883319	478,526674	0,217438245	SI
18	121,5	4560,646	4682,146	6267,2699	42,6	0,59018642	767,52274	57,1	0,368866513	479,701712	0,174535545	SI
19	119,9	4560,646	4680,546	6267,2699	34,3	0,589984739	767,638049	45,6	0,368740462	479,773781	0,13972731	SI
20	118,3	4560,646	4678,946	6267,2699	29,5	0,589783059	767,753101	35,2	0,368614412	479,845688	0,111780727	SI
21	115,8	4560,646	4676,446	6267,2699	27,8	0,589467933	767,932352	26,3	0,368417458	479,95772	0,090997599	SI
22	113,3	4560,646	4673,946	6267,2699	29,6	0,589152807	768,110973	18,3	0,368220504	480,069358	0,07665559	SI
23	110,9	4560,646	4671,546	6267,2699	33,5	0,588850286	768,281855	11,8	0,368031429	480,17616	0,068178104	SI
24	108,5	4560,646	4669,146	6267,2699	40,1	0,588547765	768,452158	6,8	0,367842353	480,282599	0,06634115	SI
25	105,7	4560,646	4666,346	6267,2699	49,2	0,588194824	768,650109	3,3	0,367621765	480,406318	0,070877502	SI
26 (cima)	104	4560,646	4664,646	6267,2699	67,8	0,587980538	768,769909	0	0,367487836	480,481193	0,088192838	SI

Come fatto fin'ora, si riportano in tabella le azioni assiali ed i momenti agenti, ricavati dalle modellazioni ottenute tramite il programma ausiliario di analisi bidimensionale, sotto le condizioni di carico imposte volta per volta. Va inoltre introdotto in tabella il carico netto di post-compressione, per poter verificare la sezione in caso di compressione centrata. A questo punto la pressoflessione deviata si scompone in due pressoflessioni rette, ognuna diretta secondo il piano in cui agisce il momento ad essa riferito. Si procede quindi come nei casi precedenti, controllando prima la posizione dell'asse neutro, poi ricavando il momento resistente in funzione dell'azione assiale agente, il tutto logicamente secondo i due piani in cui agiscono le flessioni. Per il momento resistente x si ricava una z_x necessariamente inferiore all'altezza h della sezione; per il piano ortogonale invece si ricava un momento resistente y funzione della posizione z_y, verificata inferiore alla base b, funzione a sua volta dell'azione assiale agente. Si termina con la verifica vera e propria: la somma algebrica dei due rapporti tra momenti agenti e resistenti, elevati ciascuno ad un esponente α, posto cautelativamente pari ad 1. Ottenendo in corrispondenza di ogni nodo un valore inferiore ad 1, la verifica può considerarsi soddisfatta.

Si conclude così il dimensionamento della struttura più complessa dell'intero edificio; non resta che verificare i nodi attraverso cui gli elementi portanti si scambiano le sollecitazioni.

7.3.4. Connessioni tra acciaio e calcestruzzo

Tutto il carico proveniente dal bulbo in acciaio e le relative azioni accidentali orizzontali vanno a sollecitare gli archi che scaricano a terra. Questa trasmissione di sforzi è assicurata per la quasi totalità (se escludiamo la copertura orizzontale od obliqua e la facciata cinetica, ove presente) da 3 particolari connessioni per ogni modulo. Sono esse dei vincoli studiati appositamente per il progetto in questione, infatti hanno duplice comportamento, a seconda del piano nel quale vengono sollecitati: agiscono come delle cerniere nel piano in cui giacciono l'arco e il bulbo si comportano invece da incastri se osservati nel piano ortogonale, cioè quello in cui si sviluppa l'intera lunghezza dell'edificio. Tali nodi sono costituiti da due elementi in acciaio collegati rispettivamente al bulbo e all'arco, che si connettono l'uno all'altro mediante l'incrocio di denti bloccati per mezzo di un perno, che libera così la rotazione. Per assicurare una migliore comprensione della morfologia si rimanda ai disegni dei particolari strutturali.

Come già spiegato, attraverso questi elementi passano degli sforzi di notevole entità, per questo motivo nella zona di collegamento della trave calandrata con il nodo vengono inserite delle piastre irrigidenti saldate sull'anima e sulle ali della HEA 280, per evitare problemi di instabilità locale conseguenti all'elevata concentrazione delle sollecitazioni in un unico punto.

Le verifiche operate riguardano le piastre (chiamata "verticale" quella che si aggancia tra i conci in calcestruzzo, "orizzontale" quella posizionata perpendicolarmente alla verticale e che segue lo sviluppo dell'arco) costituenti l'elemento superiore del nodo, i denti che si intersecano tra loro e il perno che immobilizza il giunto. Tutti i nodi hanno caratteristiche dimensionali uguali; discorso diverso avviene per quanto riguarda le sollecitazioni cui sono sottoposti, esse variano infatti a seconda che si consideri il nodo centrale o uno dei 2 laterali. Anche in questo caso, date le molteplici combinazioni di carico, risulta più sicuro eseguire verifiche in tutte le condizioni che risultano maggiormente gravose.

VERIFICHE SULLA PIASTRA VERTICALE DELLA CERNIERA LATERALE					
sezione sollecitata	b =	3	[cm]	0,03	[m]
	h =	50	[cm]	0,5	[m]
area della sezione	A = b*h =			0,015	[m ²]

verifica a trazione (SLU)					
azione orizzontale	H =			97,8	[kN]
azione verticale	V =			146,9	[kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475	[rad]
trazione agente	$N_{Ed} = H \cos \alpha + V \sin \alpha =$			174,135298	[kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05	
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524	[kN/m ²]
trazione resistente	$N_{Rd} = f_{yd} * A =$			3357,14286	[kN]

verifica a taglio (SLU)				
azione orizzontale	H =			97,8 [kN]
azione verticale	V =			146,9 [kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475 [rad]
taglio agente	$T_{Ed} = V\cos\alpha - H\sin\alpha =$			28,6591671 [kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000 [kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524 [kN/m ²]
taglio resistente	$V_{c,Rd} = f_{yd} * A/\sqrt{3} =$			1938,24733 [kN]

Si comincia analizzando la piastra verticale della cerniera su un lato. Dopo aver inserito i dati dimensionali, si riportano le azioni agenti sull'elemento calcolate in precedenza secondo la combinazione di carico fondamentale a stato limite ultimo. La piastra laterale risulta avere un'inclinazione di 47° se vista nel piano dell'arco, quindi per ricavare trazione e taglio agenti va sfruttata la trigonometria. L'acciaio utilizzato è di tipo S 235, come in tutti il resto della costruzione. Seguendo la normativa si procede poi ricavando le azioni resistenti e confrontandole con le sollecitazioni.

verifica a trazione con sisma agente nel piano forte dell'arco (SLV)				
azione orizzontale	H =			129 [kN]
azione verticale	V =			63,6 [kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475 [rad]
trazione agente	$N_{Ed} = H\cos\alpha + V\sin\alpha =$			134,491884 [kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000 [kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524 [kN/m ²]
trazione resistente	$N_{Rd} = f_{yd} * A =$			3357,14286 [kN]

verifica a taglio con sisma agente nel piano forte dell'arco (SLV)				
azione orizzontale	H =			129 [kN]
azione verticale	V =			63,6 [kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475 [rad]
taglio agente	$T_{Ed} = H\sin\alpha - V\cos\alpha =$			50,9695318 [kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000 [kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524 [kN/m ²]
taglio resistente	$V_{c,Rd} = f_{yd} * A/\sqrt{3} =$			1938,24733 [kN]

Lo stesso procedimento viene seguito in presenza di azione sismica; ovviamente i carichi cambiano e così le azioni agenti, ricavate tramite il programma Ftool.

Come già avvenuto in precedenza, deve essere valutato anche il caso di azione sismica agente fuori piano, situazione che causa uno stato di sforzo agente in due direzioni.

verifica a trazione con sisma agente nel piano debole dell'arco (SLV)					
azione orizzontale	H =			48,8	[kN]
azione verticale	V =			75,9	[kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475	[rad]
trazione agente	$N_{Ed} = H\cos\alpha + V\sin\alpha =$			88,7912659	[kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05	
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524	[kN/m ²]
trazione resistente	$N_{Rd} = f_{yd} * A =$			3357,14286	[kN]

verifica a taglio con sisma agente nel piano debole dell'arco (SLV)					
azione orizzontale	H =			48,8	[kN]
azione verticale	V =			75,9	[kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475	[rad]
taglio nel piano forte	$T_{y,d} = V\cos\alpha - H\sin\alpha =$			16,0736149	[kN]
taglio nel piano debole	$T_{x,d} =$			12,9	[kN]
taglio agente (composto con azione sismica)	$T_{Ed} =$			20,6099756	[kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05	
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524	[kN/m ²]
taglio resistente	$V_{c,Rd} = f_{yd} * A / \sqrt{3} =$			1938,24733	[kN]

Se infatti nel caso della trazione il discorso non varia, osservando lo sforzo tagliante si nota che esso agisce in due direzioni ortogonali. Per poter operare una verifica occorre quindi comporre le due azioni per formarne una sola, da confrontare successivamente con il taglio resistente ricavato seguendo la normativa.

Analizzando visivamente le sollecitazioni, si ritiene invece sia necessaria un'unica verifica sulla piastra verticale centrale.

VERIFICHE SULLA PIASTRA VERTICALE DELLA CERNIERA CENTRALE					
sezione sollecitata	b =	3	[cm]	0,03	[m]
	h =	50	[cm]	0,5	[m]
area della sezione	$A = b * h =$			0,015	[m ²]

verifica a taglio con sisma agente nel piano forte dell'arco (SLV)					
azione orizzontale	H =			134,3	[kN]
azione verticale	V =			28,7	[kN]
angolo	$\alpha =$	90	[°]	1,57079633	[rad]
taglio agente	$T_{Ed} = H =$			134,3	[kN]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]
coefficiente	$\gamma_{M0} =$			1,05	
resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	223,809524	[N/mm ²]	223809,524	[kN/m ²]
taglio resistente	$V_{c,Rd} = f_{yd} * A / \sqrt{3} =$			1938,24733	[kN]

Il discorso è identico alle situazioni sopra analizzate, l'unica differenza risiede nell'inclinazione della piastra che ora è perfettamente verticale.

L'unica verifica che ha senso condurre sulla piastra orizzontale è invece quella a flessione. Suddetta piastra è infatti sottoposta (se guardata nel piano in cui giace l'arco) da un lato ad uno sforzo di trazione (proveniente dal bulbo) che può pressoché approssimarsi come uniformemente diffuso, ma ha come unico vincolo lo spessore della piastra verticale inserita tra i conci in calcestruzzo e posizionata centralmente ad essa. La sezione d'incastro tra le piastre ortogonali risulta essere perciò sottoposta ad un momento elevato. Questa situazione rischia di necessitare il posizionamento di squadrette che migliorino la distribuzione degli sforzi nel punto critico.

VERIFICHE SULLA PIASTRA ORIZZONTALE DELLA CERNIERA LATERALE					
dimensioni	b =	30	[cm]	0,3	[m]
	h =	50	[cm]	0,5	[m]
	s =	2	[cm]	0,02	[m]
superficie faccia inferiore	A = b*h =			0,15	[m ²]

verifica a flessione (SLU)					
azione orizzontale	H =			97,8	[kN]
azione verticale	V =			146,9	[kN]
angolo	$\alpha =$	47	[°]	0,82030475	[rad]
forza agente concentrata	$N_{Ed} = H\cos\alpha + V\sin\alpha =$			174,135298	[kN]
forza equivalente distribuita	$q = N_{Ed}/A =$			1160,90199	[kN/m ²]
resistenza caratteristica	$f_{yk} =$	235	[N/mm ²]	235000	[kN/m ²]
modulo plastico resistente	$W_{pl} = h*s^2/4 =$			0,00005	[m ³]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$			1,05	
momento agente sulla sezione di cerniera	$M_{Ed} = q*A/2*b/4 =$			6,53007369	[kN*m]
momento resistente plastico	$M_{Rd,pl} = f_{yk}*W_{pl}/\gamma_{M0} =$			11,1904762	[kN*m]

Dall'indagine condotta non risultano criticità nel punto analizzato, si può perciò trascurare l'ipotesi di un posizionamento di squadrette ausiliarie in acciaio.

Un'ulteriore verifica da soddisfare è quella sulla saldatura che connette l'ala superiore della trave calandrata alla piastra dentata che costituisce la parte inferiore del nodo. Si tratta dell'unica saldatura dell'intero edificio, poiché esso deve essere interamente smontabile e rimontabile senza difficoltà né sostituzione di materiale.

VERIFICHE SALDATURE DEL NODO ACCIAIO-CLS				
verifica a trazione (SLU)				
lunghezza di saldatura	L =	300		[mm]
forza che sollecita il cordone d'angolo (da Ftool)	F =	174135,298		[N]
forza agente per unità di lunghezza	$F_{W,Ed} = F/L =$	580,450995		[N/mm]
altezza di gola	a =	5		[mm]
forza resistente del cordone (da profili v6 gelfi)	$F_R =$	207,8		[N]
forza resistente per unità di lunghezza	$F_{W,Rd} = F_R/a =$	1039		[N/mm]

Infine i denti degli elementi costituenti il vincolo, così come il perno, sono stati progettati e verificati direttamente con il programma “Profili_v6” del pacchetto “Gelfi”, per snellire il procedimento. In particolare il software ha permesso di dimensionare i denti in modo che resistessero a rifollamento e alla massima trazione agente; mentre il taglio è stato il criterio in base a cui è stato studiato il perno. Per sfruttare il programma, i denti sono assimilati essenzialmente ad una piastra, mentre il perno ha lo stesso comportamento di un bullone, con 4 sezioni di taglio. Le effettive dimensioni degli elementi verificati in questo modo si possono osservare sugli elaborati grafici della sezione strutturale. Si riporta a titolo esemplificativo una screenshot dell’interfaccia del programma.

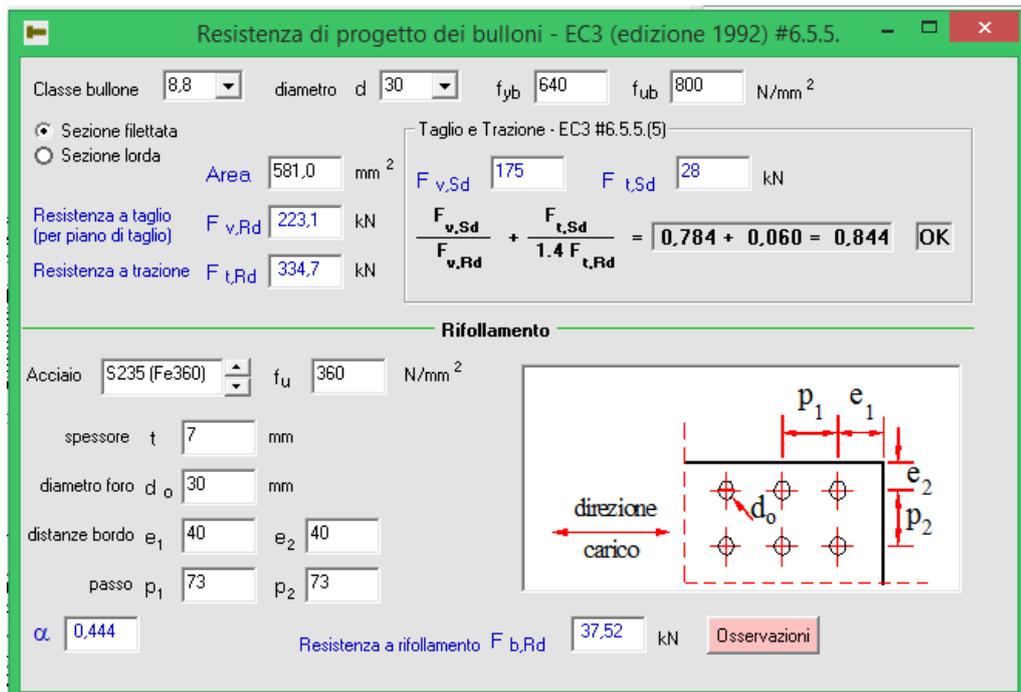


Figura 183 - Schermata del software “Profili_v6” del gruppo “Gelfi”

7.3.5. Altre connessioni critiche

L'intera struttura in acciaio del bulbo, della copertura e della facciata cinetica presenta connessioni che nella maggior parte si possono assimilare a dei giunti bullonati e sono state perciò verificate con l'ausilio del programma "Profili_v6", sopra citato.

Il software ha permesso inoltre di verificare il vincolo a cerniera che sta ai due estremi della trave primaria del modulo del bulbo visto frontalmente, tali nodi si comportano infatti esattamente come le cerniere analizzate nel precedente paragrafo, e in egual modo vengono verificati: il perno a taglio e i denti a trazione e rifollamento.

Gli ultimi elementi da progettare sono le barre filettate che permettono la connessione tra i conci in calcestruzzo al momento della messa in opera. Essi vengono infatti impilati a terra 4 per 4 e successivamente sollevati e posizionati a formare l'arco grazie ad una centinatura provvisoria. Inserendo 4 barre filettate (una per vertice) in corrispondenza di ogni sezione di interfaccia si ha la possibilità di movimentare i 4 conci impilati come un corpo unico, il che snellisce di gran lunga le operazioni e lima i tempi di posa. Le barre funzioneranno anche come supporto all'azione dei cavi post-compressi: questi ultimi infatti aumentano l'attrito tra i conci e garantiscono un vincolo rispetto allo scorrimento orizzontale, ma secondo la nuova normativa sismica risulta necessaria una connessione che lavori essenzialmente a taglio (e non solo per attrito) per garantire un comportamento adeguato rispetto alle sollecitazioni orizzontali.

PREDIMENSIONAMENTO BARRE FILETTATE				
dimensioni arco	b (x) =	50 [cm]	0,5	[m]
	h (y) =	80 [cm]	0,8	[m]
area sezionale	A =		0,4	[m ²]
densità cls	ρ =		2200	[kg/m ³]
peso proprio arco in cls (al metro lineare)	q =		8,6328	[kN/m]
sviluppo lineare medio di un concio	z =	60 [cm]	0,6	[m]
peso proprio di un concio	Q =		5,17968	[kN]
conci assemblati 4 a 4 e sollevati				
n° conci sollevati	$n_1 =$		1	
n° conci che fanno da vincolo	$n_2 = 4 - n_1 =$		3	
diametro barre	$\phi =$	12 [mm]	0,012	[m]
n° barre	n =		4	

Dopo aver determinato la dinamica della posa in opera dei conci, si può intuire immediatamente le condizioni peggiori cui sono sottoposti gli elementi in esame: nel momento in cui si fissa il gancio della gru al concio estremo superiore e viene imposto il sollevamento. A quel punto le barre devono sopportare un taglio massimo dato dai 3 conci in coda che si oppongono per gravità all'ascensione del primo.

VERIFICHE DURANTE LA POSA IN OPERA				
verifica a taglio (SLE)				
area di taglio	$A_v = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 =$		0,00045239	[m ²]
resistenza caratteristica acciaio	$f_{yk} =$		235000	[kN/m ²]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$		1,05	
taglio agente massimo	$V_{Ed} = Q \cdot n_2 =$		15,53904	[kN]
taglio resistente	$V_{Rd} = A_v \cdot f_{yk} / (\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}) =$		58,4561624	[kN]

La verifica a trazione si conduce in un'ulteriore situazione critica nella quale ci si trova durante la dinamica della posa in opera. Dal momento in cui il blocco da 4 si trova completamente sollevato, fino all'appoggio sulla centina, le barre sono sottoposte ad una trazione che tende a sfilarle dai concii ai quali sono ancorate (proprio per un migliore ancoraggio vengono utilizzate le filettature).

verifica a trazione (SLE)				
area resistente a trazione	$A_t = n \cdot \pi \cdot (\phi/2)^2 =$		0,00045239	[m ²]
fattore di sicurezza globale	$\gamma_{M0} =$		1,05	
trazione agente	$N_{Ed} = Q \cdot n_2 =$		15,53904	[kN]
trazione resistente	$N_{Rd} = A_t \cdot f_{yk} / \gamma_{M0} =$		101,249043	[kN]

L'azione di trazione è identica a quella di taglio nella situazione precedente, dal momento che i carichi sollecitanti cambiano unicamente la loro giacitura. Chiaramente in entrambe le verifiche ci si trova in stato limite di esercizio dato che, una volta terminato il posizionamento, le barre devono aver riassorbito le deformazioni elastiche, per essere in grado di sfruttare interamente le proprie risorse durante la vita utile dell'edificio.

Si osserva quindi che le barre $\phi 14$ (nucleo resistente da 12 mm di diametro, depurato dalle filettature) permettono una posa in opera scevra da criticità.

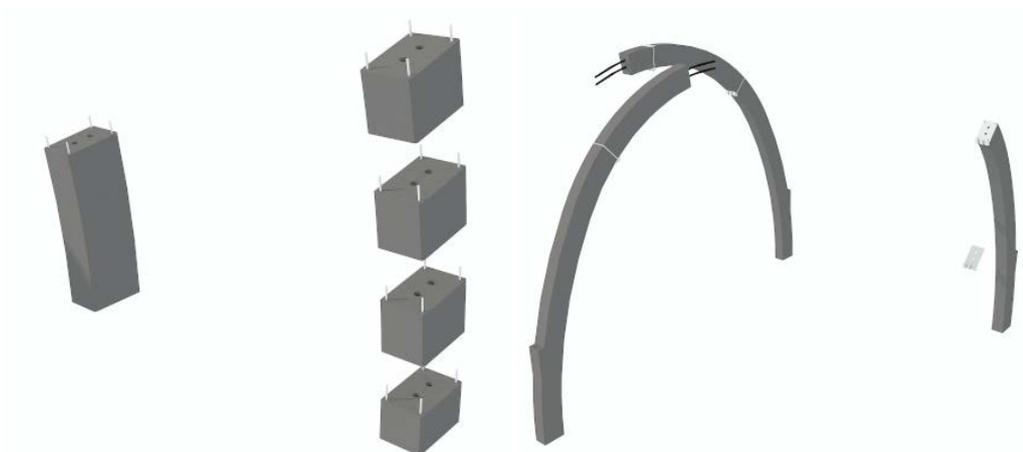


Figura 184 - Fasi di costruzione dell'arco in cls precompresso, con le relative connessioni

CAPITOLO 8

Il progetto impiantistico

8.1. Calcolo dei carichi termici estivi

8.1.1. Premesse

Come già accennato, la parte di progetto su cui si è deciso di focalizzare l'attenzione è un complesso di edifici temporanei. Questi svolgeranno le funzioni per cui sono stati progettati essenzialmente durante il periodo dell'esposizione, vale a dire nel corso dei mesi estivi. Per questo motivo gli impianti da progettare riguarderanno esclusivamente il condizionamento degli ambienti interni finalizzato al raffrescamento e alla deumidificazione.

Nel periodo estivo la quantità di calore da smaltire dipende da una serie di fattori alcuni dei quali, come l'incidenza della radiazione solare, variano nell'arco della giornata. Gli elementi che influiscono maggiormente sul fabbisogno termico estivo sono i seguenti:

- effetto della trasmissione di calore attraverso le strutture trasparenti ed opache;
- effetto della radiazione solare attraverso le strutture trasparenti;
- inerzia termica delle strutture dell'edificio;
- carichi termici interni dovuti alla presenza sia di persone che di apparecchiature che emettono calore (illuminazione, macchinari vari, ecc.);
- entrate di calore dovute alle infiltrazioni e ai ricambi d'aria.

Durante il periodo estivo, al fine di mantenere internamente gli ambienti condizionati e i valori di temperatura ed umidità relativa voluta, si deve sottrarre il calore sensibile e quello latente.

- Il **calore sensibile**, che solitamente prevale su quello latente, è la somma degli apporti di calore che hanno come unico effetto l'aumento della temperatura; proviene dall'esterno per effetto della radiazione solare, della differenza di temperatura tra l'ambiente esterno e quello interno (trasmissione per conduzione attraverso le strutture) ed anche per effetto dei cosiddetti carichi interni, quali ad esempio le persone ed eventuali sorgenti di calore (illuminazione, macchine, motori, ecc.).
- Il **calore latente**, invece, è la somma degli apporti di calore che concorrono ad aumentare il contenuto di vapore presente nell'aria, quindi dell'umidità, senza per questo aumentare la temperatura; il calore latente ambiente deriva dall'apporto di vapore delle persone (attraverso la respirazione e la traspirazione) e da altre fonti che producono vapore (cottura dei cibi asciugamento della biancheria, ecc.).

L'aria di rinnovo proveniente dall'esterno per infiltrazione o ricambi (non trattata dall'impianto di climatizzazione) apporta a sua volta calore sensibile, in forza della sua temperatura più elevata di quella interna, e calore latente in forza del suo contenuto di vapore. Si ha in definitiva un calore sensibile ed uno latente dell'aria esterna (non trattata dall'impianto di climatizzazione) ed un carico sensibile e latente dell'ambiente interno. La somma dei due corrisponde alla quantità di calore che

l'impianto di climatizzazione deve dissipare. Nel caso estivo non è possibile avanzare le ipotesi esemplificative del caso invernale che portano all'adozione di un regime stazionario. Non potendo essere trascurati quegli apporti di calore che in estate vanno a formare un carico termico rilevante, occorre valutare il loro andamento nel tempo per individuare il valore massimo della somma delle diverse tipologie di carico termico.

C'è un ulteriore fattore molto importante da considerare: l'effetto dell'inerzia delle strutture e degli ambienti, in quanto l'apporto istantaneo di calore deve essere prima assorbito dalle superfici di delimitazione del locale (pareti, porte, soffitti etc...) e dagli oggetti in esso contenuti; allorché la temperatura di questi supera quella dell'aria ambiente una parte del calore assorbito viene trasferito per convezione ed irraggiamento all'ambiente circostante. La capacità della struttura di immagazzinare il calore è responsabile quindi della differenza sostanziale che sta alla base dei concetti di apporto di calore istantaneo e carico di raffreddamento.

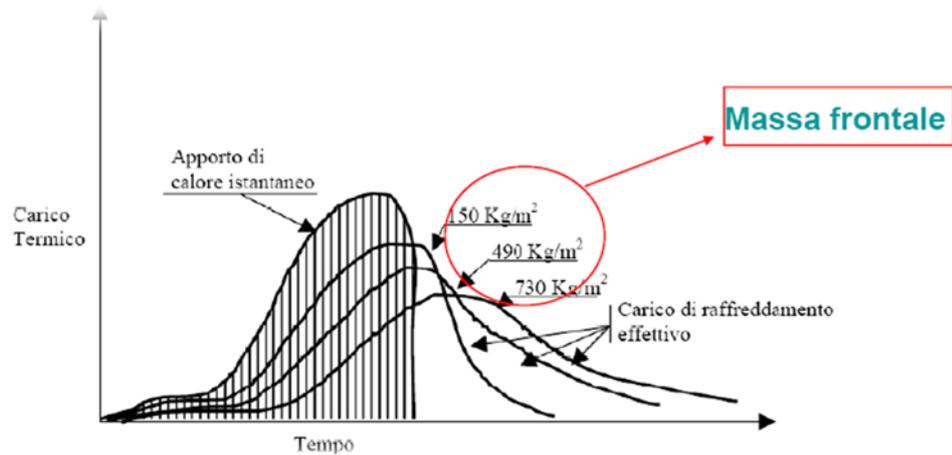


Figura 185 - Sfasamento del carico di raffreddamento effettivo

Dal grafico si nota come l'inerzia termica delle strutture determina un'attenuazione del carico di raffreddamento effettivo rispetto all'apporto istantaneo ed uno sfasamento temporale funzione della massa delle strutture: al diminuire del peso della struttura il carico di raffreddamento effettivo, che andrà poi ad influire sulla scelta della potenzialità delle macchine, approssima sempre più l'andamento della radiazione solare istantanea.

Particolare attenzione occorrerà, quindi, prestare allo studio di tali fenomeni onde evitare di commettere errori grossolani.

8.1.2. Condizioni al contorno e metodologia progettuale

- Come accennato in precedenza, uno dei primi passi da completare è il calcolo dell'inerzia termica delle pareti, tenuta poi in conto tramite la massa frontale così calcolata per ciascuna tipologia di parete:

$$m_f = \sum \rho_i \cdot s_i$$

Dove:

- _ m_f = massa frontale [kg/m²]
- _ ρ_i = densità dello strato di parete i-esimo [kg/m³]
- _ s_i = spessore dello strato i-esimo [m]

Sommando quindi i prodotti (spessore x densità) di ogni strato della parete ottengo la massa frontale della parete.

A questo punto va calcolata la massa media dell'ambiente M_m (massa per m² di pavimento) sommando i prodotti di ciascuna massa frontale per la superficie corrispondente (computando a metà i prodotti delle superfici non disperdenti, cioè a contatto con locali riscaldati) e dividendo il tutto per la superficie in pianta dell'ambiente da raffreddare.

Nelle tabelle utilizzate per i calcoli sono riportati i valori di massa specifica media dell'ambiente per costruzioni pesanti P ($M_m = 700 \text{ kg/m}^2$), medie M ($M_m = 500 \text{ kg/m}^2$), e leggere L ($M_m = 300 \text{ kg/m}^2$). Si assumerà il valore più prossimo a quello calcolato.

- Si possono ora definire le condizioni esterne.

Per il condizionamento estivo, l'impianto verrà dimensionato facendo riferimento a ben precise condizioni per l'aria esterna. Di seguito è riportato l'estratto della UNI EN 10339, da cui si evince la temperatura esterna estiva di progetto ed altri dati utili a seconda della località. La stazione meteorologica più vicina all'area EXPO è quella di Milano Linate.

Località (stazione meteorologica)	T_{bse} °C	ΔT_{ge} °C	UR_e %	X 10 ⁻³ kg/kg	H m s.l.m.	Lat. Nord	Long. Est Greenwich	Mese più caldo
ALESSANDRIA	30,5	11,0	50	13,7	95	44° 55'	08° 36'	luglio
COMO	32,0	8,0	50	15,0	200	45° 48'	09° 05'	luglio
CREMONA	33,0	12,0	45	14,2	45	45° 08'	10° 02'	luglio
MANTOVA	33,0	12,0	45	14,2	20	45° 09'	10° 48'	luglio
MILANO LINATE	32,0	12,0	48	14,4	103	45° 26'	09° 46'	luglio-agosto
MILANO MALPENSA	30,5	12,0	50	13,7	211	45° 37'	08° 44'	luglio
PAVIA	32,0	12,0	50	15,0	85	45° 11'	11° 08'	luglio
SONDRIO	30,0	14,0	50	13,3	298	46° 10'	09° 51'	luglio

Figura 186 - Condizioni esterne estive di progetto

Per quanto riguarda la temperatura interna di comfort, secondo normativa, è opportuno scegliere il valore di 26°C.

Riassumendo le condizioni alla base del calcolo estivo sono:

$$t_e = 32 \text{ °C} \qquad t_a = 26 \text{ °C}$$

$$U_e = 48 \% \qquad U_a = 50 \%$$

Consultando a questo punto la norma UNI EN 10349, che restituisce in base alla località l'irradiazione [MJ/m²] solare globale su superfici orizzontali e verticali a seconda dell'esposizione, nonché l'irradianza [W/m²] solare massima estiva incidente su superfici verticali a seconda dell'ora del giorno, si possono facilmente ricavare i mesi e le ore dell'anno più sfavoriti a seconda del prospetto di edificio considerato:

- *prospetto SO a luglio alle ore 15:00;*
- *prospetto SE a luglio alle ore 09:00;*
- *prospetto NO a luglio alle ore 17:00;*
- *prospetto NE a luglio alle ore 07:00;*
- *copertura a giugno alle ore 12:00.*

A questo punto vanno applicate le correzioni alle varie temperature trovate, sia in base all'escursione termica annua che per quella giornaliera. Mentre nel caso del riscaldamento non si considerano variazioni di temperatura esterna in funzione delle varie ore del giorno, nel caso del condizionamento estivo è opportuno tener conto di queste variazioni. Per quanto riguarda l'escursione termica annua, la correzione è sempre nulla per il mese di luglio, indipendentemente dal valore di input. La tabella seguente, invece, indica i valori di tali correzioni secondo le diverse ore del giorno in base alla data escursione termica giornaliera. Dalla tabella precedente ricaviamo il valore di input:

Escursione termica giornaliera (°C)	Temperatura esterna considerata nei calcoli (°C)	Ora solare										
		8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	
5,0	bulbo asciutto	-4,5	-3,5	-2,5	-0,5	0	-0,5	-1,0	-2,5	-4,0	-4,5	
	bulbo umido	-1,0	-1,0	-0,5	0	0	0	-0,5	-0,5	-1,0	-1,0	
7,5	bulbo asciutto	-6,5	-5,0	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,0	-3,5	-5,0	-7,0	
	bulbo umido	-1,5	-1,0	-0,5	0	0	0	-0,5	-0,5	-1,5	-2,0	
10,0	bulbo asciutto	-7,5	-5,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,5	-3,5	-6,0	-8,5	
	bulbo umido	-2,0	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	
12,5	bulbo asciutto	-8,5	-6,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-1,5	-4,0	-6,5	-9,0	
	bulbo umido	-2,0	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,0	-2,0	-2,5	
15,0	bulbo asciutto	-9,5	-6,5	-3,0	-0,5	0	-0,5	-2,0	-5,0	-8,0	-10,5	
	bulbo umido	-2,5	-1,5	-0,5	0	0	0	-0,5	-1,5	-2	-3,0	
17,5	bulbo asciutto	-10,5	-7,0	-3,5	-0,5	0	-0,5	-2,5	-6,0	-9,0	-12,0	
	bulbo umido	-3,0	-2,0	-1,0	0	0	0	-0,5	-2,0	-2,5	-3,5	
20,0	bulbo asciutto	-12,0	-8,0	-4,0	-0,5	0	-0,5	-3,5	-7,5	-10,0	-14,0	
	bulbo umido	-3,5	-2,5	-1,0	0	0	0	-1,5	-3,0	-3,5	-4,5	

Figura 187 - Correzioni in °C da applicarsi alle temperature esterne previste nei calcoli

- Ora può iniziare il calcolo del fabbisogno vero e proprio.

Il metodo dei fattori di accumulo consente di calcolare il carico termico Q_p di un ambiente in regime continuo, con un valore costante della temperatura interna e utilizzando il principio di sovrapposizione degli effetti. Le diverse sollecitazioni esterne sono legate al valore Q_p in un definito istante dato da:

$$Q_p = Q_d + Q_v + Q_s + Q_l + Q_i$$

Dove:

- Q_d = contributo al carico termico sensibile dovuto alla trasmissione globale attraverso l'involucro (pareti opache e vetrate) [W];
- Q_v = contributo al carico termico dovuto alle infiltrazioni [W];
- Q_s = contributo al carico termico sensibile dovuto alla radiazione solare che entra nell'ambiente attraverso le pareti trasparenti [W];
- Q_l = contributo al carico termico dovuto all'illuminazione [W];
- Q_i = contributo al carico termico dovuto ai carichi termici convettivi interni [W].

- Il calore di trasmissione tiene conto del flusso termico attraverso le pareti.

Tale flusso dipende quindi dalla differenza di temperatura tra le superfici interna ed esterna della parete. Nel periodo estivo, le escursioni della temperatura esterna sono tali da far ritenere che in alcuni casi essa possa essere inferiore alla temperatura dell'ambiente stesso. Per questo motivo non ha senso pensare ad una temperatura esterna media di riferimento. Il flusso termico di trasmissione attraverso una parete opaca è indotto, ovviamente, non solo dall'andamento della differenza di temperatura tra aria esterna ed aria interna, ma anche dall'irraggiamento solare sulla facciata esterna della struttura. Si può tener conto contemporaneamente di questi due fattori facendo riferimento ad una temperatura dell'aria esterna "fittizia", detta "temperatura solare", che è definita come il valore di temperatura che dovrebbe avere l'aria esterna per indurre in scambio termico per sola assunzione superficiale lo stesso valore di flusso termico entrante dalla superficie esterna della parete dovuto alla concomitanza dei due effetti. È usuale esprimere i risultati dei calcoli che tengono conto del regime non stazionario del fenomeno con un'espressione formalmente identica a quella relativa alla trasmissione del calore in regime stazionario:

$$Q_d = U \cdot S \cdot \Delta t_e$$

Dove:

- Q_d = carico termico per trasmissione [W]
- U = coefficiente globale di trasmissione o trasmittanza unitaria della superficie [$W/m^2 \text{ } ^\circ C$]
- S = superficie della parete [m^2]
- Δt_e = differenza di temperatura equivalente [$^\circ C$]

La differenza di temperatura di riferimento, detta differenza di temperatura equivalente, è riportata in opportune tabulazioni, in funzione seguenti parametri:

- latitudine della località considerata;
- ora solare del particolare giorno considerato;
- massa per unità di superficie della struttura considerata;
- orientamento della struttura;
- colore dell'involucro esterno della struttura;
- temperature il progetto esterna e interna, ed escursione termica.

I valori negativi sono generalmente considerati nulli per motivi di sicurezza. Di seguito si riportano le tabelle utilizzate ai fini del calcolo del carico termico per trasmissione.

Nel caso in esame la temperatura equivalente in tabella si riferisce a condizioni diverse da quelle standard (t esterna = 34 °C, t interna = 26 °C ed escursione termica = 11 °C), perciò bisogna ricorrere a fattori correttivi.

Per la trasmissione attraverso le pareti vetrate si considera un Δt_e pari a quello effettivo nel periodo considerato.

CORREZIONI ALLE DIFFERENZE DI TEMPERATURA EQUIVALENTI																			
Temper. esterna ore 15 meno temper. ambiente (°C)	Escursione termica giornaliera (°C)																		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
3	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5	-7	-7,5	-8	-8,5	-9	-9,5		
4	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5	-7	-7,5	-8	-8,5		
5	0,5	0	0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5	-7	-7,5		
6	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5	-6	-6,5		
7	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5	-5	-5,5		
8	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5	-4	-4,5		
9	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5	-3	-3,5		
10	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5	-2	-2,5		
11	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5	-1	-1,5		
12	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0	-0,5		
13	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5		
14	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5		
15	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5	3	2,5		
16	11,5	11	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5	4	3,5		
17	12,5	12	11,5	11	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5	4,5		
18	13,5	13	12,5	12	11,5	11	10,5	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5		

Figura 188 - Correzioni alle differenze di temperatura equivalente

TETTO DI COLORE SCURO																									
Tetto	**Pese del tetto (kg/m²)	ora solare																							
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
Esposto al sole	100	-0,3	-0,8	-1,4	-0,8	0,8	4,7	8,5	12,5	16,4	19,7	22,5	23,6	23,6	21,9	19,2	16,4	13,6	10,8	8,1	6,4	4,2	3	1,9	0,8
	200	1,9	1,3	0,8	1,3	3	5,3	8,5	12,5	15,2	18,1	20,8	21,9	22,5	21,3	19,2	17,5	15,2	13,1	10,8	9,2	6,9	5,8	4,7	3
	300	4,7	4,2	3	3,6	4,2	5,8	8,5	11,9	14,7	16,9	19,2	20,8	21,3	20,8	19,7	18,6	16,9	15,2	13,6	11,9	9,7	8,5	6,9	5,8

Figura 189 - Differenze di temperatura equivalente per tetti di colore scuro

Orientazione della parete	Altezza del muro (m/m ²)	ora solare																							
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
NORD/ EST	100	0,5	3,8	5,5	8,1	6,6	5,7	4,8	5,7	5,9	6,7	7,4	7,2	6,9	6,9	4,8	3,7	2,5	1,4	0,3	-0,3	-1,1	-1,4	-2	-1,4
	300	-1,3	-1,6	-1,9	0,5	6,8	6,2	5,8	5	4,3	5,1	5,9	6,4	6,9	6,7	6,4	3,8	4,8	3,7	2,5	1,4	0,5	0	-0,5	-1,1
	500	1,1	0,8	0,9	0,8	0,9	3,7	4,5	4,5	4,4	4,1	3,8	4,3	4,6	4,6	5,4	4,8	4,3	3,7	3,2	2,6	2,2	2	1,7	1,5
EST	100	1,5	2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	
	300	-0,7	4,2	6	9,2	10,2	10,6	10,4	7,8	5,9	6,7	7,4	7,2	6,9	5,9	4,8	3,7	2,5	1,4	0,3	-0,3	-0,8	-1,1	-1,7	
	500	-1,3	-1,3	-1,3	5,4	8,4	8,9	9,2	6,2	5,4	5,7	5,9	6,4	6,9	6,7	6,4	5,6	4,8	3,7	2,5	1,4	0,3	0	-0,2	-0,9
SUD/ EST	100	2,3	3	3,7	2,4	2,2	2,4	2,2	2,4	3,7	4,3	5,2	5,7	5,7	5,6	5,5	5,2	4,9	5,4	6	5,7	5,4	3,9	3,6	
	300	2,1	0,8	2,7	4,7	7,1	6,2	9,2	9,6	9,6	8,5	9	7,6	6,9	6,7	6,4	5,6	4,8	3,7	2,5	1,4	0,3	-0,3	-0,8	
	500	-0,7	-0,7	-1,3	2,9	5,3	6,8	8,2	8,3	8,8	8,1	7,7	7,1	6,9	6,7	6,4	5,6	4,8	3,7	2,5	1,4	0,3	0	-0,2	
SUD	100	2,7	2,4	2,2	2,2	2,2	1,8	1,5	3	4,5	5,1	5,7	6,2	6,2	5,9	5,2	4,3	3,4	2,5	1,4	0,3	0	0	0	
	300	-1,3	-1,6	-2,5	-0,7	0,4	4,2	7,4	10	11,4	11,2	11,1	9	7,3	6,9	6,3	5,3	4,0	3,8	2,6	1,1	0,3	0	-0,2	
	500	-1,3	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	1,6	3,4	6,5	6,5	9,4	12,1	9,6	8,8	7,3	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	0,2	0	-0,5	
SUD/ OVEST	100	1,1	1,1	0,3	0,3	0,3	0,6	0,9	2,3	3,8	5	5,5	6,5	6,5	6,5	6	4,8	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	2	1,5	
	300	2,1	1,3	1,5	1,2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	2,1	3,3	4,4	4,9	5,5	6	6,3	6	5,1	4,3	3,8	3,2	2,9	2,7	
	500	-1,6	-2,2	-2,5	-1,5	-0,8	1,1	2,5	7,5	10,1	13,1	15,4	15,5	15,6	11,4	5,1	4,9	2,5	1,4	0,3	0	-0,2	-0,5	-1,1	
OVEST	100	-1,3	-0,7	-1,3	-0,7	-0,8	-0,2	0,3	2,9	4,9	9,1	12	13,2	13,7	13,4	13,1	8,3	4,8	6,3	2,5	1,7	1,1	0,9	0,3	
	300	2,1	2	1,5	1,2	0,9	1,2	1,5	2,1	2,1	4,1	4,9	6,7	7,7	8	8,1	8,5	7,9	5,8	3,8	3,5	3,2	2,9	2,1	
	500	2,4	2,4	2,2	2,2	2,2	1,8	1,5	1,5	1,5	2,1	2,7	3,2	3,8	5,6	6,7	7,2	7,8	5,4	3,7	3,2	2,9	2,7	2,4	
NORD/ OVEST	100	-1,5	-1,9	-2,5	-1,8	-0,8	0,8	2,5	6	8,3	12,5	15,4	16,7	17,3	12,6	8,4	5,4	3,2	1,7	0,3	0	-0,5	-0,5	-1,1	
	300	-1,3	-0,7	1,3	-0,7	-0,8	0,1	0,9	2,6	4,3	7,5	10,1	12,8	14,9	15,2	13,5	10,7	6,6	4,3	2,5	1,7	1,1	0,6	0,3	
	500	2,1	2,1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,1	2,7	3,5	4,4	6,2	1,1	8,0	10,5	9,7	9,1	6,7	4,9	4,1	3,8	3,3	2,9	
NORD	100	-1,9	-2,2	-2,5	-1,8	-0,8	0,8	2,5	6	8,3	12,5	15,4	16,7	17,3	12,6	8,4	5,4	3,2	1,7	0,3	0	-0,5	-0,5	-1,1	
	300	-1,6	-1,9	-2,5	-1,8	-0,8	0,8	2,5	6	8,3	12,5	15,4	16,7	17,3	12,6	8,4	5,4	3,2	1,7	0,3	0	-0,5	-0,5	-1,1	
	500	1,5	1,1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,4	2	2,5	3,7	4,6	6,1	7,8	7,9	5,2	3,2	2,6	2,6	2	1,5	
NORD (Ombra)	100	-1,9	-1,9	-2,5	-1,8	-0,8	0,2	1,2	4,2	5,3	6,4	7,4	6,9	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	
	300	-1,9	-1,9	-2,5	-1,8	-0,8	0,2	1,2	4,2	5,3	6,4	7,4	6,9	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	-0,3	-0,3	-0,8	-0,8	-1,4	
	500	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,8	1,3	1,9	2,5	2,5	2,5	4,2	2,6	3	2,5	1,9	1,3	1,3	0,8	0,4	
700	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,9	1,3	1,9	2,5	3	3	3,9	4,2	3,6	3	1,9	1,3	0,8	0,4	

Figura 190 - Differenze di temperatura equivalente per muri di colore chiaro

Parallelo dalla distanza degli 800	018. Solstizio																								
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	
NORD/ EST	120	2,5	9,1	11,9	12,5	13,1	10,2	7,4	5,9	5,4	5,9	7,4	7,4	6,4	5,3	4,1	3	1,9	0,8	-0,3	-1,4	-1,9	-2,5	-1,4	
	300	-0,8	-1,4	-1,4	-2,5	13,1	11,8	10,6	9,1	5,3	5,8	6,4	6,9	7,4	6,9	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	0,2	-0,3	-0,8	
	500	1,9	1,3	1,9	1,9	1,9	6,3	8,6	9,1	7,4	6,4	6,3	5,8	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	4,7	4,2	3,6	3	2,5	2,5	
EST	100	2,5	2,5	3	3	3	3	3	5,3	7,4	6,5	7,4	6,4	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	4,7	4,7	4,2	3,6	3,6	
	300	-2,8	-0,8	-0,3	11,3	16,4	16,9	16,9	10,2	7,4	6,9	6,4	6,9	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	2,5	1,9	1,3	0,2	-0,3	
	500	2,5	2,5	3	4,2	7,4	10,6	13,1	13,6	13,1	10,8	9,7	8,5	7,4	7,4	7,4	6,9	6,4	5,8	4,7	4,2	3,6	3,6	3	
SUD/ EST	100	5,3	3	6,9	10,2	14,1	14,7	15,2	14,1	13,1	10,2	8,5	8,1	7,4	6,4	5,3	4,2	3	1,5	0,8	-0,3	-0,8	-1,4	-1,4	
	300	0,2	0,2	-0,3	6,9	10,6	13,1	15,2	14,1	13,6	11,3	9,7	8,1	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	3	2,5	1,9	1,3	0,8	
	500	3,6	3,6	3	3	3	5,8	8,5	9,2	9,7	10,2	9,7	8,5	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	3	2,5	1,9	1,3	0,8	
SUD/ OVEST	100	-0,8	-1,4	-2,5	0,2	1,9	7,4	11,9	14,7	16,4	15,2	14,1	10,8	8,5	6,4	5,3	3,6	3	1,5	0,8	0,2	0,2	-0,3	-0,8	
	300	-0,8	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	3,6	6,4	10,8	13,1	13,6	14,1	12,5	10,6	8,5	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	0,2	0,2	-0,3	
	500	1,9	1,9	0,8	0,8	1,3	1,9	4,1	6,4	8,1	8,5	9,7	9,7	8,1	7,4	6,9	6,4	5,8	5,3	4,2	4,2	3,6	3	2,5	
OVEST	100	-1,4	-1,9	-2,5	-1,4	-0,3	1,3	3	7,4	10,8	17,5	21,9	24,7	20,3	18,5	11,9	7,4	4,2	2,5	0,8	0,2	-0,3	-0,8	-0,8	
	300	0,8	0,2	-0,3	-0,3	0,8	1,9	3,6	5,3	10,2	14,1	18,6	21,9	22,5	18,5	15,7	15,2	8,5	5,3	3	2,5	1,9	1,3	0,8	
	500	3,6	3,6	3	3	3	3	3,6	4,2	5,3	6,4	9,2	10,8	13,5	14,2	14,7	14,1	10,2	7,4	6,4	5,8	5,3	4,7	4,2	
NORD/ OVEST	100	-1,9	-2,5	-2,5	-1,4	-0,3	1,3	3	5,3	8,4	10,2	13,1	16,1	21,9	20,3	18,6	9,7	3	1,9	0,8	-0,3	-0,8	-1,4	-1,4	
	300	-1,4	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	-0,3	0,8	3	4,2	5,3	6,4	11,3	16,4	16,9	17,5	11,3	6,4	4,2	3	1,9	1,3	0,2	-0,3	
	500	2,5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,5	3	4,7	6,4	9,1	10,8	11,3	11,9	7,4	4,2	3,6	3	3	2,5	
NORD (Ombra)	100	-1,9	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	0,2	1,9	4,1	5,3	5,4	7,4	6,9	6,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	-0,3	-0,8	-1,4	-1,4		
	300	-1,9	-1,9	-2,5	-1,9	-1,4	-0,8	-0,3	1,2	3	4,2	5,3	5,8	6,4	5,4	5,3	4,2	3	1,9	0,8	0,2	-0,3	-0,8		
	500	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,1	0,8	1,3	1,9	2,5	2,5	2,5	2,5	4,2	3,6	3	2,5	1,9	1,3	0,8	0,8	0,2	
700	0,2	0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,2	0,6	1,3	1,9	2,5	3	3,5	4,2	3,6	3	1,9	1,3	0,8	0,8	0,2	

Figura 191 - Differenze di temperatura equivalente per muri di colore scuro

- Le superfici trasparenti trasmettono all'interno dei locali la maggior parte dell'energia solare su di esse incidente.

La formula che esprime l'entità del carico per irraggiamento trasmesso attraverso superfici vetrate è:

$$Q_s = S_v \cdot I \cdot C$$

Dove:

- _ Q_s = carico termico per irraggiamento [W]
- _ S_v = superficie vetrata [m²]
- _ I = potenza massima incidente [W/m²]
- _ C = fattore di correzione [W/m²]

La norma UNI EN 10349 dà indicazioni riguardo l'irraggiamento per le diverse ore del giorno nelle diverse stagioni suddividendo i valori a seconda che il calcolo avvenga per una località a latitudine Nord oppure a latitudine Sud, considerando un vetro singolo colpito da radiazione solare. Il fattore di correzione C è dovuto alla natura del vetro e da eventuali protezioni al vetro stesso. Questo valore si compone di fattori dovuti alle caratteristiche di trasmissione del vetro a seconda di eventuali trattamenti superficiali, alla sua composizione, alle peculiarità della struttura dell'infisso stesso, come la percentuale di telaio oppure la presenza di vetro doppio o triplo, al gas di intercapedine, e di fattori dovuti all'ombreggiamento. Questi si deducono sia dal contesto, cioè dalla presenza o meno di edifici che possano portare ombra, sia dalla presenza di schermature orizzontali che verticali, dalla profondità dell'imbotte ecc.. Questa moltitudine di informazioni viene racchiusa nel fattore correttivo. Le tabelle sotto riportate, ricavate dalla norma UNI EN 10375, danno indicazioni nei riguardi dei coefficienti moltiplicativi. Ovviamente nel progetto in esame, non avendo alcun tipo di vetro, si sono considerati i valori corrispondenti riferiti al materiale che lo sostituisce in ogni sua parte: il policarbonato a celle da 16 mm di spessore

N°	Tipo di componente	τ	ρ
1	vetro sodico-calcico spessore 3 mm	0,88	0,07
2	vetro sodico-calcico spessore 6 mm	0,79	0,06
3	vetro assorbente spessore 6 mm	0,47	0,04
4	vetro riflettente 24-48	0,28	0,19
A	veneziana chiara con alette a 45°	0,34	0,59
B	veneziana scura con alette a 45°	0,34	0,31
C	tenda leggera	0,60	0,30
D	tenda media	0,30	0,25
E	tenda pesante	0,07	0,08

Figura 192 - Coefficienti di trasmissione e riflessione solare per incidenza normale

s/h	sud		ovest/est		sud-ovest/sud-est		nord-ovest/nord-est		nord	
	latitudine		latitudine		latitudine		latitudine		latitudine	
	46°	38°	46°	38°	46°	38°	46°	38°	46°	38°
0,2	0,79	0,78	0,89	0,88	0,85	0,85	0,92	0,92	0,98	0,98
0,5	0,67	0,72	0,76	0,75	0,67	0,68	0,85	0,83	0,98	0,98
0,75	0,61	0,72	0,68	0,66	0,61	0,64	0,82	0,80	0,98	0,98
1,0	0,61	0,72	0,63	0,60	0,60	0,64	0,82	0,80	0,98	0,98

Figura 193 - Coefficienti di ombreggiamento per schermi orizzontali di dimensione finita

s/h	sud		ovest/est		sud-ovest/sud-est		nord-ovest/nord-est		nord	
	latitudine		latitudine		latitudine		latitudine		latitudine	
	46°	38°	46°	38°	46°	38°	46°	38°	46°	38°
0,2	0,75	0,74	0,88	0,87	0,83	0,83	0,90	0,91	0,96	0,94
0,5	0,50	0,66	0,73	0,73	0,63	0,63	0,79	0,77	0,89	0,88
0,75	0,50	0,66	0,66	0,63	0,50	0,53	0,73	0,70	0,87	0,85
1,0	0,50	0,66	0,56	0,56	0,44	0,48	0,66	0,65	0,86	0,85

Figura 194 - Coefficienti di ombreggiamento per schermi orizzontali di dimensione infinita

- Nel condizionamento estivo, anche le infiltrazioni di aria esterna, naturali o artificiali, concorrono alla determinazione del carico d'ambiente di un locale.

Durante il condizionamento estivo le infiltrazioni naturali sono ridotte rispetto al caso invernale, poiché la differenza di temperatura tra interno esterno è più bassa. Le infiltrazioni d'aria esterna negli ambienti condizionati provoca in estate un aumento del carico sensibile e di quello latente degli ambienti stessi. L'infiltrazione dell'aria esterna in estate è causata essenzialmente dal vento che crea una sovrappressione sul lato dell'edificio investito dal vento stesso. Il calcolo delle infiltrazioni può risultare complesso. Quando è presente un sistema di ventilazione in grado garantire i ricambi dell'aria in modo meccanico, come nel caso in esame, ed i serramenti garantiscono una buona tenuta, le infiltrazioni naturali possono essere trascurate (ambiente pressurizzato).

- Il carico termico dovuto all'illuminazione si valuta con l'espressione:

$$Q_l = W_{il} \cdot S \cdot f_b$$

Dove:

- _ Q_l = carico termico dovuto all'illuminazione [W]
- _ W_{il} = potenza del corpo illuminante, utilizzo un valore per unità di superficie pari a 15 W/m², in assenza di valori più specifici
- _ S = superficie del locale [m²]
- _ f_b = fattore di accumulo per illuminazione

- Infine sono stati considerati i carichi interni (sensibili e latenti) dovuti alle persone, all'illuminazione, ed ad ogni altra fonte di calore che possa aggiungersi a quelle già citate.

Gli unici contributi di calore latente che si otterranno alla fine sono perciò quelli derivanti da apporti interni, dato che la ventilazione è stata trascurata. La formula seguente esprime il calcolo degli apporti interni ed è valido sia per quanto riguarda la frazione sensibile che quella latente; le tabelle infatti restituiscono valori di carico termico suddivisi nei due contributi.

$$Q_i = \Sigma (W_i \cdot n_i) \cdot f_a$$

Dove:

- _ Q_i = carichi termici interni [W]
- _ W_i = potenza termica per persona o per elettrodomestico [W]
- _ n_i = numero dei soggetti
- _ f_a = fattore di contemporaneità per affollamento

Nella pratica impiantistica si suole spesso introdurre un fattore di contemporaneità per affollamento. L'introduzione di tale fattore trova la sua motivazione nel fatto che è comunque difficile che il numero massimo di persone previste sia effettivamente presente e qualora lo fosse si abbia certezza sul numero realmente presente ad un dato istante e sul tipo di attività che si sta svolgendo. A tale proposito si riportano in tabella alcuni dei valori più diffusi di tali coefficienti:

Alberghi	0.4 ÷ 0.6
Uffici	0.7 ÷ 0.9
Grandi magazzini	0.8 ÷ 0.9

Figura 195 - Coefficiente di contemporaneità per affollamento

Negli apporti interni vanno ovviamente computati anche quelli derivanti dagli elettrodomestici, i quali forniscono entrambe le tipologie di calore all'ambiente interno. Come sempre, i valori nominali si trovano su apposite tabelle:

Apparecchi elettrici	Car.sens. W	Car.lat. W
Televisore	300	
Frigorifero	320	
Congelatore	540	
Lavapiatti	50	110
Lavabiancheria	50	110
Asciugabiancheria	30	60
Computer	da 90 a 530	
Fotocopiatrice	da 500 a 2000	
Macchina da scrivere elettrica	67	
Macchina da scrivere elettronica	da 90 a 530	

Figura 196 - Carichi sensibili e latenti a seconda dell'elettrodomestico considerato

L'organismo umano, per svolgere le proprie funzioni vitali, è sede di complesse trasformazioni chimiche mediante le quali l'energia degli alimenti viene trasformata ed utilizzata. L'organismo sviluppa così internamente una quantità di calore che cede all'ambiente esterno. Il calore ceduto dall'organismo è in parte scambiato per convezione ed irraggiamento e in parte dovuto alla cessione di vapore acqueo mediante la respirazione o per evaporazione superficiale. Nella tabella seguente vengono riportati dei valori di sintesi.

Grado di attività	Applicazioni tipiche	Calore totale medio kcal/h	Temperatura ambiente (a bulbo secco)									
			28 °C		27 °C		26 °C		24 °C		21 °C	
			kcal/h	latente	kcal/h	latente	kcal/h	latente	kcal/h	latente	kcal/h	latente
Seduto a riposo	Teatro	90	45	45	50	40	55	35	60	30	65	25
Seduto lavoro molto leggero	Scuola superiore	100	45	55	50	50	55	45	60	40	70	30
Impiegato di ufficio in attività moderata	Uffici - alberghi appartamenti	115	45	70	50	65	55	60	60	50	70	40
Persona in piedi o che passeggia lentamente	Grandi empori - negozi di vendita al dettaglio											
Persona seduta o che passeggia	Farmacie	125	45	80	50	75	55	70	65	60	75	55
Persona in piedi o che passeggia lentamente	Banche											
Lavoro sedentario	Ristorante	140	50	90	55	85	60	80	70	70	80	60
Lavoro legg. al banco	Fabbrica lavoro legg.	190	50	140	55	135	60	130	75	115	90	100
Persona che cammina a 5 km/h	Fabbrica, lavoro abbastanza pesante	250	70	185	75	175	85	170	95	155	115	135
Ballo moderato	Sala da ballo	215	55	160	60	155	70	145	85	130	100	115
Lavoro pesante	Campo di Bowling, fabbrica	380	115	250	120	250	125	245	130	230	155	210

Figura 197 - Calore emesso dalle persone

8.1.3. Calcolo dei carichi termici

Di seguito si riportano le tabelle utilizzate per calcolare il carico termico degli edifici del Cardo durante il periodo estivo. Una volta ottenuti i valori per ogni edificio singolo a seconda delle diverse esposizioni è necessario, per ottenere il carico termico da asportare, analizzare quale sia l'esposizione più sfavorevole, cioè che restituisce il carico massimale. Reiterando il processo secondo la nuova giacitura si hanno valori di carico che questa volta possono essere sommati, perché contemporanei, per ottenere il valore totale.

Nel caso in esame l'esposizione peggiore è diversa a seconda della porzione di Cardo considerata, dunque il giorno e l'ora dell'anno per cui dimensionare l'impianto varia da un edificio all'altro. Il tutto dipende volta per volta da quale sia il prospetto che presenta una maggiore superficie vetrata e dove, quindi, sono maggiori gli apporti dovuti all'irraggiamento.

edificio CARDO SUD A					
DATI INIZIALI					
dimensioni					
pannello laterale		pannello centrale		solaio	
H [m]	B [m]	H [m]	B [m]	L [m]	B [m]
4,1041	1	7,5494	1	65	10
N° policarbonato			N° sandwich		
N-O	Centrali	S-E	N-O	Centrali	S-E
26	28	47	40	38	19
policarbonato [m ²]		solaio [m ²]		sandwich [m ²]	
510,9825		650		529,0191	
masse frontali ($m_f = \sum \rho_i \cdot s_i$)					
solaio	41,808	[kg/m ²]			
policarbonato	2,5	[kg/m ²]			
sandwich	7,5	[kg/m ²]			
trasmittanze U					
solaio	0,11	[W/m ² ·°C]			
policarbonato	2	[W/m ² ·°C]			
sandwich	0,23	[W/m ² ·°C]			
condizioni progettuali					
esterno					
t_e [°C]	32		U_e [%]	48	
interno					
t_a [°C]	26		U_a [%]	50	
massa media dell'ambiente ($\sum(m_{f,i} \cdot s_i) / s_{pianta}$) =					
			49,87738385	[kg/m ²]	
nelle tabelle utilizzo			100	[kg/m ²]	

Una volta in possesso di tutti i dati necessari si possono cominciare a valutare i carichi termici estivi, per l'edificio in questione, nel mese e all'orario in cui l'edificio è più sfavorito, vale a dire quando subisce il carico maggiore.

periodo di calcolo LUGLIO ore 15:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	1,5	0
parete NO	0,23	307,6026	5,7	403,2670086
parete SE	0,23	221,4165	5,7	290,2770315
parete SO	0,23	0	13,5	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	212,3982	4	1699,1856
vetrate SE	2	298,5843	4	2388,6744
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				5541,25404

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	98	39	0,1	382,2
vetrate NO	288	212,3982	0,1	6117,06816
vetrate SE	96	298,5843	0,1	2866,40928
vetrate SO	570	39	0,1	2223
totale parziale				11588,67744

carichi termici da illuminazione				
edificio	potenza illuminante W _{il} [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore di accumulo f _b	carico termico [W]
SUD A	12	500	1	6000
totale parziale				6000

carichi termici interni (latente + sensibile)					
tipologia di locale	tipologia di soggetto	potenza per soggetto W _i [W]	numero di soggetti	fattore di contemporaneità f _a	carico termico [W]
ristorante	persone (S)	70	231	0,8	12936
ristorante	persone (L)	91	231	0,8	16816,8
cucina	frigorifero (S)	320	1	1	320
cucina	griglia (S)	1143	0,5	1	571,5
cucina	griglia (L)	615	0,5	1	307,5
cucina	forno (S)	10400	0,5	1	5200
cucina	forno (L)	10400	0,5	1	5200
totale parziale					41351,8

fabbisogno totale CARDO SUD A (Luglio ore 15:00)	[W]	64481,731
--	-----	-----------

Si valutano perciò tutte le tipologie dei possibili apporti di calore, per poi sommare i contributi parziali al fine di ottenere il fabbisogno totale nel periodo indicato.

periodo di calcolo LUGLIO ore 9:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	8	0
parete NO	0,23	307,6026	0	0
parete SE	0,23	221,4165	5,7	290,2770315
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	212,3982	4	1699,1856
vetrate SE	2	298,5843	4	2388,6744
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				5137,987032

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	268	39	0,1	1045,2
vetrate NO	98	212,3982	0,1	2081,50236
vetrate SE	570	298,5843	0,1	17019,3051
vetrate SO	98	39	0,1	382,2
totale parziale				20528,20746

fabbisogno totale CARDO SUD A (Luglio ore 9:00)	[W]	73017,994
---	-----	-----------

I carichi termici da illuminazione e quelli interni sensibili e latenti non necessitano di un ricalcolo al variare del periodo. Pertanto nel fabbisogno totale si sommano i contributi di trasmissione ed irraggiamento (variabili con l'orario di calcolo) con quelli invariati calcolati precedentemente.

periodo di calcolo LUGLIO ore 17:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	2,9	0
parete NO	0,23	307,6026	13,6	962,1809328
parete SE	0,23	221,4165	3,6	183,332862
parete SO	0,23	0	18	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	212,3982	4	1699,1856
vetrate SE	2	298,5843	4	2388,6744
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				5993,223795

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	65	39	0,1	253,5
vetrate NO	506	212,3982	0,1	10747,34892
vetrate SE	65	298,5843	0,1	1940,79795
vetrate SO	423	39	0,1	1649,7
totale parziale				14591,34687

fabbisogno totale CARDO SUD A (Luglio ore 17:00)	[W]	67936,371
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 7:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	3,6	0
parete NO	0,23	307,6026	0	0
parete SE	0,23	221,4165	0	0
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	212,3982	4	1699,1856
vetrate SE	2	298,5843	4	2388,6744
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				4847,71

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	506	39	0,1	1973,4
vetrate NO	65	212,3982	0,1	1380,5883
vetrate SE	423	298,5843	0,1	12630,11589
vetrate SO	65	39	0,1	253,5
totale parziale				16237,60419

fabbisogno totale CARDO SUD A (Luglio ore 7:00)	[W]	68437,114
---	-----	-----------

Confrontando ora tra loro i fabbisogni totali nelle diverse condizioni orarie si identifica il valore massimo, che sarà il valore di progetto per l'edificio in esame.

fabbisogno massimo CARDO SUD A (Luglio ore 9:00)	[W]	73017,994
--	-----	-----------

Il procedimento appena compiuto va ripetuto per tutti gli edifici del Cardo, per i quali verranno in seguito dimensionati gli impianti di condizionamento dell'aria.

edificio CARDO SUD B

DATI INIZIALI					
dimensioni					
pannello laterale		pannello centrale		solaio	
H [m]	B [m]	H [m]	B [m]	L [m]	B [m]
4,1041	1	7,5494	1	65	10
N° policarbonato			N° sandwich		
N-O	Centrali	S-E	N-O	Centrali	S-E
41	19	12	25	47	54
polic [m ²]		solaio [m ²]		sandw [m ²]	
360,9559		650		679,0457	

masse frontali ($m_f = \sum \rho_i \cdot s_i$)		
solaio	41,808	[kg/m ²]
policarbonato	2,5	[kg/m ²]
sandwich	7,5	[kg/m ²]

trasmissionze U		
solaio	0,11	[W/m ² ·°C]
policarbonato	2	[W/m ² ·°C]
sandwich	0,23	[W/m ² ·°C]

condizioni progettuali	
esterno	
t_e [°C]	U_e [%]
32	48
interno	
t_a [°C]	U_a [%]
26	50

massa media dell'ambiente [$\sum(m_{f,i} \cdot s_i) / s_{pianta}$] =	51,03143462	[kg/m ²]
nelle tabelle utilizzo	100	[kg/m ²]

periodo di calcolo LUGLIO ore 15:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	1,5	0
parete NO	0,23	280,0134	5,7	367,0975674
parete SE	0,23	399,0323	5,7	523,1313453
parete SO	0,23	0	13,5	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	239,9874	4	1919,8992
vetrate SE	2	120,9685	4	967,748
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				4537,726113

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	98	39	0,1	382,2
vetrate NO	288	239,9874	0,1	6911,63712
vetrate SE	96	120,9685	0,1	1161,2976
vetrate SO	570	39	0,1	2223
totale parziale				10678,13472

carichi termici da illuminazione				
edificio	potenza illuminante W_i [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore di accumulo f_b	carico termico [W]
SUD B	12	575	1	6900
totale parziale				6900

carichi termici interni (latente + sensibile)					
tipologia di locale	tipologia di soggetto	potenza per soggetto W_i [W]	numero di soggetti	fattore di contemporaneità f_a	carico termico [W]
corte del cibo	persone (S)	63	115	0,8	5796
corte del cibo	persone (L)	69	115	0,8	6348
totale parziale					12144

fabbisogno totale CARDO SUD B (Luglio ore 15:00)	[W]	34259,861
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 9:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	8	0
parete NO	0,23	280,0134	0	0
parete SE	0,23	399,0323	5,7	523,1313453
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	239,9874	4	1919,8992
vetrate SE	2	120,9685	4	967,748
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				4170,628545

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	268	39	0,1	1045,2
vetrate NO	98	239,9874	0,1	2351,87652
vetrate SE	570	120,9685	0,1	6895,2045
vetrate SO	98	39	0,1	382,2
totale parziale				10674,48102

fabbisogno totale CARDO SUD B (Luglio ore 9:00)	[W]	33889,110
---	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 17:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	2,9	0
parete NO	0,23	280,0134	13,6	875,8819152
parete SE	0,23	399,0323	3,6	330,3987444
parete SO	0,23	0	18	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	239,9874	4	1919,8992
vetrate SE	2	120,9685	4	967,748
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				4853,77786

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	65	39	0,1	253,5
vetrate NO	506	239,9874	0,1	12143,36244
vetrate SE	65	120,9685	0,1	786,29525
vetrate SO	423	39	0,1	1649,7
totale parziale				14832,85769

fabbisogno totale CARDO SUD B (Luglio ore 17:00)	[W]	38730,636
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 7:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	3,6	0
parete NO	0,23	280,0134	0	0
parete SE	0,23	399,0323	0	0
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	239,9874	4	1919,8992
vetrate SE	2	120,9685	4	967,748
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	650	1,9	135,85
totale parziale				3647,4972

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	506	39	0,1	1973,4
vetrate NO	65	239,9874	0,1	1559,9181
vetrate SE	423	120,9685	0,1	5116,96755
vetrate SO	65	39	0,1	253,5
totale parziale				8903,78565

fabbisogno totale CARDO SUD B (Luglio ore 7:00)	[W]	31595,283
---	-----	-----------

fabbisogno massimo CARDO SUD B (Luglio ore 17:00)	[W]	38730,636
---	-----	-----------

Si procede in identica maniera con l'edificio successivo.

edificio CARDO NORD A

DATI INIZIALI					
dimensioni					
pannello laterale		pannello centrale		solaio	
H [m]	B [m]	H [m]	B [m]	L [m]	B [m]
4,1041	1	7,5494	1	90	10

N° policarbonato			N° sandwich		
N-O	Centrali	S-E	N-O	Centrali	S-E
20	10	55	71	81	36
polic [m ²]		solaio [m ²]		sandw [m ²]	
383,3015		900		1050,6401	

masse frontali (m _f = Σ ρ _i • s _i)		
solaio	41,808	[kg/m ²]
policarbonato	2,5	[kg/m ²]
sandwich	7,5	[kg/m ²]

trasmittanze U		
solaio	0,11	[W/m ² ·°C]
policarbonato	2	[W/m ² ·°C]
sandwich	0,23	[W/m ² ·°C]

condizioni progettuali	
esterno	
t _e [°C]	U _e [%]
32	48
interno	
t _a [°C]	U _a [%]
26	50

massa media dell'ambiente $[\sum(m_{f,i} \cdot s_i) / s_{pianta}] =$	51,62806056	[kg/m ³]
nelle tabelle utilizzo	100	[kg/m ³]

periodo di calcolo LUGLIO ore 15:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	1,5	0
parete NO	0,23	597,1418	5,7	782,8528998
parete SE	0,23	453,4983	5,7	594,5362713
parete SO	0,23	0	13,5	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	119,829	4	958,632
vetrate SE	2	263,4725	4	2107,78
vetrate SO	2	39	4	312
soffitto	0,11	900	1,9	188,1
totale parziale				5255,901171

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	98	39	0,1	382,2
vetrate NO	288	119,829	0,1	3451,0752
vetrate SE	96	263,4725	0,1	2529,336
vetrate SO	570	39	0,1	2223
totale parziale				8585,6112

carichi termici da illuminazione				
edificio	potenza illuminante W_{il} [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore di accumulo f_b	carico termico [W]
NORD A	12	750	1	9000
totale parziale				9000

carichi termici interni (latente + sensibile)					
tipologia di locale	tipologia di soggetto	potenza per soggetto W_i [W]	numero di soggetti	fattore di contemporaneità f_a	carico termico [W]
ufficio (*2)	persone (S)	63	12	0,7	1058,4
ufficio (*2)	persone (L)	69	12	0,7	1159,2
ufficio (*2)	computer (S)	90	6	0,7	756
ufficio (*6)	persone (S)	63	10	0,7	2646
ufficio (*6)	persone (L)	69	10	0,7	2898
ufficio (*6)	computer (S)	90	5	0,7	1890
uffici	persone (S)	63	36	0,7	1587,6
uffici	persone (L)	69	36	0,7	1738,8
uffici	computer (S)	90	36	0,7	2268
totale parziale					16002

fabbisogno totale CARDO NORD A (Luglio ore 15:00)	[W]	38843,512
---	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 9:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	8	0
parete NO	0,23	597,1418	0	0
parete SE	0,23	453,4983	5,7	594,5362713
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	119,829	4	958,632
vetrate SE	2	263,4725	4	2107,78
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	900	1,9	188,1
totale parziale				4473,048271

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	268	39	0,1	1045,2
vetrate NO	98	119,829	0,1	1174,3242
vetrate SE	570	263,4725	0,1	15017,9325
vetrate SO	98	39	0,1	382,2
totale parziale				17619,6567

fabbisogno totale CARDO NORD A (Luglio ore 9:00)	[W]	47094,705
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 17:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	2,9	0
parete NO	0,23	597,1418	13,6	1867,85955
parete SE	0,23	453,4983	3,6	375,4965924
parete SO	0,23	0	18	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	119,829	4	958,632
vetrate SE	2	263,4725	4	2107,78
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	900	1,9	188,1
totale parziale				6121,868143

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	65	39	0,1	253,5
vetrate NO	506	119,829	0,1	6063,3474
vetrate SE	65	263,4725	0,1	1712,57125
vetrate SO	423	39	0,1	1649,7
totale parziale				9679,11865

fabbisogno totale CARDO NORD A (Luglio ore 17:00)	[W]	40802,987
---	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 7:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	3,6	0
parete NO	0,23	597,1418	0	0
parete SE	0,23	453,4983	0	0
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	119,829	4	958,632
vetrate SE	2	263,4725	4	2107,78
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	900	1,9	188,1
totale parziale				3878,512

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	506	39	0,1	1973,4
vetrate NO	65	119,829	0,1	778,8885
vetrate SE	423	263,4725	0,1	11144,88675
vetrate SO	65	39	0,1	253,5
totale parziale				14150,67525

fabbisogno totale CARDO NORD A (Luglio ore 7:00)	[W]	43031,187
--	-----	-----------

fabbisogno massimo CARDO NORD A (Luglio ore 9:00)	[W]	47094,705
---	-----	-----------

Come verrà meglio spiegato in seguito, l'edificio Nord B si divide in due frazioni.

edificio CARDO NORD B₁

DATI INIZIALI					
dimensioni					
pannello laterale		pannello centrale		solaio	
H [m]	B [m]	H [m]	B [m]	L [m]	B [m]
4,1041	1	7,5494	1	40	10

N° policarbonato			N° sandwich		
N-O	Centrali	S-E	N-O	Centrali	S-E
25	10	14	15	30	26
polic [m ²]		solaio [m ²]		sandw [m ²]	
235,5539		400		394,7501	

masse frontali (m _f = Σ ρ _i • s _i)		
solaio	41,808	[kg/m ²]
policarbonato	2,5	[kg/m ²]
sandwich	7,5	[kg/m ²]

trasmittanze U		
solaio	0,11	[W/m ² ·°C]
policarbonato	2	[W/m ² ·°C]
sandwich	0,23	[W/m ² ·°C]

condizioni progettuali	
esterno	
t _e [°C]	U _e [%]
32	48
interno	
t _a [°C]	U _a [%]
26	50

massa media dell'ambiente $[\sum(m_{f,i} \cdot s_i) / s_{pianta}] =$	50,68177625	[kg/m ²]
nelle tabelle utilizzo	100	[kg/m ²]

periodo di calcolo LUGLIO ore 15:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	1,5	0
parete NO	0,23	174,8025	5,7	229,1660775
parete SE	0,23	219,9476	5,7	288,3513036
parete SO	0,23	0	13,5	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	140,3495	4	1122,796
vetrate SE	2	95,2044	4	761,6352
vetrate SO	2	39	4	312
soffitto	0,11	400	1,9	83,6
totale parziale				3109,548581

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	98	39	0,1	382,2
vetrate NO	288	140,3495	0,1	4042,0656
vetrate SE	96	95,2044	0,1	913,96224
vetrate SO	570	39	0,1	2223
totale parziale				7561,22784

carichi termici da illuminazione				
edificio	potenza illuminante W_{il} [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore di accumulo f_b	carico termico [W]
NORD A	12	325	1	3900
totale parziale				3900

carichi termici interni (latente + sensibile)					
tipologia di locale	tipologia di soggetto	potenza per soggetto W_i [W]	numero di soggetti	fattore di contemporaneità f_a	carico termico [W]
caffetteria	persone (S)	65	124	0,4	3224
caffetteria	persone (L)	82	124	0,4	4067,2
caffetteria	caffè (S)	117	1	1	117
caffetteria	caffè (L)	29	1	1	29
caffetteria	tostapane (S)	322	1	1	322
caffetteria	tostapane (L)	29	1	1	29
totale parziale					7788,2

fabbisogno totale CARDO NORD B ₁ (Luglio ore 15:00)	[W]	22358,976
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 9:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	8	0
parete NO	0,23	174,8025	0	0
parete SE	0,23	219,9476	5,7	288,3513036
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	140,3495	4	1122,796
vetrate SE	2	95,2044	4	761,6352
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	400	1,9	83,6
totale parziale				2880,382504

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	268	39	0,1	1045,2
vetrate NO	98	140,3495	0,1	1375,4251
vetrate SE	570	95,2044	0,1	5426,6508
vetrate SO	98	39	0,1	382,2
totale parziale				8229,4759

fabbisogno totale CARDO NORD B ₁ (Luglio ore 9:00)	[W]	22798,058
---	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 17:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	2,9	0
parete NO	0,23	174,8025	13,6	546,78222
parete SE	0,23	219,9476	3,6	182,1166128
parete SO	0,23	0	18	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	140,3495	4	1122,796
vetrate SE	2	95,2044	4	761,6352
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	400	1,9	83,6
totale parziale				3320,930033

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	65	39	0,1	253,5
vetrate NO	506	140,3495	0,1	7101,6847
vetrate SE	65	95,2044	0,1	618,8286
vetrate SO	423	39	0,1	1649,7
totale parziale				9623,7133

fabbisogno totale CARDO NORD B ₁ (Luglio ore 17:00)	[W]	24632,843
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 7:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	3,6	0
parete NO	0,23	174,8025	0	0
parete SE	0,23	219,9476	0	0
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	140,3495	4	1122,796
vetrate SE	2	95,2044	4	761,6352
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	400	1,9	83,6
totale parziale				2592,0312

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	506	39	0,1	1973,4
vetrate NO	65	140,3495	0,1	912,27175
vetrate SE	423	95,2044	0,1	4027,14612
vetrate SO	65	39	0,1	253,5
totale parziale				7166,31787

fabbisogno totale CARDO NORD B ₁ (Luglio ore 7:00)	[W]	21446,549
---	-----	-----------

fabbisogno massimo CARDO NORD B ₁ (Luglio ore 17:00)	[W]	24632,843
---	-----	-----------

L'analisi dei fabbisogni termina con la seconda parte dell'edificio Nord B.

edificio CARDO NORD B₂

DATI INIZIALI					
dimensioni					
pannello laterale		pannello centrale		solaio	
H [m]	B [m]	H [m]	B [m]	L [m]	B [m]
4,1041	1	7,5494	1	85	10

N° policarbonato			N° sandwich		
N-O	Centrali	S-E	N-O	Centrali	S-E
52	24	24	34	62	62
polic [m ²]		solaio [m ²]		sandw [m ²]	
493,0972		850		862,0564	

masse frontali (m _f = Σ ρ _i • s _i)		
solaio	41,808	[kg/m ²]
policarbonato	2,5	[kg/m ²]
sandwich	7,5	[kg/m ²]

trasmittanze U		
solaio	0,11	[W/m ² ·°C]
policarbonato	2	[W/m ² ·°C]
sandwich	0,23	[W/m ² ·°C]

condizioni progettuali	
esterno	
t _e [°C]	U _e [%]
32	48
interno	
t _a [°C]	U _a [%]
26	50

massa media dell'ambiente $[\sum(m_{f,i} \cdot s_i) / s_{pianta}] =$	50,86466588	[kg/m ²]
nelle tabelle utilizzo	100	[kg/m ²]

periodo di calcolo LUGLIO ore 15:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt_{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	1,5	0
parete NO	0,23	373,5708	5,7	489,7513188
parete SE	0,23	488,4856	5,7	640,4046216
parete SO	0,23	0	13,5	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	304,006	4	2432,048
vetrate SE	2	189,0912	4	1512,7296
vetrate SO	2	39	4	312
soffitto	0,11	850	1,9	177,65
totale parziale				5876,58354

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	98	39	0,1	382,2
vetrate NO	288	304,006	0,1	8755,3728
vetrate SE	96	189,0912	0,1	1815,27552
vetrate SO	570	39	0,1	2223
totale parziale				13175,84832

carichi termici da illuminazione				
edificio	potenza illuminante W_{il} [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore di accumulo f_b	carico termico [W]
NORD A	12	750	1	9000
totale parziale				9000

carichi termici interni (latente + sensibile)					
tipologia di locale	tipologia di soggetto	potenza per soggetto W_i [W]	numero di soggetti	fattore di contemporaneità f_a	carico termico [W]
ufficio (*1)	persone (S)	63	12	0,7	529,2
ufficio (*1)	persone (L)	69	12	0,7	579,6
ufficio (*1)	computer (S)	90	6	0,7	378
ufficio (*5)	persone (S)	63	10	0,7	2205
ufficio (*5)	persone (L)	69	10	0,7	2415
ufficio (*5)	computer (S)	90	5	0,7	1575
uffici	persone (S)	63	60	0,7	2646
uffici	persone (L)	69	60	0,7	2898
uffici	computer (S)	90	60	0,7	3780
totale parziale					17005,8

fabbisogno totale CARDO NORD B ₂ (Luglio ore 15:00)	[W]	45058,232
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 9:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	8	0
parete NO	0,23	373,5708	0	0
parete SE	0,23	488,4856	5,7	640,4046216
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	304,006	4	2432,048
vetrate SE	2	189,0912	4	1512,7296
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	850	1,9	177,65
totale parziale				5386,832222

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	268	39	0,1	1045,2
vetrate NO	98	304,006	0,1	2979,2588
vetrate SE	570	189,0912	0,1	10778,1984
vetrate SO	98	39	0,1	382,2
totale parziale				15184,8572

fabbisogno totale CARDO NORD B ₂ (Luglio ore 9:00)	[W]	46577,489
---	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 17:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² .°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	2,9	0
parete NO	0,23	373,5708	13,6	1168,529462
parete SE	0,23	488,4856	3,6	404,4660768
parete SO	0,23	0	18	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	304,006	4	2432,048
vetrate SE	2	189,0912	4	1512,7296
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	850	1,9	177,65
totale parziale				6319,423139

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	65	39	0,1	253,5
vetrate NO	506	304,006	0,1	15382,7036
vetrate SE	65	189,0912	0,1	1229,0928
vetrate SO	423	39	0,1	1649,7
totale parziale				18514,9964

fabbisogno totale CARDO NORD B ₂ (Luglio ore 17:00)	[W]	50840,220
--	-----	-----------

periodo di calcolo LUGLIO ore 7:00				
carico termico per trasmissione				
esposizione	U [W/m ² ·°C]	superficie [m ²]	Δt _{eq} [°C]	flusso termico [W]
parete NE	0,23	0	3,6	0
parete NO	0,23	373,5708	0	0
parete SE	0,23	488,4856	0	0
parete SO	0,23	0	0	0
vetrate NE	2	39	4	312
vetrate NO	2	304,006	4	2432,048
vetrate SE	2	189,0912	4	1512,7296
vetrate SO	2	39	4	312
solaio	0,11	850	1,9	177,65
totale parziale				4746,4276

carico termico per irraggiamento				
esposizione	irradianza I [W/m ²]	superficie [m ²]	fattore correttivo C	flusso termico [W]
vetrate NE	506	39	0,1	1973,4
vetrate NO	65	304,006	0,1	1976,039
vetrate SE	423	189,0912	0,1	7998,55776
vetrate SO	65	39	0,1	253,5
totale parziale				12201,49676

fabbisogno totale CARDO NORD B ₂ (Luglio ore 7:00)	[W]	42953,724
---	-----	-----------

fabbisogno massimo CARDO NORD B ₂ (Luglio ore 17:00)	[W]	50840,220
---	-----	-----------

I calcoli sono stati effettuati per ogni singolo edificio del complesso costituente la frazione progettuale del Cardo. Come già riportato, esso si compone di quattro parti principali: Sud A, Sud B, Nord A, Nord B. Esse sono tutte composte da ambienti interni racchiusi all'interno di un singolo bulbo, ad eccezione del Nord B, il quale si divide in due porzioni appartenenti a due bulbi distinti: Nord B₁ e Nord B₂, entrambe le frazioni verranno dotate di singoli impianti di condizionamento autonomi, per questo motivo anche il calcolo dei fabbisogni va nettamente differenziato.

Pertanto i calcoli sono finalizzati ad ottenere dei carichi termici complessivi assegnabili a ciascun ambiente chiuso, a seconda dell'esposizione di ognuno. Essendo ogni "bulbo" indipendente dagli altri, si può assegnare un'unità di trattamento aria a ciascuno di essi, ovviamente considerando il carico termico massimo gravante, tenendo in considerazione l'indipendenza dalla situazione complessiva, analizzando perciò la concomitanza di fattori che massimizza il fabbisogno termico sul singolo ambiente confinato.

8.2. Progettazione e dimensionamento delle unità di trattamento dell'aria

8.2.1. Premesse

Come già accennato precedentemente, si è deciso di dotare ogni ambiente indipendente di una singola UTA che deve provvedere al fabbisogno termico dello spazio a cui viene assegnata; questa scelta è dipesa anche dalla conformazione geometrica e spaziale degli edifici, che possiedono uno sviluppo longitudinale prevalente rispetto al trasversale. La strategia adottata quindi, consente di ridurre i costi derivanti dalle lunghezze eccessive che dovrebbero avere le condotte in caso si progettasse diversamente.

La scelta di utilizzare un impianto a tutta aria per climatizzare i vari edifici è stata determinata principalmente dalle ampie dimensioni degli ambienti da climatizzare, ma anche dall'importante frazione di calore latente presente nel fabbisogno totale, causata dall'elevata presenza di persone all'interno dei vari ambienti.

Dai calcoli svolti precedentemente si ottengono i valori dei carichi termici massimi dati dal fabbisogno energetico per ogni porzione indipendente di Cardo, conseguentemente al periodo di esposizione e all'ora del giorno:

- Fabbisogno **sensibile** massimo Cardo SUD A (luglio ore 9:00) = 50,69 kW,
Fabbisogno **latente** Cardo SUD A = 22,32 kW;
- Fabbisogno **sensibile** massimo Cardo SUD B (luglio ore 17:00) = 32,38 kW,
Fabbisogno **latente** Cardo SUD B = 6,35 kW;
- Fabbisogno **sensibile** massimo Cardo NORD A (luglio ore 9:00) = 41,3 kW,
Fabbisogno **latente** Cardo NORD A = 5,8 kW;
- Fabbisogno **sensibile** massimo Cardo NORD B₁ (luglio ore 17:00) = 20,51 kW,
Fabbisogno **latente** Cardo NORD B₁ = 4,13 kW;
- Fabbisogno **sensibile** massimo Cardo NORD B₂ (luglio ore 17:00) = 44,95 kW,
Fabbisogno **latente** Cardo NORD B₂ = 5,89 kW;

8.2.2. Calcolo delle U.T.A.

Il primo passo nel procedimento di dimensionamento delle unità di trattamento aria consiste nel raccogliere tutti i dati necessari, vale a dire:

- condizioni aria esterna (temperatura ed umidità specifica);
- condizioni aria interna (temperatura ed umidità specifica);
- carico termico sensibile della zona da climatizzare;
- carico termico latente della zona da climatizzare;
- carico termico totale (sensibile + latente) della zona da climatizzare;
- portata di vapore generata all'interno della zona da climatizzare;
- portata di ventilazione di progetto per la zona da climatizzare.

Ovviamente le UTA verranno dimensionate solo ed esclusivamente per il periodo estivo; dato che, come già espresso precedentemente, gli edifici in esame svolgeranno le loro funzioni solamente durante questo periodo dell'anno.

- Si riportano di seguito le tabelle per i dati di progetto; i dati non derivanti da calcoli precedenti sono stati ottenuti graficamente, mediante il diagramma psicrometrico di Carrier.

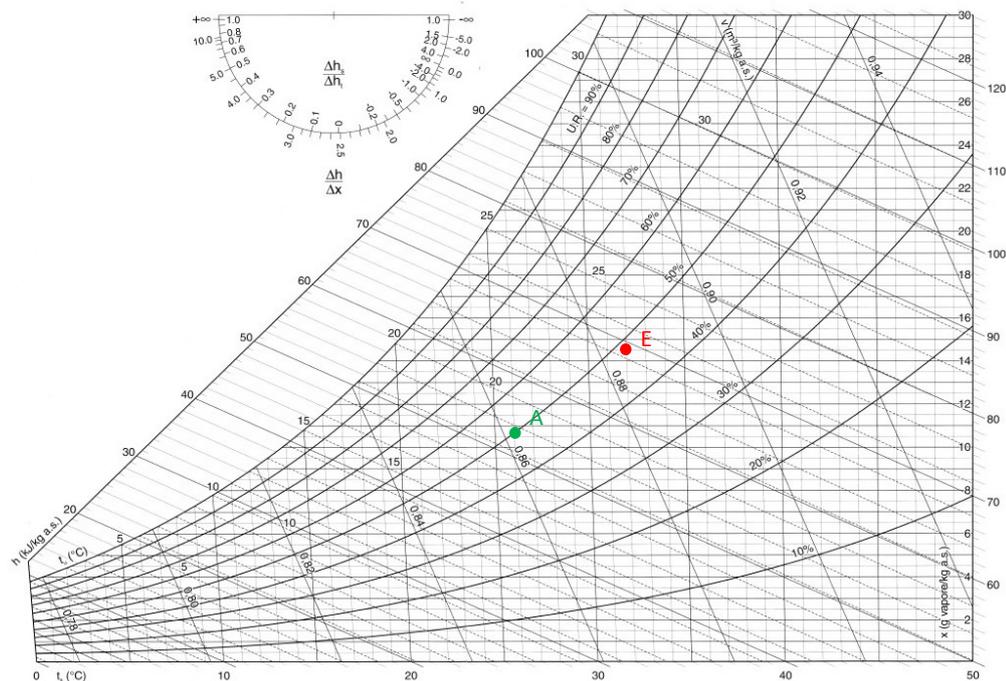


Figura 198 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

DATI INIZIALI			
temperatura esterna	$T_e =$	32	[°C]
umidità esterna	$U_{r_e} =$	48	[%]
umidità specifica esterna	$X_e =$	0,014	[kg _v /kg _{as}]
entalpia dell'aria esterna	$h_e =$	69	[kJ/kg]
temperatura interna	$T_i =$	26	[°C]
umidità interna	$U_{r_i} =$	50	[%]
umidità specifica interna	$X_i =$	0,0105	[kg _v /kg _{as}]
entalpia dell'aria interna	$h_i =$	54	[kJ/kg]
entalpia del vapore	$h_v =$	2550	[kJ/kg]
calore specifico dell'aria	$c_p =$	1,008	[kJ/kg°C]
densità dell'aria	$\rho =$	1,29	[kg/m ³]

- Calcolo della portata di vapore noto il carico latente.

Data la conoscenza dei carichi latenti si ricava la portata di vapore secondo la seguente formula:

$$m_v = Q_L / h_v$$

Dove:

- m_v = portata di vapore interno [kg/s]
- Q_L = calore latente dell'ambiente interno [kW]
- h_v = entalpia del vapore \approx 2550 [kJ/kg]

Questo dato si riferisce alla quantità di vapore che si viene a creare all'interno dell'ambiente da climatizzare.

- Determinazione del punto di immissione.

Il punto di immissione è determinato dalle condizioni dell'aria che viene appunto immessa nell'ambiente, esso si può ricavare dalle equazioni di bilancio dell'ambiente, ma si osserva facilmente come questo sia sempre dipendente dalla portata d'aria totale. In particolare si può notare che la posizione del punto d'immissione è più vicina al punto ambiente **A** quanto più è grande la portata d'aria m . Quindi il punto di immissione non è unico, ma sono tutti quelli che rispettano le equazioni di bilancio.

Si può vedere che sul diagramma psicrometrico tutti i possibili punti di immissione si trovano su una semiretta che passa dal punto ambiente **A**, con un'inclinazione che dipende dal fattore di carico $FC = Q_S / Q_{TOT}$, esso è un'indicazione sulla "qualità" del carico termico che agisce sul locale da condizionare. Tale retta si chiama *retta di carico o retta ambiente*.

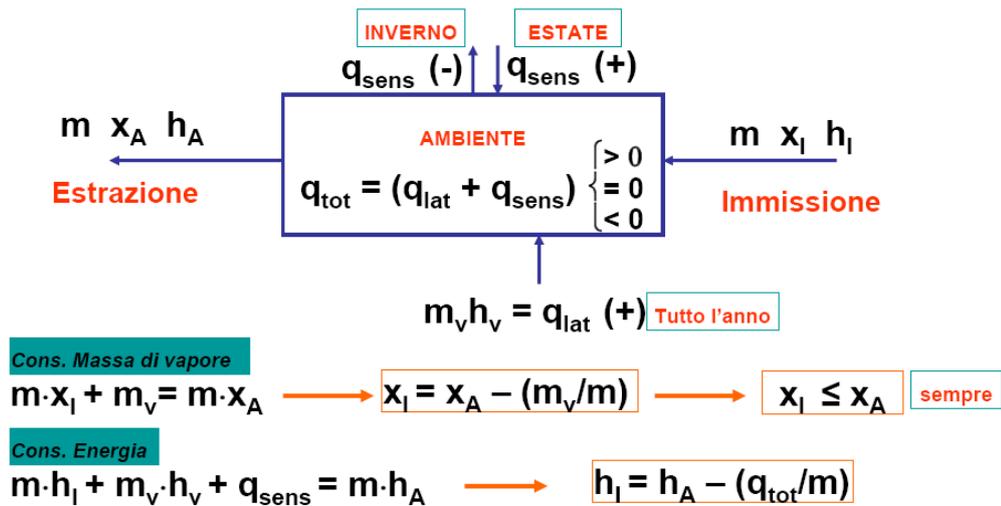


Figura 199 - Bilancio dell'ambiente

Il punto di immissione può essere quindi, in via preliminare, liberamente scelto sulla retta di introduzione, ad esempio fissando la temperatura di immissione T_i mediante indicazioni di buona pratica ($T_i - 10$ °C in estate) e considerando che solitamente sono compresi tra i 16 e i 26 °C. Tenendo presente che più il punto di immissione è vicino al punto ambiente (T_i), maggiore sarà la portata di aria da trattare.

- La portata d'aria da trattare si calcola mediante la formula:

$$m_{TOT} = Q_S / [c_p \cdot (T_i - T_i)]$$

Dove:

- m_{TOT} = portata d'aria da trattare [kg/s]
- Q_S = calore sensibile dell'ambiente interno [kW]
- c_p = calore specifico dell'aria = 1,008 [kJ/kg°C]
- T_i = temperatura dell'ambiente interno [°C]
- T_i = temperatura di immissione [°C]

Questo dato va successivamente confrontato con la portata d'aria di ventilazione.

- La portata d'aria di ventilazione m_{ae} è la minima da assicurare per garantire la qualità dell'aria.

Essa si calcola attraverso le indicazioni della norma UNI 10339, la quale indica le portate minime per persona o per unità di superficie. Nel caso in esame si valuta volta per volta il dato di input, a seconda della funzione d'uso del locale.

Q_{op} (vedere prospetto III) $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona	Q_{opmin}^* $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona
fino a 7	4
da 7 a 10	5,5
da 10 a 12,5	7
oltre 12,5	8,5
* Q_{opmin} è la portata di aria esterna, per persona, minima consentita.	

Figura 200 - Portate d'aria minime consentite

- Nel caso di studio è quindi possibile sfruttare l'opportunità del ricircolo d'aria, risparmiando in tal modo energia.

Perciò:

$$m_{ric} = m_{TOT} - m_{ae}$$

Dove:

- m_{ric} = portata d'aria di ricircolo [kg/s]
- m_{TOT} = portata d'aria da trattare [kg/s]
- m_{ae} = portata d'aria di ventilazione [kg/s]

Il ricircolo consiste nel riprendere dall'ambiente una portata d'aria, di ricircolo appunto, che non andrà quindi espulsa, ma miscelata con la frazione di portata proveniente direttamente dall'esterno per ottenere la portata totale che andrà successivamente immessa nell'ambiente da climatizzare.

- Valutazione del punto di immissione "I".

La temperatura di immissione è già stata ipotizzata, non resta quindi che di verificarla attraverso le equazioni di bilancio. Per determinare univocamente il punto di immissione bisogna determinare almeno un'altra grandezza caratteristica, l'umidità specifica, valutata secondo la seguente equazione derivata dal bilancio:

$$m_{TOT} \cdot X_I + m_v = m_{TOT} \cdot X_i$$

Dove:

- m_{TOT} = portata d'aria da trattare [kg/s]
- X_I = umidità specifica del punto di immissione [$\text{kg}_v/\text{kg}_{as}$]
- m_v = portata di vapore interno [kg/s]
- X_i = umidità specifica dell'ambiente interno [$\text{kg}_v/\text{kg}_{as}$]

- Valutazione del punto di miscela “M”.

Si valutano ora le condizioni di miscelazione tra portata d’aria esterna e portata di ricircolo. I bilanci di massa ed energia conducono alle seguenti tre equazioni (la terza è approssimata per abbreviare i calcoli):

$$m_{ae} \cdot X_e + m_{ric} \cdot X_{ric} = m_{TOT} \cdot X_M$$

$$m_{ae} \cdot h_e + m_{ric} \cdot h_{ric} = m_{TOT} \cdot h_M$$

$$m_{ae} \cdot T_e + m_{ric} \cdot T_{ric} \approx m_{TOT} \cdot T_M$$

Dove:

- m_{ae} = portata d’aria di ventilazione [kg/s]
- X_e = umidità specifica dell’aria esterna [kg_v/kg_{as}]
- m_{ric} = portata d’aria di ricircolo [kg/s]
- $X_{ric} = X_i$ = umidità specifica dell’aria di ricircolo [kg_v/kg_{as}]
- m_{TOT} = portata d’aria da trattare [kg/s]
- X_M = umidità specifica del punto di miscela [kg_v/kg_{as}]
- h_e = entalpia dell’aria esterna [kJ/kg]
- $h_{ric} = h_i$ = entalpia dell’aria di ricircolo [kJ/kg]
- h_M = entalpia del punto di miscela [kJ/kg]
- T_e = temperatura dell’ambiente esterno [°C]
- $T_{ric} = T_i$ = temperatura dell’aria di ricircolo [°C]
- T_M = temperatura del punto di miscela [°C]

Si è in possesso a questo punto di tutti i dati necessari per procedere al dimensionamento dei componenti; chiaramente i dati non calcolati sono ricavabili graficamente dal diagramma psicrometrico.

Di seguito si riporta lo schema dell’unità di trattamento dell’aria tipo:

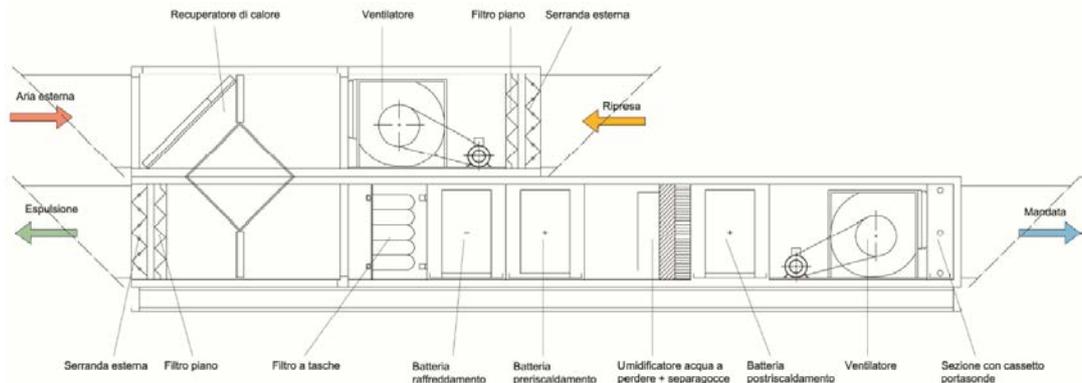


Figura 201 - Schema dei componenti delle U.T.A.

Il complesso è realizzato da due ventilatori, un recuperatore di calore, una sezione con filtri a sacco per la purificazione dell'aria, una batteria di raffreddamento, una di riscaldamento, un umidificatore a goccia e infine una batteria di postriscaldamento. La termoregolazione è generalmente posta sulla ripresa dell'aria o in ambiente al fine di evitare eccessive intermittenze di funzionamento.

Funzionamento estivo: se l'aria in ambiente si trova a temperatura o ad umidità superiore a quella desiderata, il termostato o l'umidostato aprono la valvola di alimentazione della batteria di raffreddamento. Una volta raggiunta la temperatura d'immissione, la batteria di raffreddamento continua ad essere alimentata per provvedere alla deumidificazione. L'acqua condensata è raccolta in un separatore di gocce che la smaltisce. Un secondo termostato, provvede ad aprire la valvola di alimentazione della batteria di postriscaldamento ristabilendo le condizioni di temperatura desiderate.

8.2.3. U.T.A. 1

L' U.T.A. 1 è l'unità di trattamento aria a servizio dell'edificio Sud A del complesso del Cardo. Di seguito è riportato il diagramma psicrometrico di Carrier in cui è rappresentato il funzionamento estivo:

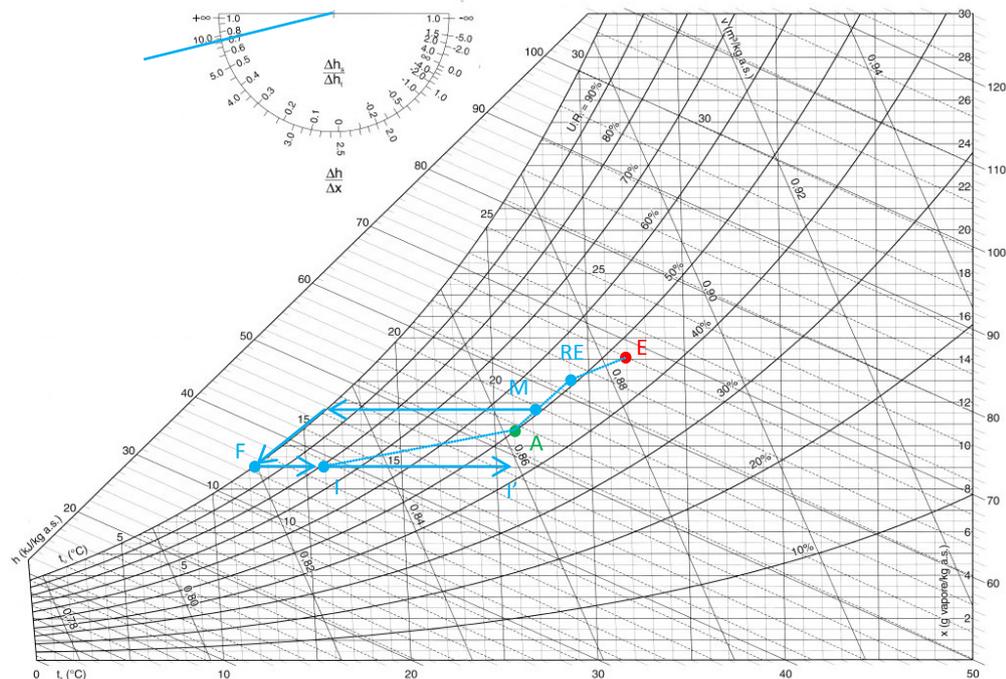


Figura 202 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

L'aria viziata di espulsione passa nel recuperatore di calore entalpico trasferendo energia all'aria in ingresso. La differenza di temperature è ridotta del 50%, mentre la differenza di umidità specifica del 30% (punto RE nel grafico). Successivamente quest'aria viene miscelata con quella di ricircolo fornendo i valori di miscela di temperatura ed umidità (punto M). In questo momento incomincia il trattamento vero e proprio, con un raffreddamento, fino alla temperatura di rugiada, la deumidificazione e il successivo post-riscaldamento (punto I). Per determinare le condizioni di immissione si procede come precedentemente descritto, prolungando la retta ambiente fino ad intersecare la temperatura di immissione scelta.

- Calcolo della potenza della batteria di raffreddamento - deumidificazione:

$$q_{M-F} = m_{TOT} \cdot (h_F - h_M)$$

normalmente tali batterie sono alimentate da un fluido freddo (proveniente da un gruppo frigorifero, che opera fra le temperature 7°C e 12°C, valori minimi). La temperatura superficiale minima della batteria sarà di circa 10 °C.

Tutte le batterie sono caratterizzate da un by-pass dell'aria per cui solo una frazione di questa subisce il raffreddamento e la deumidificazione, mentre la maggior parte rimane alle condizioni di ingresso. Il fattore di by-pass voluto (nel nostro caso 0.222)

dipende dal tipo di batteria; in generale esso è legato al numero di ranghi NR della stessa (file di tubi contate nel senso di attraversamento dell'aria). La miscelazione delle due frazioni fornisce poi le caratteristiche dell'aria in uscita, che non sarà più in condizioni di saturazione.

➤ In modo simile, la batteria di post-riscaldamento:

$$Q_{F-I} = m_{TOT} \cdot (h_I - h_F)$$

nel caso siano assenti i carichi sensibili, il punto di immissione, per mantenere costante la temperatura al valore di progetto, dovrebbe spostarsi in I' (stessa temperatura del punto ambiente; si compensano solo i carichi latenti). In tal caso, per raggiungere il punto, sarebbe necessario un maggiore post-riscaldamento (= massima potenza della batteria). Se in assenza di carichi sensibili (o in caso di riduzione) si mantenesse il punto I nella sua posizione, si avrebbe una forte diminuzione di temperatura nell'ambiente. Pertanto la potenza massima della batteria di post-riscaldamento è data dalla trasformazione F-I'.

Di seguito si riportano i calcoli utilizzati per il dimensionamento:

UTA Cardo Sud A			
calore sensibile ambiente	$Q_S =$	50,69	[kW]
calore latente ambiente	$Q_L =$	22,32	[kW]
calore totale ambiente	$Q_{TOT} =$	73,02	[kW]
temperatura RE	$T_{RE} =$	29	[°C]
umidità specifica RE	$X_{RE} =$	0,013	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto RE	$h_{RE} =$	62	[kJ/kg]
fattore di carico	$F_C =$	69,43	[%]
temperatura di immissione	$T_I =$	16	[°C]
umidità specifica di immissione	$X_I =$	0,009	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di immissione	$h_I =$	38	[kJ/kg]
portata di ventilazione	$m_{ae} =$	1,98	[kg/s]
portata di vapore interno	$m_v =$	0,01	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$m_{TOT} =$	5,03	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$P_{TOT} =$	14034,80	[m ³ /h]
portata d'aria di ricircolo	$m_{ric} =$	3,05	[kg/s]
umidità specifica di miscela	$X_M =$	0,011	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di miscela	$h_M =$	57,15	[kJ/kg]
temperatura di miscela	$T_M =$	27,18	[°C]
entalpia del punto F	$h_F =$	35,00	[kJ/kg]
entalpia del punto I'	$h_{I'} =$	49,00	[kJ/kg]
potenza batteria di raffreddamento	$q_{M-F} =$	-111,40	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I} =$	15,09	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I'} =$	70,41	[kW]

Dalle analisi effettuate si giunge alla scelta da catalogo dei dispositivi che offrono le prestazioni calcolate.

Nel nostro caso ci si avvale del catalogo della Aermec.

Dalle portate d'aria si sceglie il modello d'impianto:

$$P_{TOT} = 14034,8 \text{ m}^3/h$$

$$q_- = 111,4 \text{ kW}$$

$$q_+ = 70,41 \text{ kW}$$

Si necessita quindi un impianto NCD 12 per l' U.T.A. 1.

8.2.4. U.T.A. 2

L' U.T.A. 2 è l'unità di trattamento aria a servizio dell'edificio Sud B del complesso del Cardo. Di seguito è riportato il diagramma psicrometrico di Carrier in cui è rappresentato il funzionamento estivo:

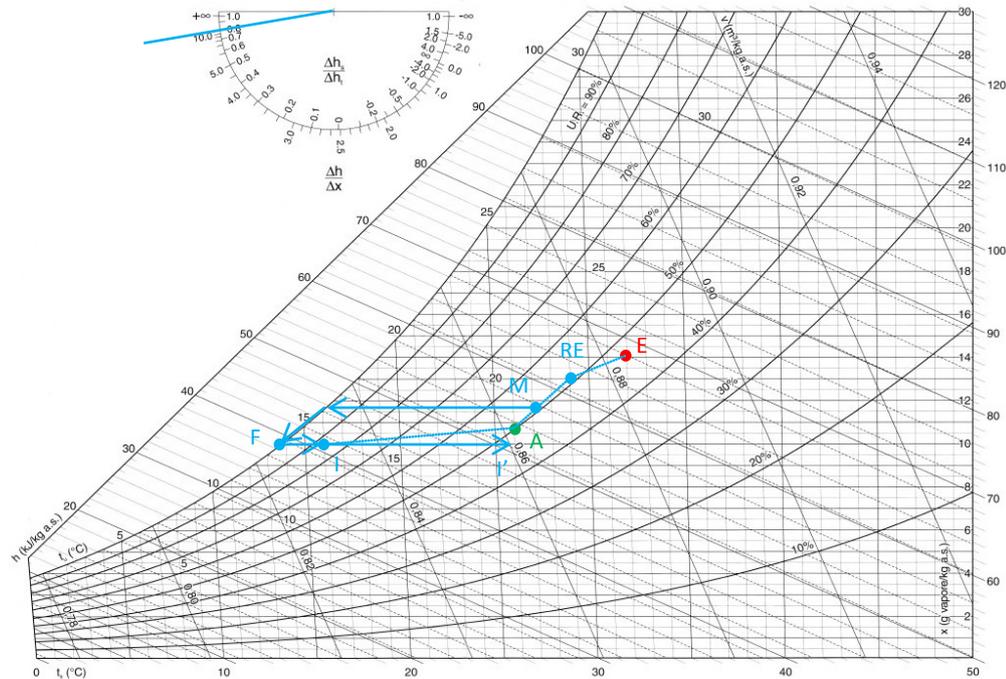


Figura 203 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

Nella pagina seguente si riportano i calcoli utilizzati per il dimensionamento.

UTA Cardo Sud B			
calore sensibile ambiente	$Q_S =$	32,38	[kW]
calore latente ambiente	$Q_L =$	6,35	[kW]
calore totale ambiente	$Q_{TOT} =$	38,73	[kW]
temperatura RE	$T_{RE} =$	29	[°C]
umidità specifica RE	$X_{RE} =$	0,013	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto RE	$h_{RE} =$	62	[kJ/kg]
fattore di carico	$F_c =$	83,61	[%]
temperatura di immissione	$T_i =$	16	[°C]
umidità specifica di immissione	$X_i =$	0,010	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di immissione	$h_i =$	41	[kJ/kg]
portata di ventilazione	$m_{ae} =$	0,99	[kg/s]
portata di vapore interno	$m_v =$	0,00	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$m_{TOT} =$	3,21	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$P_{TOT} =$	8965,29	[m ³ /h]
portata d'aria di ricircolo	$m_{ric} =$	2,23	[kg/s]
umidità specifica di miscela	$X_M =$	0,011	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di miscela	$h_M =$	56,46	[kJ/kg]
temperatura di miscela	$T_M =$	26,92	[°C]
entalpia del punto F	$h_F =$	39,00	[kJ/kg]
entalpia del punto I'	$h_{I'} =$	51,00	[kJ/kg]
potenza batteria di raffreddamento	$q_{M-F} =$	-56,08	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I} =$	6,43	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I'} =$	38,55	[kW]

Dalle portate d'aria si sceglie il modello d'impianto:

$$P_{TOT} = 8965,29 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_- = 56,08 \text{ kW}$$

$$q_+ = 38,55 \text{ kW}$$

Si necessita quindi un impianto NCD 10 per l' U.T.A. 2.

8.2.5. U.T.A. 3

L' U.T.A. 3 è l'unità di trattamento aria a servizio dell'edificio Nord A del complesso del Cardo. Di seguito è riportato il diagramma psicrometrico di Carrier in cui è rappresentato il funzionamento estivo:

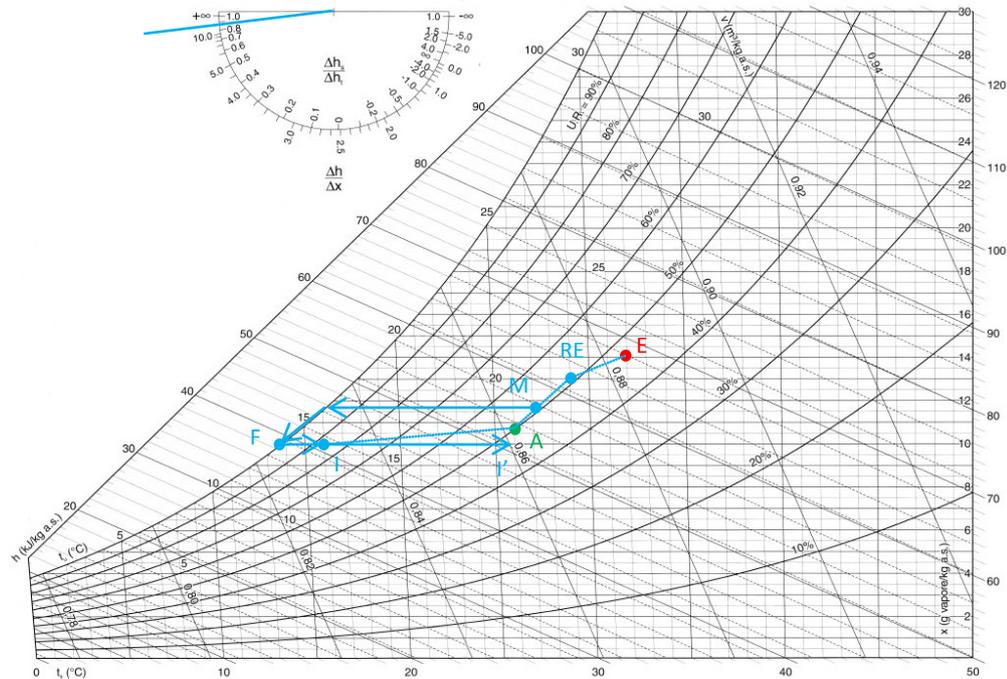


Figura 204 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

Nella pagina seguente si riportano i calcoli utilizzati per il dimensionamento.

UTA Cardo Nord A			
calore sensibile ambiente	$Q_S =$	41,30	[kW]
calore latente ambiente	$Q_L =$	5,80	[kW]
calore totale ambiente	$Q_{TOT} =$	47,09	[kW]
temperatura RE	$T_{RE} =$	29	[°C]
umidità specifica RE	$X_{RE} =$	0,013	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto RE	$h_{RE} =$	62	[kJ/kg]
fattore di carico	$F_c =$	87,69	[%]
temperatura di immissione	$T_i =$	16	[°C]
umidità specifica di immissione	$X_i =$	0,010	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di immissione	$h_i =$	41	[kJ/kg]
portata di ventilazione	$m_{ae} =$	0,50	[kg/s]
portata di vapore interno	$m_v =$	0,00	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$m_{TOT} =$	4,10	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$P_{TOT} =$	11433,75	[m ³ /h]
portata d'aria di ricircolo	$m_{ric} =$	3,60	[kg/s]
umidità specifica di miscela	$X_M =$	0,011	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di miscela	$h_M =$	54,97	[kJ/kg]
temperatura di miscela	$T_M =$	26,36	[°C]
entalpia del punto F	$h_F =$	39,00	[kJ/kg]
entalpia del punto I'	$h_{I'} =$	51,00	[kJ/kg]
potenza batteria di raffreddamento	$q_{M-F} =$	-65,44	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I} =$	8,19	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I'} =$	49,17	[kW]

Dalle portate d'aria si sceglie il modello d'impianto:

$$P_{TOT} = 11433,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_- = 65,44 \text{ kW}$$

$$q_+ = 49,17 \text{ kW}$$

Si necessita quindi un impianto NCD 11 per l' U.T.A. 3.

8.2.6. U.T.A. 4

L' U.T.A. 4 è l'unità di trattamento aria a servizio dell'edificio Nord B₁ del complesso del Cardo. Di seguito è riportato il diagramma psicrometrico di Carrier in cui è rappresentato il funzionamento estivo:

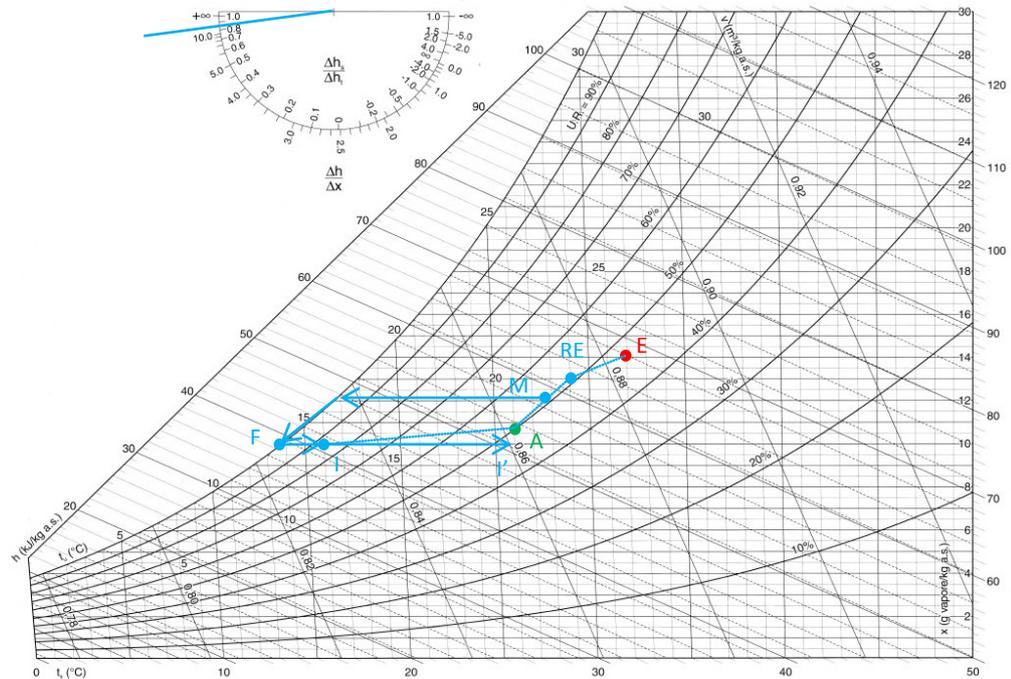


Figura 205 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

Nella pagina seguente si riportano i calcoli utilizzati per il dimensionamento.

UTA Cardo Nord B ₁			
calore sensibile ambiente	$Q_S =$	20,51	[kW]
calore latente ambiente	$Q_L =$	4,13	[kW]
calore totale ambiente	$Q_{TOT} =$	24,63	[kW]
temperatura RE	$T_{RE} =$	29	[°C]
umidità specifica RE	$X_{RE} =$	0,013	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto RE	$h_{RE} =$	62	[kJ/kg]
fattore di carico	$F_c =$	83,25	[%]
temperatura di immissione	$T_i =$	16	[°C]
umidità specifica di immissione	$X_i =$	0,010	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di immissione	$h_i =$	41	[kJ/kg]
portata di ventilazione	$m_{ae} =$	1,06	[kg/s]
portata di vapore interno	$m_v =$	0,00	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$m_{TOT} =$	2,03	[kg/s]
portata d'aria da trattare	$P_{TOT} =$	5677,64	[m ³ /h]
portata d'aria di ricircolo	$m_{ric} =$	0,97	[kg/s]
umidità specifica di miscela	$X_M =$	0,012	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di miscela	$h_M =$	58,18	[kJ/kg]
temperatura di miscela	$T_M =$	27,57	[°C]
entalpia del punto F	$h_F =$	39,00	[kJ/kg]
entalpia del punto I'	$h_{I'} =$	51,00	[kJ/kg]
potenza batteria di raffreddamento	$q_{M-F} =$	-39,02	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I} =$	4,07	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	$q_{F-I'} =$	24,41	[kW]

Dalle portate d'aria si sceglie il modello d'impianto:

$$P_{TOT} = 5677,64 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_- = 39,02 \text{ kW}$$

$$q_+ = 24,41 \text{ kW}$$

Si necessita quindi un impianto NCD 8 per l' U.T.A. 4.

8.2.7. U.T.A. 5

L' U.T.A. 5 è l'unità di trattamento aria a servizio dell'edificio Nord B₂ del complesso del Cardo. Di seguito è riportato il diagramma psicrometrico di Carrier in cui è rappresentato il funzionamento estivo:

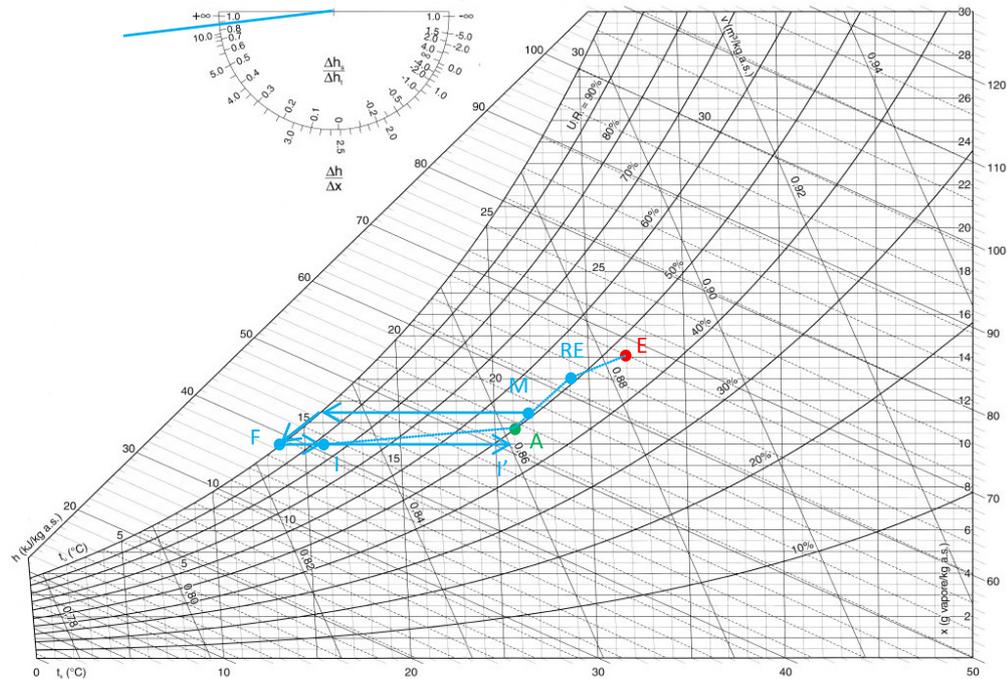


Figura 206 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera

Nella pagina seguente si riportano i calcoli utilizzati per il dimensionamento.

UTA Cardo Nord B ₂			
calore sensibile ambiente	Q _S =	44,95	[kW]
calore latente ambiente	Q _L =	5,89	[kW]
calore totale ambiente	Q _{TOT} =	50,84	[kW]
temperatura RE	T _{RE} =	29	[°C]
umidità specifica RE	X _{RE} =	0,013	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto RE	h _{RE} =	62	[kJ/kg]
fattore di carico	Fc =	88,41	[%]
temperatura di immissione	T _I =	16	[°C]
umidità specifica di immissione	X _I =	0,010	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di immissione	h _I =	41	[kJ/kg]
portata di ventilazione	m _{ae} =	0,70	[kg/s]
portata di vapore interno	m _v =	0,00	[kg/s]
portata d'aria da trattare	m _{TOT} =	4,46	[kg/s]
portata d'aria da trattare	P _{TOT} =	12443,97	[m ³ /h]
portata d'aria di ricircolo	m _{ric} =	3,76	[kg/s]
umidità specifica di miscela	X _M =	0,011	[kg _v /kg _{as}]
entalpia del punto di miscela	h _M =	55,26	[kJ/kg]
temperatura di miscela	T _M =	26,47	[°C]
entalpia del punto F	h _F =	39,00	[kJ/kg]
entalpia del punto I'	h _{I'} =	51,00	[kJ/kg]
potenza batteria di raffreddamento	q _{M-F} =	-72,51	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	q _{F-I} =	8,92	[kW]
potenza batteria di postriscaldamento	q _{F-I'} =	53,51	[kW]

Dalle portate d'aria si sceglie il modello d'impianto:

$$P_{TOT} = 12443,97 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$q_{-} = 72,51 \text{ kW}$$

$$q_{+} = 53,51 \text{ kW}$$

Si necessita quindi un impianto NCD 12 per l' U.T.A. 5.

8.3. Progettazione e dimensionamento dei condotti di mandata, ripresa ed espulsione

8.3.1. Premesse

Per quanto riguarda il dimensionamento dei condotti si fa riferimento al metodo a riduzione di velocità. Secondo tale metodo, si fissa la velocità nel canale principale e si assegna arbitrariamente una velocità decrescente in tutti i successivi tratti di canale nonché nelle diramazioni. La tabella seguente rassegna valori di velocità consigliate per le canalizzazioni in relazione al tipo di impianto.

VELOCITÀ DELL'ARIA (CONSIGLIATE E MASSIME)			
Elemento	Velocità consigliate m/s		
	Edifici residenziali	Edifici pubblici scuole-teatri	Edifici industriali
Condotte principali	3,5 + 4,5	5 + 6,5	6 + 9
Condotte secondarie	2,5 + 3	3 + 4,5	4 + 5
Filtri	1,25	1,5	1,75
Batterie	2,25	2,5	3
Elemento	Velocità massime m/s		
Condotte principali	4 + 6	5,5 + 8	6,5 + 11
Condotte secondarie	3,5 + 5	4 + 6,5	5 + 9
Filtri	1,5	1,75	1,75
Batterie	2,5	3	3,5

Figura 207 - Velocità dell'aria consigliate nei condotti

La sezione del canale viene pertanto determinata in funzione della portata d'aria:

$$S = P / v$$

Dove:

- _ S = sezione del canale [m²]
- _ P = portata d'aria [m³/s]
- _ v = velocità dell'aria [m/s]

Con questo sistema si computano, per l'interna canalizzazione, il solo tratto che presenta maggiori perdite di carico e la somma totale delle cadute di pressione statica compresa quella richiesta sull'ultima bocchetta o diffusore. In questo calcolo si deve tener conto anche delle perdite di carico lungo il canale di ripresa nonché sulle relative griglie di aspirazione.

8.3.2. Calcolo dei condotti di mandata, ripresa ed espulsione

Di seguito sono riportate le tabelle di calcolo di tutti i condotti di mandata e ripresa:

UTA 1 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI MANDATA							
locale / condotto	totale massimo [kW]	portata di calcolo [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	portata reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1	50,69	3,90	5	0,780	0,79	3,95	0,50
cucina / 2	6,09	0,47	3	0,156	0,16	0,48	0,23
ristorante / 3	44,6	3,43	3	1,143	1,15	3,45	0,61

UTA 1 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI RIPRESA							
locale / condotto	estrattori	estrazione [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	estrazione reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1		3,90	5	0,780	0,79	3,95	0,50
ristorante / 2	6,00	1,99	3	0,664	0,67	2,01	0,46
wc + spogliatoio + cucina / 3	9	1,91	4	0,477	0,37	1,48	0,34
cucina / 3a	3	0,47	4	0,117	0,12	0,48	0,20
wc / 3b	4	0,72	3	0,240	0,25	0,75	0,28
spogliatoio / 3c	2	0,72	3	0,240	0,25	0,75	0,28

UTA 2 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI MANDATA							
locale / condotto	totale massimo [kW]	portata di calcolo [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	portata reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1	32,38	2,49	5	0,498	0,5	2,5	0,40
open space / 2	32,38	2,49	3	0,830	0,84	2,52	0,52

UTA 2 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI RIPRESA							
locale / condotto	estrattori	estrazione [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	estrazione reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1		2,49	5	0,498	0,5	2,5	0,40
open space / 2	6,00	1,77	3	0,590	0,6	1,80	0,44
wc / 3	4	0,72	3	0,240	0,25	0,75	0,28

UTA 3 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI MANDATA							
locale / condotto	totale massimo [kW]	portata di calcolo [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	portata reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1	60,1	4,62	5	0,924	0,93	4,65	0,54
uffici (4+1) / 2	8,80	0,68	3	0,226	0,23	0,69	0,27
ufficio / 2a	2	0,15	3	0,051	0,06	0,18	0,14
ufficio / 2b	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2c	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2d	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2e	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
uffici (2+1) / 3	5,4	0,42	3	0,13842746	0,14	0,42	0,21
ufficio / 3a	2	0,15	3	0,05126943	0,06	0,18	0,14
ufficio / 3b	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 3c	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
uffici open space / 4	45,9	3,53	3	1,17663344	0,7	2,1	0,47

UTA 3 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI RIPRESA							
locale / condotto	estrattori	estrazione [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	estrazione reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1		4,62	5	0,923	0,93	4,65	0,54
uffici (4+1) + wc	14,00	1,40	3	0,466	0,47	1,41	0,39
ufficio / 2a	2	0,15	3	0,051	0,06	0,18	0,14
ufficio / 2b	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2c	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2d	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2e	2	0,130737049	3	0,04357902	0,05	0,15	0,1261566
wc / 2f	4	0,72	3	0,24	0,25	0,75	0,2820948
uffici (2+1) + wc / 3	10	1,135282392	3	0,37842746	0,38	1,14	0,3477898
ufficio / 3a	2	0,153808293	3	0,05126943	0,06	0,18	0,1381977
ufficio / 3b	2	0,130737049	3	0,04357902	0,05	0,15	0,1261566
ufficio / 3c	2	0,130737049	3	0,04357902	0,05	0,15	0,1261566
wc / 2f	4	0,72	3	0,24	0,25	0,75	0,2820948
uffici open space / 4	5	2,084102375	3	0,69470079	0,7	2,1	0,4720349

UTA 4 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI MANDATA							
locale / condotto	totale massimo [kW]	portata di calcolo [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	portata reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1	29,9	2,30	5	0,460	0,5	2,5	0,40
open space / 2	29,90	2,30	3	0,766	0,77	2,31	0,50

UTA 4 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI RIPRESA							
locale / condotto	estrattori	estrazione [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	estrazione reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1		2,30	5	0,459	0,5	2,5	0,40
open space / 2	7,00	1,58	3	0,526	0,53	1,59	0,41
wc / 3	4	0,72	3	0,240	0,25	0,75	0,28

UTA 5 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI MANDATA							
locale / condotto	totale massimo [kW]	portata di calcolo [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	portata reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1	54,3	4,18	5	0,835	0,84	4,2	0,52
uffici (3+1) / 2	7,10	0,55	3	0,182	0,19	0,57	0,25
ufficio / 2a	2	0,15	3	0,051	0,06	0,18	0,14
ufficio / 2b	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2c	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2d	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
uffici (2+0) / 3	3,4	0,26	3	0,08715803	0,09	0,27	0,17
ufficio / 3a	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
ufficio / 3b	1,7	0,13	3	0,04357902	0,05	0,15	0,13
uffici open	43,8	3,37	3	1,12280054	0,89	2,67	0,53

UTA 5 - DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI RIPRESA							
locale / condotto	estrattori	estrazione [m ³ /s]	velocità dell'aria [m/s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	estrazione reale [m ³ /s]	diametro tubo [m]
UTA / 1		4,18	5	0,835	0,84	4,2	0,52
uffici (3+1) + wc	12,00	1,27	3	0,422	0,43	1,29	0,37
ufficio / 2a	2	0,15	3	0,051	0,06	0,18	0,14
ufficio / 2b	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2c	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
ufficio / 2d	2	0,13	3	0,044	0,05	0,15	0,13
wc / 2e	4	0,72	3	0,24	0,25	0,75	0,2820948
uffici (2+0) / 3	4	0,261474099	3	0,08715803	0,09	0,27	0,1692569
ufficio / 3a	2	0,130737049	3	0,04357902	0,05	0,15	0,1261566
ufficio / 3b	2	0,130737049	3	0,04357902	0,05	0,15	0,1261566
uffici open	6	2,649347853	3	0,88311595	0,89	2,67	0,5322554

DIMENSIONAMENTO CONDOTTI DI ESPULSIONE / PRELIEVO				
UTA	portata di espulsione / prelievo [m ³ /s]	sezione teorica [m ²]	sezione reale [m ²]	diametro tubo [m]
1	1,534883721	0,15	0,16	0,226
2	0,77	0,08	0,08	0,160
3	0,387596899	0,04	0,04	0,113
4	0,821705426	0,08	0,09	0,169256875
5	0,542635659	0,05	0,06	0,13819766

Per concludere, si rimanda agli allegati di questa relazione: tavole da 00 a 00.

CAPITOLO 9

Il progetto ergotecnico

9.1. Computo metrico estimativo

9.1.1. Introduzione

Essendo EXPO un evento di grossa portata, in cui ci sarà un grande investimento economico da parte di enti pubblici e soggetti privati, è fondamentale definire la portata economica dell'intervento di realizzazione degli edifici del cardo in maniera accurata.

La committenza ha definito un budget per la realizzazione che ammonta a 29 milioni di euro per il Palazzo Italia e a 11 milioni di euro per gli altri edifici del Cardo. Essendo stato approfondito in questa sede solamente l'intervento per gli edifici del cardo, ed essendo la metratura totale richiesta di 10686 m², il costo massimo al metro quadro risulta essere di circa 1029 €. Si è quindi dovuto necessariamente procedere con l'esecuzione di un computo metrico estimativo.

In fase progettuale, fino alla fase di redazione del progetto definitivo, viene solitamente eseguito un computo metrico parametrico o per elementi tecnici. Ma essendo le costruzioni in esame estremamente singolari, e non essendo riconducibili a nessuna tipologia edilizia comune, si è reso necessario eseguire una computazione mista per voci di lavoro e per risorse andando a stimare quindi le squadre di lavoro e la manodopera necessaria alla realizzazione dell'opera.

9.1.2. Computo metrico estimativo per voci di lavoro

Il computo metrico estimativo per voci di lavoro è una tipologia di computo che viene redatto dal progettista, per definire la quantità e la qualità delle lavorazioni. Necessita di una programmazione di II livello, per logica costruttiva e permette di definire con buona approssimazione il costo definitivo dell'intervento. Si rende necessaria quindi una WBS (work breakdown structure) di secondo livello in cui per ogni elemento tecnico (pilastro, chiusura verticale, ecc.) si definiscono le voci di lavoro per la realizzazione degli stessi.



Figura 208 - Schema esemplificativo di WBS di II livello

Eseguita tale analisi si può procedere con la definizione dei costi unitari per ogni lavorazione, comprensiva quindi di manodopera e noli, normalmente reperibili da prezzari regionali o pubblicati da altri enti pubblici. Tali valori sono frutto di analisi statistiche dei costi eseguite nell'area provinciale o regionale in cui deve essere realizzato l'intervento.

Definiti i valori unitari, il passo finale sarà di definire le quantità effettive delle lavorazioni necessarie all'intervento in esame. A questo punto moltiplicando le quantità per il costo unitario si ottiene il costo totale per la realizzazione di un dato elemento tecnico. Nella figura seguente viene illustrato il procedimento.

C. M. E. per Voci di Lavoro/Lav.ni

CODICE ELEMENTO TECNICO	CODICE VOCI DI LAVORO	VOCE DI LAVORO	PARTI SIMILI	U.M.	QUANTITÀ	COSTO UNITARIO [€/m²]	COSTO TOTALE [€]
PILASTRO P.0.1 (30x30x285)	C.0.1	CASSERATURA	4	m²	13,88 4x0,30x2,85	26,00	342,00
	A.A.0.1	ACCIAIO ARMATURA	1	kg	27*	1,36	38,45
	C.L.0.1	CALCESTRUZZO	1	m³	0,27	135,00	38,45

Figura 209 - Esempio C.M. per voci di lavoro

9.1.3. Computo metrico estimativo per risorse

Il computo metrico estimativo per risorse, strumento predittivo più vicino alle esigenze di programmazione economica e temporale dell'impresa, serve per definire le risorse necessarie da impiegare nella realizzazione dell'opera. Questo permette quindi di procedere con la gestione delle spese da parte dell'impresa, stabilendo il budget di commessa.

Grazie a questa analisi l'impresa può eseguire una programmazione operativa, definendo quando e in che quantitativi acquistare i materiali, prevedere i noleggi delle attrezzature e, più in generale, allocare le proprie risorse. Molto importante inoltre è la possibilità di definire i margini di contribuzione dell'impresa stessa. Per poter eseguire tale C.M. si rende necessaria una stima analitica di III livello, in cui per ogni lavorazione si definiscono i materiali, i noli (macchinari, attrezzature ecc.) e la manodopera necessari per la realizzazione.

DESTRUTTURAZIONE DELL'INTERVENTO		
DESTRUTTURAZIONE PER RISORSE		
LAVORAZIONE	RISORSE	RISORSE
MURATURA A CASSAVUOTA CON PARAMANO ESTERNO	LATERIZIO ESTERNO [n°/m²]	CAPO SQUADRA [h/m²]
	MALTA [m²/m²]	MURATORE [h/m²]
	ISOLANTE [m²/m²]	AIUTO MURATORE [h/m²]
	MALTA PER RINZAFFO [m²/m²]	MANOVALE[h/m²]
	LATERIZIO INTERNO [n°/m²]	ATTREZZATURE MINUTE [h/m²]
	MALTA [m²/m²]	BETONIERA A BICCHIERE [h/m²]
		CALANDRE [h/m²]
	GRU[h/m²]	

Figura 210 - Esempio di stima analitica di III livello

Il passo successivo è dunque la definizione dei costi unitari per ogni risorsa, anche questi reperibili da prezzari regionali o pubblicati da altri enti pubblici. Calcolando le quantità totali di ogni risorsa e moltiplicando tale valore per i costi unitari, si ottiene il costo totale per la realizzazione della lavorazione presa in esame.

9.1.4. Computo metrico estimativo degli edifici del Cardo

Come detto in precedenza, per la stima dei costi di realizzazione dell'opera progettata in questa sede, si è resa necessaria una computazione mista per voci di lavoro e per risorse in quanto, trattandosi di lavorazioni particolari, in molti casi non è stato possibile trovare una voce di lavoro coerente con quelle dell'intervento. Si è quindi effettuata una analisi partendo dalle risorse e stimando la manodopera e i relativi tempi unitari di realizzazione. I costi unitari delle voci di lavoro, dei materiali, dei noli e della manodopera sono stati reperiti, dove possibile, dal prezziario della regione Lombardia del 2011. Di seguito si riportano i risultati di tale computazione.

➤ Elementi strutturali

Di seguito sono riportate tutte le tabelle di computazione delle opere strutturali di tutti gli edifici del Cardo (Sud A, Sud B, Nord A, Nord B).

C.M. estimativo per voci di lavoro:

per questo tipo di computo vengono esplicitati il nome dell'elemento tecnico, il codice di lavorazione da prezziario, il nome della lavorazione, una breve descrizione della stessa, il prezzo unitario e la quantità totale di lavorazione, oltre ad un coefficiente correttivo k che tiene conto delle differenze tra le condizioni standard da prezziario e quelle reali di progetto. Il prezzo totale risulta essere quindi:

$$\text{Prezzo totale} = \text{Prezzo unitario} \times \text{Quantità} \times \text{Coefficiente } k$$

Elemento tecnico	codice lavorazione	nome lavorazione	descrizione lavorazione	U.M.	prezzo unitario	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]	
Fondazioni	A15001	scavo	scavo di sbancamento effettuato con mezzi meccanici	[m ³]	4,5	948,4	1	4.267,80	
prezzo totale fondazioni								[€]	4.267,80

Elemento tecnico	Codice lavorazione da prezziario	nome lavorazione	descrizione lavorazione	U.M.	prezzo unitario [€/U.M.]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]	
Fondazioni	A35010a	getto del magrone	getto e livellazione di magrone	[m ³]	80,2	72,84	1	5.841,77	
	A35014c	casseratura	posa in opera di casseri	[m ²]	23,9	1.342,44	1	32.084,32	
	A35023e	posa in opera armatura	fornitura e posa in opera di armatura in acciaio	[kg]	1,35	65.556,00	1	88.500,60	
	A35011a	getto cls	getto e vibratura di CLS	[m ³]	146	655,56	1	95.711,76	
prezzo totale fondazioni								[€]	222.138,44

Elemento tecnico	codice lavorazione	nome lavorazione	descrizione lavorazione	U.M.	prezzo unitario [€/U.M.]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
Struttura portante bulbo in acciaio	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi principali IPE 500	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi IPE della struttura in acciaio del bulbo, inclusi i tagli a misura, gli sfridi, la	[kg]	2,86	62.569,20	1	178.947,91
	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi secondarie in acciaio IPE 220	bullonatura o saldatura dei profilati, le forature, le flange e mano di	[kg]	2,86	48.470,00	1	138.624,20
	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi calandrate HEA 280	antiruggine nonche' tutti gli oneri derivanti dai controlli e dalle certificazioni di legge	[kg]	2,86	94.888,80	1,2	325.658,36
prezzo totale strutture in acciaio bulbo							[€]	643.230,47

Il coefficiente k per le travi calandrate del bulbo è stato stimato essere circa 1,2 per il fatto che la trave non è dritta ma viene incurvata in stabilimento.

Elemento tecnico	codice lavorazione	nome lavorazione	descrizione lavorazione	U.M.	prezzo unitario [€/U.M.]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
Struttura copertura esterna in lamiera	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio HEB 160 per pilastri copertura	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi IPE della struttura in	[kg]	2,86	29.990,40	1	85.772,54
	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi secondarie in acciaio IPE 160	acciaio del bulbo, inclusi i tagli a misura, gli sfridi, la	[kg]	2,86	24.332,00	1	69.589,52
	C15005a	Fornitura e posa in opera di profilati in acciaio per travi principali IPE 300	bullonatura o saldatura dei profilati, le forature, le flange e mano di antiruggine nonche' tutti gli oneri derivanti dai controlli e dalle certificazioni di legge	[kg]	2,86	31.565,60	1	90.277,62
prezzo totale struttura copertura							[€]	245.639,68

C.M. estimativo per risorse:

vengono qui esplicitati il nome della lavorazione, il tipo di risorsa impiegata, una breve descrizione della stessa, il codice da prezziario della risorsa, il prezzo unitario e la quantità totale di lavorazione, oltre ad un coefficiente correttivo k che tiene conto delle differenze tra le condizioni standard da prezziario e le reali di progetto. Il prezzo totale risulta essere:

$$\text{Prezzo totale} = \text{Prezzo unitario} \times \text{Quantità} \times \text{Coefficiente } k$$

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità [h/concio]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera dei conci in cls per archi (0,8x0,5x0,6 m)	materiali	conci in cls per archi (0,8x0,5x0,6 m)	/	n°	105	/	50,00	2	10.500,00
		posa in opera trefoli da post compressione Φ 15,2 mm	/	[m]	5,36	/	1.152,00	1	6.174,72
	manodopera	qualificato edile	M10003	[h]	32,84	0,08	50,00	1	131,36
		qualificato edile	M10003	[h]	32,84	0,08	50,00	1	131,36
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,08	50,00	1	118,88
	noli	autogru con operatore	N04060 b	[h]	50,2	0,08	50,00	1	200,80
		pile	N04055 c	[h]	5,24	0,08	50,00	1	20,96
	costo marginale di un arco								
utile impresa								15%	2.591,71
costi generali								10%	1.727,81
costo totale di un arco								[€]	21.597,60
costo totale degli archi								[€]	1.792.600,80

Il coefficiente k per i conci che compongono gli archi è stato stimato essere 2, perché i conci richiedono una finitura superficiale e una precisione di realizzazione con tolleranze bassissime. Per fare ciò è necessario realizzare un cassero in acciaio speciale che quindi fa aumentare il costo totale di ogni concio.

Il costo totale per la realizzazione delle sole strutture risulta essere quindi di 2.922.880,46 €.

➤ Chiusure e partizioni

Di seguito sono riportate tutte le tabelle di computazione di tutte le partizioni e le chiusure verticali e orizzontali, di tutti gli edifici del Cardo.

C.M. estimativo per voci di lavoro:

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m²]	prezzo unitario [€/m²]	quantità [m²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
P.O.2A	A.P.	fornitura e posa travetti LVL (0,05x0,3 m), 1 ogni 60 cm	m³	0,03	15	3.264,00	1	48.960,00
	A.P.	fornitura e posa in opera di polistirene espanso con grafite (0,3x0,6 m), avvitato ai travetti	m²	1	25	3.264,00	1	81.600,00
	A75006	fornitura e posa in opera di listelli di legno di abete grezzo (0,04x0,04 m), 1 ogni 50 cm	m³	0,0032	10,88	3.264,00	1	35.512,32
	A.P.	fornitura e posa di pannello OSB (spessore 0,0125 m)	m²	1	13	3.264,00	1	42.432,00
	A.P.	fornitura e posa di pannello OSB (spessore 0,0125 m)	m²	1	13	3.264,00	1	42.432,00
	A95024d	fornitura e posa di barriera al vapore in polietilene (spessore 0,3 mm)	m²	1	3,52	3.264,00	1	11.489,28
	B25073 b	fornitura e posa di pavimentazione in laminato (spessore 7 mm)	m²	1	34,5	3.264,00	1	112.608,00
totale							[€]	375.033,60

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/m ²]	quantità [m ²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
P.O.2B	A75023c	fornitura e posa di lamiera grecata in acciaio (spessore 0,8 mm)	m ²	1	49,58	992	1	49.183,36
	A.P.	fornitura e posa in opera di pannelli in lana di kenaf (spessore 8 cm)	m ²	1	14,37	992	1	14.255,04
	B75026	fornitura e posa in opera di controsoffitto in pannelli di lana di roccia mineralizzata	m ²	1	31,62	992	1	31.367,04
totale							[€]	94.805,44

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/m ²]	quantità [m ²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
P.V.1A scala	B75039a + B75039d	fornitura e posa in opera di parete con sottostruttura metallica isolata in intercapedine e finitura con pannelli in lana di legno mineralizzata	m ²	1	54,36	2.518,20	1	136.889,35
	A95024d	fornitura e posa di barriera al vapore in polietilene (spessore 0,3 mm)	m ²	1	3,52	2.518,20	1	8.864,06
P.V.1A locale impianti	B75039a + B75039d	fornitura e posa in opera di parete con sottostruttura metallica isolata in intercapedine e finitura con pannelli in lana di legno mineralizzata	m ²	1	54,36	696	1	37.834,56
	A95024d	fornitura e posa di barriera al vapore in polietilene (spessore 0,3 mm)	m ²	1	3,52	696	1	2.449,92
totale							[€]	145.753,42

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/m ²]	quantità [m ²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
P.V.2A	A.P.	fornitura e posa in opera di parete doppia in pannelli di paglia rivestita e finitura in cartone riciclato	m ²	1	63,08	759	1	47.877,72
	A95024d	fornitura e posa di barriera al vapore in polietilene (spessore 0,3 mm)	m ²	1	3,52	759	1	2.671,68
totale							[€]	50.549,40

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/m ²]	quantità [m ²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
P.V.2B	A.P.	fornitura e posa in opera di parete divisoria in pannelli di paglia rivestita e finitura in cartone riciclato	m ²	1	31,54	789,9	1	24.913,45
totale							[€]	24.913,45

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/m ²]	quantità [m ²]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
Pavimentazione P.T	E15024e	fornitura e posa in opera di geogriglia di rinforzo e separazione tipo PEC 75/75	m ²	1	4,2	6346	1	26.653,20
	A45002	fornitura e posa in opera di strato di misto granulare stabilizzato granulometricamente	m ²	1	45,68	6346	1	289.885,28
	E15027b + E15027b	fornitura e posa in opera strato di base in C.B. fibrorinforzato sp 18 cm	m ²	1	25,69	6346	1	163.028,74
	E15028b	fornitura e posa in opera strato di binder ad elevate prestazioni con polimeri e fibre C/S sp 6 cm	m ²	1	9,42	6346	1	59.779,32
	E15029a	fornitura e posa di strato di usura confezionato a caldo sp 3 cm	m ²	1	6,82	6346	1	43.279,72
costo totale pavimentazione							[€]	103.059,04

C.M. estimativo per risorse:

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità [h/m ²]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera del rivestimento in pannelli sandwich (1*6*0,1 m)	materiali	pannello sandwich	A73006f	n°	182,22	/	640	1,5	174.931,20
	manodopera	specializzato edile	M10002	[h]	35,23	0,12	640	1	2.705,66
		qualificato edile	M10003	[h]	32,84	0,25	640	1	5.254,40
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,25	640	1	4.755,20
	noli	autogru con operatore	N04060 b	[h]	50,2	0,25	640	1	8.032,00
		ple	A.P.	[h]	5,24	0,25	640	1	838,40
trabattello		A.P.	[h]	1,44	0,25	640	1	230,40	
costo marginale del rivestimento in pannelli sandwich									196.747,26
utile impresa								15%	29.512,09
costi generali								10%	19.674,73
costo totale del rivestimento in pannelli sandwich									[€] 245.934,08

Il coefficiente k per i pannelli sandwich è stato ipotizzato essere 1,5 in quanto si tratta di pannelli di notevole lunghezza (6 m) e con un raggio di curvatura variabile.

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità [h/m ²]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera del rivestimento in pannelli di policarbonato (1*6*0,016 m)	materiali	pannello policarbonato	A.P.	n°	191,7	/	477	1	91.440,90
	manodopera	specializzato edile	M10002	[h]	35,23	0,12	477	1	2.016,57
		qualificato edile	M10003	[h]	32,84	0,25	477	1	3.916,17
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,25	477	1	3.544,11
	noli	autogru con operatore	N04060 b	[h]	50,2	0,25	477	1	5.986,35
		ple	A.P.	[h]	5,24	0,25	477	1	624,87
trabattello		A.P.	[h]	1,44	0,25	477	1	171,72	
costo marginale del rivestimento in pannelli sandwich									107.700,69
utile impresa								15%	16.155,10
costi generali								10%	10.770,07
costo totale del rivestimento in pannelli sandwich									[€] 134.625,86

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità [h/m²]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera della facciata cinetica	materiali	piastre forate in alluminio (0,15x0,2x0,001 m)	A.P.	[m²]	37,86	/	3.074,76	1	116.410,41
		scatolari a sezione quadrata (25x25x2mm) l=2,5 m	C13025d	[kg]	0,779	/	26.383,97	1	20.553,11
		scatolari a sezione quadrata (80x80x2mm)	C13025f	[kg]	0,868	/	8.255,52	1	7.165,79
		tasselli di sostegno alla lamiera (2 per foglio)	A.P.	[m²]	19,8	/	3.074,76	1	60.880,25
	manodopera	specializzato edile	M10002	[h]	35,23	0,0265	4.212,00	1	3.932,30
		qualificato edile	M10003	[h]	32,84	0,053	4.212,00	1	7.331,07
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,053	4.212,00	1	6.634,57
	noli	piattaforma semovente con braccio telescopico	N04055 c	[h]	5,24	0,053	4.212,00	1	853,92
		trabattello	A.P.	[h]	1,44	0,053	4.212,00	1	321,46
costo marginale della facciata cinetica									224.082,89
utile impresa								15%	33.612,43
costi generali								10%	22.408,29
costo totale della facciata cinetica								[€]	280.103,62

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità [h/m²]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera della copertura	materiali	scatolari a sezione quadrata (5x5x0,2cm)	C13025e	[kg]	0,798	/	16.530,36	1	13.191,23
		lamiera di copertura spessore 1 mm	C13030h	[m²]	1	/	5.357,22	1	5.357,22
	manodopera	qualificato edile	M01003	[h]	32,84	0,08	3.578,00	1	9.400,12
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,08	3.578,00	1	8.507,05
	noli	attrezzature minute	/	/	/	/	/	/	/
costo marginale della facciata cinetica									36.455,63
utile impresa								15%	5.468,34
costi generali								10%	3.645,56
costo totale della facciata cinetica								[€]	45.569,53

lavorazione	categoria	descrizione	codice	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
fornitura e posa in opera delle tende	materiali	tessuto dacron ad alta resistenza	A.P.	[m²]	15	/	4.970,00	1	74.550,00
		struttura della tenda	C13025d	[kg]	0,798	/	35.634,90	1	28.436,65
		sistema di avvolgimento elettrico	A.P.	[cad]	4000	/	90,00	1	360.000,00
	manodopera	qualificato edile	M01003	[h]	32,84	0,035	4.970,00	1	5.712,52
		comune edile	M01004	[h]	29,72	0,035	4.970,00	1	5.169,79
	noli	piattaforma semovente con braccio telescopico	N04055 c	[h]	5,24	0,035	4.970,00	1	911,50
		autogru con operatore	A.P.	[h]	35	0,035	4.970,00	1	6.088,25
costo marginale della facciata cinetica									480.868,71
utile impresa								15%	72.130,31
costi generali								10%	48.086,87
costo totale della facciata cinetica								[€]	601.085,89

Il costo totale per la realizzazione delle chiusure e delle partizioni risulta essere di 2.101.434 €.

➤ Elementi di risalita

C.M. estimativo per voci di lavoro:

codice elemento tecnico	codice prezario	voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
/	A.P.	fornitura e posa in opera di scale prefabbricate	n°	20.000,00	10	1	200.000,00

codice elemento tecnico	codice prezzario	voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
/	I55001 a	fornitura e posa in opera di ascensore elettrico automatico	n°	26.570,00	10	1	265.700,00

Il costo totale per gli elementi di risalita risulta essere pari a 265.700 €.

➤ Impianti tecnologici

Di seguito sono riportate tutte le tabelle di computazione degli impianti di trattamento dell'aria di tutti gli edifici del Cardo (Sud A, Sud B, Nord A, Nord B).

C.M. estimativo per voci di lavoro:

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud A	Sistema di condizionamento dell'aria	fornitura e posa in opera di UTA $q_{M-F} = 28$ kW, $q_{F-A} = 31,5$ kW	I35003 b	n°	10.212,88	4	1	40.851,52
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 60 cm	I35041 e	[m]	41,7975	59,31	1	2.479,01
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 50 cm	I35041 d	[m]	37,735	24,58	1	927,53
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 40 cm	I35041 c	[m]	32,595	63,85	1	2.081,19
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 30 cm	I35041 b	[m]	29,5425	32,11	1	948,61
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 20 cm	I35041 a	[m]	26,0025	16,83	1	437,62
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 50 cm	I35043 d	n°	219,84	5	1	1.099,20
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 40 cm	I35043 c	n°	188,62	2	1	377,24
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 30 cm	I35043 b	n°	150,29	2	1	300,58
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 60 cm	I35046 e	n°	313,66	1	1	313,66
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 40 cm	I35046 c	n°	255,47	2	1	510,94
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 30 cm	I35046 b	n°	230,74	1	1	230,74
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 20-30-40 cm	I35044 a	n°	143,59	3	1	430,77
		fornitura e posa in opera di diffusore circolare a cono fisso	I35055 b	n°	93,21	2	1	186,42
		fornitura e posa in opera di estrattore		n°	93,21	12	1	1.118,52
		costo totale impianto di condizionamento aria						

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice elemento tecnico	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud B	Sistema di condizionamento dell'aria	fornitura e posa in opera di UTA $q_{M,F} = 28$ kW, $q_{F,I} = 31,5$ kW	135003 b	n°	10212,88	2	1	20.425,76
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 50 cm	135041 d	[m]	37,735	59,4	1	2.241,46
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 40 cm	135041 c	[m]	32,595	87,26	1	2.844,24
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 30 cm	135041 b	[m]	29,5425	5,94	1	175,48
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 40 cm	135043 c	n°	188,62	7	1	1.320,34
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 30 cm	135043 b	n°	150,29	1	1	150,29
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 40 cm	135046 c	n°	255,47	1	1	255,47
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 50 cm	135046 d	n°	284,57	1	1	284,57
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 20-30-40 cm	135044 a	n°	143,59	1	1	143,59
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 40-50-60 cm	135044 b	n°	194,95	1	1	194,95
		fornitura e posa in opera di estrattore		n°	93,21	9	1	838,89
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	28.875,04

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice elemento tecnico	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord A	Sistema di condizionamento dell'aria	fornitura e posa in opera di UTA $q_{M,F} = 33,5$ kW, $q_{F,I} = 37,5$ kW	135003 c	n°	12184,38	2	1	24.368,76
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 50 cm	135041 d	[m]	37,735	117,48	1	4.433,11
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 40 cm	135041 c	[m]	32,595	63,85	1	2.081,19
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 30 cm	135041 b	[m]	29,5425	71,97	1	2.126,17
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione ϕ 20 cm	135041 a	[m]	26,0025	15,66	1	407,20
		fornitura e posa in opera di curva a 90° ϕ 50 cm	135043 d	n°	219,84	5	1	1.099,20
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 50 cm	135046 d	n°	284,57	4	1	1.138,28
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 40 cm	135046 c	n°	255,47	4	1	1.021,88
		fornitura e posa in opera di raccordi a T ϕ 30 cm	135046 b	n°	230,74	5	1	1.153,70
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 20-30-40 cm	135044 a	n°	143,59	2	1	287,18
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 40-50-60 cm	135044 b	n°	194,95	3	1	584,85
		fornitura e posa in opera di diffusore circolare a cono fisso	135055 b	n°	93,21	12	1	1.118,52
		fornitura e posa in opera di estrattore		n°	93,21	25	1	2.330,25
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	42.150,29

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice elemento tecnico	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₁	Sistema di condizionamento dell'aria	fornitura e posa in opera di UTA q _{M,F} = 22,4 kW, q _{F,I} = 25 kW	135003 a	n°	9382,72	2	1	18.765,44
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione φ 40 cm	135041 c	[m]	32,595	114,13	1	3.720,07
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione φ 30 cm	135041 b	[m]	29,5425	8,04	1	237,52
		fornitura e posa in opera di curva a 90° φ 40 cm	135043 c	n°	188,62	6	1	1.131,72
		fornitura e posa in opera di raccordi a T φ 40 cm	135046 c	n°	255,47	5	1	1.277,35
		fornitura e posa in opera di raccordi a T φ 30 cm	135046 b	n°	230,74	1	1	230,74
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 20-30-40 cm	135044 a	n°	143,59	1	1	143,59
		fornitura e posa in opera di estrattore		n°	93,21	12	1	1.118,52
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	26.624,95

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice elemento tecnico	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₂	Sistema di condizionamento dell'aria	fornitura e posa in opera di UTA q _{M,F} = 22,4 kW, q _{F,I} = 25 kW	135003 a	n°	9382,72	2	1	18.765,44
		fornitura e posa in opera di UTA q _{M,F} = 28 kW, q _{F,I} = 31,5 kW	135003 b	n°	10212,88	1	1	10.212,88
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione φ 50 cm	135041 d	[m]	37,735	136,72	1	5.159,13
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione φ 40 cm	135041 c	[m]	32,595	32,76	1	1.067,81
		fornitura e posa in opera di condotti di aerazione φ 20 cm	135041 a	[m]	26,0025	26,13	1	679,45
		fornitura e posa in opera di curva a 90° φ 50 cm	135043 d	n°	219,84	8	1	1.758,72
		fornitura e posa in opera di curva a 90° φ 40 cm	135043 c	n°	188,62	4	1	754,48
		fornitura e posa in opera di raccordi a T φ 50 cm	135046 d	n°	284,57	3	1	853,71
		fornitura e posa in opera di raccordi a T φ 40 cm	135046 c	n°	255,47	5	1	1.277,35
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 40-50-60 cm	135044 b	n°	194,95	2	1	389,90
		fornitura e posa in opera di riduzioni da 20-30-40 cm	135044 a	n°	143,59	1	1	143,59
		fornitura e posa in opera di diffusore circolare a cono fisso	135055 b	n°	93,21	10	1	932,10
		fornitura e posa in opera di estrattore		n°	93,21	22	1	2.050,62
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	44.045,18

Il costo complessivo per gli impianti di climatizzazione, compresi i condotti di espulsione e ripresa dell'aria, risulta essere di 193.989 €. Ovviamente bisogna considerare che i suddetti funzionano solamente per il condizionamento estivo, in quanto progettati per operare esclusivamente durante il periodo in cui l'esposizione si svolge.

➤ **Porte e sanitari**

Di seguito sono riportate tutte le tabelle di computazione dei sanitari e delle porte interne (Sud A, Sud B, Nord A, Nord B).

C.M. estimativo per voci di lavoro:

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud A	fornitura di sanitari	fornitura e posa in opera di vaso igienico in porcellana vetrificata sospeso compresa cassetta di risciaquo	I15016e	[cad]	526,04	4	1	2.104,16
		fornitura e posa in opera di lavabo in porcellana vetrificata compreso di rubinetto	I15024b	[cad]	329,86	6	1	1.979,16
		fornitura e posa in opera di vaso igienico in ceramica compreso di cassetta di scarico per disabili	I15045b	[cad]	681,39	2	1	1.362,78
		fornitura e posa in opera di lavabo in ceramica con fronte concavo compreso di rubinetto	I15044a	[cad]	451,22	2	1	902,44
		fornitura e posa in opera di piatto doccia in ceramica smaltata ad alta resistenza 80x80x11 cm	I15029b	[cad]	266,71	2	1	533,42
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	6.881,96

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud B	fornitura di sanitari	fornitura e posa in opera di vaso igienico in porcellana vetrificata sospeso compresa cassetta di risciaquo	I15016e	[cad]	526,04	2	1	1.052,08
		fornitura e posa in opera di lavabo in porcellana vetrificata compreso di rubinetto	I15024b	[cad]	329,86	4	1	1.319,44
		fornitura e posa in opera di vaso igienico in ceramica compreso di cassetta di scarico per disabili	I15045b	[cad]	681,39	2	1	1.362,78
		fornitura e posa in opera di lavabo in ceramica con fronte concavo compreso di rubinetto	I15044a	[cad]	451,22	2	1	902,44
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	4.636,74

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord A	fornitura di sanitari	fornitura e posa in opera di vaso igienico in porcellana vetrificata sospeso compresa cassetta di risciaquo	I15016e	[cad]	526,04	6	1	3.156,24
		fornitura e posa in opera di lavabo in porcellana vetrificata compreso di rubinetto	I15024b	[cad]	329,86	8	1	2.638,88
		fornitura e posa in opera di vaso igienico in ceramica compreso di cassetta di scarico per disabili	I15045b	[cad]	681,39	2	1	1.362,78
		fornitura e posa in opera di lavabo in ceramica con fronte concavo compreso di rubinetto	I15044a	[cad]	451,22	2	1	902,44
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	8.060,34

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₁	fornitura di sanitari	fornitura e posa in opera di vaso igienico in porcellana vetrificata sospeso compresa cassetta di risciaquo	I15016e	[cad]	526,04	1	1	526,04
		fornitura e posa in opera di lavabo in porcellana vetrificata compreso di rubinetto	I15024b	[cad]	329,86	1	1	329,86
		fornitura e posa in opera di vaso igienico in ceramica compreso di cassetta di scarico per disabili	I15045b	[cad]	681,39	2	1	1.362,78
		fornitura e posa in opera di lavabo in ceramica con fronte concavo compreso di rubinetto	I15044a	[cad]	451,22	2	1	902,44
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	3.121,12

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₂	fornitura di sanitari	fornitura e posa in opera di vaso igienico in porcellana vetrificata sospeso compresa cassetta di risciaquo	I15016e	[cad]	526,04	4	1	2.104,16
		fornitura e posa in opera di lavabo in porcellana vetrificata compreso di rubinetto	I15024b	[cad]	329,86	4	1	1.319,44
		fornitura e posa in opera di vaso igienico in ceramica compreso di cassetta di scarico per disabili	I15045b	[cad]	681,39	2	1	1.362,78
		fornitura e posa in opera di lavabo in ceramica con fronte concavo compreso di rubinetto	I15044a	[cad]	451,22	2	1	902,44
costo totale impianto di condizionamento aria							[€]	5.688,82

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud A	fornitura di porte	fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro delle dimensioni standard 210 x 60-70-80 cm	C25014a	[cad]	201,94	5	1	1.009,70
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25014a	[cad]	201,94	10	1,2	2.423,28
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 60-70-80 cm	C25024a	[cad]	283,89	2	1	567,78
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25024a	[cad]	284,89	2	1,2	683,74
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI60 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45018n	[cad]	704,42	2	1	1.408,84
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI120 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45019n	[cad]	820,62	6	1	4.923,72
		costo totale porte						

Il coefficiente k per le porte di larghezza 90 cm è stato stimato pari a 1,2 in quanto questa larghezza non rientra in quelle prese in considerazione nel prezzo.

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Sud B	fornitura di porte	fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro delle dimensioni standard 210 x 60-70-80 cm	C25014a	[cad]	201,94	1	1	201,94
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25014a	[cad]	201,94	6	1,2	1.453,97
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25024a	[cad]	284,89	2	1,2	683,74
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI60 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45018n	[cad]	704,42	1	1	704,42
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI120 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45019n	[cad]	820,62	3	1	2.461,86
		costo totale porte						

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord A	fornitura di porte	fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganyika scuro delle dimensioni standard 210 x 60-70-80 cm	C25014a	[cad]	201,94	6	1	1.211,64
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganyika scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25014a	[cad]	201,94	9	1,2	2.180,95
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganyika scuro a doppio battente con maniglione antipanico di dimensioni 210 x 120 cm	C25014a	[cad]	201,94	8	2	3.231,04
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganyika scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25024a	[cad]	284,89	2	1,2	683,74
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI60 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45018n	[cad]	704,42	2	1	1.408,84
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI120 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45019n	[cad]	820,62	6	1	4.923,72
		costo totale porte						

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₁	fornitura di porte	fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganyika scuro delle dimensioni standard 210 x 60-70-80 cm	C25014a	[cad]	201,94	3	1	605,82
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganyika scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25014a	[cad]	201,94	2	1,2	484,66
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganyika scuro di dimensioni 210 x 60-70-80 cm	C25024a	[cad]	283,89	2	1	567,78
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganyika scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25024a	[cad]	284,89	4	1,2	1.367,47
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI60 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45018n	[cad]	704,42	1	1	704,42
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI120 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45019n	[cad]	820,62	3	1	2.461,86
		costo totale porte						

Edificio	Elemento tecnico	voce di lavoro	codice voce di lavoro	U.M.	costo unitario [€/U.M.]	quantità	coefficiente correttivo K	costo totale [€]
Nord B ₂	fornitura di porte	fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro delle dimensioni standard 210 x 60-70-80 cm	C25014a	[cad]	201,94	2	1	403,88
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25014a	[cad]	201,94	10	1,2	2.423,28
		fornitura e posa in opera di porte interne in noce tanganka scuro a doppio battente con maniglione antipanico di dimensioni 210 x 120 cm	C25014a	[cad]	201,94	6	2	2.423,28
		fornitura e posa in opera di porte interne scorrevoli in noce tanganka scuro di dimensioni 210 x 90 cm	C25024a	[cad]	284,89	2	1,2	683,74
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI60 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45018n	[cad]	704,42	2	1	1.408,84
		fornitura e posa in opera di portoncino tagliafuoco REI120 a due battenti dimensioni 210 x 160	I45019n	[cad]	820,62	6	1	4.923,72
		costo totale porte						

Il costo totale delle finiture (sanitari e porte) risulta essere pari a 77.010 €.

➤ Opere provvisori

Per la realizzazione della copertura si è reso necessaria la presenza di una passerella mobile dotata di recinzione su tre lati e di una linea vita anticaduta.

Tale passerella verrà messa in posizione tramite gru di cantiere e agganciata alle travi secondarie della copertura mediante un sistema a cuscinetti che permette alla stessa di muoversi lungo la copertura.

A pagina seguente è possibile vedere due sezioni che spiegano la struttura di tale opera:

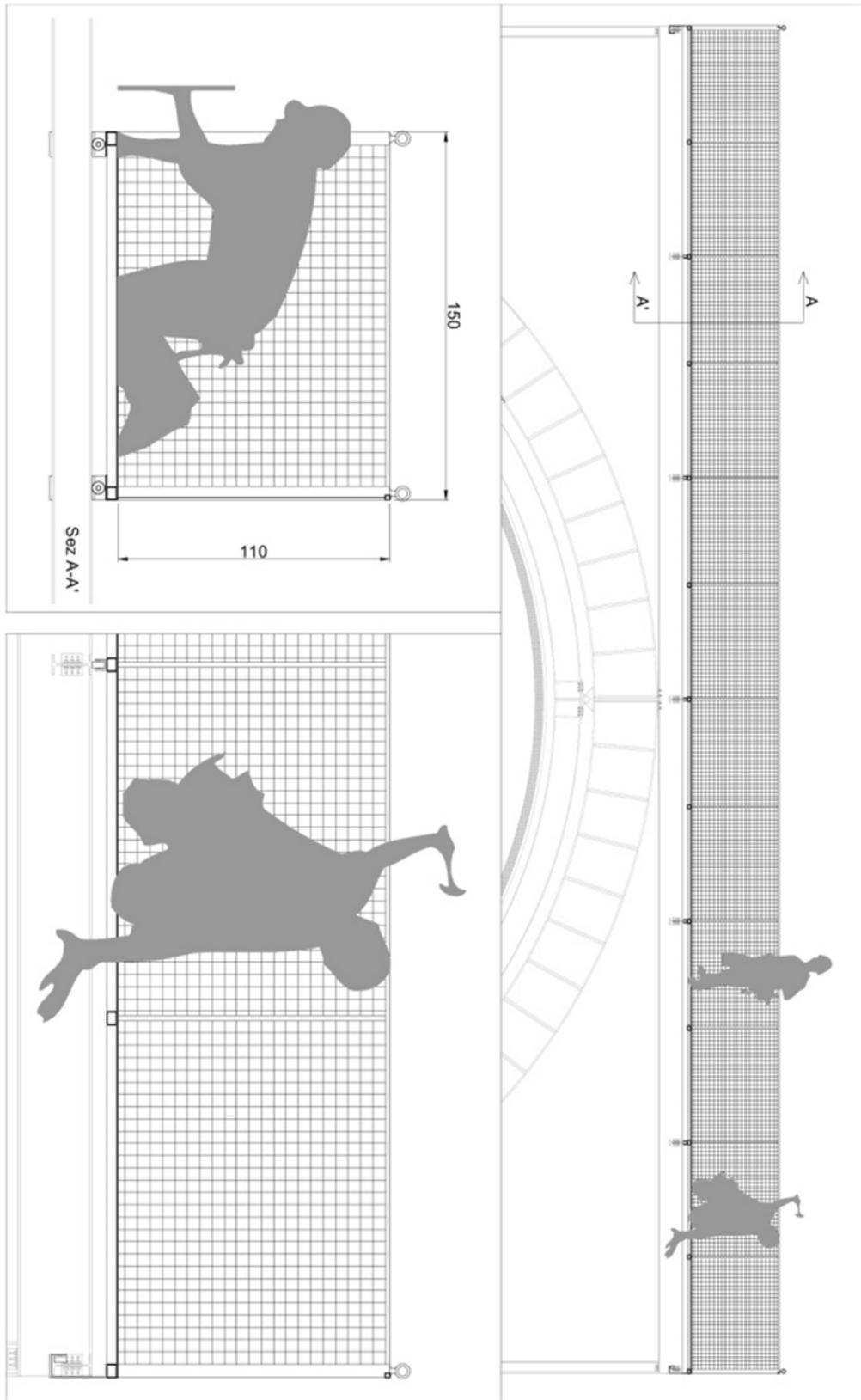


Figura 211 - Sezioni esplicative sulla passerella mobile

C.M. estimativo per voci di lavoro:

codice elemento tecnico	codice prezario	voce di lavoro	u.m.	[u.m./m ²]	prezzo unitario [€/U.M]	quantità [U.M.]	coefficiente correttivo K	prezzo totale [€]
Struttura provvisoria per il montaggio copertura	C13025e	tubolari d'acciaio 5 x 5 cm sp 3 mm	kg	/	0,798	433,9185	2	692,53
	C13030d	lamiera zincata sp 5 mm	kg	/	1,13	645,15	2	1.458,04
	D25015	recinzione laterale anticaduta in rete elettrosaldata filo 2 maglia 20x20 mm	m ²	1	4,9	22	2	215,60
	A.P.	linea vita anticaduta 16 m	[cad]	/	692,4	1	1	692,40
totale costo opera provvisoria							[€]	3.058,57
totale costo opera provvisoria x 5							[€]	15.292,86

Il costo totale delle opere provvisorie, vale a dire le passerelle sopra descritte, risulta essere pari a circa 15.293 €.

9.1.5. Valutazioni finali sul costo dell'opera

Grazie all'analisi dei costi si è potuto quindi stimare il costo totale per la realizzazione degli edifici del cardo, che ammonta attualmente a 5.879.365,32 €.

Tale costo non comprende però l'impianto elettrico, l'impianto per l'acqua calda sanitaria, gli elementi di finitura e le attrezzature per la cucina e la caffetteria.

È immediatamente visibile che il calcolo porta ad risultato inferiore al limite di 11.000.000 € imposto dalla committenza. Si sono potuti abbattere i costi ed è stato possibile rientrare nel ristretto budget della committenza grazie alla scelta di non climatizzare il piano terra, derivante dal fatto che l'evento avverrà in un periodo mite, risparmiando di fatto sulle chiusure laterali e sugli impianti di climatizzazione. Di seguito è possibile vedere l'incidenza percentuale delle varie opere sul totale dell'intervento:

	Strutture	Chiusure e partizioni	Elementi di risalita	Impianti di climatizzazione	Porte e sanitari	Totale
Costo [€]	2.922.880,46	2.204.492,35	465.700,00	193.989,01	77.010,63	5.879.365,32
incidenza %	50%	37%	8%	3%	1%	100%

È dunque possibile notare come la voce più importante per questo intervento risulti essere la struttura, che incide per il 50% sul costo totale, dato facilmente prevedibile vista la complessità sia morfologica che realizzativa di quella pensata per questo progetto. Il costo dell'opera al m² del progetto risulta essere pari a:

$$C_{m^2} = \frac{C_{tot}}{A_{tot}} = \frac{5.879.365,32 \text{ €}}{9609 \text{ m}^2} = 611,6 \frac{\text{€}}{\text{m}^2}$$

C_{m^2} = Costo totale al metro quadro

C_{tot} = Costo totale

A_{tot} = Area totale

La scelta di realizzare il piano terra aperto, possibile grazie al periodo di svolgimento dell'evento e al fatto che si tratta di un'area di esposizione e per eventi, ha permesso di restare nel ristretto budget a disposizione, permettendo così di ottenere un costo al metro quadro dell'opera inferiore ai 1000 €/m² obiettivo estremamente soddisfacente e in linea con la filosofia dell'evento e del concept, in quanto sono stati ridotti al minimo gli sprechi ottenendo un'efficienza massima di utilizzo delle risorse.

Il costo dell'opera qui calcolato può valutarsi attendibile, in quanto l'analisi è stata eseguita basandosi sui prezzi dati da un prezzario pubblico ufficiale della zona di realizzazione, in questo caso il prezzario delle opere pubbliche della regione Lombardia.

9.2. Analisi tempi

9.2.1. WBS (Work Breakdown Structure)

È una scomposizione della parte operativa dell'intervento in parti omogenee e la loro riorganizzazione su livelli gerarchicamente strutturati. Viene rappresentata mediante un diagramma ad albero o una tabella, in cui vengono indicate le attività produttive - realizzative. La WBS esprime l'organizzazione funzionalmente omogenea e a più livelli delle varie fasi esecutive previste in cantiere. A più livelli in quanto in fase progettuale è finalizzata alla realizzazione di un programma lavori (PERT / Gantt), in cui vengono rappresentate le macroattività da utilizzare per la definizione delle voci d'opera principali, per la determinazione della durata delle varie attività in modo da pronosticare con buona approssimazione il tempo complessivo di realizzazione dell'intervento. Un maggiore dettaglio serve all'impresa appaltatrice per gestire in modo corretto la realizzazione in corso d'opera rispondendo in termini adeguati alle tempistiche contrattuali sottoscritte con il committente.

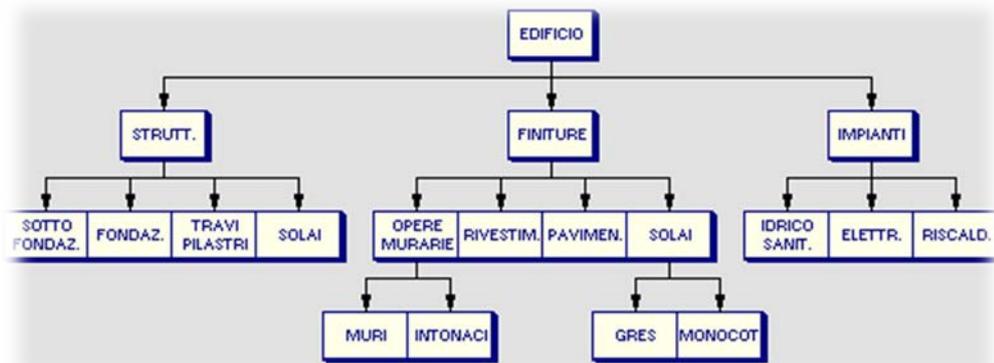


Figura 212 - Schema WBS di II livello (diagramma ad albero)

1 st level	2 nd level
A) DB	A.1) DB conversion (SQL2005)
	A.2) Tables and DB objects adjustment
	A.3) Backup tables and triggers creation
B) Import	B.1) Maser Data Import
	B.2) Sales Plans and Configs Data Import
	B.3) Import/Export logs management
C) Sales Plan and Configs	C.1) Configurations search and detail pages
	C.2) Configuration Selection page
	C.3) Roadmap file adjustment
	C.4) Top SKUs management
D) Forecast	D.1) New forecast procedure
E) Statistics	E.1) Quantities volume Statistics
	E.2) MPU trend Analysis Statistics
F) Export	F.1) Export page
G) Documentation	G.1) Help update
	G.2) ISD Official Documentation

Figura 213 - Schema WBS di II livello (tabella)

9.2.2. Squadre operative

Per la definizione dei tempi di realizzazione di ogni attività si è resa necessaria la determinazione delle squadre operative minime. Una squadra operativa minima è rappresentata dal numero di operatori, secondo le varie qualifiche, che sono necessari per la realizzazione di una determinata attività. Avendo poi determinato le squadre operative e il relativo costo orario è possibile calcolare i tempi partendo dall'incidenza percentuale della manodopera su una determinata lavorazione.

Di seguito sono indicate tutte le squadre operative necessarie per la realizzazione di ogni attività:

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Scavo fondazioni	Escavatorista	N04024a	35,23	70,46
	Autista autocarro	N04002a	35,23	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Getto e staggiatura magrone per sottofondazione	Operatore autobetonpompa	N04045a	35,23	100,91
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Posa in opera di armature a regola d'arte	qualificato edile	M01003	32,84	65,68
	qualificato edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Posa in opera di cassetture in acciaio	qualificato edile	M01003	32,84	65,68
	qualificato edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Getto e vibratura CLS fondazioni	Operatore autobetonpompa	N04045a	35,23	100,91
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Assemblaggio e posa in opera archi in conci di CLS	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	133,75
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Assemblaggio e posa in opera struttura portante in acciaio bulbo sospeso	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	165,86
	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Assemblaggio e posa in opera travi IPE 220 in quota	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Assemblaggio e posa in opera travi IPE 160, 200, 300, 500, HEB 160, HEA 280	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
Posa in opera lamiera grecata	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera di solaio portante (travetti, isolante, listelli e OSB)	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera di pannelli sandwich e pannelli in policarbonato	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
sistema di copertura mobile in PVC trasparente con sistema di movimentazione elettrico	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	97,79
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera chiusure verticali (vano scala e locale impianti) pannelli in lana divlegno, isolante e barriera al vapore	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera partizioni verticali in pannelli di paglia compressa con rivestimento in pannelli di cartone riciclato	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera controsoffitto in lana di roccia mineralizzata e pannelli isolanti in lana di kenaf	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera barriera al vapore e pavimento in laminato	qualificato edile	M01003	32,84	62,56
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera copertura in lamiera con sottostruttura in scatolari d'acciaio	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera facciata cinetica	Operatore autogrù	N04060 b	35,23	130,63
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera condotti di areazione	qualificato edile	M01003	32,84	95,4
	qualificato edile	M01003	32,84	
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera di pavimentazione in conglomerato bituminoso	operatore finitrice	M10003	35,23	136,14
	operatore rullo compattatore	M10003	35,23	
	qualificato edile	M01003	32,84	
	qualificato edile	M01003	32,84	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera di servizi, lavandini e piani doccia	qualificato edile	M01003	32,84	62,56
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera di porte	qualificato edile	M01003	32,84	62,56
	comune edile	M01004	29,72	

Lavorazione	Squadra operativa	Codice prezzario	Prezzo €/h	Prezzo totale €/h
posa in opera sistema di copertura mobile in tessuto DACRON	qualificato edile	M01003	32,84	62,56
	comune edile	M01004	29,72	

9.2.3. Calcolo delle durate

Il calcolo delle durate è stato effettuato partendo dall'incidenza percentuale della manodopera sul costo di ogni lavorazione, ricavata dal prezzario della regione Lombardia. Ciò ci permette di calcolare il costo totale della manodopera.

Dividendo il costo totale per il costo orario della stessa è possibile calcolare le ore necessarie alla realizzazione di una lavorazione.

$$Tu = \frac{\%MD \times Cu}{Cs} = [h]$$

Dove:

- Tu = tempi unitari di realizzazione
- $\%MD$ = incidenza percentuale mano d'opera
- Cu = costo unitario attività
- Cs = costo orario squadra operativa

Dove non è stato possibile risalire alla percentuale di manodopera perché si dovrà operare in situazioni diverse da quelle standard, oppure perché la voce non era presente in prezzario, si è ipotizzato il tempo unitario facendo una stima verosimile.

Di seguito è riportata la tabella delle durate unitarie di ogni lavorazione:

codice WBS	VOCI D'OPERA	PREZZO della voce d'opera	[U.M]	incidenza % manodopera	Costo della MANODOPERA [€/h]	COSTO ORARIO manodopera	durata "NORMALE" della voce d'opera	[U.M]	decremento% della durata in condizioni OTTIMISTICHE	durata "OTTIMISTICA"	incremento% della durata in condizioni PESSIMISTICHE	durata "PESSIMISTICA"	DURATA MEDIANA "Dme"
S0.01	scavo fondazioni	€ 4,50	[€/m ³]	47,00%	€ 2,12	€ 70,46	0,03	[h/m ³]	1,00%	0,03	5,00%	0,03	0,03
F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	€ 80,20	[€/m ³]	32,00%	€ 25,66	€ 100,91	0,25	[h/m ³]	1,00%	0,25	5,00%	0,27	0,26
F0.02	casseratura	€ 23,90	[€/m ²]	93,00%	€ 22,23	€ 65,68	0,34	[h/m ²]	1,00%	0,34	5,00%	0,36	0,34
F0.03	posa in opera armatura	€ 1,35	[€/kg]	51,00%	€ 0,69	€ 65,68	0,01	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,01	0,01
F0.04	getto fondazione	€ 146,00	[€/m ³]	24,00%	€ 35,04	€ 100,91	0,35	[h/m ³]	1,00%	0,34	5,00%	0,36	0,35
ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrati HEA 280 con travi primarie IPE 500	€ 2,86	[€/kg]	69,00%	€ 1,97	€ 165,86	0,01	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,01	0,01
ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)	€ 2,86	[€/kg]	69,00%	€ 1,97	€ 165,86	0,01	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,01	0,01
ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)	€ 2,86	[€/kg]	69,00%	€ 1,97	€ 130,63	0,02	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,02	0,02
ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	€ 49,58	[€/m ²]	16,00%	€ 7,93	€ 130,63	0,06	[h/m ²]	1,00%	0,06	5,00%	0,06	0,06
ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pialstri HEB160	€ 2,86	[€/kg]	69,00%	€ 1,97	€ 130,63	0,02	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,02	0,02
ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	€ 49,58	[€/m ²]	16,00%	€ 7,93	€ 130,63	0,06	[h/m ²]	1,00%	0,06	5,00%	0,06	0,06
ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pialstri HEB160	€ 2,86	[€/kg]	69,00%	€ 1,97	€ 130,63	0,02	[h/kg]	1,00%	0,01	5,00%	0,02	0,02
ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	€ 49,58	[€/m ²]	16,00%	€ 7,93	€ 130,63	0,06	[h/m ²]	1,00%	0,06	5,00%	0,06	0,06
ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	€ 10,88	[€/m ³]	83,00%	€ 9,03	€ 62,56	0,14	[h/m ³]	1,00%	0,14	5,00%	0,15	0,15
ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie												

CO2.01	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacific in lana di roccia 2x100x100 cm	€ 31,62	[€/m ²]	32,00%	€ 10,12	€ 94,50	0,11	[h/m ²]	1,00%	0,11	5,00%	0,11	0,11
CO3.01	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	€ 34,50	[€/m ²]	40,00%	€ 13,80	€ 62,56	0,22	[h/m ²]	1,00%	0,22	5,00%	0,23	0,22
CO5.01	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	€ 91,81	[€/m ²]	26,62%	€ 24,44	€ 136,14	0,18	[h/m ²]	1,00%	0,18	5,00%	0,19	0,18
CV0.01 + CV0.02 + CV0.03 + CV0.05 +	fornitura e posa in opera di parete con sottostruttura metallica isolata in intercapedine e finitura con pannelli in lana di legno mineralizzata	€ 54,36	[€/m ²]	49% di 25,37 €	€ 12,43	€ 95,40	0,13	[h/m ²]	1,00%	0,13	5,00%	0,14	0,13
CV0.04	posa in opera barriera al vapore	€ 3,52	[€/m ²]	33,00%	€ 1,16	€ 95,40	0,01	[h/m ²]	1,00%	0,01	5,00%	0,01	0,01
I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	€ 10.212,88	[€/CAD]	4,00%	€ 408,52	€ 95,40	4,28	[h/CAD]	1,00%	4,24	5,00%	4,45	4,30
I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	€ 32,60	[€/m]	10,00%	€ 3,26	€ 95,40	0,03	[h/m]	1,00%	0,03	5,00%	0,04	0,03
I2.01	posa in opera di ascensore	€ 26.570,00	[€/CAD]	2,87%	€ 763,20	€ 95,40	8,00	[h/CAD]	1,00%	7,92	5,00%	8,32	8,00
SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	€ 526,04	[€/CAD]	30,00%	€ 157,81	€ 62,56	2,52	[h/CAD]	1,00%	2,50	5,00%	2,62	2,53
PT0.01	posa in opera di porte	€ 201,94	[€/CAD]	9,00%	€ 18,17	€ 62,56	0,29	[h/CAD]	1,00%	0,29	5,00%	0,30	0,29

9.2.4. WBS

Si può a questo punto definire i tempi totali di realizzazione di ogni attività definita nella WBS. Per avere una stima il più possibile attendibile si è eseguita una WBS di III livello. Nelle pagine seguenti sono indicate le tabelle rappresentanti le WBS relative ad ogni edificio del cardo.

➤ Edificio Sud A

1° LIVELLO		2° LIVELLO		3° LIVELLO							
Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Lavorazione	U.M.	Tempi unitari [h/U.M.]	Quantità	Tempi [h]	Tempi totali[h]	Tempi in giorni
F	fondazioni	F0	fondazioni	S0.01	scavo fondazioni	[m ³]	0,03	152,00	4,56	194,02	0,57
				F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	[m ³]	0,26	19,76	5,14		0,64
				F0.02	casseratura	[m ²]	0,34	136,00	46,24		5,78
				F0.03	posa in opera armatura	[kg]	0,01	6080,00	60,80		7,60
				F0.04	getto fondazione	[m ³]	0,35	60,80	21,28		2,66
				F0.05	maturazione calcestruzzo	/	/	/	56,00		7,00
S	strutture	ST0	archi in conci di CLS	ST0.01	assemblaggio e messa in opera di un arco	[cad]	4,00	15,00	60,00	60,00	7,50
				ST1	struttura in acciaio del bulbo (un blocco composto da due archi e le relative travi secondarie)	ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrati HEA 280 con travi primarie IPE 500	[kg]	0,01	29668,60	296,69
		ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)			[kg]	0,01	3472,00	34,72	4,34	
		ST1.3	aggancio blocco composto da due archi e travi secondarie			[cad]	0,50	6,00	3,00	0,38	
		ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)			[kg]	0,02	3360,00	67,20	8,40	
		ST2	scale prefabricate in acciaio zincato	ST2.01	assemblaggio scale in acciaio zincato prefabbricate	[cad]	16,00	2,00	32,00	35,96	4,00
				ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m ²]	0,06	66,00	3,96		0,50
		ST3	struttura ascensori	ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pilastri HEB160	[kg]	0,02	8536,76	170,74	172,39	21,34
				ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m ²]	0,06	27,50	1,65		0,21
		ST4	struttura locale impiantistico	ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pilastri HEB160	[kg]	0,02	3460,00	69,20	78,80	8,65
				ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m ²]	0,06	160,00	9,60		1,20
		ST5	solaio portante piano primo in travetti in LVL 250x5x30 cm, e blocchi di isolante in polistirene espanso 250x60x30 cm	ST5.01	posa in opera travetti e blocchi di polistirene alternati e fissati con viti autofilettanti per legno	[m ²]	0,05	600,00	30,00	79,20	3,75
				ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	[m ²]	0,05	600,00	30,00		3,75
				ST5.03	posa in opera doppio strato di pannelli OSB 1,25x125x250	[m ²]	0,03	600,00	19,20		2,40
		ST6	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie IPE160 pilastri HEB160	[kg]	0,02	16389,68	327,79	327,79	40,97
		ST7	facciata cinetica	ST7.01	posa in opera sottostruttura portante, montanti scatolari a sezione quadrata 80x80x2mm	[kg]	0,01	1505,28	15,05	15,05	1,88

CO	chiusure orizzontali	CO0	chiusura inclinata bulbo in pannelli sandwich e policarbonato alveolare	CO0.0 1	posa in opera di pannelli sandwich 100x600 cm	[cad]	0,25	98,00	24,50	49,75	3,06
					CO0.0 2	posa in opera di pannelli in policarbonato alveolare 100x600 cm compresa intelaiatura in acciaio	[cad]	0,25	101,00		25,25
		CO1	sistema di copertura mobile in tessuto DACRON con sistema di movimentazione elettrico	CO1.0 1	posa in opera sistema di copertura mobile	[cad]	4,00	16,00	64,00	64,00	8,00
		CO2	chiusure orizzontali vano scala, ascensore e locale impianti	CO2.0 1	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacific in lana di roccia 2x100x100 cm	[m ²]	0,11	226,00	24,86	28,25	3,11
				CO2.0 2	posa in opera pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	226,00	3,39		0,42
		CO3	solaio piano primo	CO3.0 1	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	[m ²]	0,22	600,00	132,00	132,00	16,50
		CO4	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	CO4.0 1	posa in opera di lamiera e scatolari d'acciaio	[m ²]	0,08	646,00	51,68	51,68	6,46
CO5	pavimentazione piano terra	CO5.0 1	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	[m ²]	0,19	1134,00	215,46	215,46	26,93		
CV	chiusure verticali	CV0	chiusure verticali vano scala, ascensore e locale impianti	CV0.01	posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	[m ²]	0,05	846,66	42,33	118,53	5,29
				CV0.02	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,40		3,17
				CV0.03	posa in opera di pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	846,66	16,93		2,12
				CV0.04	posa in opera barriera al vapore	[m ²]	0,01	846,66	8,47		1,06
				CV0.05	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,40		3,17
		CV1	facciata cinetica	CV1.01	posa in opera trasversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, con preapplicate le piastre forate in alluminio	[m ²]	0,05	768,00	40,70	40,70	5,09
PV	tizioni verti	PV0	pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,05	232,05	11,60	11,60	1,45
				PV0.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	464,10	9,28	9,28	1,16
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,10	70,20	7,02	7,02	0,88
				PV1.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	140,40	2,81	2,81	0,35

I	impianti	I0	UTA	I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	[cad]	4,30	4,00	17,20	17,20	2,15
		I1	condotti di aerazione	I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	[m]	0,03	196,68	5,90	5,90	0,74
		I2	ascensore	I2.01	posa in opera di ascensore	[cad]	8,00	5,00	40,00	40,00	5,00
SA	sanitari	SA0	sanitari	SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	[cad]	2,53	16,00	40,48	40,48	5,06
PT	porte	PT0	porte	PT0.01	posa in opera di porte	[cad]	0,29	27,00	7,83	7,83	0,98
Tempo totale di realizzazione SUD A [h]										2207,31	
Tempo totale di realizzazione SUD A [giorni] (giornata lavorativa da 8 ore)										275,91	
Tempo totale di realizzazione SUD A [settimane] (settimana lavorativa da 5 giorni)										55,18	

➤ Edificio Sud B

1° LIVELLO		2° LIVELLO		3° LIVELLO							
Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Lavorazione	U.M.	Tempi unitari [h/U.M.]	Quantità	Tempi [h]	Tempi totali[h]	tempi in giorni
F	fondazioni	F0	fondazioni	S0.01	scavo fondazioni	[m³]	0,03	127,00	3,81	174,67	0,48
				F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	[m³]	0,26	16,51	4,29		0,54
				F0.02	casseratura	[m²]	0,34	123,50	41,99		5,25
				F0.03	posa in opera armatura	[kg]	0,01	5080,00	50,80		6,35
				F0.04	getto fondazione	[m³]	0,35	50,80	17,78		2,22
				F0.05	maturazione calcestruzzo	/	/	/	56,00		7,00
S	strutture	ST0	archi in conci di CLS	ST0.01	assemblaggio e messa in opera di un arco	[cad]	4,00	15,00	60,00	60,00	7,50
		ST1	struttura in acciaio del bulbo (un blocco composto da due archi e le relative travi secondarie)	ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrat HEA 280 con travi primarie IPE 500	[kg]	0,01	29668,60	296,69	403,85	37,09
				ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)	[kg]	0,01	3696,00	36,96		4,62
				ST1.3	aggancio blocco composto da due archi e travi secondarie	[cad]	0,50	6,00	3,00		0,38
				ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)	[kg]	0,02	3360,00	67,20		8,40
		ST2	scale prefabbricate in acciaio zincato	ST2.01	assemblaggio scale in acciaio zincato prefabbricate	[cad]	16,00	1,00	16,00	17,98	2,00
				ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	33,00	1,98		0,25
		ST3	struttura ascensori	ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	5122,06	102,44	103,10	12,81
				ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	11,00	0,66		0,08
		ST4	struttura locale impiantistico	ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	1730,00	34,60	39,40	4,33
				ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	80,00	4,80		0,60
		ST5	solaio portante piano primo in travetti in LVL 250x5x30 cm, e blocchi di isolante in polistirene espanso 250x60x30 cm	ST5.01	posa in opera travetti e blocchi di polistirene alternati e fissati con viti autofilettanti per legno	[m²]	0,05	630,00	31,50	83,16	3,94
				ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	[m²]	0,05	630,00	31,50		3,94
				ST5.03	posa in opera doppio strato di pannelli OSB 1,25x125x250	[m²]	0,03	630,00	20,16		2,52
		ST6	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie IPE160 pilastri HEB160	[kg]	0,02	14293,02	285,86	285,86	35,73
		ST7	facciata cinetica	ST7.01	posa in opera sottostruttura portante, traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, montanti	[kg]	0,01	1297,52	12,98	12,98	1,62

CO	chiusure orizzontali	CO0	chiusura inclinata bulbo in pannelli sandwich e policarbonato alveolare	CO0.01	posa in opera di pannelli sandwich 100x600 cm	[cad]	0,25	126,00	31,50	49,50	3,94
				CO0.02	posa in opera di pannelli in policarbonato alveolare 100x600 cm compresa intelaiatura in acciaio	[cad]	0,25	72,00	18,00		2,25
		CO1	sistema di copertura mobile in tessuto DACRON con sistema di movimentazione elettrico	CO1.01	posa in opera sistema di copertura mobile	[cad]	4,00	18,00	72,00	72,00	9,00
		CO2	chiusure orizzontali vano scala, ascensore e locale impianti	CO2.01	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacific in lana di roccia 2x100x100 cm	[m ²]	0,11	113,00	12,43	14,13	1,55
				CO2.02	posa in opera pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	113,00	1,70		0,21
		CO3	solaio piano primo	CO3.01	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	[m ²]	0,22	630,00	138,60	138,60	17,33
		CO4	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in	CO4.01	posa in opera di lamiera e scatolari d'acciaio	[m ²]	0,08	558,00	44,64	44,64	5,58
		CO5	pavimentazione piano terra	CO5.01	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	[m ²]	0,19	1134,00	215,46	215,46	26,93
CV	chiusure verticali	CV0	chiusure verticali vano scala, ascensore e locale impianti	CV0.01	posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	[m ²]	0,05	423,33	21,17	59,27	2,65
				CV0.02	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	423,33	12,70		1,59
				CV0.03	posa in opera di pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	423,33	8,47		1,06
				CV0.04	posa in opera barriera al vapore	[m ²]	0,01	423,33	4,23		0,53
				CV0.05	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	423,33	12,70		1,59
		CV1	facciata cinetica	CV1.01	posa in opera trasversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, con preapplicate le piastre forate in alluminio	[m ²]	0,05	662,00	35,09	35,09	4,39
		PV	partizioni verticali	PV0	pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,05	68,40	3,42
PV0.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm					[m ²]	0,02	136,80	2,74	2,74	0,34
PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa			PV1.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,10	40,80	4,08	4,08	0,51
				PV1.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	81,60	1,63	1,63	0,20

I	impianti	I0	UTA	I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	[cad]	4,30	2,00	8,60	8,60	1,08
		I1	condotti di aerazione	I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	[m]	0,03	152,60	4,58	4,58	0,57
		I2	ascensore	I2.01	posa in opera di ascensore	[cad]	8,00	2,00	16,00	16,00	2,00
SA	sanitari	SA0	sanitari	SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	[cad]	2,53	10,00	25,30	25,30	3,16
PT	porte	PT0	porte	PT0.01	posa in opera di porte	[cad]	0,29	13,00	3,77	3,77	0,47
Tempo totale di realizzazione SUD B [h]										1879,79	
Tempo totale di realizzazione SUD B [giorni] (giornata lavorativa da 8 ore)										234,97	
Tempo totale di realizzazione SUD A [settimane] (settimana lavorativa da 5 giorni)										46,99	

➤ Edificio Nord A

1° LIVELLO		2° LIVELLO		3° LIVELLO							
Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Lavorazione	U.M.	Tempi unitari [h/U.M.]	Quantità	Tempi [h]	Tempi totali[h]	tempi in giorni
F	fondazioni	F0	fondazioni	S0.01	scavo fondazioni	[m³]	0,03	186	5,58	227,1268	0,6975
				F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	[m³]	0,26	24,18	6,2868		0,78585
				F0.02	casseratura	[m²]	0,34	173	58,82		7,3525
				F0.03	posa in opera armatura	[kg]	0,01	7440	74,4		9,3
				F0.04	getto fondazione	[m³]	0,35	74,4	26,04		3,255
				F0.05	maturazione calcestruzzo	/	/	/	56		7
S	strutture	ST0	archi in conci di CLS	ST0.01	assemblaggio e messa in opera di un arco	[cad]	4	20	80	80	10
		ST1	struttura in acciaio del bulbo un blocco composto da due archi e le relative travi secondarie)	ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrati HEA 280 con travi primarie IPE500	[kg]	0,01	41079,6	410,796	557,536	51,3495
				ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)	[kg]	0,01	5040	50,4		6,3
				ST1.3	aggancio blocco composto da due archi e travi secondarie	[cad]	0,5	9	4,5		0,5625
				ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)	[kg]	0,02	4592	91,84		11,48
		ST2	scale prefabbricate in acciaio zincato	ST2.01	assemblaggio scale in acciaio zincato prefabbricate	[cad]	16	2	32	35,96	4
				ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	66	3,96		0,495
		ST3	struttura ascensori	ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	3414,7046	68,2940928	69,614093	8,536762
				ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	22	1,32		0,165
		ST4	struttura locale impiantistico	ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	3460	69,2	78,8	8,65
				ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	160	9,6		1,2
		ST5	solaio portante piano primo in travetti in LVL 250x5x30 cm, e blocchi di isolante in polistirene espanso 250x60x30 cm	ST5.01	posa in opera travetti e blocchi di polistirene alternati e fissati con viti autofilettanti per legno	[m²]	0,05	855	42,75	112,86	5,34375
				ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	[m²]	0,05	855	42,75		5,34375
				ST5.03	posa in opera doppio strato di pannelli OSB 1,25x1,25x250	[m²]	0,032	855	27,36		3,42
		ST6	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie IPE160 pilastri HEB160	[kg]	0,02	16389,68	327,7936	327,7936	40,9742
		ST7	facciata cinetica	ST7.01	posa in opera sottostruttura portante, traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, montanti scatolari a sezione quadrata 80x80x2mm	[kg]	0,01	1505,28	15,0528	15,0528	1,8816

CO	chiusure orizzontali	CO0	chiusura inclinata bulbo in pannelli sandwich e policarbonato alveolare	CO0.01	posa in opera di pannelli sandwich 100x600 cm	[cad]	0,25	184	46	67	5,75
				CO0.02	posa in opera di pannelli in policarbonato alveolare 100x600 cm compresa intelaiatura in acciaio	[cad]	0,25	84	21		2,625
		CO1	sistema di copertura mobile in tessuto DACRON con sistema di movimentazione elettrico	CO1.01	posa in opera sistema di copertura mobile	[cad]	4	26	104	104	13
		CO2	chiusure orizzontali vano scala, ascensore e locale impianti	CO2.01	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacifici in lana di roccia 2x100x100 cm	[m ²]	0,11	226	24,86	28,25	3,1075
				CO2.02	posa in opera pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,015	226	3,39		0,42375
		CO3	solaio piano primo	CO3.01	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	[m ²]	0,22	855	188,1	188,1	23,5125
		CO4	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	CO4.01	posa in opera di lamiera e scatolari d'acciaio	[m ²]	0,08	646	51,68	51,68	6,46
CO5	pavimentazione piano terra	CO5.01	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	[m ²]	0,19	1505	285,95	285,95	35,74375		
CV	chiusure verticali	CV0	chiusure verticali vano scala, ascensore e locale impianti	CV0.01	posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	[m ²]	0,05	846,66	42,333	118,5324	5,291625
				CV0.02	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,3998		3,174975
				CV0.03	posa in opera di pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	846,66	16,9332		2,11665
				CV0.04	posa in opera barriera al vapore	[m ²]	0,01	846,66	8,4666		1,058325
				CV0.05	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,3998		3,174975
		CV1	facciata cinetica	CV1.01	posa in opera traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, con preapplicate le	[m ²]	0,053	768	40,704	40,704	5,088
PV	partizioni verticali	PV0	pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,05	460,2	23,01	23,01	2,87625
				PV0.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	920,4	18,408	18,408	2,301
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,1	76,8	7,68	7,68	0,96
				PV1.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	153,6	3,072	3,072	0,384

I	impianti	I0	UTA	I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	[cad]	4,3	2	8,6	8,6	1,075
		I1	condotti di aerazione	I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	[m]	0,03	268,96	8,0688	8,0688	1,0086
		I2	ascensore	I2.01	posa in opera di ascensore	[cad]	8	4	32	32	4
SA	sanitari	SA0	sanitari	SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	[cad]	2,53	18	45,54	45,54	5,6925
PT	porte	PT0	porte	PT0.01	posa in opera di porte	[cad]	0,29	33	9,57	9,57	1,19625
Tempo totale di realizzazione NORD A [h]										2544,908493	
Tempo totale di realizzazione NORD A [giorni] (giornata lavorativa da 8 ore)										318,1135616	
Tempo totale di realizzazione SUD A [settimane] (settimana lavorativa da 5 giorni)										63,62271232	

L'edificio Nord B, essendo molto più lungo degli altri, verrà realizzato dividendolo in due cantieri, che avanzeranno contemporaneamente partendo dagli estremi opposti dell'edificio.

➤ Edificio Nord B 1

1° LIVELLO		2° LIVELLO		3° LIVELLO							
Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Lavorazione	U.M.	Tempi unitari [h/U.M.]	Quantità	Tempi [h]	Tempi totali[h]	tempi in giorni
F	fondazioni	F0	fondazioni	S0.01	scavo fondazioni	[m ²]	0,03	178,60	5,36	216,98	0,67
				F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	[m ²]	0,26	23,22	6,04		0,75
				F0.02	casseratura	[m ²]	0,34	156,30	53,14		6,64
				F0.03	posa in opera	[kg]	0,01	7144,00	71,44		8,93
				F0.04	getto fondazione	[m ³]	0,35	71,44	25,00		3,13
				F0.05	maturazione calcestruzzo	/	/	/	56,00		7,00
S	strutture	ST0	archi in conc di CLS	ST0.01	assemblaggio e messain opera di un arco	[cad]	4,00	17,00	68,00	68,00	8,50
		ST1	struttura in acciaio del bulbo (un blocco composto da due archi e le relative travi secondarie)	ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrat HEA 280 con travi primarie IPE 500	[kg]	0,01	18257,60	182,58	249,54	22,82
				ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)	[kg]	0,01	2016,00	20,16		2,52
				ST1.3	aggancio blocco composto da due archi e travi secondarie	[cad]	0,50	4,00	2,00		0,25
				ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)	[kg]	0,02	2240,00	44,80		5,60
		ST2	scale prefabricate in acciaio zincato	ST2.01	assemblaggio scale in acciaio zincato	[cad]	16,00	1,00	16,00	17,98	2,00
				ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera	[m ²]	0,06	33,00	1,98		0,25
		ST3	struttura ascensori	ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	3414,70	68,29	68,95	8,54
				ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m ²]	0,06	11,00	0,66		0,08
		ST4	struttura locale impiantistico	ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pialstri HEB160	[kg]	0,02	1730,00	34,60	39,40	4,33
				ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m ²]	0,06	80,00	4,80		0,60
		ST5	solaio portante piano primo in travetti in LVL 250x5x30 cm, e blocchi di isolante in polistirene espanso 250x60x30 cm	ST5.01	posa in opera travetti e blocchi di polistirene alternati e fissati con viti autofilettanti per legno	[m ²]	0,05	375,00	18,75	49,50	2,34
				ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	[m ²]	0,05	375,00	18,75		2,34
				ST5.03	posa in opera doppio strato di pannelli OSB 1,25x125x250	[m ²]	0,03	375,00	12,00		1,50
		ST6	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie IPE160 pialstri HEB160	[kg]	0,02	24584,52	491,69	491,69	61,46
ST7	facciata cinetica	ST7.01	posa in opera sottostruttura portante, trasversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, montanti scatolari a sezione quadrata 80x80x2mm	[kg]	0,01	2257,92	22,58	22,58	2,82		

CO	chiusure orizzontali	CO0	chiusura inclinata bulbo in pannelli sandwich e policarbonato alveolare	CO0.01	posa in opera di pannelli sandwich 100x600 cm	[cad]	0,25	68,00	17,00	29,25	2,13
				CO0.02	posa in opera di pannelli in policarbonato alveolare 100x600 cm compresa intelaiatura in acciaio	[cad]	0,25	49,00	12,25		1,53
		CO1	sistema di copertura mobile in tessuto DACRON con sistema di movimentazione elettrico	CO1.01	posa in opera sistema di copertura mobile	[cad]	4,00	20,00	80,00	80,00	10,00
		CO2	chiusure orizzontali vano scala, ascensore e locale impianti	CO2.01	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacific in lana di roccia 2x100x100 cm	[m ²]	0,11	113,00	12,43	14,13	1,55
				CO2.02	posa in opera pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	113,00	1,70		0,21
		CO3	solaio piano primo	CO3.01	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	[m ²]	0,22	375,00	82,50	82,50	10,31
		CO4	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	CO4.01	posa in opera di lamiera e scatolari d'acciaio	[m ²]	0,08	969,00	77,52	77,52	9,69
CO5	pavimentazione piano terra	CO5.01	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	[m ²]	0,19	1291,00	245,29	245,29	30,66		
CV	chiusure verticali	CV0	chiusure verticali vano scala, ascensore e locale impianti	CV0.01	posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	[m ²]	0,05	423,33	21,17	59,27	2,65
				CV0.02	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	423,33	12,70		1,59
				CV0.03	posa in opera di pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	423,33	8,47		1,06
				CV0.04	posa in opera barriera al vapore	[m ²]	0,01	423,33	4,23		0,53
				CV0.05	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	423,33	12,70		1,59
		CV1	facciata cinetica	CV1.01	posa in opera traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, con preapplicate le piastre forate in alluminio	[m ²]	0,05	1152,00	61,06	61,06	7,63
PV	partizioni verticali	PV0	pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,05	114,90	5,75	5,75	0,72
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,02	28,20	0,56	0,56	0,07
		PV0	assemblaggio pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,10	229,80	22,98	22,98	2,87
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	56,40	1,13	1,13	0,14

I	impianti	I0	UTA	I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	[cad]	4,30	2,00	8,60	8,60	1,08
		I1	condotti di aerazione	I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	[m]	0,03	122,17	3,67	3,67	0,46
		I2	ascensore	I2.01	posa in opera di ascensore	[cad]	8,00	3,00	24,00	24,00	3,00
SA	sanitari	SA0	sanitari	SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	[cad]	2,53	6,00	15,18	15,18	1,90
PT	porte	PT0	porte	PT0.01	posa in opera di porte	[cad]	0,29	15,00	4,35	4,35	0,54
Tempo totale di realizzazione NORD A [h]										1916,31	
Tempo totale di realizzazione NORD A [giorni] (giornata lavorativa da 8 ore)										239,54	
Tempo totale di realizzazione SUD A [settimane] (settimana lavorativa da 5 giorni)										47,91	

➤ Edificio Nord B 2

1° LIVELLO		2° LIVELLO		3° LIVELLO							
Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Elemento tecnico	Codice WBS	Lavorazione	U.M.	Tempi unitari	Quantità	Tempi [h]	Tempi totali[h]	tempi in giorni
F	fondazioni	F0	fondazioni	S0.01	scavo fondazioni	[m³]	0,03	158,80	4,76	207,06	0,60
				F0.01	sottofondazione in magrone sp. 10 cm	[m³]	0,26	21,53	5,60		0,70
				F0.02	casseratura	[m²]	0,34	150,80	51,27		6,41
				F0.03	posa in opera	[kg]	0,01	6624,00	66,24		8,28
				F0.04	getto fondazione	[m³]	0,35	66,24	23,18		2,90
				F0.05	maturazione calcestruzzo	/	/	/	56,00		7,00
S	strutture	ST0	archi in conci di CLS	ST0.01	assemblaggio e messa in opera di un arco	[cad]	4,00	16,00	64,00	64,00	8,00
		ST1	struttura in acciaio del bulbo (un blocco composto da due archi e le relative travi secondarie)	ST1.1	assemblaggio a terra archi calandrat HEA 280 con travi primarie IPE 500	[kg]	0,01	38797,40	387,97	525,75	48,50
				ST1.2	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (a terra)	[kg]	0,01	4816,00	48,16		6,02
				ST1.3	aggancio blocco composto da due archi e travi secondarie	[cad]	0,50	9,00	4,50		0,56
				ST1.4	assemblaggio travi secondarie IPE 220 tra due archi (in aria)	[kg]	0,02	4256,00	85,12		10,64
		ST2	scale prefabbricate in acciaio zincato	ST2.01	assemblaggio scale in acciaio zincato	[cad]	16,00	2,00	32,00	35,96	4,00
				ST2.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	66,00	3,96		0,50
		ST3	struttura ascensori	ST3.01	assemblaggio struttura travi IPE200 e pilastri HEB160	[kg]	0,02	3414,70	68,29	69,61	8,54
				ST3.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	22,00	1,32		0,17
		ST4	struttura locale impiantistico	ST4.01	assemblaggio struttura portante travi IPE200 e pilastri HEB160	[kg]	0,02	3460,00	69,20	78,80	8,65
				ST4.02	posa in opera pannelli di lamiera grecata	[m²]	0,06	160,00	9,60		1,20
		ST5	soffitto portante piano primo in travetti in LVL 250x5x30 cm, e blocchi di isolante espanso 250x60x30 cm	ST5.01	posa in opera travetti e blocchi di polistirene alternati e fissati con viti autofilettanti per legno	[m²]	0,05	804,00	40,20	106,13	5,03
				ST5.02	posa in opera travetti in legno per realizzazione vano impiantistico 4x4x200 cm	[m²]	0,05	804,00	40,20		5,03
				ST5.03	posa in opera doppio strato di pannelli OSB 1,25x125x250	[m²]	0,03	804,00	25,73		3,22
		ST6	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	ST6.01	posa in opera di struttura portante, travi primarie IPE300 travi secondarie IPE160 pilastri HEB160	[kg]	0,02	18705,54	374,11	374,11	46,76
		ST7	facciata cinetica	ST7.01	posa in opera sottostruttura portante, traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, montanti scatolari a sezione quadrata 80x80x2mm	[kg]	0,01	1752,24	17,52	17,52	2,19

CO	chiusure orizzontali	CO0	chiusura inclinata bulbo in pannelli sandwich e policarbonato alveolare	CO0.01	posa in opera di pannelli sandwich 100x600 cm	[cad]	0,25	163,00	40,75	64,00	5,09
				CO0.02	posa in opera di pannelli in policarbonato alveolare 100x600 cm compresa intelaiatura in acciaio	[cad]	0,25	93,00	23,25		2,91
		CO1	sistema di copertura mobile in tessuto DACRON con sistema di movimentazione elettrico	CO1.01	posa in opera sistema di copertura mobile	[cad]	4,00	10,00	40,00	40,00	5,00
		CO2	chiusure orizzontali vano scala, ascensore e locale impianti	CO2.01	posa in opera controsoffitto Rockfon Pacific in lana di roccia 2x100x100 cm	[m ²]	0,11	226,00	24,86	28,25	3,11
				CO2.02	posa in opera pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	226,00	3,39		0,42
		CO3	solaio piano primo	CO3.01	posa in opera pavimento in laminato dimensione doghe 129x19,2 cm sp 7mm	[m ²]	0,22	804,00	176,88	176,88	22,11
		CO4	copertura orizzontale in lamiera con sottostruttura in scatolari	CO4.01	posa in opera di lamiera e scatolari d'acciaio	[m ²]	0,08	759,00	60,72	60,72	7,59
CO5	pavimentazione piano terra	CO5.01	posa in opera pavimentazione in conglomerato bituminoso	[m ²]	0,19	1282,00	243,58	243,58	30,45		
CV	chiusure verticali	CV0	chiusure verticali vano scala, ascensore e locale impianti	CV0.01	posa in opera sottostruttura per pareti in profilati a "U" e a "C"	[m ²]	0,05	846,66	42,33	118,53	5,29
				CV0.02	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,40		3,17
				CV0.03	posa in opera di pannelli isolanti in lana di kenaf 3x60x120 cm	[m ²]	0,02	846,66	16,93		2,12
				CV0.04	posa in opera barriera al vapore	[m ²]	0,01	846,66	8,47		1,06
				CV0.05	posa in opera pannelli di finitura in lana di legno mineralizzata	[m ²]	0,03	846,66	25,40		3,17
		CV1	facciata cinetica	CV1.01	posa in opera traversi in scatolari a sezione quadrata 25x25x2mm, con preapplicate le piastre forate in alluminio	[m ²]	0,05	894,00	47,38	47,38	5,92
PV	partizioni verticali	PV0	pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,05	401,55	20,08	20,08	2,51
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.01	posa in opera di pannelli di paglia 58x800x120	[m ²]	0,02	28,80	0,58	0,58	0,07
		PV0	assemblaggio pareti divisorie interne in pannelli di paglia compressa	PV0.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,10	803,10	80,31	80,31	10,04
		PV1	pareti divisorie interne con spazio vano impiantistico in pannelli di paglia compressa	PV1.02	posa in opera pannelli di cartone riciclato tipo Yekpan 1,5x25x12,5cm	[m ²]	0,02	57,60	1,15	1,15	0,14

I	impianti	I0	UTA	I0.01	posa in opera di un modulo di unità trattamento aria	[cad]	4,30	3,00	12,90	12,90	1,61
		I1	condotti di aerazione	I1.01	posa in opera di condotti di aerazione a sezione circolare	[m]	0,03	195,61	5,87	5,87	0,73
		I2	ascensore	I2.01	posa in opera di ascensore	[cad]	8,00	4,00	32,00	32,00	4,00
SA	sanitari	SA0	sanitari	SA0.01	posa in opera di sanitari lavabo e piatti doccia	[cad]	2,53	12,00	30,36	30,36	3,80
PT	porte	PT0	porte	PT0.01	posa in opera di porte	[cad]	0,29	28,00	8,12	8,12	1,02
Tempo totale di realizzazione NORD A [h]										2379,17	
Tempo totale di realizzazione NORD A [giorni] (giornata lavorativa da 8 ore)										297,40	
Tempo totale di realizzazione SUD A [settimane] (settimana lavorativa da 5 giorni)										59,48	

9.2.5. Diagramma PERT

Fondamentale per la gestione di progetti di notevoli dimensioni, e in cui i tempi devono essere ristretti, come il progetto per il padiglione Italia, risulta essere la programmazione operativa.

Il tempo per la realizzazione dell'edificio senza tale programmazione, risulta essere di 63 settimane ossia 15 mesi, come indicato nella tabella WBS dell'edificio NORD A.

Il primo strumento per la programmazione operativa è il diagramma di PERT: un diagramma reticolare in cui le frecce rappresentano le attività, mentre i nodi rappresentano gli eventi di inizio e fine attività. Le frecce continue rappresentano attività concrete, mentre quelle tratteggiate sono attività fittizie, ossia attività che non comportano allocazione di risorse di cantiere ma ne condizionano l'attività. Ogni attività è legata alla successiva, indicando in questo modo le precedenze, ed è possibile vedere le attività che si svolgono in parallelo. Accanto al nome delle attività, è possibile indicare anche la durata minima e massima di ogni attività, permettendo in questo modo di calcolare la durata massima e minima per la realizzazione del progetto. In rosso viene solitamente indicato il percorso critico, ossia la successione di attività che determinano la durata stessa del progetto. Ogni ritardo nello svolgimento di una qualsiasi delle attività facenti parte del percorso critico, determinerà un ritardo sul termine finale dei lavori.

Nel caso in esame si è utilizzato il PERT solo per determinare le sequenze logiche tra le lavorazioni senza indicare le durate, dato che si è preferito impiegare anche un diagramma di GANTT. Per ridurre ulteriormente la durata del cantiere, senza complicare troppo la gestione dello stesso, si è optato per il raddoppio delle squadre operative (tranne che per gli scavi), dimezzando in questo modo i tempi di realizzazione dell'opera.

Nel caso in esame, la committenza ha eseguito le opere di preparazione del terreno che pertanto non fanno parte dell'appalto. Essendo il cardo composto da 4 edifici distinti, si è deciso di realizzare in parallelo i 4 edifici, spezzando il più lungo (Nord B) in due parti da realizzare anch'esse in contemporanea.

Il cantiere inizia dunque con lo scavo delle fondazioni (S0.01), successivamente si realizza la sottofondazione in magrone (F0.01) e, una volta completata, si può procedere con la posa delle cassetture (F0.02) e delle armature (F0.03). A questo punto è possibile procedere con il getto del CLS (F0.04) che andrà lasciato maturare per 7 giorni (F0.05) per poter raggiungere una resistenza minima sufficiente al proseguimento delle lavorazioni. Il passo successivo sarà la messa in opera degli archi in conci di CLS (ST0.01), tale operazione viene eseguita assemblando a terra delle porzioni di arco da 4 conci che vengono tenute insieme da 4 barre filettate e messe in opera, infine viene post teso l'intero arco. Successivamente viene messa in opera la struttura in acciaio del "bulbo" (ST0.01, ST0.02, ST0.03) assemblando a terra un modulo composto da due travi primarie IPE 500, due travi calandrate HEA280 e le travi secondarie IPE200 e agganciandolo agli archi tramite l'ausilio di autogrù. La struttura del bulbo viene completata mettendo in opera le travi secondarie mancanti (ST0.04). Verranno poi messe in opera le scale in acciaio con la relativa struttura e lamiera grecata di copertura (ST2.01, ST2.02), la struttura degli ascensori (ST3.01,

ST3.02) e la struttura dei locali impiantistici (ST4.01, ST4.02). A questo punto, si procede in parallelo con la posa in opera dei blocchi ascensori (I2.01) e del solaio portante in travetti di legno e blocchi di polistirene (ST5.01), con la successiva posa in opera dei listelli in legno per il vano impiantistico (ST5.02) ed in ultimo il doppio strato di OSB (ST5.03). Successivamente è possibile iniziare con la posa in opera della pavimentazione in BINDER (CO5.01) e in contemporanea si posano in opera i pannelli sandwich e i pannelli in policarbonato (CO0.01, CO0.02). Chiuso il “bulbo” si può contemporaneamente iniziare a realizzare le partizioni interne in paglia (PV0.01, PV0.02, PV1.01, PV1.02) e la posa in opera delle tende esterne in DACRON (CO1.01), e della messa in opera delle chiusure verticali, delle scale, degli ascensori e del locale impiantistico (CV0.01, CV0.02, CV0.03, CV0.04, CV0.05). Al termine delle tende si posa la struttura della copertura (ST6.01) e la copertura stessa in lamiera (CO4.01). terminate le partizioni interne, le chiusure verticali, e la copertura in lamiera, si può procedere parallelamente con la posa in opera della struttura per la facciata cinetica (ST7.01) e con la posa in opera delle UTA e dei condotti di areazione (I0.01,I1.01) , di seguito la posa dei controsoffitti (CO2.01, CO2.02) e della facciata cinetica stessa (CV1.01). Terminati i controsoffitti si poseranno i sanitari (SA0.01) e le porte (PT0.01) contemporaneamente, infine il pavimento in laminato (CO3.01).

LEGGENDA				
0101	0101	0101	0101	0101
0102	0102	0102	0102	0102
0103	0103	0103	0103	0103
0104	0104	0104	0104	0104
0105	0105	0105	0105	0105
0106	0106	0106	0106	0106
0107	0107	0107	0107	0107
0108	0108	0108	0108	0108
0109	0109	0109	0109	0109
0110	0110	0110	0110	0110
0111	0111	0111	0111	0111
0112	0112	0112	0112	0112
0113	0113	0113	0113	0113
0114	0114	0114	0114	0114
0115	0115	0115	0115	0115
0116	0116	0116	0116	0116
0117	0117	0117	0117	0117
0118	0118	0118	0118	0118
0119	0119	0119	0119	0119
0120	0120	0120	0120	0120
0121	0121	0121	0121	0121
0122	0122	0122	0122	0122
0123	0123	0123	0123	0123
0124	0124	0124	0124	0124
0125	0125	0125	0125	0125
0126	0126	0126	0126	0126
0127	0127	0127	0127	0127
0128	0128	0128	0128	0128
0129	0129	0129	0129	0129
0130	0130	0130	0130	0130
0131	0131	0131	0131	0131
0132	0132	0132	0132	0132
0133	0133	0133	0133	0133
0134	0134	0134	0134	0134
0135	0135	0135	0135	0135
0136	0136	0136	0136	0136
0137	0137	0137	0137	0137
0138	0138	0138	0138	0138
0139	0139	0139	0139	0139
0140	0140	0140	0140	0140
0141	0141	0141	0141	0141
0142	0142	0142	0142	0142
0143	0143	0143	0143	0143
0144	0144	0144	0144	0144
0145	0145	0145	0145	0145
0146	0146	0146	0146	0146
0147	0147	0147	0147	0147
0148	0148	0148	0148	0148
0149	0149	0149	0149	0149
0150	0150	0150	0150	0150
0151	0151	0151	0151	0151
0152	0152	0152	0152	0152
0153	0153	0153	0153	0153
0154	0154	0154	0154	0154
0155	0155	0155	0155	0155
0156	0156	0156	0156	0156
0157	0157	0157	0157	0157
0158	0158	0158	0158	0158
0159	0159	0159	0159	0159
0160	0160	0160	0160	0160
0161	0161	0161	0161	0161
0162	0162	0162	0162	0162
0163	0163	0163	0163	0163
0164	0164	0164	0164	0164
0165	0165	0165	0165	0165
0166	0166	0166	0166	0166
0167	0167	0167	0167	0167
0168	0168	0168	0168	0168
0169	0169	0169	0169	0169
0170	0170	0170	0170	0170
0171	0171	0171	0171	0171
0172	0172	0172	0172	0172
0173	0173	0173	0173	0173
0174	0174	0174	0174	0174
0175	0175	0175	0175	0175
0176	0176	0176	0176	0176
0177	0177	0177	0177	0177
0178	0178	0178	0178	0178
0179	0179	0179	0179	0179
0180	0180	0180	0180	0180
0181	0181	0181	0181	0181
0182	0182	0182	0182	0182
0183	0183	0183	0183	0183
0184	0184	0184	0184	0184
0185	0185	0185	0185	0185
0186	0186	0186	0186	0186
0187	0187	0187	0187	0187
0188	0188	0188	0188	0188
0189	0189	0189	0189	0189
0190	0190	0190	0190	0190
0191	0191	0191	0191	0191
0192	0192	0192	0192	0192
0193	0193	0193	0193	0193
0194	0194	0194	0194	0194
0195	0195	0195	0195	0195
0196	0196	0196	0196	0196
0197	0197	0197	0197	0197
0198	0198	0198	0198	0198
0199	0199	0199	0199	0199
0200	0200	0200	0200	0200

DIAGRAMMA DI PERT PER I QUATTRO CANTIERI CONTEMPORANEI DEL CARDO (SUD A, SUD B, NORD A, NORD B1, NORD B2)

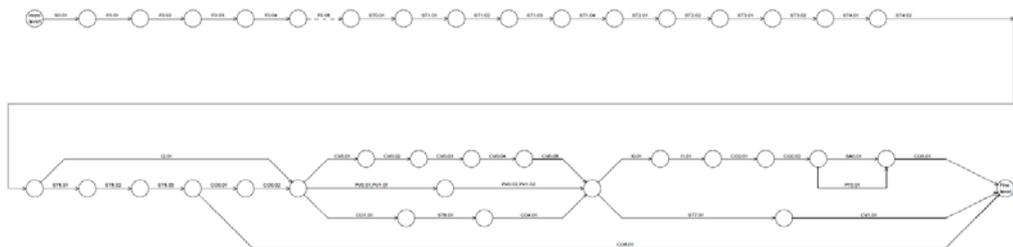


Figura 214 - Estratto della tavola del PERT

9.2.6. Diagramma di GANTT

Il diagramma di GANTT è uno strumento fondamentale per la programmazione operativa.

Esso consiste in un diagramma a barre, dove in ascissa è indicato il tempo in scala proporzionale e in ordinata sono indicate le attività. Ogni barra ha lunghezza pari alla durata dell'attività a cui si riferisce, ed è necessariamente collegata tramite frecce all'attività che la precede e a quella che la segue. Ogni freccia indica una precedenza, ossia che l'attività che segue non può iniziare se non è terminata quella ad essa precedente. Le attività possono essere svolte anche in contemporanea, se la loro interferenza non costituisce un conflitto tecnico o di salute e sicurezza sul lavoro. Tramite il diagramma di GANTT è possibile vedere molto bene quali sono i momenti critici relativi al cantiere, ossia quelli con più attività in parallelo e il maggior numero di squadre operative presenti in contemporanea. In rosso viene indicato il cammino critico, ossia la serie di attività che determinano la durata totale del cantiere; ogni ritardo in ognuna delle attività facenti parte del cammino critico determinerà un ritardo sul termine del cantiere.

Dal diagramma di GANTT è possibile vedere come grazie alla programmazione operativa la durata del cantiere passa da 15 mesi a circa 6 mesi, iniziando i lavori in data 6 ottobre 2014 e terminandoli il 30 marzo 2015, un mese prima dell'inaugurazione dell'evento.

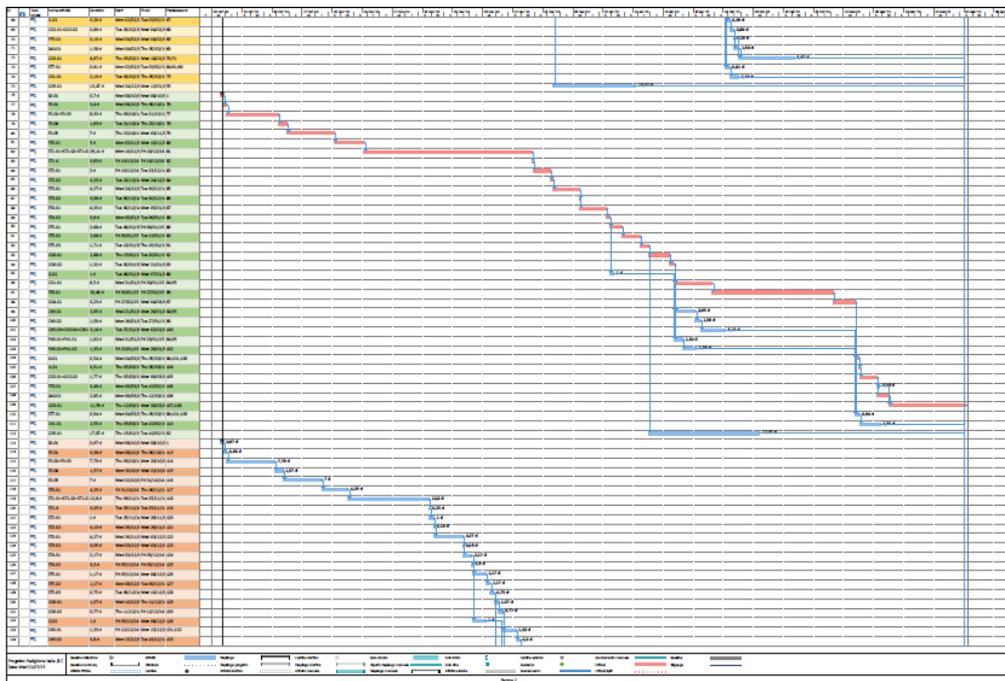


Figura 215 - Estratto del diagramma di GANTT

9.2.7. Layout di cantiere

Complementare alla sezione di cantiere, esso rappresenta essenzialmente un'istantanea della situazione del cantiere visto in pianta, registrata in un momento particolarmente significativo della sua intera vita.

Esattamente come per una fotografia scattata dall'alto, il layout si presenta come una planimetria del cantiere, arricchita di tutte le informazioni sulle attività in fase di svolgimento, sia quelle riguardanti la costruzione vera e propria, sia quelle propedeutiche ad essa (ad esempio la preparazione dei semilavorati), ma anche le modalità con cui possono interferire l'una con l'altra. L'elaborato deve inoltre contenere informazioni sulla logistica e sull'organizzazione spaziale del suolo, vale a dire i punti di installazione delle attrezzature e l'eventuale localizzazione di aree di stoccaggio, zone dedicate alle specifiche produzioni di semilavorati, aree da non utilizzare perché soggette a pericoli, ingombro della gru con indicazione dell'area coperta e raggiungibile dal braccio, aree di carico e scarico, vie d'accesso e viabilità interna al cantiere. Altre indicazioni fondamentali sono quelle in merito ai punti di allaccio ai pubblici servizi (energia elettrica, acqua, rete fognaria) e le reti interne per l'adduzione e lo scarico di acqua, energia elettrica. Infine le tipologie e le estensioni delle recinzioni di cantiere, che si differenziano a seconda della posizione e della finalità per cui sono installate ad esempio per impedire la vista dall'esterno, piuttosto che per proteggere da eventuali urti, etc..

Il layout di cantiere è uno strumento fondamentale per verificare l'adeguatezza del progetto operativo e per assicurare la massima sicurezza degli addetti ai lavori. Di seguito è riportato un estratto della tavola corrispondente.

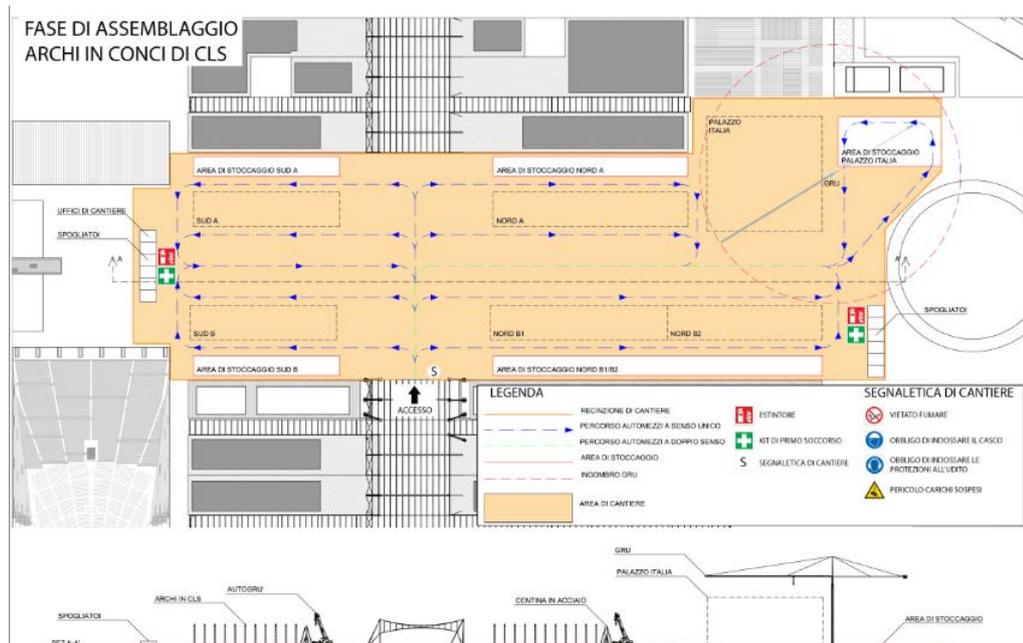


Figura 216 - Planimetria del cantiere e sua sezione

Bibliografia

- Astolfi J. (2007). *La prevenzione incendi nel progetto edilizio*. Casa editrice Il Sole 24 ORE gruppo 24 ORE
- Bozzola E. *Pop-up house: la casa passiva fai-da-te pronta in 4 giorni*. Articolo pubblicato l' 8 aprile 2014
- Butera F. (1995). *Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*. Casa editrice ETAS
- Carlin R. *Unboxed: prefabbricazione in legno per l'area mediterranea*. Articolo pubblicato il 15 novembre 2014
- Greco A., Quagliarini E. (2007). *L'involucro edilizio: una progettazione complessa*. Firenze: Alinea Editrice
- Lomanno A. M. (2012). *Prevenzione incendi, Professione in tasca*. Santarcangelo di Romagna (RN), Maggioli Editore S.p.A., Serie Report di Progettazione edilizia
- Maggi N. P. (1994). *Il processo edilizio. Vol 2: Metodi e strumenti di ergotecnica edile*. Casa editrice Clupguide
- Muntoni A. (1997). *Lineamenti di storia dell'architettura contemporanea*. Bari: Casa editrice Laterza & Figli S.p.A.
- Nicora C. *Casa GG: 6 moduli, 4 mesi, 1 kilovatt*. Articolo pubblicato il 6 maggio 2015
- Perriccioli M. *Low-cost(ruction) - Basso costo e qualità ambientale*. Articolo pubblicato il 16 settembre 2007
- Regione Lombardia, Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (2011). *Prezzario delle Opere Pubbliche*. Casa editrice DEI
- Sito web: "<http://www.popup-house.com>". Pagina di uno studio francese di architettura che presenta un progetto di un'abitazione realizzata in 4 giorni da 4 soli operatori. 2015
- Sito web: "<http://www.zartcom.it>". Pagina di un'azienda produttrice di pannelli in paglia compressa - collegamenti con tutti i sistemi costruttivi collegati e con tutte le informazioni relative. 2015
- Terenziani L. *La casa trasportabile: nuovi moduli per una vita nomade*. Articolo pubblicato il 7 ottobre 2014
- Toniolo G., Di Prisco M. (2001). *Cemento armato calcolo agli stati limite - terza edizione - volume 2A*. Bologna: Casa editrice Zanichelli S.p.A.

- Toniolo G., Di Prisco M. (2001). *Cemento armato calcolo agli stati limite - terza edizione - volume 2B*. Bologna: Casa editrice Zanichelli S.p.A.
- Unità Centrale Studi e Strategie (2013). *Rapporto Energia e Ambiente*. Roma: Casa editrice ENEA
- Watkin D. (1994). *Storia dell'architettura occidentale*. Ozzano Emilia: Casa editrice Zanichelli S.p.A.
- Zanini F. (1986). *Elementi di termoventilazione e condizionamento dell'aria*. Milano: Aermec editore

Regolamenti locali

- Comune di Milano. *Regolamento edilizio del comune di Milano*. Milano: Casa editrice BURL - serie avvisi e concorsi. 2014
- Comune di Milano. *Regolamento locale d'igiene*. Milano. 1994

Normative per le strutture

- Ministero delle Infrastrutture. *DM 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni*. 14 gennaio 2008
- Ministero delle Infrastrutture. *Circolare n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*. 2 febbraio 2009
- *eurocodice 2. Progettazione delle strutture in calcestruzzo - paragrafo 4.2.3. Calcestruzzo precompresso*. 1992

Normative per gli impianti

- *Dpr 412/1993*. Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, 26 agosto 1993
- *Norma UNI EN 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - dati climatici*. Aprile 1994
- Ministero delle Infrastrutture. *Norma UNI EN 10339 Impianti aeraulici a fini di benessere*. 1995
- *Norma UNI EN 10375, Calcolo delle temperature in un ambiente non climatizzato in regime estivo*. 2011
- *Tabelle e diagrammi psicrometrici ricavati da "Carrier Corporation", Syracuse, New York, U.S.A.*

Riferimenti per l'abbattimento delle barriere architettoniche

- *DPR 503/1996*. Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici

- *LR Lombardia 6/1989*. Norme sull'eliminazione delle barriere architettoniche e prescrizioni tecniche

Normative per la sicurezza nei cantieri mobili

- *D.Lgs 81/2008 e s.m.i.* Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Normative per la sicurezza antincendio

- Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali d'intrattenimento e di pubblico spettacolo di cui a *Decreto 19 agosto 1996*
- Regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di edifici e/o locali destinati ad uffici con oltre 25 persone presenti di cui al *Decreto ministeriale 22 febbraio 2006*

Indice delle figure

Figura 1 - Renderizzazione del progetto: vista dal passaggio del Cardo.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 2 - Renderizzazione del progetto: vista dalla Lake Arena	4
Figura 3 - Crystal Palace	9
Figura 4 - Fasi della costruzione della Tour Eiffel	10
Figura 5 - Atomium	10
Figura 6 - Cupola geodetica	11
Figura 7 - Torre del sole	11
Figura 8 - Monorotaia	12
Figura 9 - Simboli dell'esposizione di Siviglia	12
Figura 10 - Padiglione svizzero.....	13
Figura 11 - Veduta dell'esposizione di Saragozza	13
Figura 12 - Padiglione della Gran Bretagna	14
Figura 13 - Manifesto dell'esposizione milanese del 1906.....	15
Figura 14 - Villa studio per un artista.....	16
Figura 15 - Planimetria del quartiere sperimentale QT8	16
Figura 16 - Struttura al neon di Lucio Fontana	17
Figura 17 - Allestimento realizzato da Pier Giacomo e Achille Castiglioni.....	17
Figura 18 - Inquadramento territoriale a scala comunale dell'area espositiva	19
Figura 19 - Localizzazione degli accessi al sito espositivo.....	21
Figura 20 _a - Dati di umidità relativa	22
Figura 20 _b - Dati di temperatura	22
Figura 20 _c - Dati delle precipitazioni	23
Figura 21 - Intensità e direzione dei venti durante i mesi dell'esposizione	24
Figura 22 - Parole chiave EXPO 2015	28
Figura 23 - vista a volo d'uccello da nord ovest del Sito espositivo	30
Figura 24 - Piazza Italia	31
Figura 25 - Collina	32
Figura 26 - Open Air Theatre	32
Figura 27 - Piazza d'acqua.....	33
Figura 28 - Expo Centre.....	33

Figura 29 - Cascina Triulza	34
Figura 30 - Cluster	35
Figura 31 - Panorama visibile dalla collina - Parte terminale del decumano	35
Figura 32 - Suddivisione dell'area di progetto	36
Figura 33 - Altezze Palazzo Italia	39
Figura 34 - Aree edificabili Palazzo Italia	39
Figura 35 - Altezze edifici del Cardo.....	40
Figura 36 - Aree edificabili Cardo.....	40
Figura 37 - Prima ipotesi schizzo 1.....	43
Figura 38 - Prima ipotesi schizzo 2.....	44
Figura 39 - Prima ipotesi schizzo 3.....	44
Figura 40 - Prima ipotesi schizzo 4.....	45
Figura 41 - Seconda ipotesi schizzo 1	46
Figura 42 - Seconda ipotesi schizzo 2	46
Figura 43 - Seconda ipotesi schizzo 3	47
Figura 44 - Portici di Bologna	48
Figura 45 - Acquedotto romano	49
Figura 46 - L'Albero della Vita in un pittogramma celtico	50
Figura 47 - Parole chiave Padiglione Italia	51
Figura 48 - Idea del percorso di collegamento	57
Figura 49 - Genesi della piazza coperta	58
Figura 50 - Viste ipotetiche della piazza	59
Figura 51 - Schizzo di un prospetto.....	59
Figura 52 - Pianta del piano terra del Palazzo Italia.....	60
Figura 53 - Pianta del primo piano del Palazzo Italia.....	61
Figura 54 - Pianta del secondo piano del Palazzo Italia.....	61
Figura 55 - Pianta del terzo piano del Palazzo Italia	62
Figura 56 - Pianta del quarto piano del Palazzo Italia.....	63
Figura 57 - Sezione A-A del Palazzo Italia	63
Figura 58 - Sezione B-B del Palazzo Italia.....	64
Figura 59 - Prospetto Nord-Ovest del Palazzo Italia	65
Figura 60 - Prospetto Nord-Est del Palazzo Italia.....	65
Figura 61 - Prospetto Sud-Ovest del Palazzo Italia	65

Figura 62 - Effetto della facciata cinetica in presenza di vento	66
Figura 63 - Sviluppo delle arcate lungo l'edificio	69
Figura 64 - Posizionamento della seconda struttura appesa agli archi	70
Figura 65 - Tende di copertura del Cardo, viste in sezione ed in prospetto.....	70
Figura 66 - Schema di posizionamento delle coperture dei manufatti del Cardo.....	71
Figura 67 - Piante dei due livelli di uno degli edifici del Cardo: Sud A.....	72
Figura 68 - Sezione longitudinale (in 2 parti) di uno degli edifici del Cardo: Nord B...	73
Figura 69 - Sezione longitudinale di uno degli edifici del Cardo: Sud B.....	73
Figura 70 - Sezione trasversale di uno degli edifici del Cardo: Nord B	74
Figura 71 - Prospetto a visuale libera di uno degli edifici del Cardo: Sud A	75
Figura 72 - Prospetto del Cardo Sud A con la visibile presenza delle tende.....	75
Figura 73 - Prospetto del Cardo Nord A: prima senza e poi con l'impatto delle tende	76
Figura 74 - Sezioni tecnologiche, trasversale e longitudinale.....	79
Figura 75 - Esempi di travetti in legno LVL.....	81
Figura 76 - Blocco in EPS additivato con grafite	81
Figura 77 - Pannelli in lana di kenaf	82
Figura 78 - Controsoffitto con pannelli in lana di roccia.....	82
Figura 79 - Pannelli in lana di legno con magnesite.....	83
Figura 80 - Pannelli in cartone riciclato	83
Figura 81 - Pannelli sandwich con curvatura a raggio variabile con particolare del giunto.....	84
Figura 82 - Particolare del policarbonato alveolare ed esempio di applicazione.....	84
Figura 83 - Pannelli Ekopanel.....	85
Figura 84 - Messa in opera del solaio in travetti di legno e blocchi di isolante.....	86
Figura 85 - Profili in ferro usati per ancorare teste, piedi e lati dei pannelli.....	88
Figura 86 - Clip che funge da ulteriore guida per i pannelli, con due differenti piegature.....	88
Figura 87 - Schema illustrativo delle possibili operazioni di adattamento dei pannelli	88
Figura 88 - Sistema Ekopanel a doppio pannello con montanti di rinforzo in legno...	89
Figura 89 - Esempio di come appare il bulbo dall'esterno	90
Figura 90 - Costruzione della facciata ed effetto visivo in caso di vento.....	91

Figura 91 - Fissaggio della lamiera con la trave calandrata mediante le C accoppiate	92
Figura 92 - Fissaggio dei pannelli sandwich e riempimento degli spazi con isolante + lamiera	93
Figura 93 - Nodo ultimato e vista del rivestimento del bulbo dall'esterno.....	93
Figura 94 - Estratto della scheda tecnica Riwega	94
Figura 95 - Estratti della scheda tecnica Rockfon color-all	95
Figura 96 - Dati tecnici di Ekopanel.....	96
Figura 97 - Estratti della scheda tecnica Fassa Bortolo	97
Figura 98 - Caratteristiche fisico-meccaniche di Isolkenaf	98
Figura 99 - Caratteristiche termiche di Isolkenaf.....	98
Figura 100 - Caratteristiche acustiche e comportamento al fuoco di Isolkenaf.....	99
Figura 101 - Caratteristiche del profilo della lamiera	99
Figura 102 - Diagramma di portata della lamiera, per una campata.....	99
Figura 103 - Carico massimo sopportabile dalla lamiera, per una campata	100
Figura 104 - Schema delle resistenze caratteristiche del legno LVL.....	100
Figura 105 - Proprietà meccaniche e fisiche di OSB	100
Figura 106 - Comportamento al fuoco di OSB	101
Figura 107 - Proprietà ecologiche di OSB	101
Figura 108 - Caratteristiche fisico-tecniche dei pannelli Eraclit	101
Figura 109 - Dati tecnici dei pannelli Eraclit	102
Figura 110 - Scheda tecnica di Parkover	102
Figura 111 - Dati tecnici di Makrolon multi UV 3 x 16/25	103
Figura 112 - Carico sopportabile da Makrolon multi UV 3 x 16/25	104
Figura 113 - Estratto della scheda tecnica di Isolcavi	104
Figura 114 - Caratteristiche dimensionali del pannello Rexcop	105
Figura 115 - Caratteristiche tecniche del pannello Rexcop	105
Figura 116 - Composizione del pannello Yekpan.....	105
Figura 117 - Caratteristiche tecniche del pannello Yekpan	106
Figura 118 - Studio illuminotecnico dell'edificio Nord A del Cardo.....	122
Figura 119 - Numero minimo di vie d'esodo	126
Figura 120 - Posizionamento ottimale delle uscite.....	126
Figura 121 - Estratti di verifiche antincendio per i tratti Nord A e Sud A del Cardo..	127
Figura 122 - Immagine tridimensionale di un modulo strutturale	131

Figura 123 - Connessione tra le due strutture, in acciaio e calcestruzzo	132
Figura 124 - Carico del solaio al primo piano.....	133
Figura 125 - Carico della copertura di vano scala, ascensore e locale impianti	133
Figura 126 - Carico delle pareti tagliafuoco di vano scala e locale impianti.....	134
Figura 127 - Carico delle pareti divisorie semplici	134
Figura 128 - Carico delle pareti dei bagni	135
Figura 129 - Carico del rivestimento in pannelli sandwich a curvatura variabile	135
Figura 130 - Carico del rivestimento in lastre curve di polycarbonato.....	136
Figura 131 - Carico della facciata cinetica esterna al bulbo	136
Figura 132 - Carico della copertura piana con installazione di pannelli solari	136
Figura 133 - Sovraccarichi per unità di superficie.....	137
Figura 134 - Coefficiente di forma	138
Figura 135 - Valori di q_{sk}	138
Figura 136 - Valori del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia ..	138
Figura 137 - Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici	139
Figura 138 - Differenti combinazioni di carico.....	140
Figura 139 - Valori dei coefficienti di combinazione.....	140
Figura 140 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU	141
Figura 141 - Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato	142
Figura 142 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere.....	143
Figura 143 - Vita nominale V_N per diversi tipi di opere.....	143
Figura 144 - Classi d'uso degli edifici	143
Figura 145 - Categorie di sottosuolo.....	144
Figura 146 - Categorie topografiche	144
Figura 147 - Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	144
Figura 148 - Espressioni di S_s e C_c	145
Figura 149 - Espressioni di S_T	145
Figura 150 - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_a a seconda della zona.....	149
Figura 151 - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione.....	150

Figura 152 - Indicazione di una delle travi secondarie di copertura, di seguito analizzate	154
Figura 153 - Indicazione di una delle travi primarie di copertura, di seguito analizzate	156
Figura 154 - Indicazione di uno dei pilastri di bordo, di seguito analizzati.....	157
Figura 155 - Rappresentazione tridimensionale della morfologia di una porzione del bulbo	159
Figura 156 - Schema statico e di carico di un modulo del bulbo visto frontalmente	159
Figura 157 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave secondaria esemplificativa	160
Figura 158 - Schema statico e calcolo della deformata della trave secondaria del bulbo	161
Figura 159 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave primaria esemplificativa	161
Figura 160 - Schema statico e calcolo della deformata della trave primaria del bulbo	163
Figura 161 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione della trave calandrata esemplificativa	163
Figura 162 - Modellazione a SLU e diagramma dell'azione assiale	164
Figura 163 - Diagramma del momento a SLU e configurazione deformata a SLE	164
Figura 164 - Modello di carico con azione sismica concentrata e diagramma del momento a SLV	165
Figura 165 - Diagrammi di azione assiale e taglio, sempre a SLV	165
Figura 166 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV senza carico sismico	166
Figura 167 - Modellazione del tratto e diagramma momento y, con azione sismica fuori piano.....	166
Figura 168 - Modellazione a SLU e diagramma dell'azione assiale	168
Figura 169 - Diagramma del momento a SLU e configurazione deformata a SLE	168
Figura 170 - Modello di carico con azione sismica concentrata e diagramma del momento a SLV	169
Figura 171 - Diagrammi di azione assiale e taglio, sempre a SLV	169
Figura 172 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV senza carico sismico	170

Figura 173 - Modellazione del tratto e diagramma momento y, con azione sismica fuori piano.....	170
Figura 174 - Pianta del solaio del bulbo con indicazione delle porzioni di solaio controventate	171
Figura 175 - Schema statico e di carico di un arco visto frontalmente	173
Figura 176 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLU	174
Figura 177 - Modello del bulbo con sisma alla base e deformata con reazioni vincolari, a SLV.....	175
Figura 178 - Modello dell'arco con reazioni del bulbo con sisma in sommità e deformata, a SLV.....	176
Figura 179 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV con sisma agente nel piano forte	176
Figura 180 - Diagrammi di azione assiale e momento x, a SLV senza carico sismico	179
Figura 181 - Tratto del bulbo e deformata con reazioni vincolari, a SLV con sisma fuori piano	179
Figura 182 - Modello di carico dell'arco e diagramma momento y, a SLV con sisma fuori piano.....	180
Figura 183 - Schermata del software "Profili_v6" del gruppo "Gelfi"	190
Figura 184 - Fasi di costruzione dell'arco in cls precompresso, con le relative connessioni	192
Figura 185 - Sfasamento del carico di raffreddamento effettivo	196
Figura 186 - Condizioni esterne estive di progetto.....	197
Figura 187 - Correzioni in °C da applicarsi alle temperature esterne previste nei calcoli	198
Figura 188 - Correzioni alle differenze di temperatura equivalente	200
Figura 189 - Differenze di temperatura equivalente per tetti di colore scuro	200
Figura 190 - Differenze di temperatura equivalente per muri di colore chiaro	201
Figura 191 - Differenze di temperatura equivalente per muri di colore scuro	202
Figura 192 - Coefficienti di trasmissione e riflessione solare per incidenza normale	203
Figura 193 - Coefficienti di ombreggiamento per schermi orizzontali di dimensione finita	204
Figura 194 - Coefficienti di ombreggiamento per schermi orizzontali di dimensione infinita.....	204

Figura 195 - Coefficiente di contemporaneità per affollamento.....	205
Figura 196 - Carichi sensibili e latenti a seconda dell'elettrodomestico considerato	205
Figura 197 - Calore emesso dalle persone.....	206
Figura 198 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	224
Figura 199 - Bilancio dell'ambiente	226
Figura 200 - Portate d'aria minime consentite.....	227
Figura 201 - Schema dei componenti delle U.T.A.....	228
Figura 202 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	230
Figura 203 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	233
Figura 204 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	235
Figura 205 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	237
Figura 206 - Diagramma psicrometrico a pressione di 1 atmosfera.....	239
Figura 207 - Velocità dell'aria consigliate nei condotti.....	241
Figura 208 - Schema esemplificativo di WBS di II livello.....	248
Figura 209 - Esempio C.M. per voci di lavoro	249
Figura 210 - Esempio di stima analitica di III livello	250
Figura 211 - Sezioni esplicative sulla passerella mobile	265
Figura 212 - Schema WBS di II livello (diagramma ad albero).....	268
Figura 213 - Schema WBS di II livello (tabella).....	268
Figura 214 - Estratto della tavola del PERT	293
Figura 215 - Estratto del diagramma di GANTT	294
Figura 216 - Planimetria del cantiere e sua sezione	295