



masterplan scala 1:2000





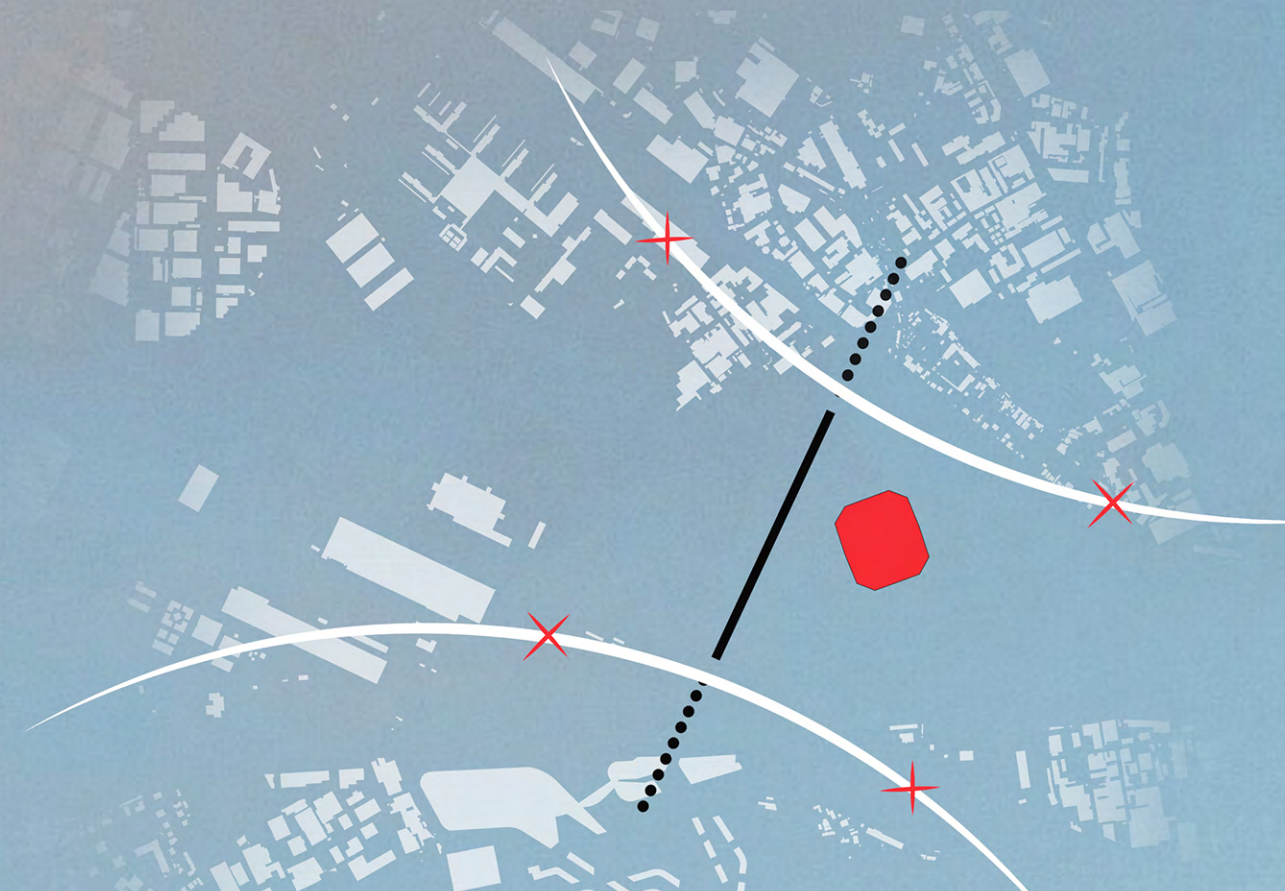
### Inquadramento

L'Expo si colloca nella periferia nord-ovest di Milano. Costituisce una polarità urbana di recente trasformazione, situata lungo l'asse del Sempione in adiacenza alla stazione Rho Fiera.



### Infrastrutture

Il sito si presenta come un "isola" cinta da una intensa rete infrastrutturale: l'autostrada A8 a nord, la tangenziale ad ovest ed il passaggio della TAV a sud. Si inserisce in un contesto della periferia caratterizzato prevalentemente da aree industriali, spesso in stato di dismissione.



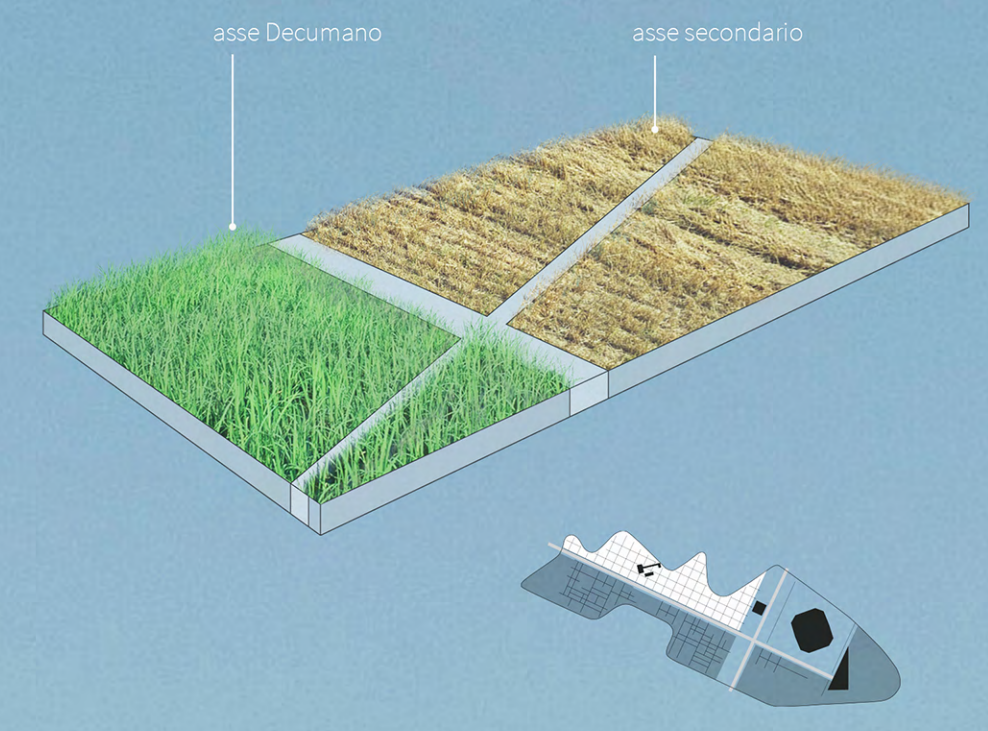
### Cucitura urbana

Dal punto di vista programmatico e di intervento, il progetto vuole ricreare una connessione di un brano territoriale posto tra Cascina Merlata a sud e i quartieri limitrofi a nord.



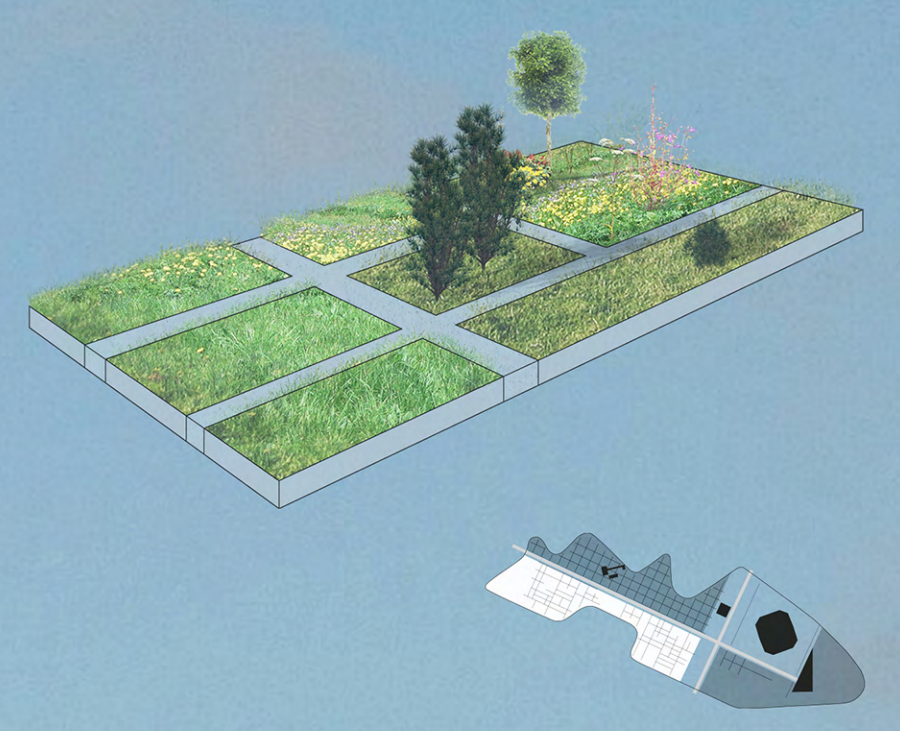
### Strategia

La griglia compositiva del parco urbano rompe gli schemi originali dei due assi principali, lasciati del sistema di viabilità pedonale dell'Expo, creando una pluralità di funzioni disposte lungo la "strip" del Decumano all'interno del parco agricolo urbano. Campi agricoli, orti ed aree boschive rappresentano le principali aree tematiche del parco.



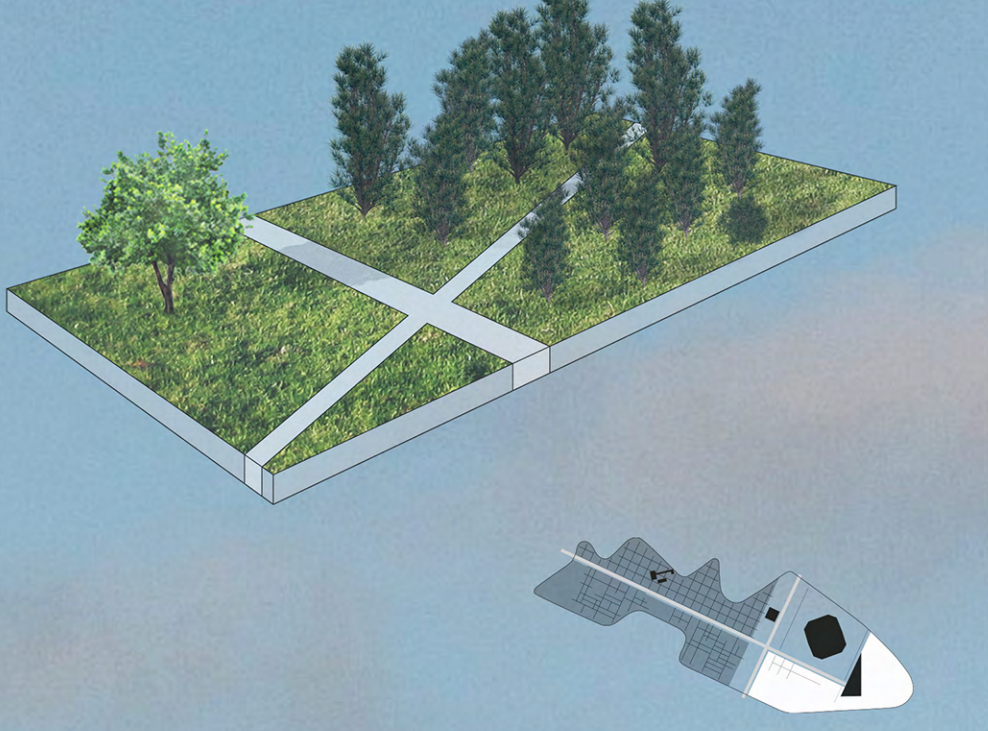
### Campi agricoli

Lo sfruttamento del suolo, quale risorsa naturale finita, impone delle riflessioni profonde sul relativo consumo. La politica tesa a contrastare il consumo del suolo coincide con quella di riqualificazione. La nuova "forma" della città ha una veste ecologica e produttiva, inclusiva dell'agricoltura.



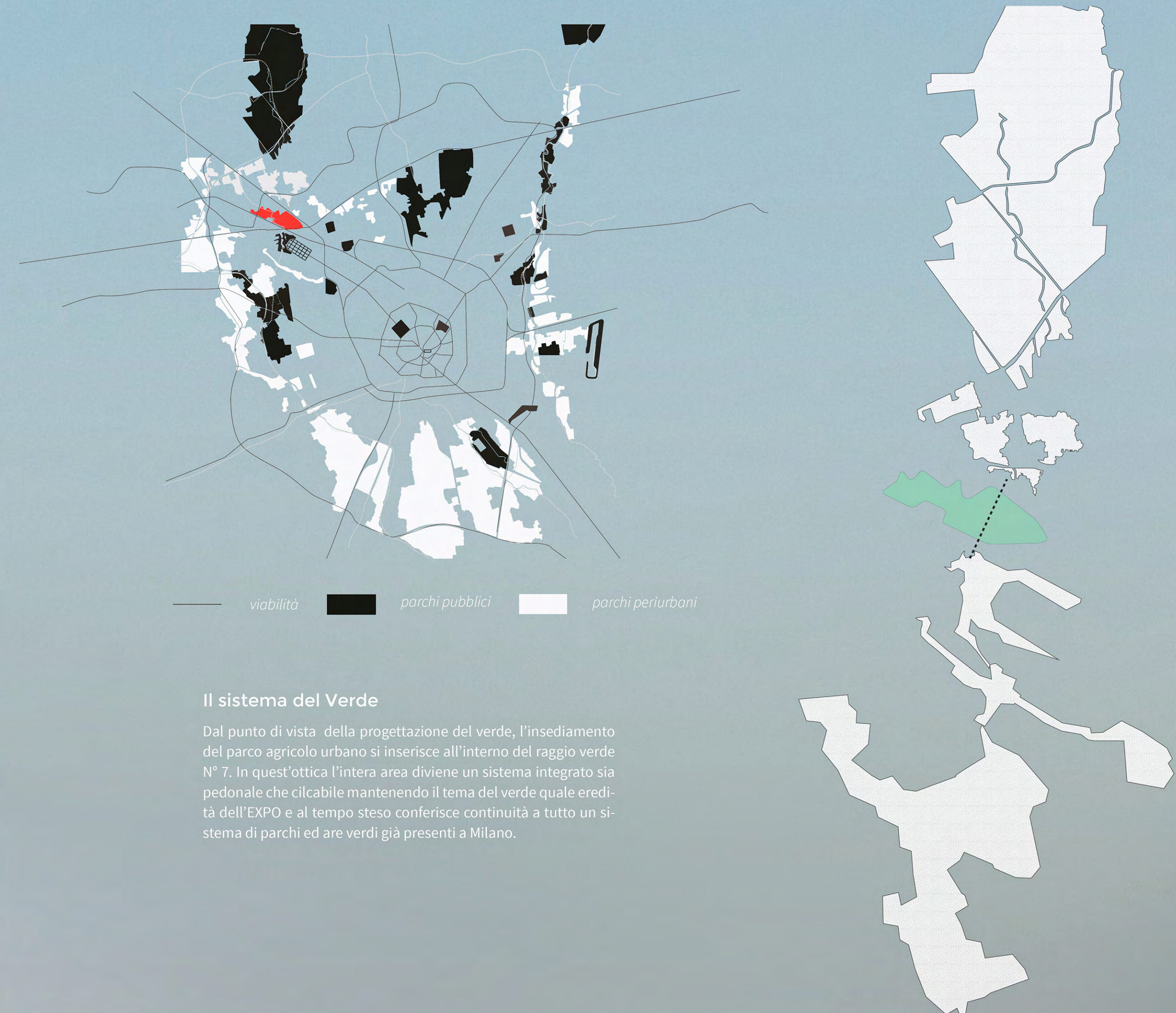
### Parco della biodiversità

Nell'ottica di integrare la dimensione agricola con quella urbana, la struttura dello spazio accoglie una diversificazione tematica delle aree. Nello specifico assume un ruolo chiave il parco della biodiversità che, in linea con il lascito di Expo, incarna il tema della valorizzazione delle essenze agricole e agroalimentari, oltre che della loro salvaguardia.



### Aree boschive

Ne consegue la necessità di saldare il tema della rigenerazione urbana con quello dell'agricoltura periurbana e della riforestazione/rinaturalizzazione. Le aree boschive all'interno dell'area hanno la duplice funzione di polmone verde e di compensazione legata all'assorbimento della CO<sub>2</sub> dall'atmosfera.



### Il sistema del Verde

Dal punto di vista della progettazione del verde, l'insediamento del parco agricolo urbano si inserisce all'interno del raggio verde N° 7. In quest'ottica l'intera area diviene un sistema integrato sia pedonale che ciclabile mantenendo il tema del verde quale eredità dell'EXPO e al tempo stesso conferisce continuità a tutto un sistema di parchi ed aree verdi già presenti a Milano.

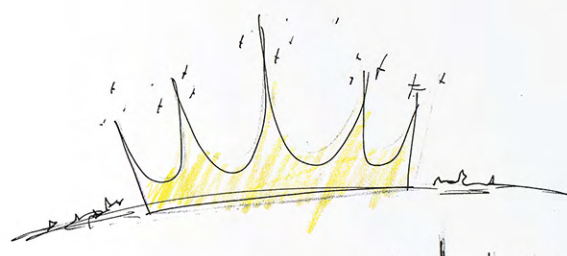


## Concept dello Stadio

"La mente che concepisce una struttura, o la mano che la traccia, non ricevono aiuto di sorta da sviluppi matematici astrusi e complessi. Un valido sostegno deriva invece dall'intimo sentimento del modo di resistere dell'opera; tale intuizione, penetrando profondamente nel nostro animo, ci dà come la sensazione di partecipare alla fatica della costruzione e ci fa percepire ciascuno dei suoi elementi come qualcosa di vivo e sensibile".

E. Torroja

### Elementi costruttivi



Anello cerchiante

Correnti trasversali

Corrente di bordo

Tribune

Travi a ginocchio

Membrana

Funi

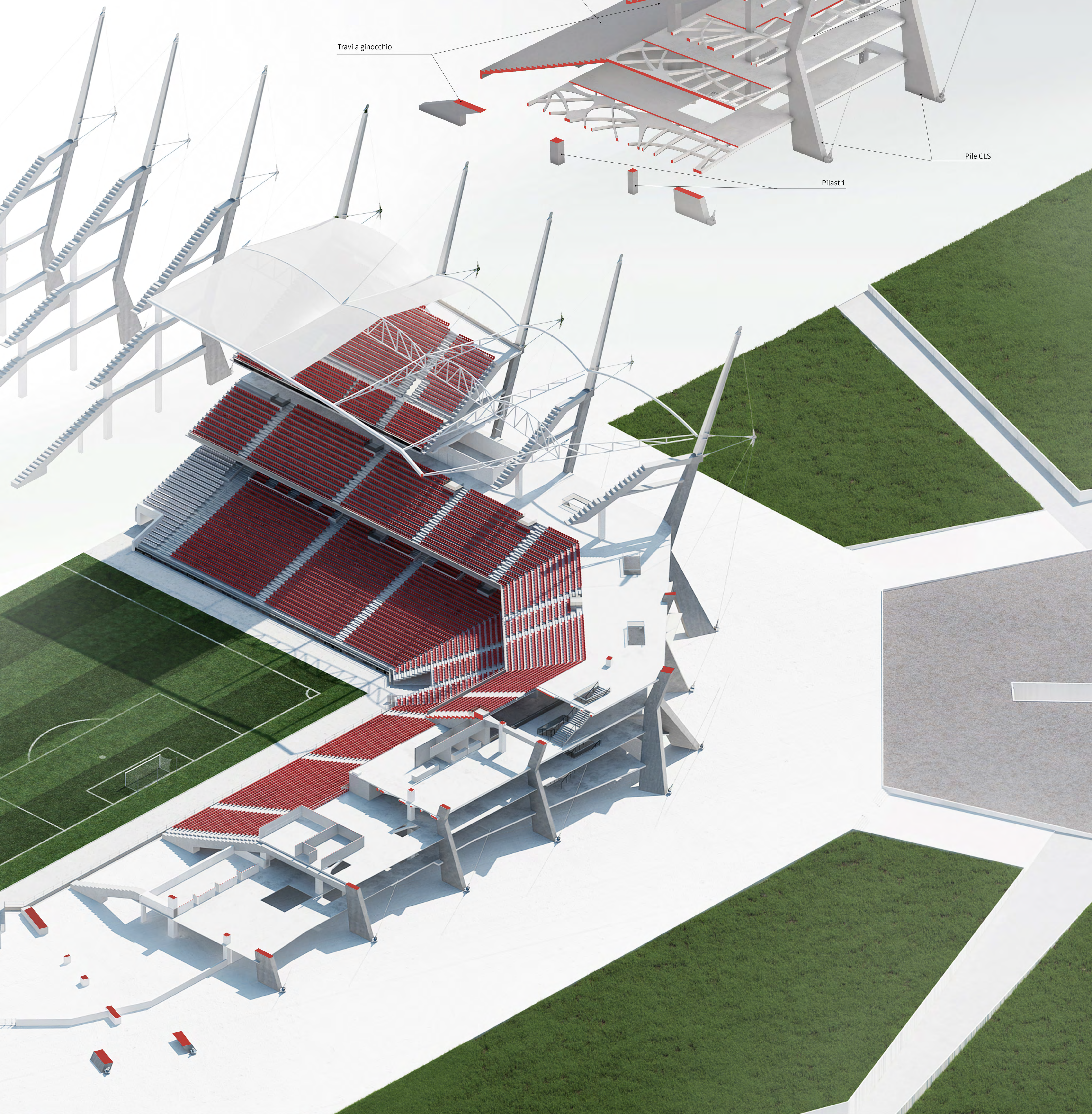
Pila acciaio

Tubolari

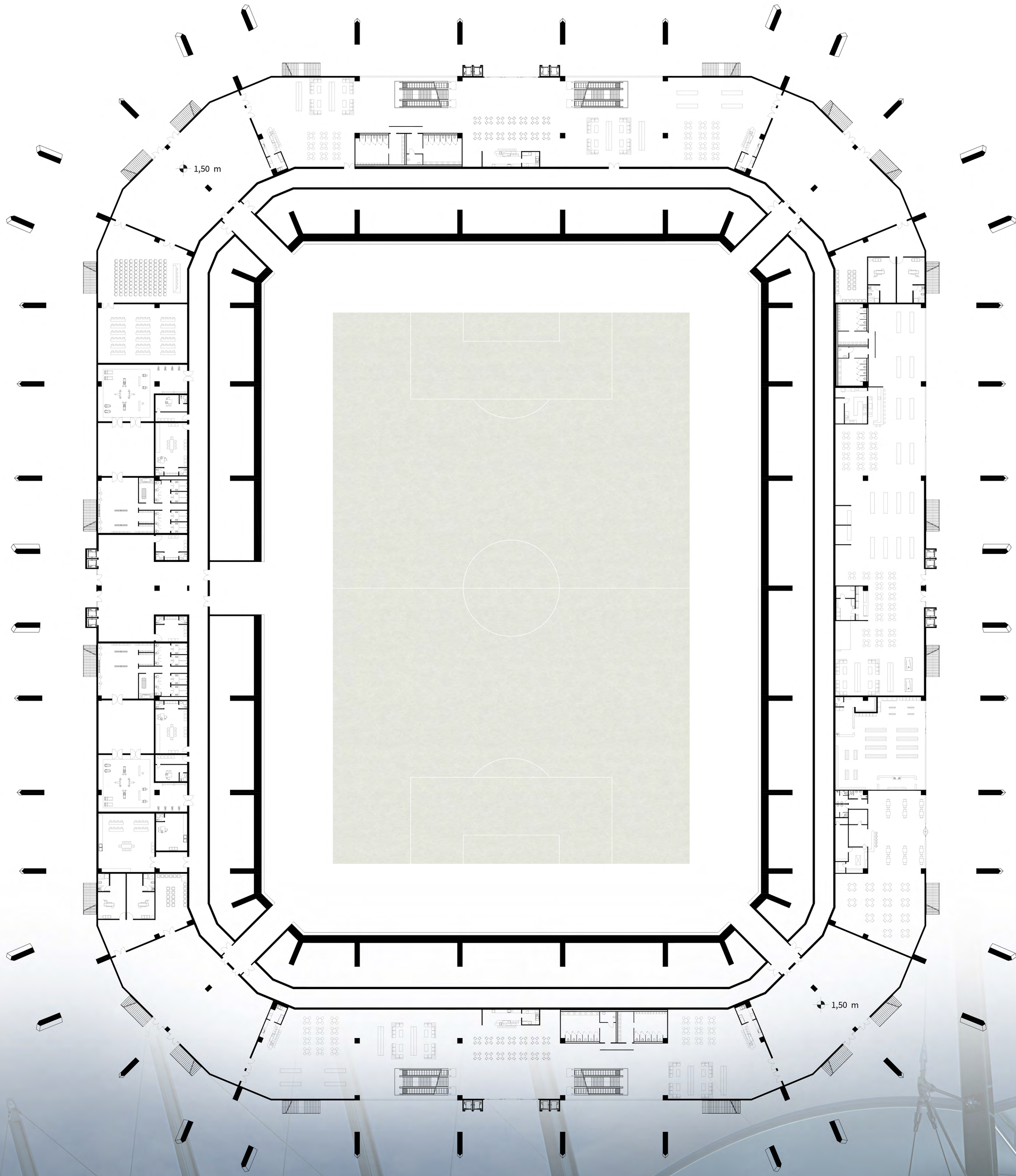
Solette nervate

Pile CLS

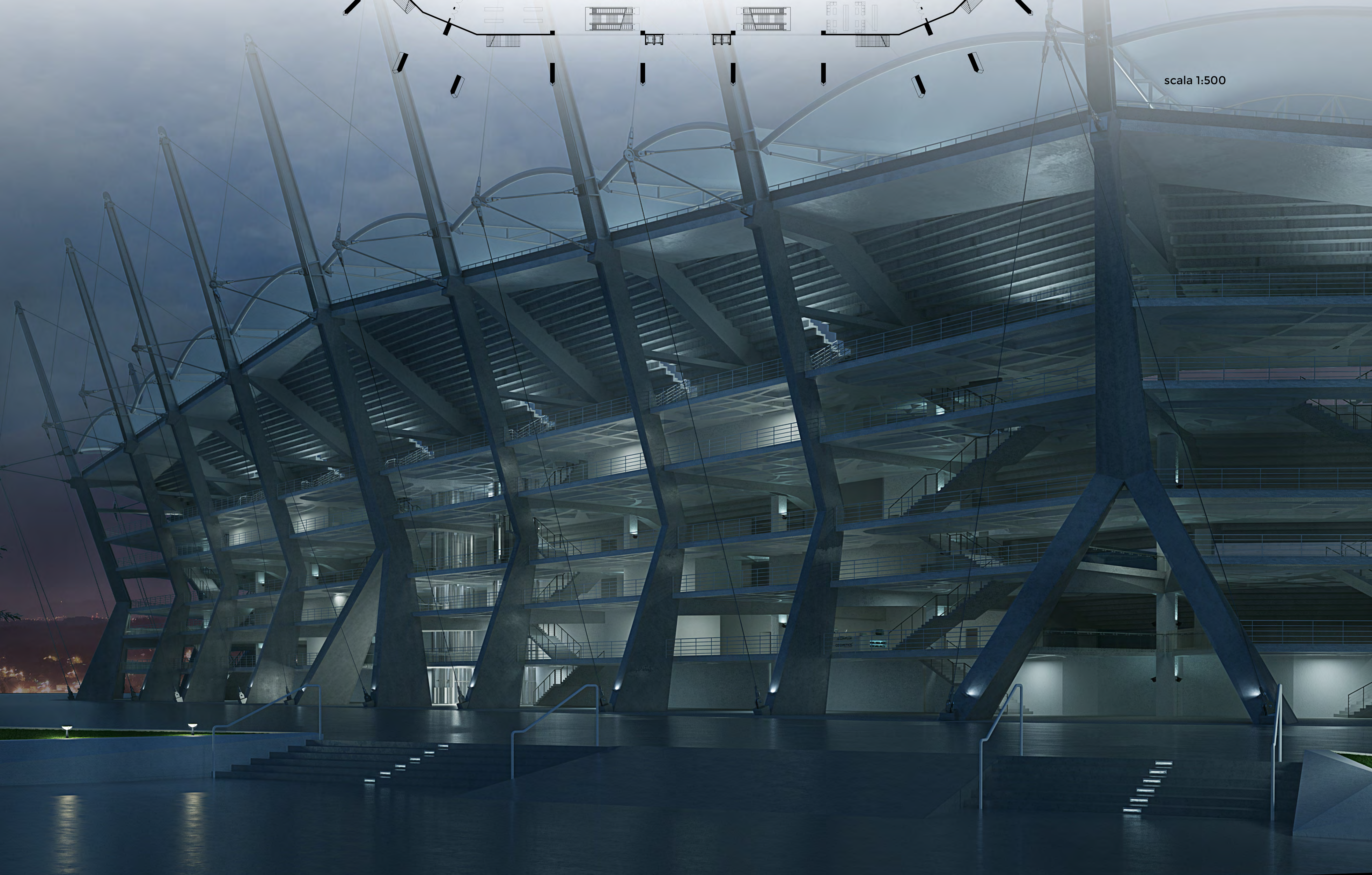
Pilastrini



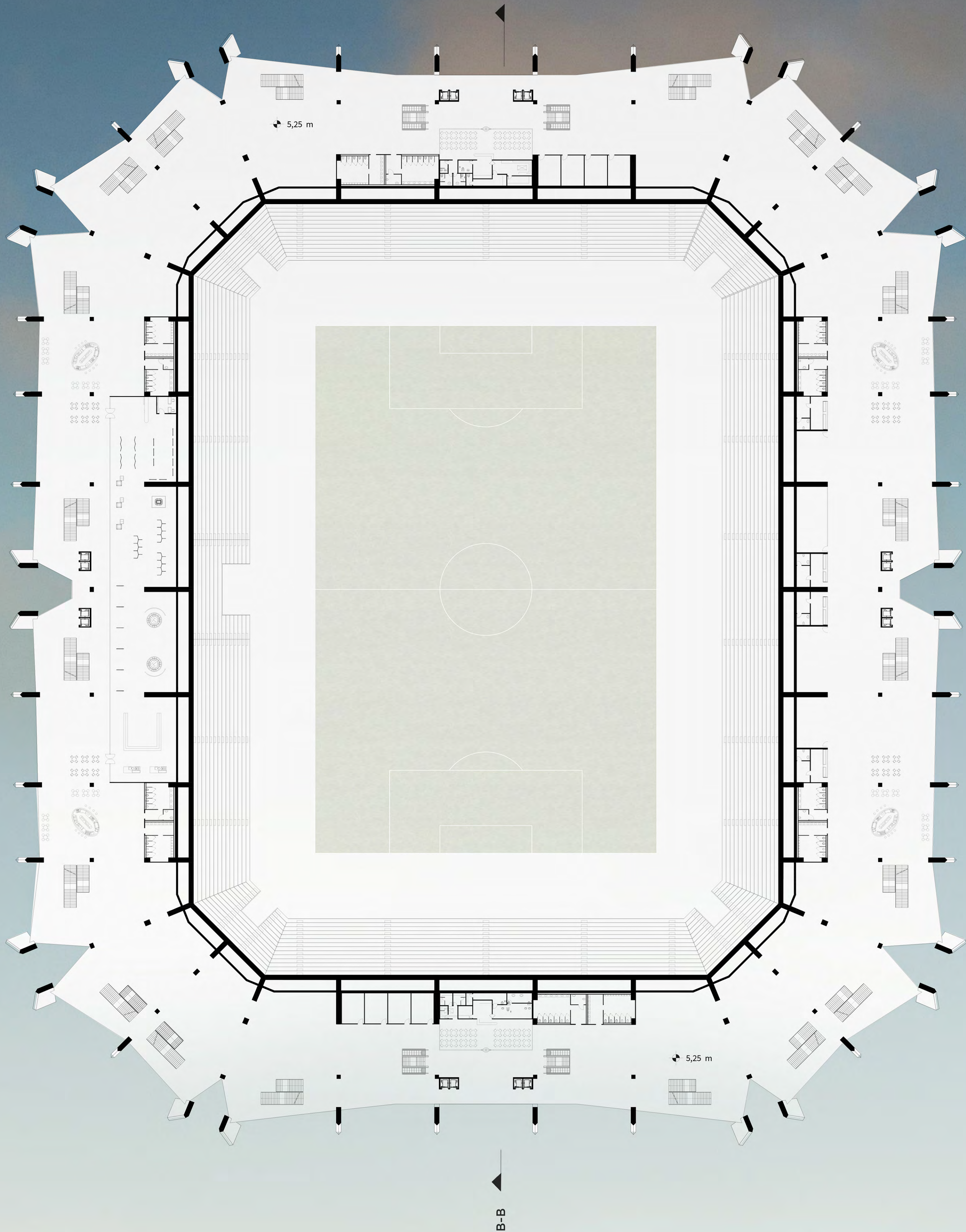
pianta quota 1,50 m



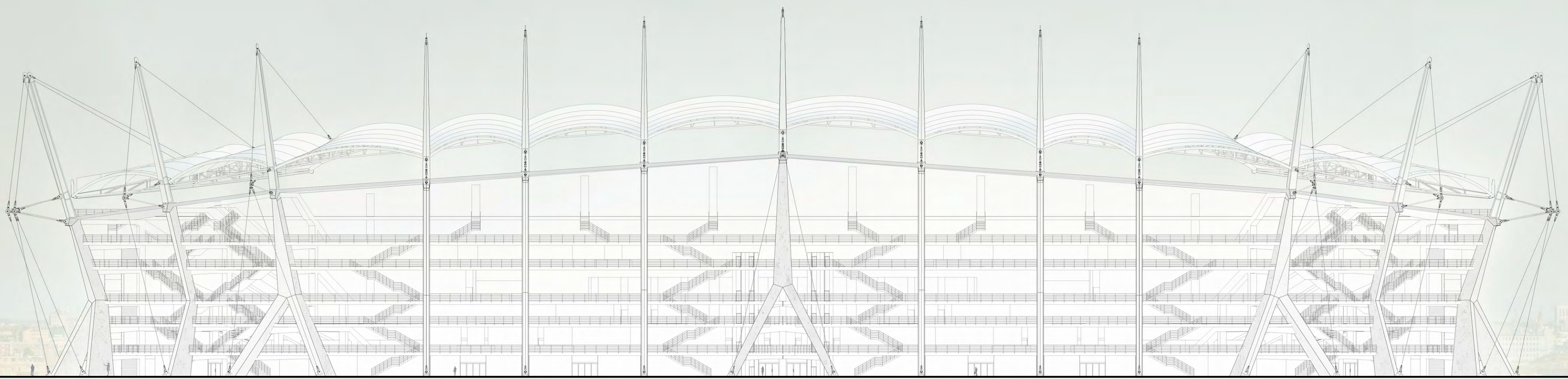
scala 1:500



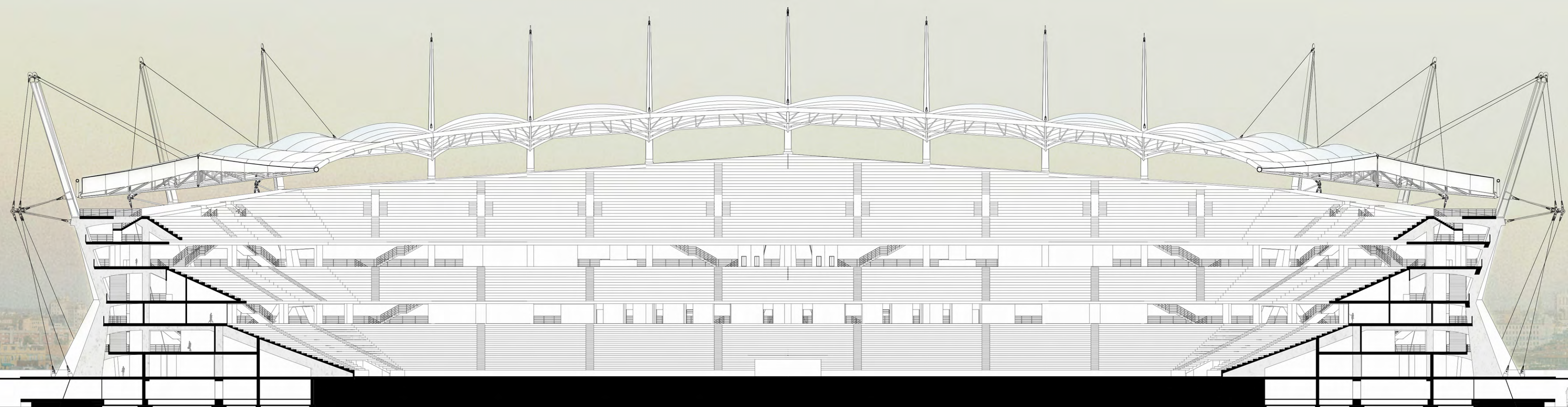
pianta quota 5,25 m



scala 1:500

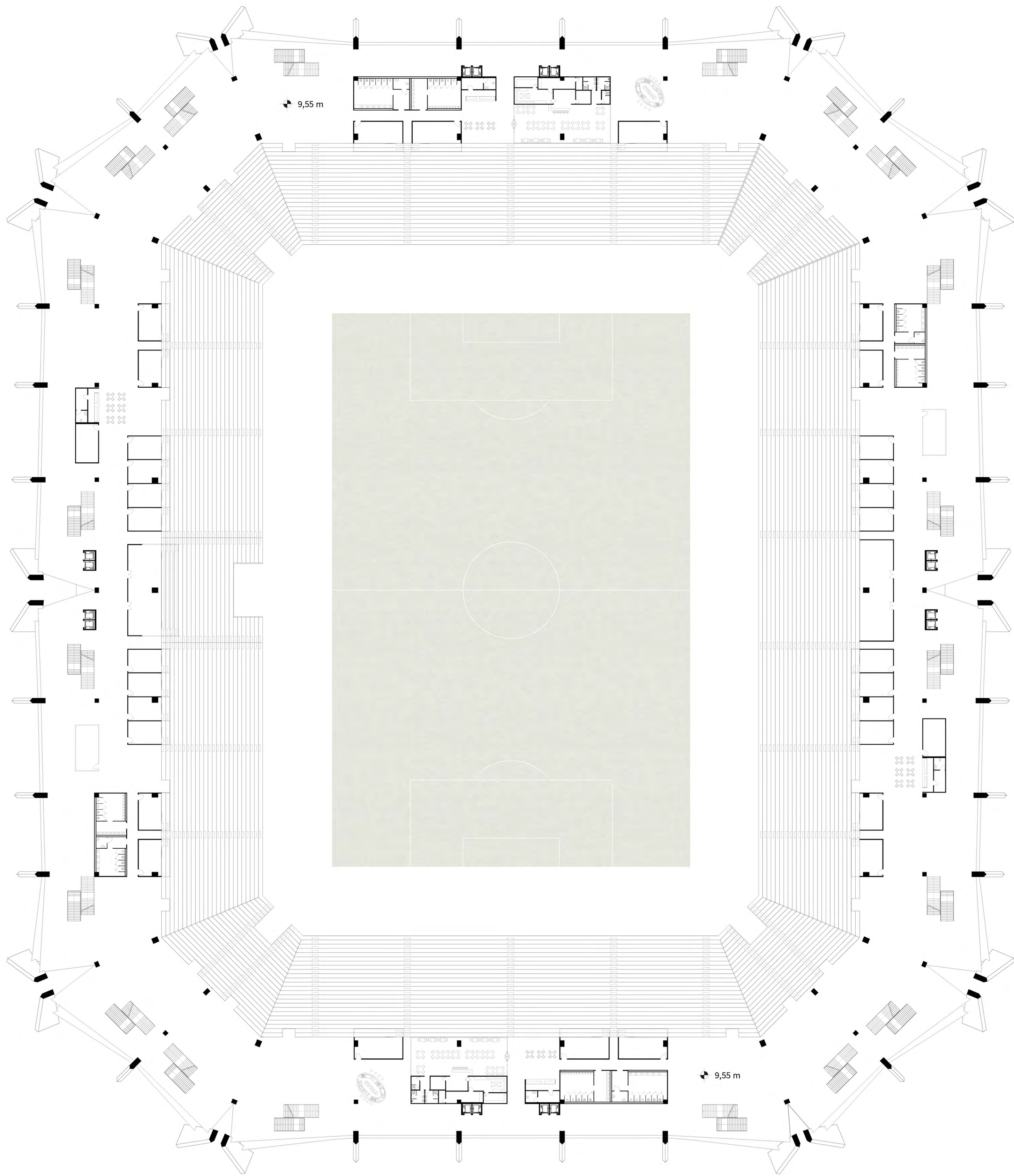


prospetto longitudinale



sezione longitudinale B-B

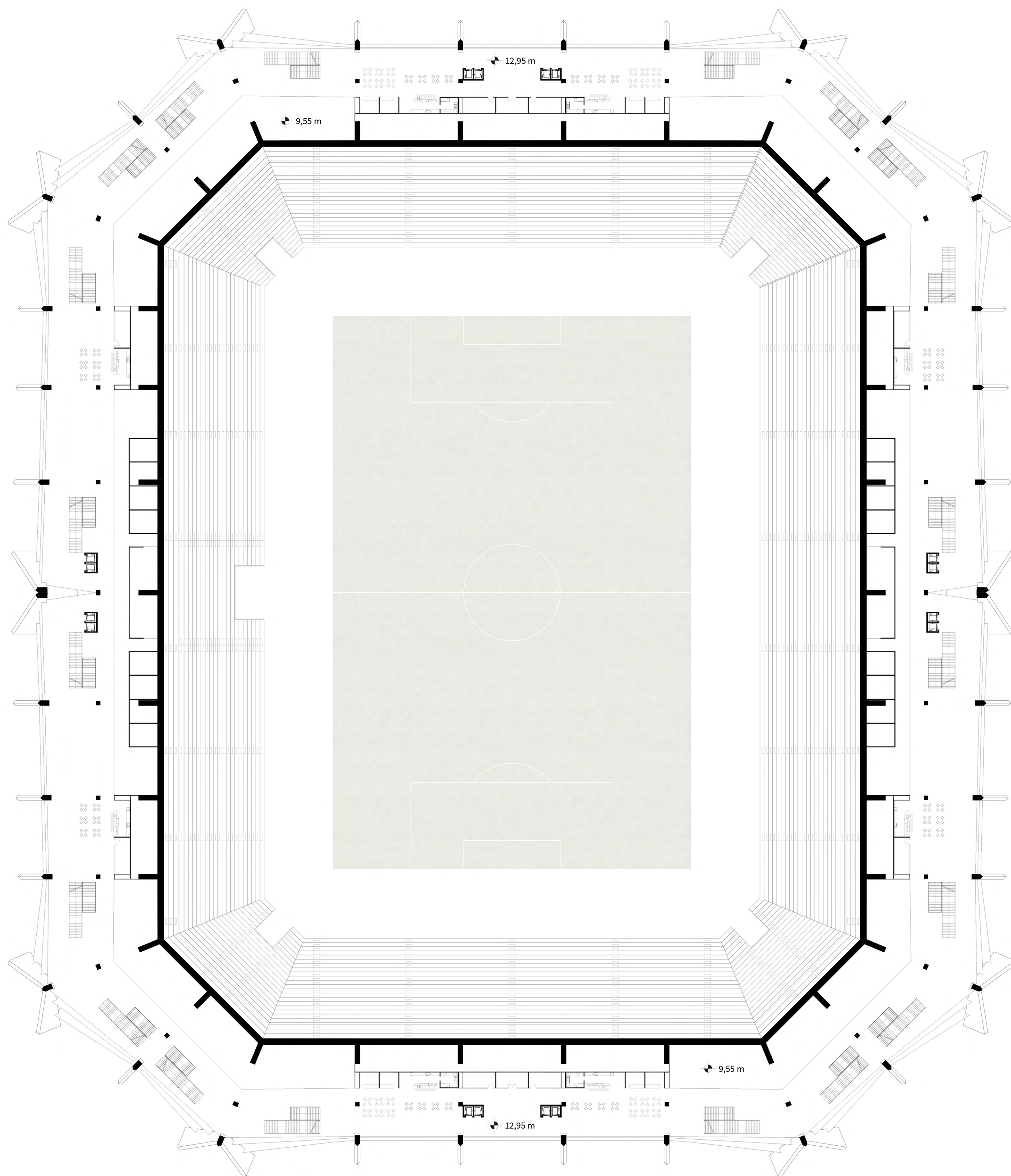
pianta quota 9,55 m



scala 1:500



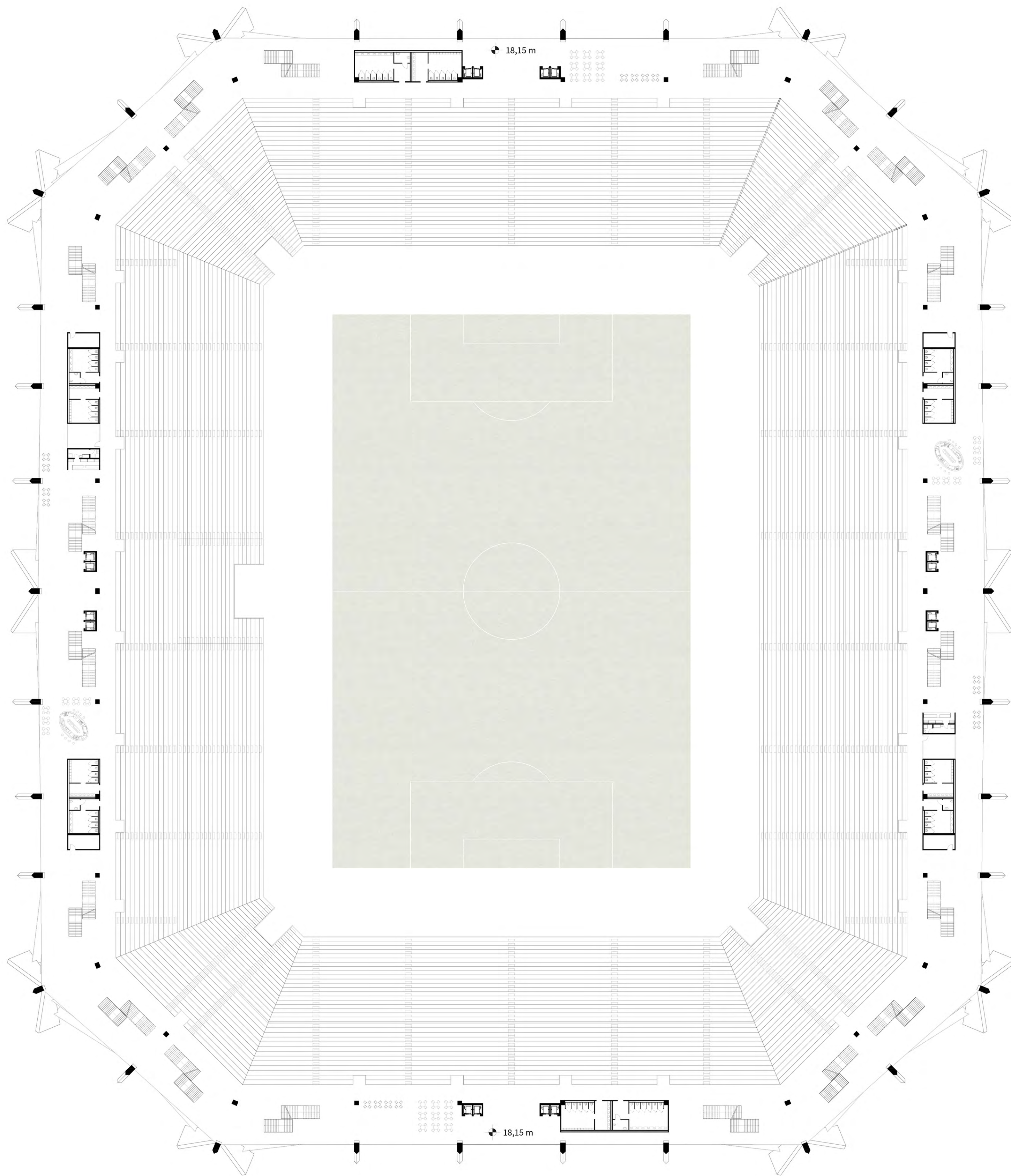
pianta quota 12,95 m



scala 1:500



pianta quota 18,15 m

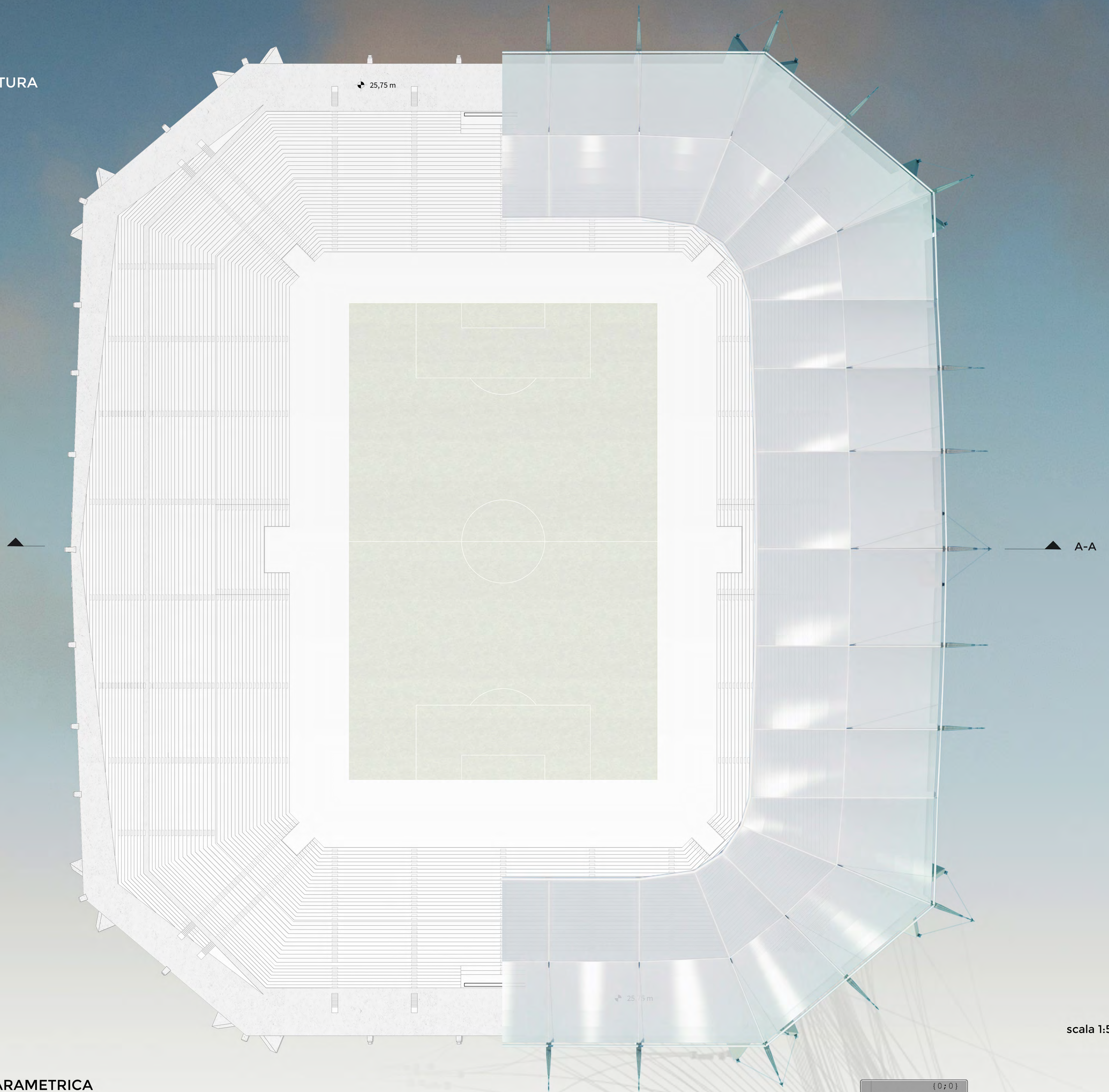


scala 1:500



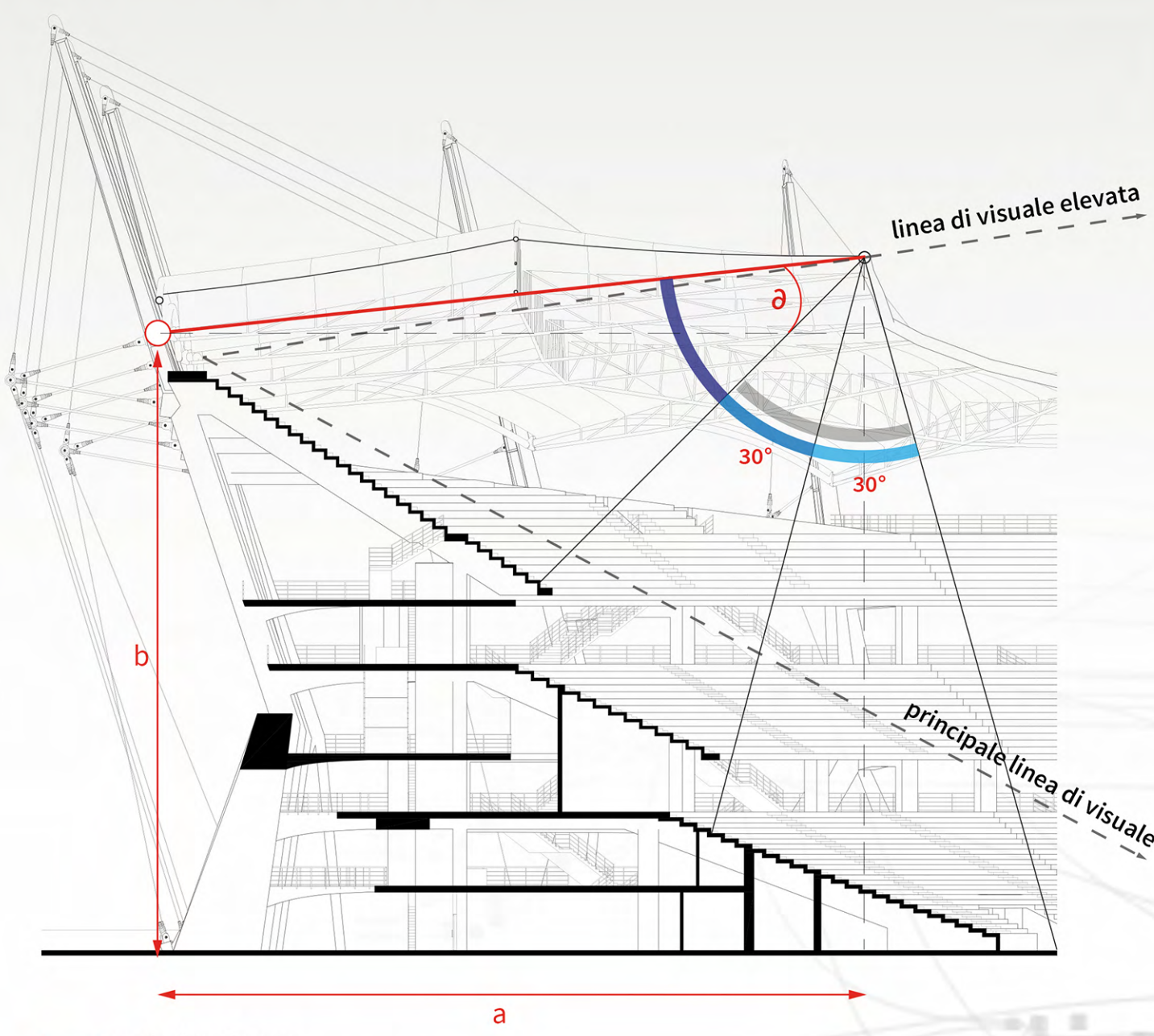


CAVEA | COPERTURA

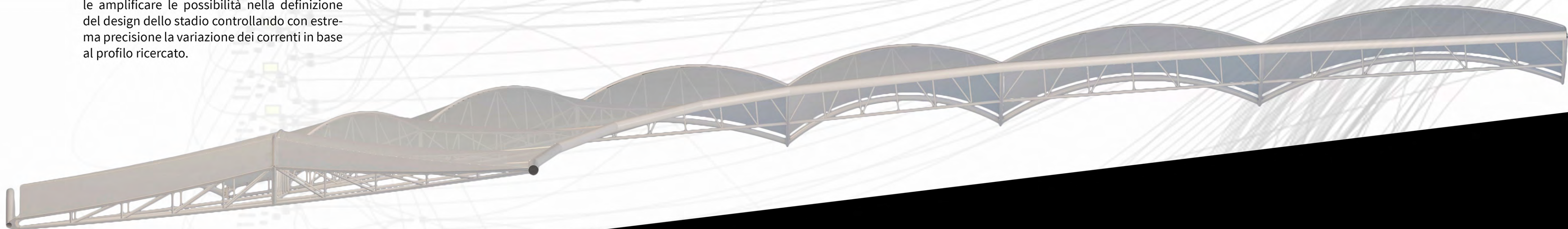
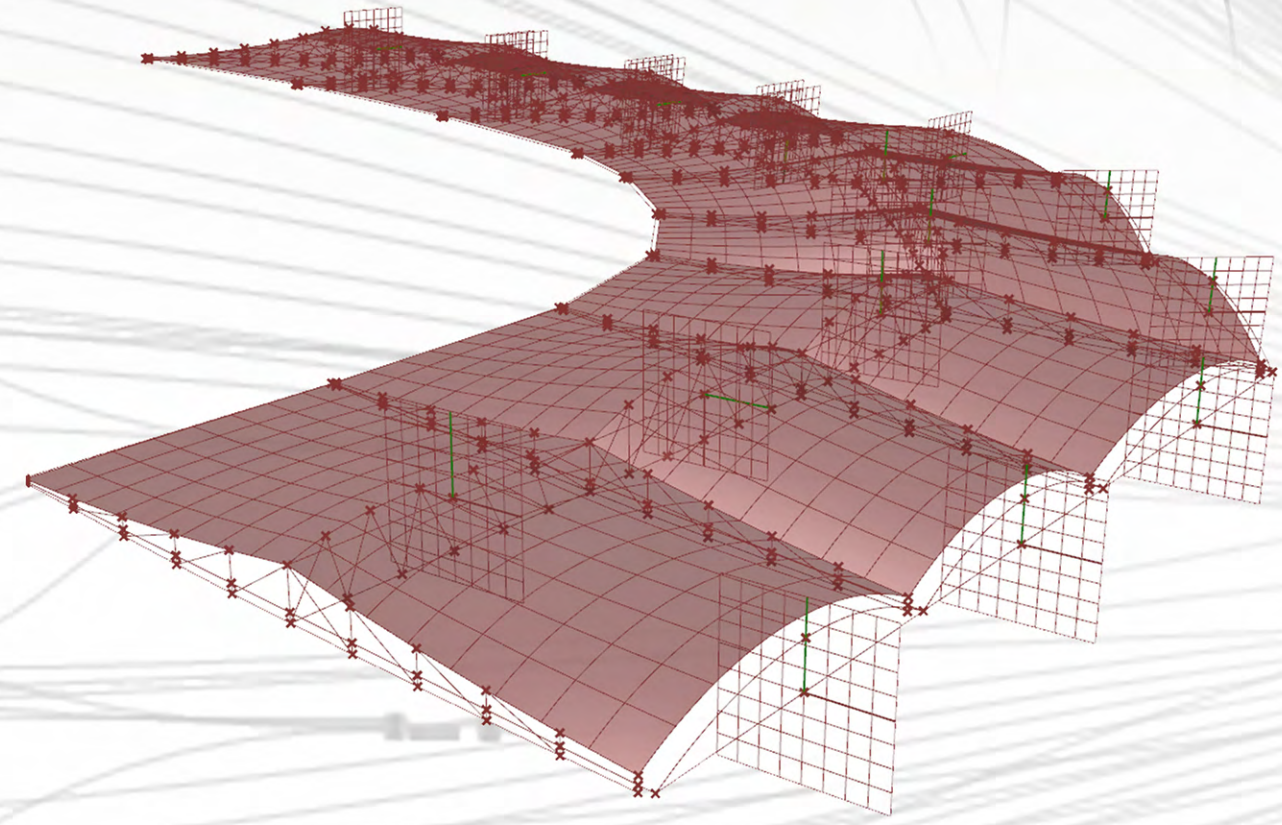
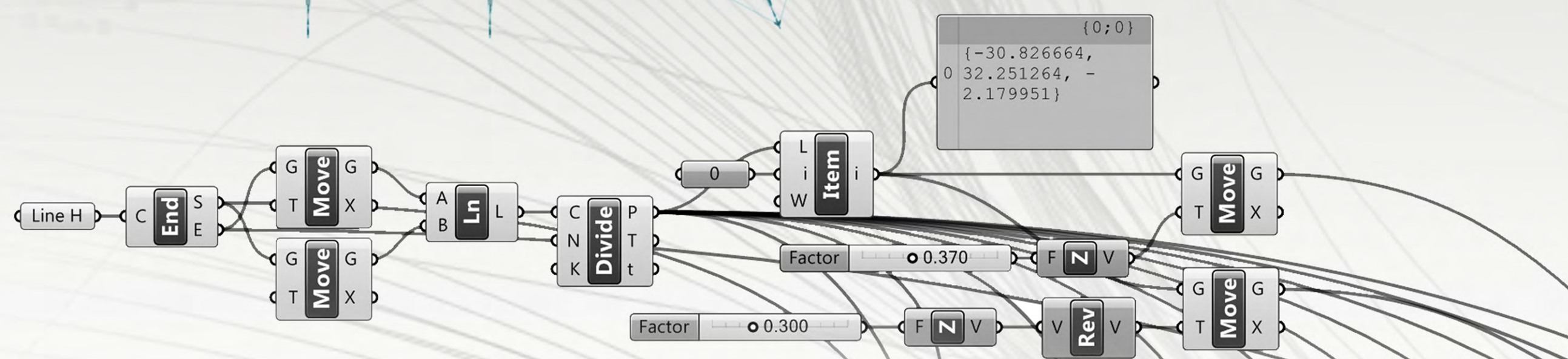


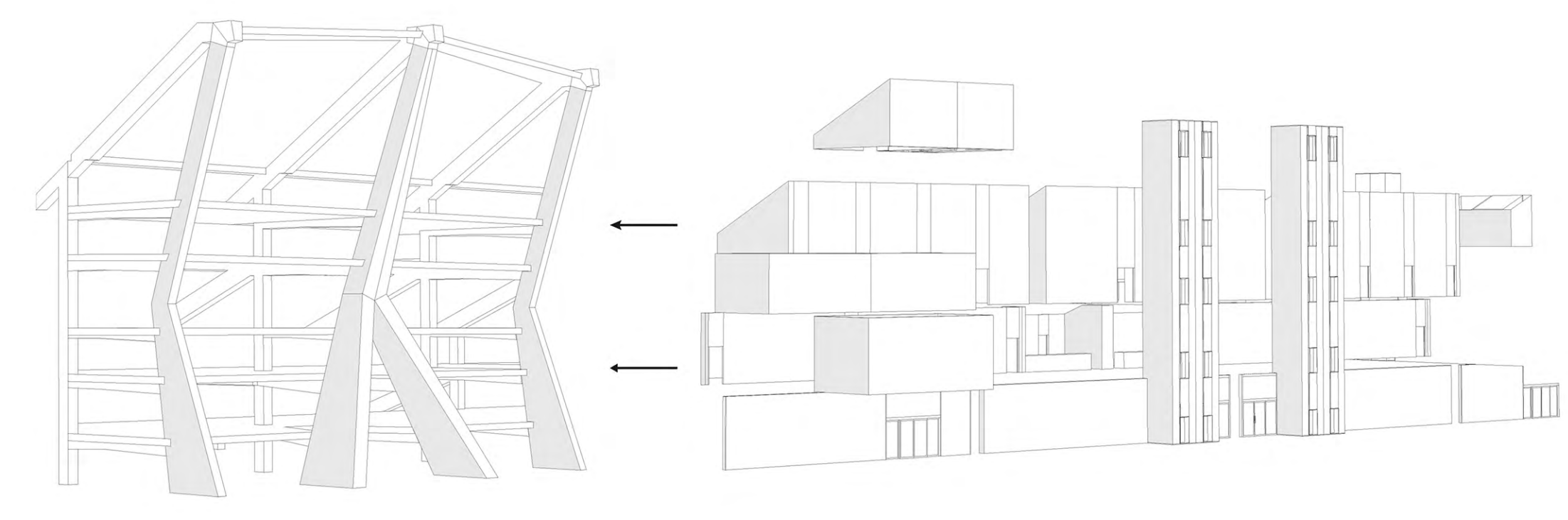
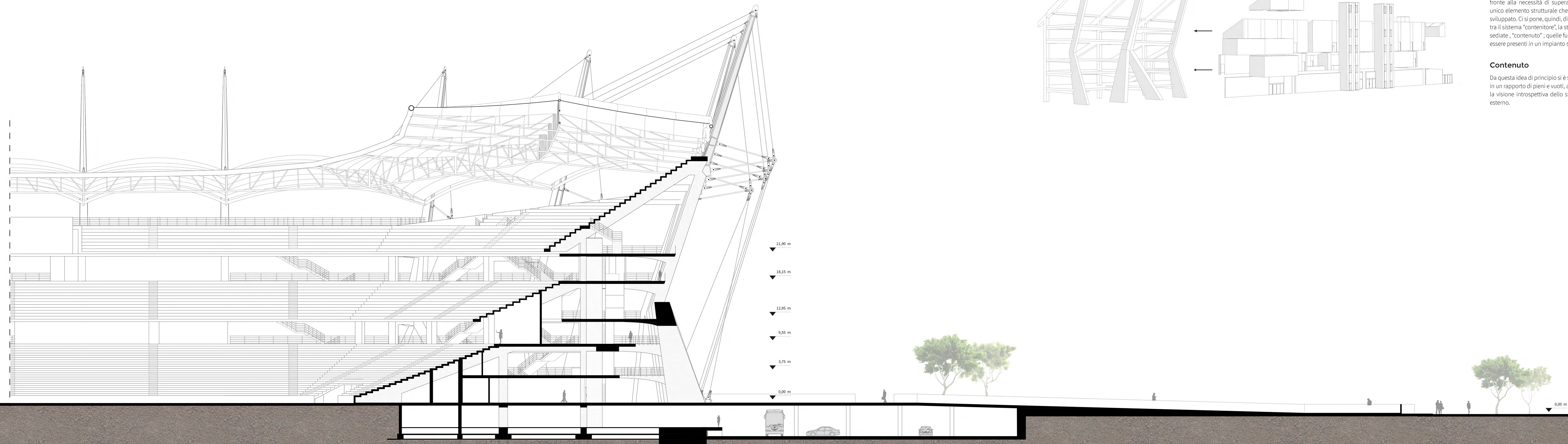
scala 1:500

COPERTURA PARAMETRICA



L'utilizzo del plug-in Grasshopper ha permesso di studiare in maniera parametrica la geometria della copertura; è stato dunque possibile amplificare le possibilità nella definizione del design dello stadio controllando con estrema precisione la variazione dei correnti in base al profilo ricercato.

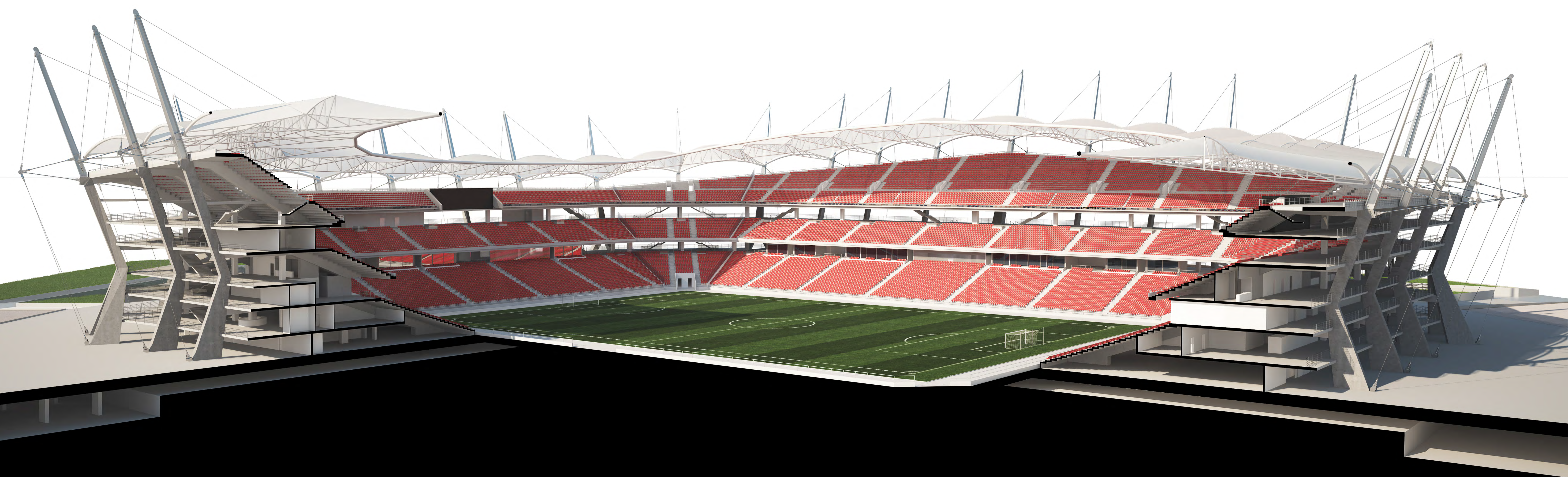


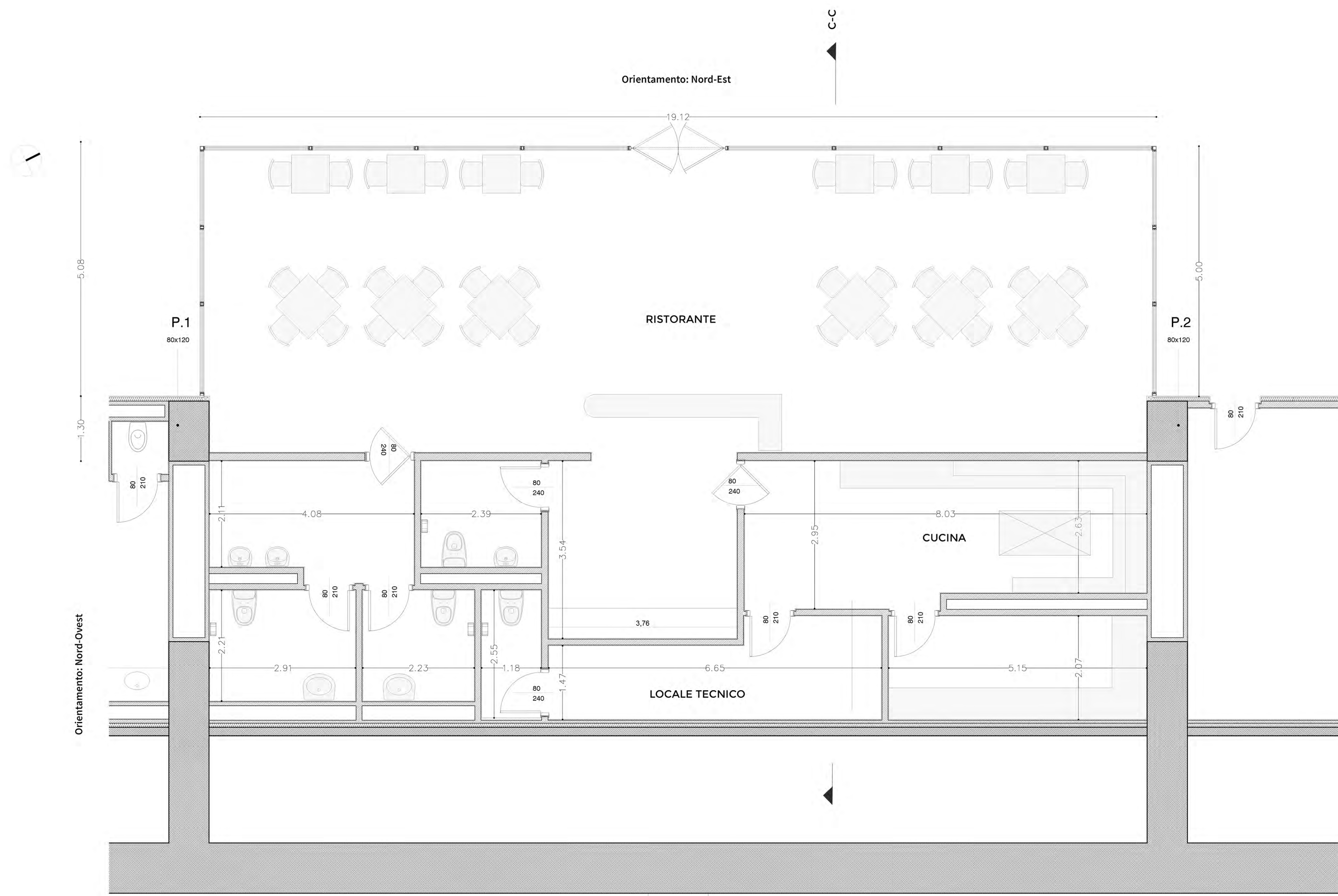


**Contenitore**  
 Se da un lato lo stadio mostra una chiarezza espressiva data dalla sua struttura a vista, priva di involucro, dall'altro ci si è posti di fronte alla necessità di superare quella "visione" di stadio come unico elemento strutturale che Nervi in primis aveva ampiamente sviluppato. Ci si pone, quindi, di fronte ad una dialettica di confronto tra il sistema "contenitore", la struttura, e l'insieme delle funzioni insediate, "contenuto", quelle funzioni che necessariamente devono essere presenti in un impianto sportivo moderno.

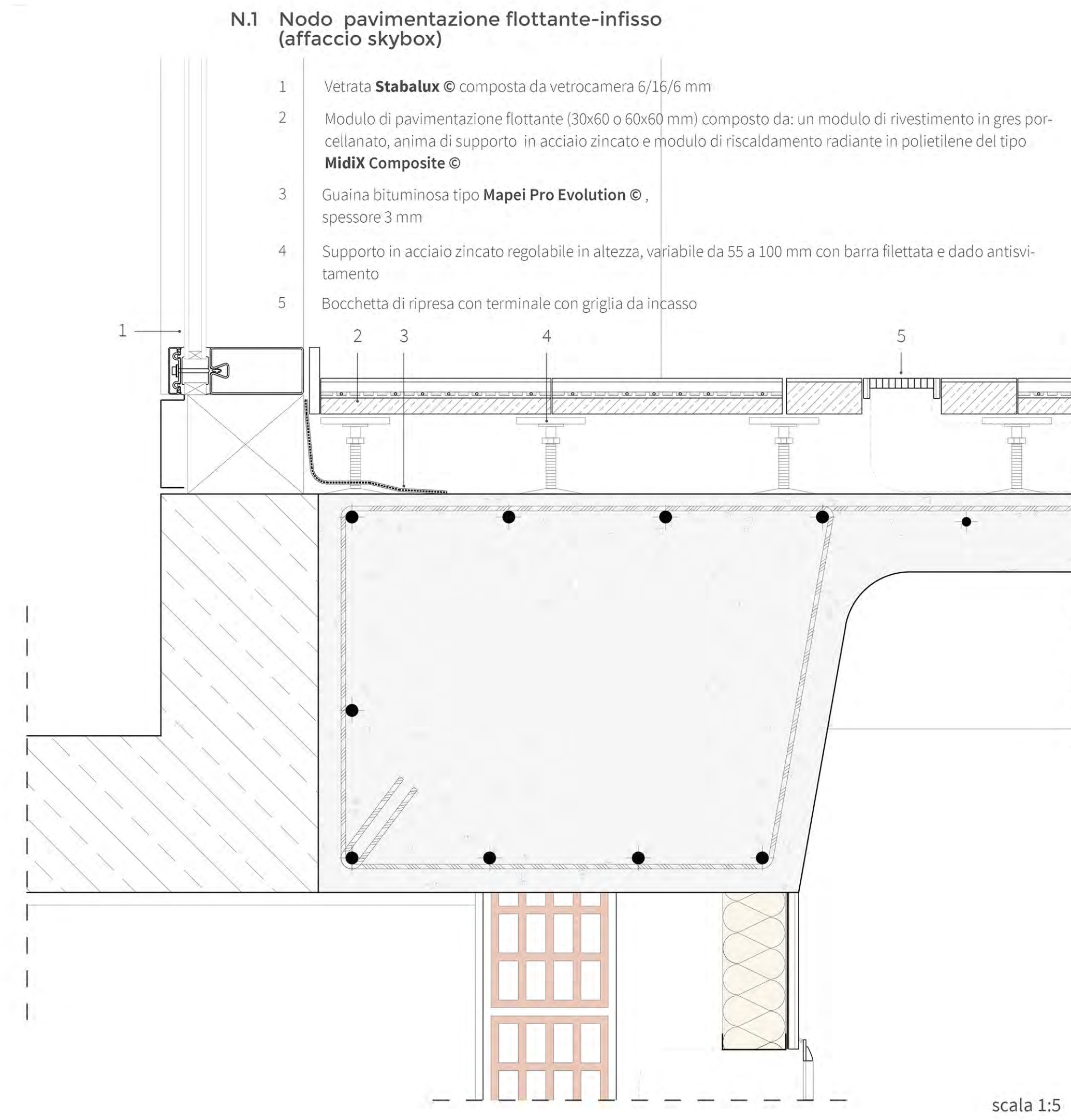
**Contenuto**  
 Da questa idea di principio si è scelto di diversificare i volumi interni in un rapporto di pieni e vuoti, affacci interni ed esterni, relazioni tra la visione introspettiva dello stadio e quella paesaggistica al suo esterno.

sezione A-A scala 1:200

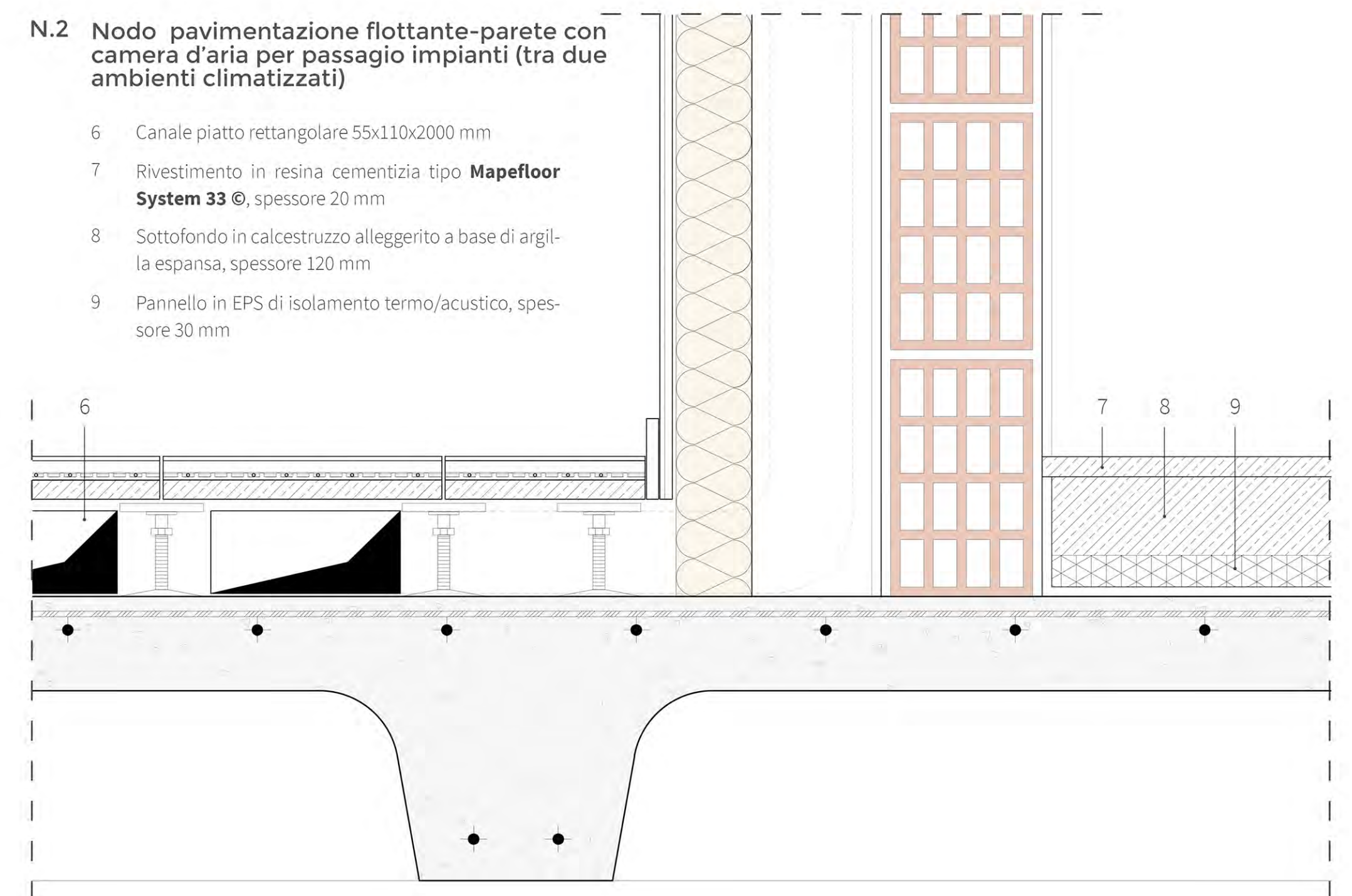




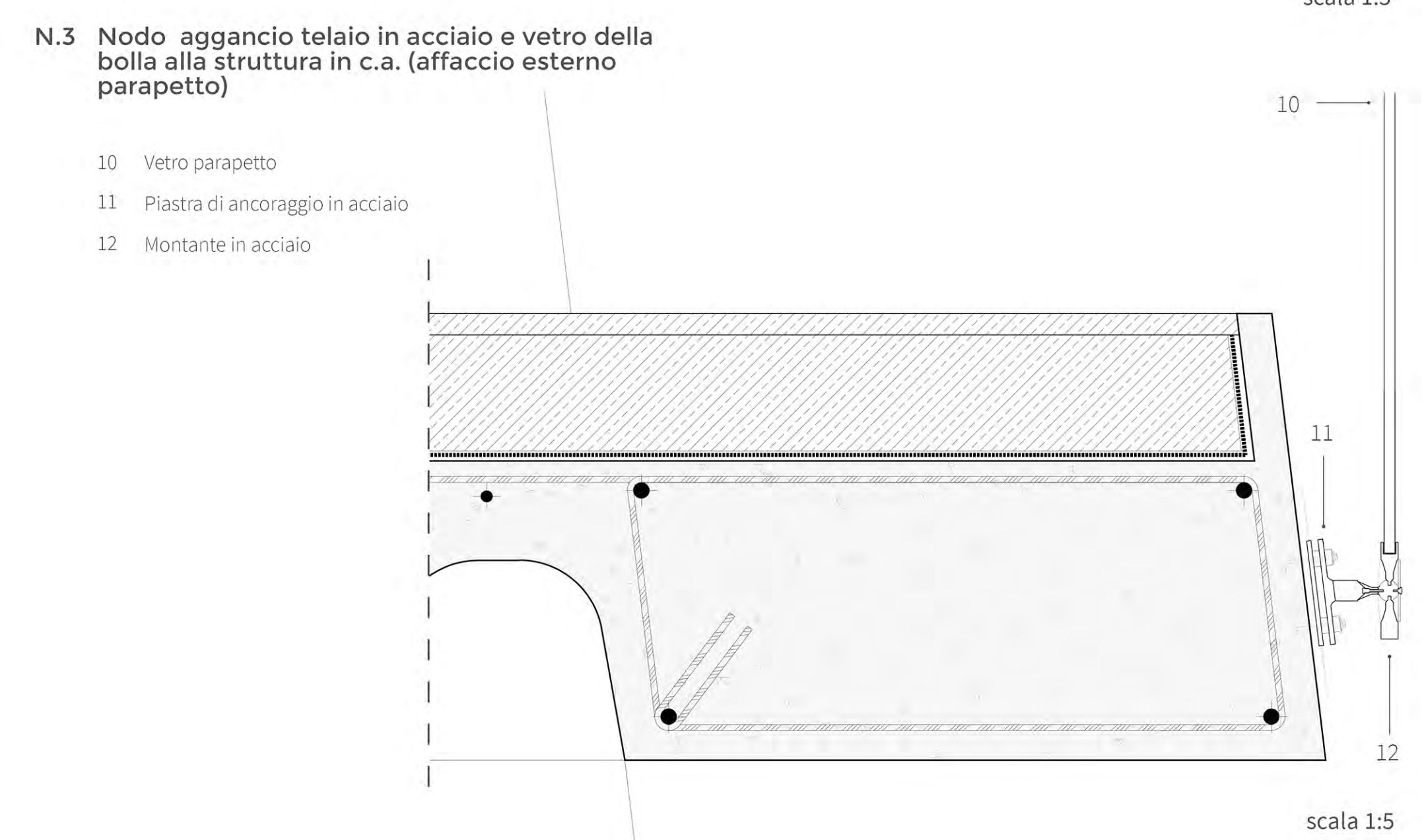
Ristorante PIANO Q. 5,75 m



scala 1:5

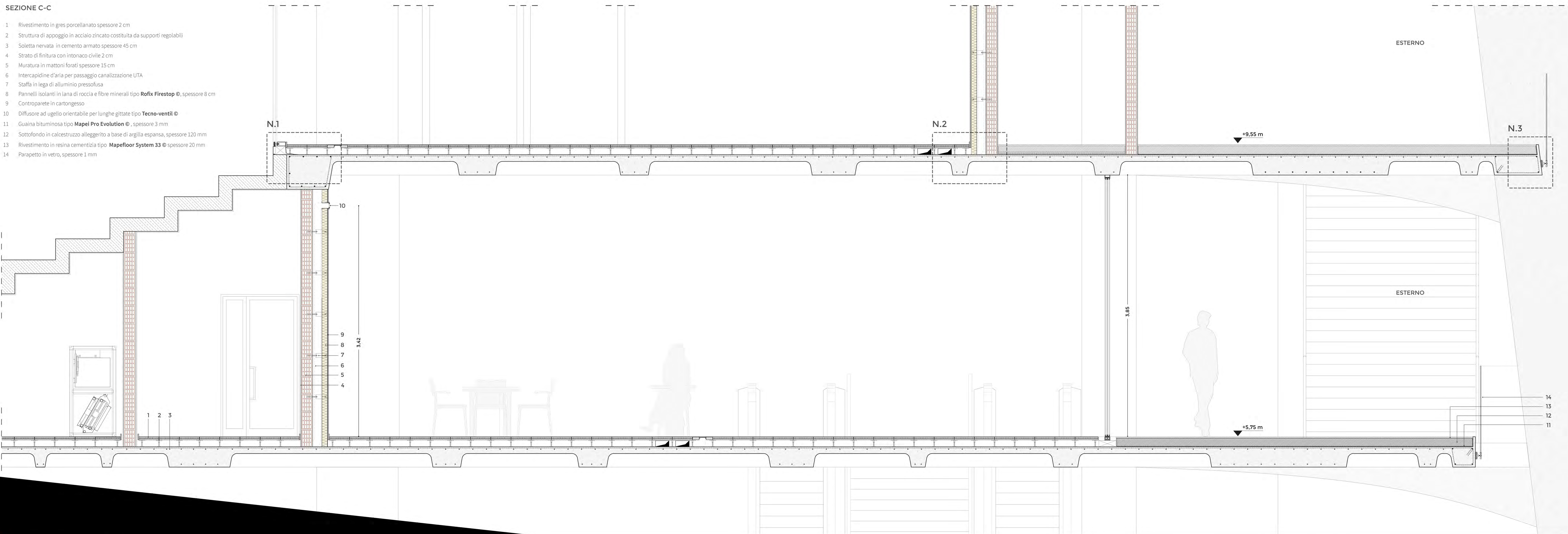


scala 1:5



scala 1:5

- SEZIONE C-C**
- Rivestimento in gres porcellanato spessore 2 cm
  - Struttura di appoggio in acciaio zincato costituita da supporti regolabili
  - Soletta nervata in cemento armato spessore 45 cm
  - Strato di finitura con intonaco civile 2 cm
  - Muratura in mattoni forati spessore 15 cm
  - Intercapadine d'aria per passaggio canalizzazione UTA
  - Staffa in lega di alluminio pressofusa
  - Pannelli isolanti in lana di roccia e fibre minerali tipo **Rofix Firestop** ®, spessore 8 cm
  - Controparete in cartongesso
  - Diffusore ad ugello orientabile per lunghe gittate tipo **Tecno-ventil** ®
  - Guaina bituminosa tipo **Mapei Pro Evolution** ®, spessore 3 mm
  - Sottofondo in calcestruzzo alleggerito a base di argilla espansa, spessore 120 mm
  - Rivestimento in resina cementizia tipo **Mapefloor System 33** ® spessore 20 mm
  - Parapetto in vetro, spessore 1 mm



# EVACUAZIONE ACQUE METEORICHE

## CONDIZIONI DI PROGETTO

Per il calcolo del sistema di evacuazione delle acque meteoriche si è fatto riferimento alla UNI EN 12056-03 2001. Per affrontare il calcolo del dimensionamento delle canaline e dei pluviali è necessario dedurre la portata di scorrimento.

$$Q = A \cdot I \cdot C$$

Dove Q è la portata d'acqua in l/s, I è l'intensità di precipitazione, in l/s per metro quadro, mentre A è l'area effettiva della copertura calcolata in m². La velocità di scorrimento del singolo canale Q<sub>G</sub> corrisponde alla capacità totale diviso 4, ossia il numero di canaline che si ripartiscono per l'area della copertura.

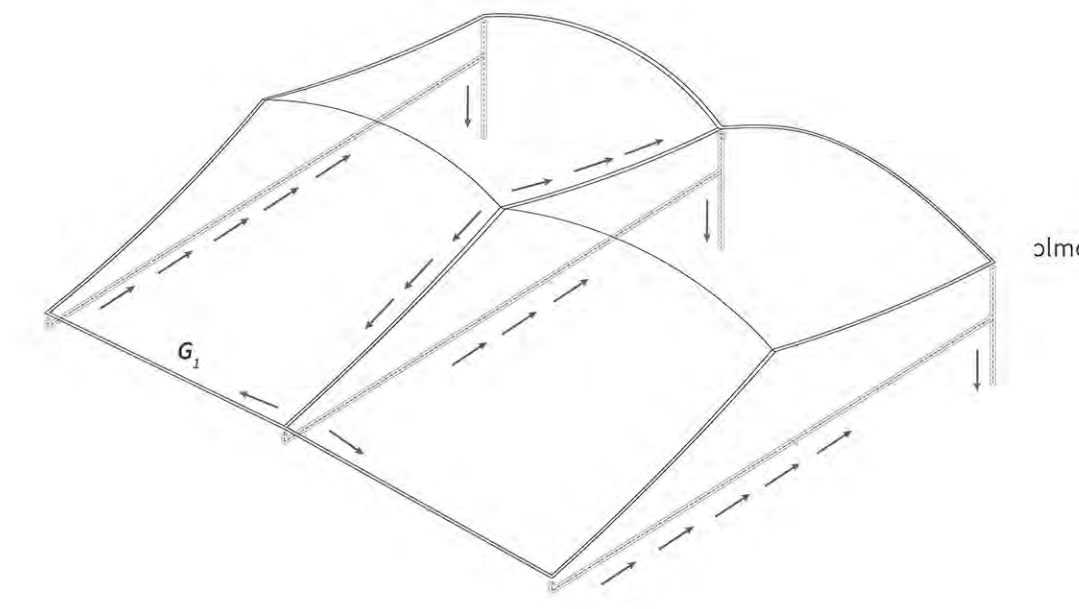
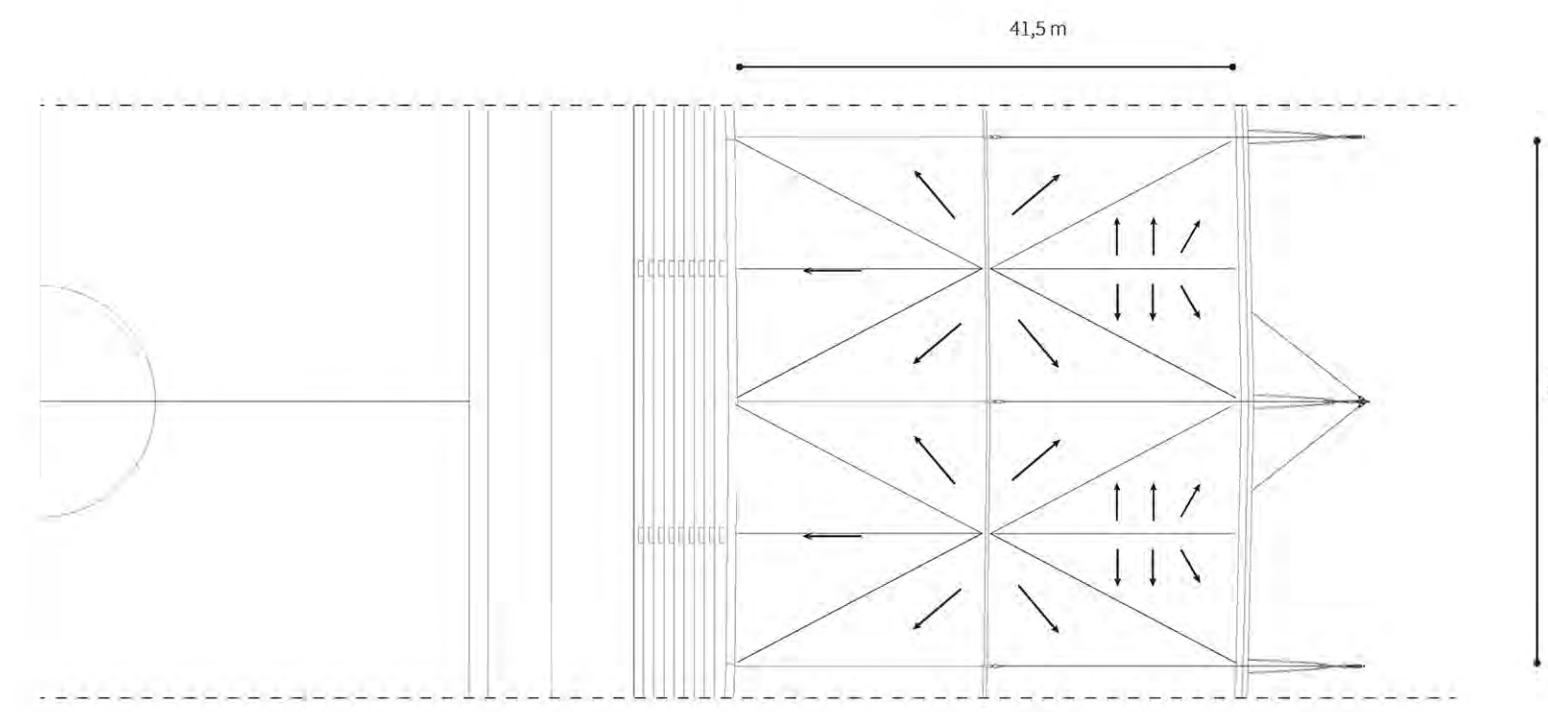
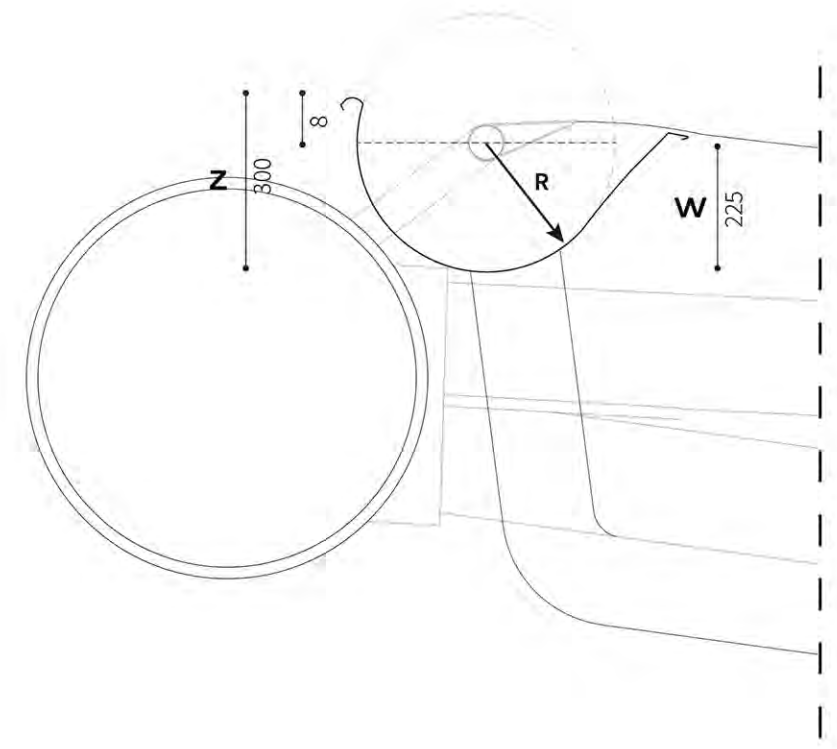
$$Q_G = 0,9 \cdot Q_N \cdot FL$$

## SEZIONE DELLA CANALINA

Il calcolo della capacità di progetto del canale di gronda tiene conto della sezione trasversale e della forma del canale. Nel nostro caso, infatti la canalina è assimilabile come semicircolare o "di forma simile". Quindi la capacità del canale è:

## DETTAGLIO CANALINA

Il valore di capacità di un canale di gronda semicircolare o di forma simile Q<sub>N</sub>=0,9 x Q<sub>G</sub> x F<sub>v</sub>. Dove F<sub>v</sub> è il coefficiente di capacità che dipende dal coefficiente di altezza F<sub>a</sub> e di forma F<sub>r</sub>. Nel caso specifico tali coefficienti sono pari rispettivamente a 0,85 e 0,99. Ricavati dal prospetto 6, 5.2.8 UNI EN 12056 2001.



Si assume, in generale, che vi siano quattro canaline di scolo G<sub>1</sub> e due pluviali D<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> di cui il primo è quello in cui confluisce il totale della portata d'acqua. Le canaline G<sub>1</sub> e G<sub>2</sub> hanno una pendenza di 4mm/m, mentre G<sub>3</sub> e G<sub>4</sub> rientrano in un caso particolare di cui si trascurano gli effetti. Semplificando il problema si assume che la portata d'acqua venga divisa per quattro.

## DATI INPUT

DATI	U.M.	valore
Superficie della copertura	m <sup>2</sup>	861
Coefficiente di scorrimento	-	1
Altezza pluviometrica W	mm	225
Coefficiente di rischio Cr	-	1,5
Pendenza del canale di gronda	mm/m	40
Intensità di precipitazione	(l/s*m <sup>2</sup> )*Cr	0,06
Portata d'acqua della Copertura l/s		<b>77,49</b>

Q <sub>G</sub>	scorrimento singolo canale di gronda	38,75
A <sub>w</sub>	Area della sezione Canale di Gronda (mm <sup>2</sup> )	78.422

## VERIFICA RAGGIO MINIMO

$$Q_N = (2,78 \cdot 10^{-5} \cdot A_w^{1,25})$$

$$A_w = \left( \frac{Q_G}{0,9 \cdot 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot 1,37} \right)^{1,25}$$

Verifica di R (minimo)	
R = √(2A <sub>w</sub> /π)	223,44 mm

W (mm)	225
R (mm)	225

## RISULTATO DIMENSIONAMENTO

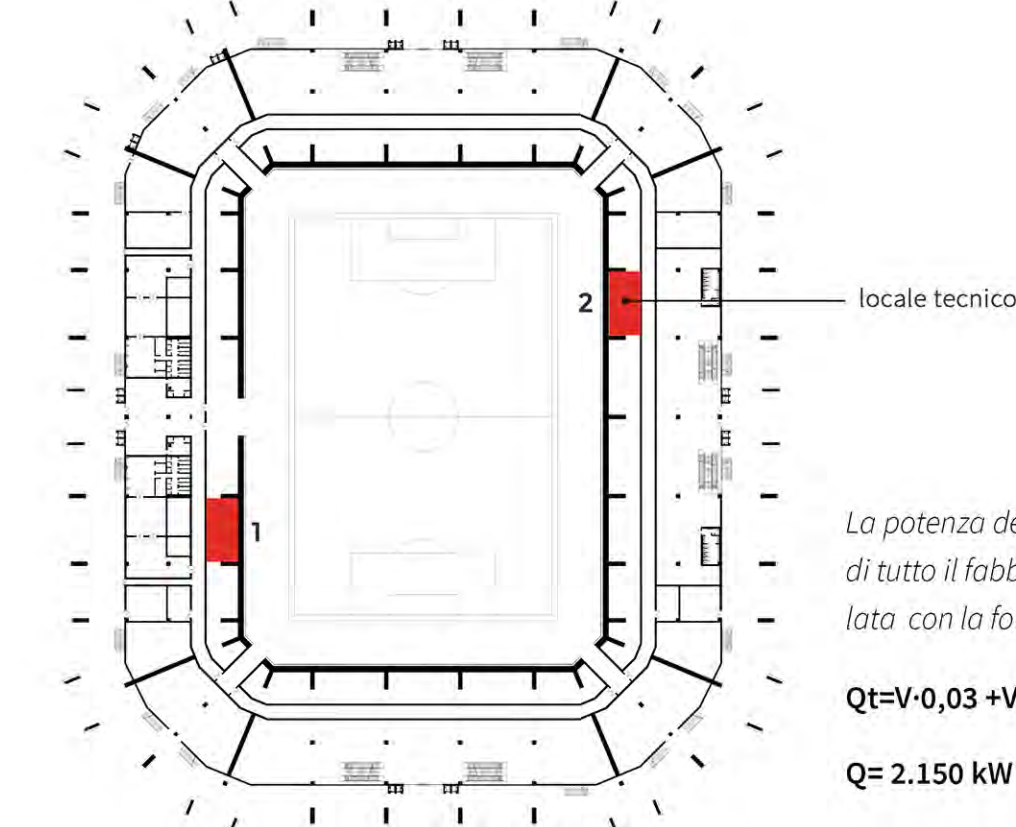
DATI	U.M.	valore
Superficie della copertura (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup>	861
Coefficiente di scorrimento C	-	1
Coefficiente di rischio Cr	-	1,5
Intensità di precipitazione	(l/s*m <sup>2</sup> )*Cr	0,06
Portata d'acqua della Copertura l/s		<b>77,49</b>

Q <sub>G1</sub>	scorrimento singolo pluviale verticale	77,49	[l/s]
f	Grado di riempimento 33%	Di	220 [mm]

# CONDIZIONI GENERALI DI PROGETTO

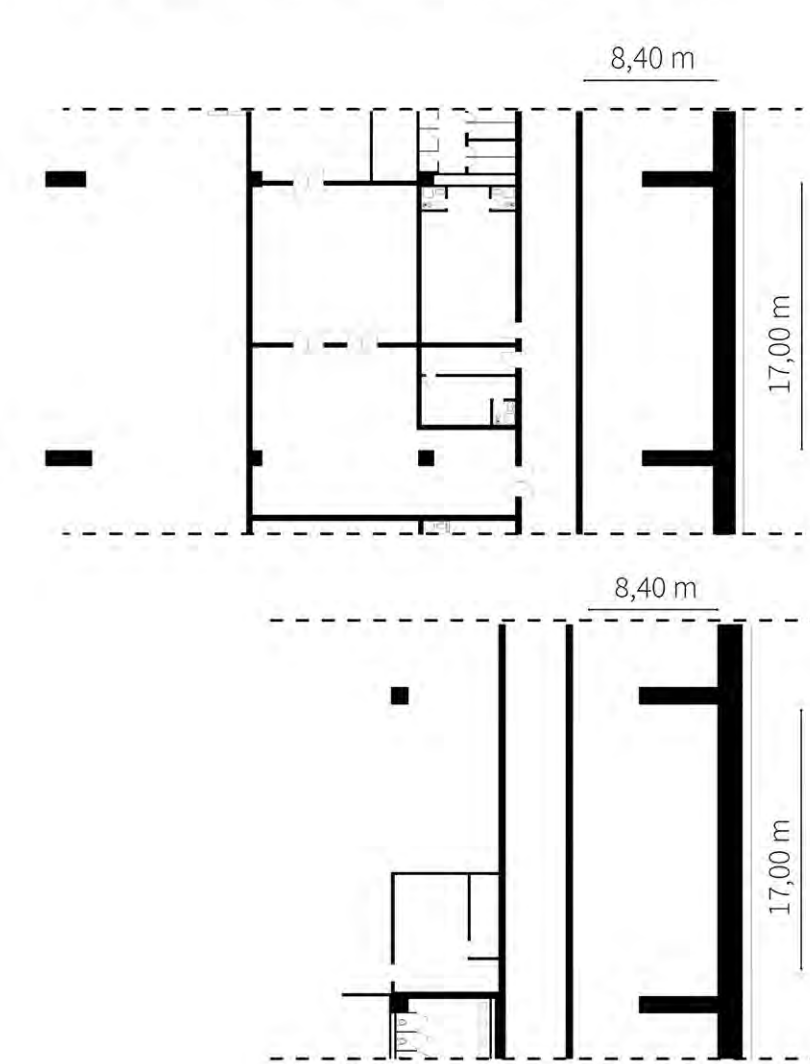
## LOCALIZZAZIONE CENTRALI

Per la localizzazione dei locali tecnici destinati alla centrale termica e frigorifera si fa riferimento al D.M. 12 Aprile 1996. L'altezza minima del locale è pari a 2,90 m per centrali con potenza superiore a 580 kW.



La potenza della centrale termica di tutto il fabbricato è stata calcolata con la formula:  
Q<sub>t</sub>=V·0,03 + V·1,2·25·1,005/3600  
Q<sub>t</sub>=2.150 kW

## LOCALIZZAZIONE CENTRALI



## FUNZIONI PRESENTI NEL FABBRICATO

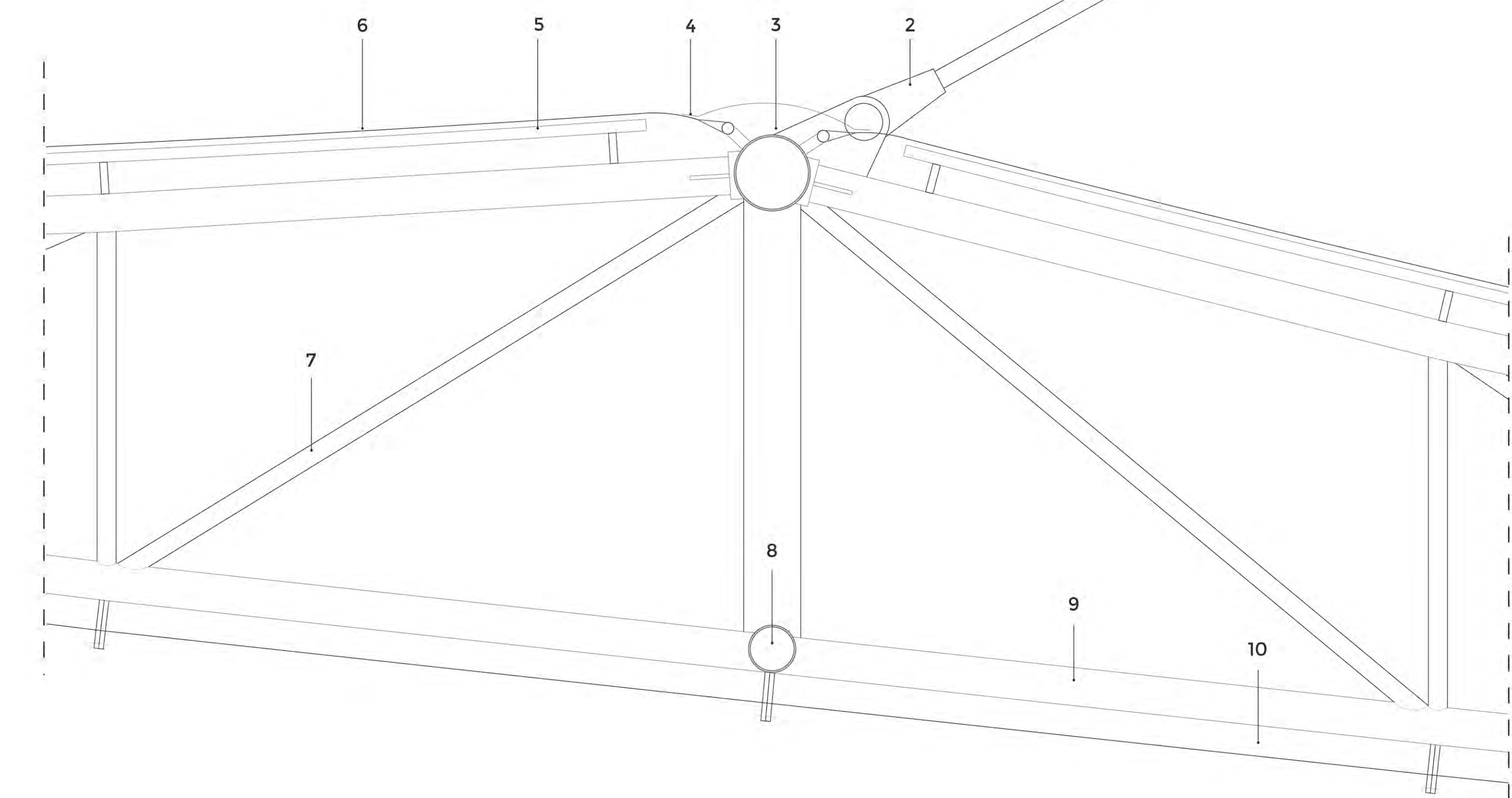
AMBIENTI LIVELLO 0,00		AMBIENTI LIVELLO 3,75		AMBIENTI LIVELLO 8,05		AMBIENTI LIVELLO 16,65	
Bagni	681 mq	Bagni	681 mq	Bagni	684 mq	Bagni	582 mq
Servizi	44 mq	Servizi	44 mq	Servizi	44 mq	Servizi	20 mq
Ristoranti	300 mq	Ristoranti	222 mq	Ristoranti	260 mq	Cucine	19 mq
Cucine	102,4 mq	Cucine	138 mq	Cucine	130 mq	Negozi	46 mq
Negozi	300 mq	Negozi	324 mq	Negozi	72 mq	Infermerie	64 mq
Infermerie	436 mq	Infermerie	52 mq	Infermerie	58 mq		
Palestra	508 mq	Museo	1000 mq	Studi TV	109 mq		
Sala conferenza	208 mq			Sala controllo	119 mq		
Uffici delegati	102 mq			Skybox	448 mq		
Uffici stampa	155 mq						
Spogliatoi	278 mq						

Partendo dal presupposto che le centrali termo-frigorifere saranno due, si è scelta da catalogo **Ariston** in base alla portata termica totale, la caldaia **HP (A) Genius Premium Evo HP 150 kW**, ovvero una configurazione in cascata di otto caldaie, per una portata termica totale di 1120 kW; per la produzione di potenza frigorifera si è scelta dal catalogo **Frost Italy S.p.A.** di utilizzare due unità pompe di calore condensate **Thor 1000**. Si assume che la potenza della centrale frigorifera di tutto il fabbricato è pari a quella della centrale termica.



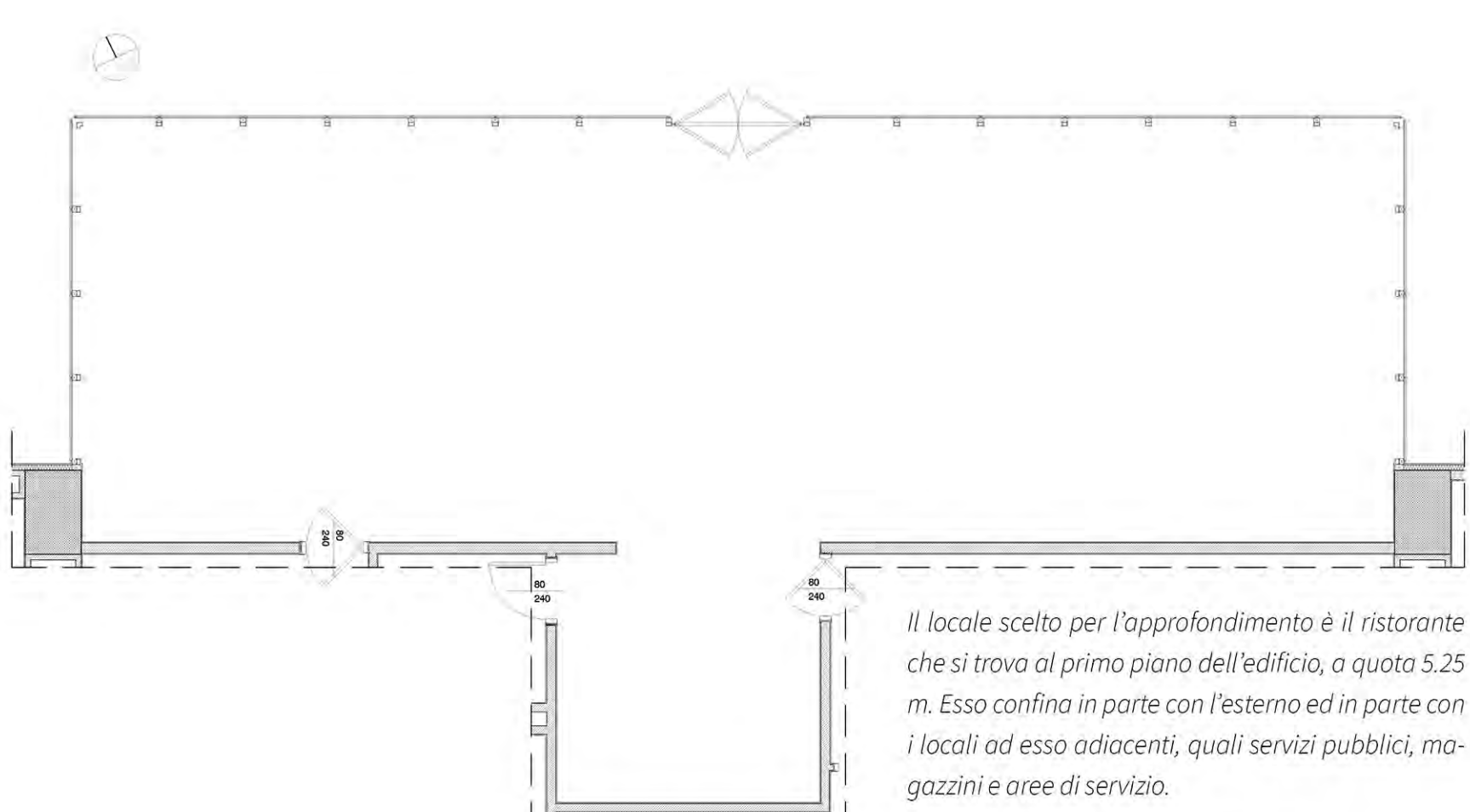
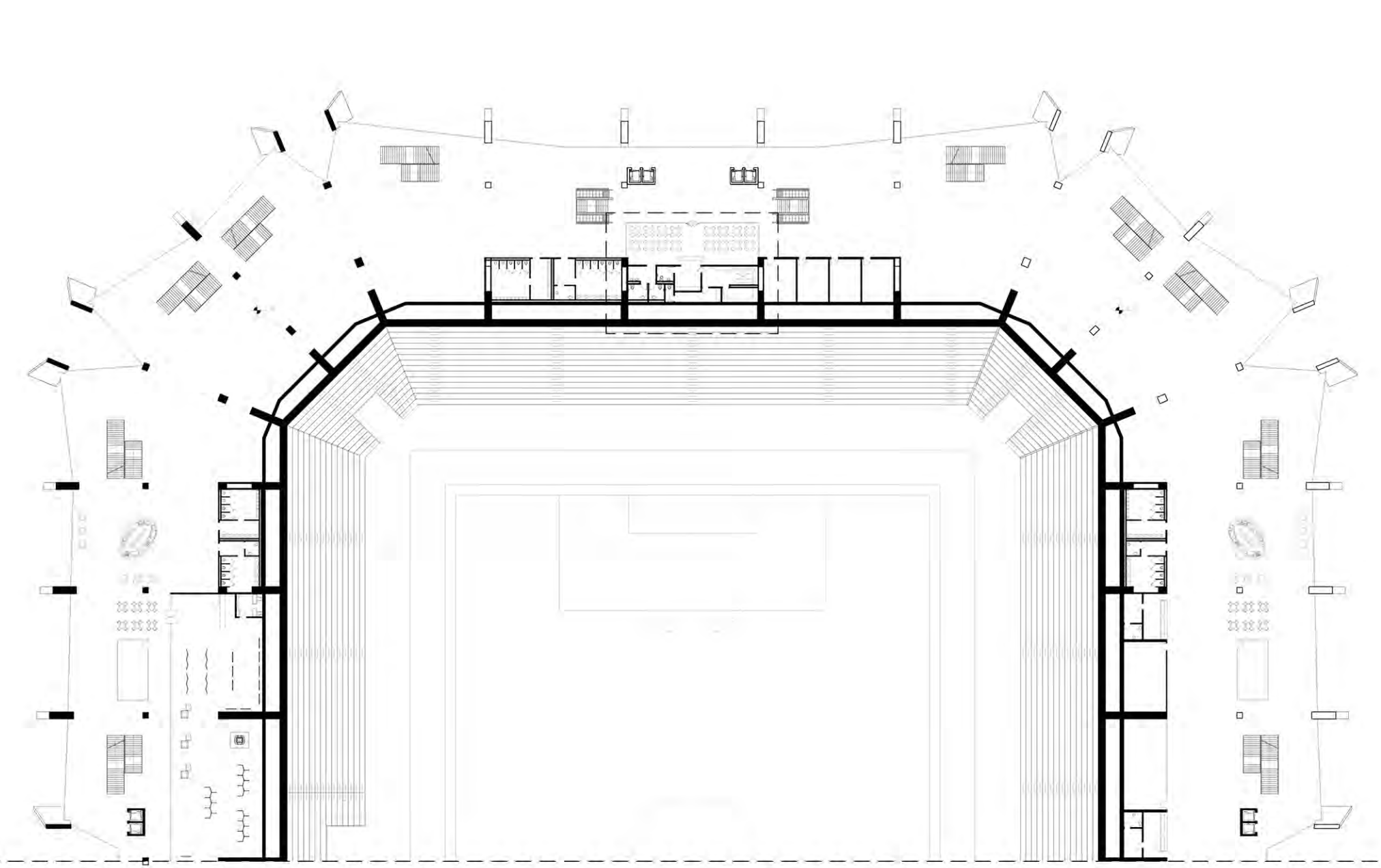
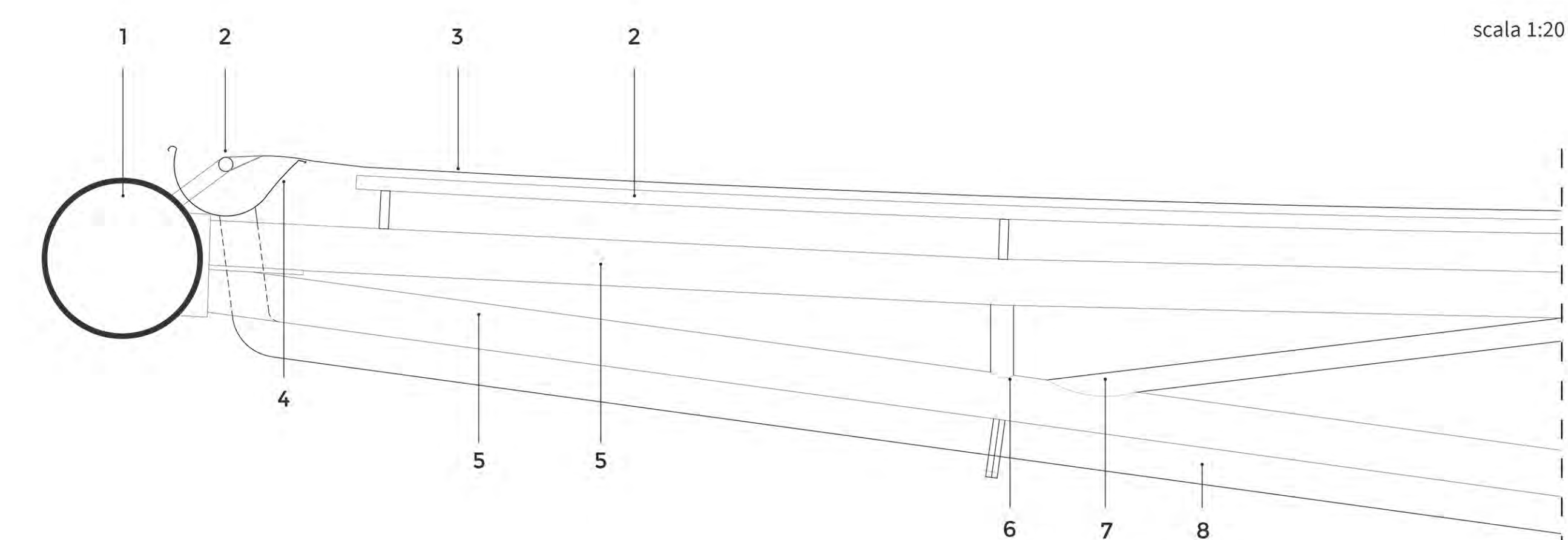
## Nodo copertura colmo

- Fune spirale di tipo "compact strand" V5-3 Φ 130 mm
- Capocorda fune spirale di tipo a forcella aperta
- Tubolare di acciaio Φ 400 mm
- Supporto per l'aggancio della membrana
- Supporto per la membrana Φ 60 mm
- Membrana spessore 1 mm in PTFE
- Tubolare diagonale del corrente trasversale Φ 101,60 mm
- Tubolare di acciaio Φ 250 mm
- Tubolare inferiore del corrente trasversale Φ 219,10 mm
- Pluviale di scolo inferiore



## Nodo copertura anello cerchiate

- Tubolare portante anello cerchiante Φ 700 mm
- Supporto per aggancio membrana
- Membrana in PTFE 1 mm
- Canalina di gronda perimetrale a sezione circolare R= 225 mm
- Tubolare strutturale Φ 219,10 mm
- Tubolare strutturale Φ 193,7 mm
- Tubolare diagonale di irrigidimento corrente trasversale Φ 193,7 mm
- Pluviale di scolo inferiore

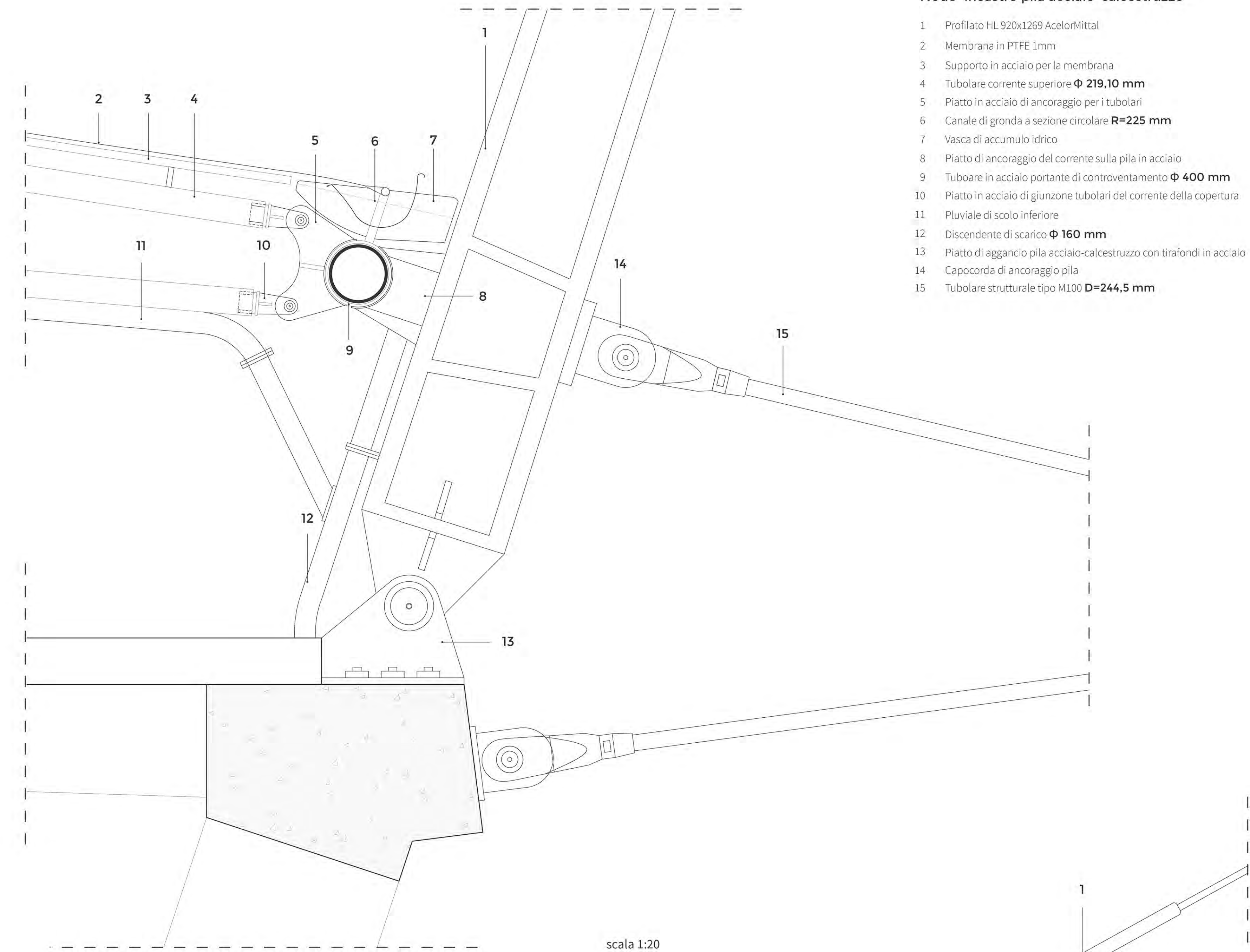


Il locale scelto per l'approfondimento è il ristorante che si trova al primo piano dell'edificio, a quota 5,25 m. Esso confina in parte con l'esterno ed in parte con i locali ad esso adiacenti, quali servizi pubblici, magazzini e aree di servizio.

Ai fini del dimensionamento e della scelta dei terminali in ambiente e delle UTA, si è considerata esclusivamente la climatizzazione della sala da pranzo, con un impianto a tutt'aria; per quanto riguarda l'impianto idrico ci si è concentrati sui servizi pubblici presenti all'interno del locale.

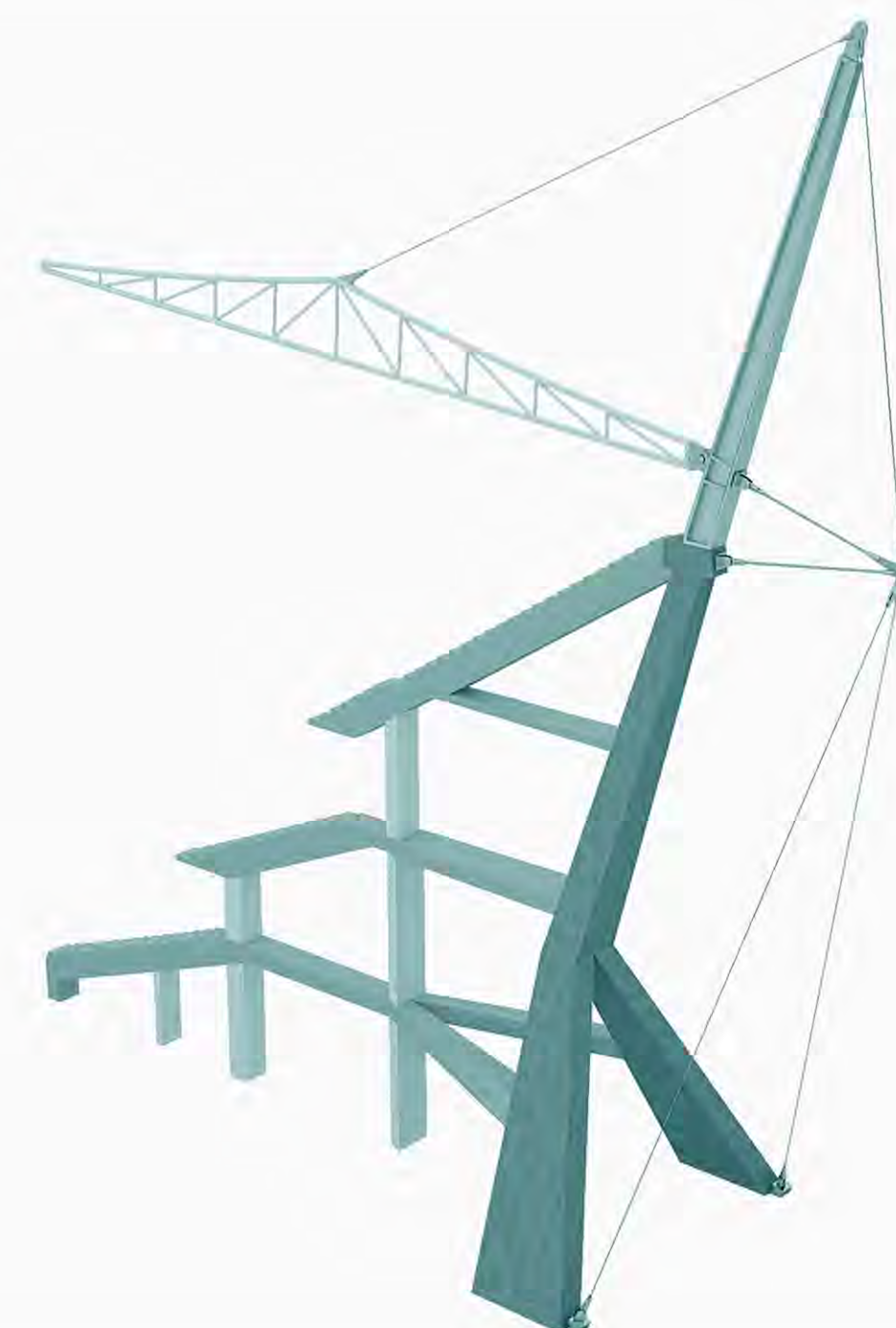
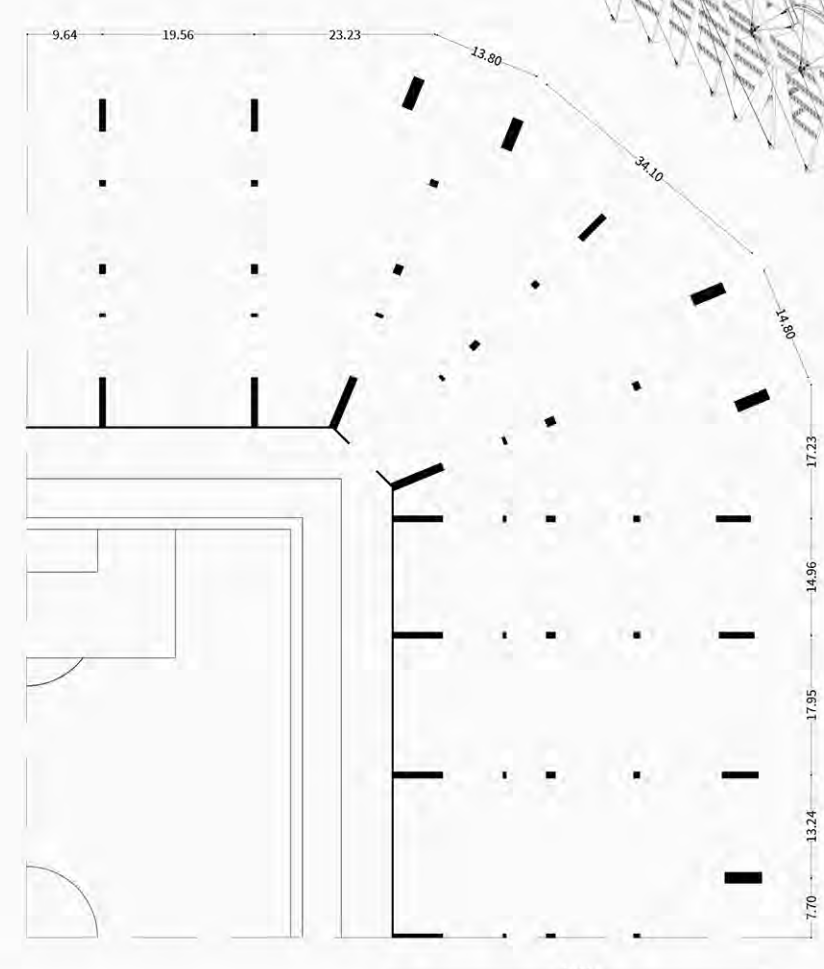
## Nodo Incastro pila acciaio-calcestruzzo

- Profilato HL 920x1269 AccelorMittal
- Membrana in PTFE 1mm
- Supporto in acciaio per la membrana
- Tuboare corrente superiore Φ 219,10 mm
- Piatto in acciaio di ancoraggio per i tubolari
- Canale di gronda a sezione circolare R=225 mm
- Vasca di accumulo idrico
- Piatto di ancoraggio del corrente sulla pila in acciaio
- Tuboare in acciaio portante di controventamento Φ 400 mm
- Piatto in acciaio di giunzione tubolari del corrente della copertura
- Pluviale di scolo inferiore
- Discendente di scolo Φ 160 mm
- Piatto di aggancio pila acciaio-calcestruzzo con tirafondi in acciaio
- Capocorda di ancoraggio pila
- Tuboare strutturale tipo M100 D=244,5 mm



# DESCRIZIONE DEL PROGETTO

La struttura analizzata corrisponde al sistema misto calcestruzzo e acciaio pensato per un progetto di stadio situato nel masterplan per la riqualifica dell'area del post Expo a Milano. La struttura delle pile è interamente in cemento armato e segue in pianta un disegno geometrico generale di forma rettangolare, rastremata agli angoli. La pila in c.a. ha funzione portante sia rispetto alle solette in cemento armato degli spalti (che al tempo stesso le stabilizzano), sia alla copertura. All'innesto tra pila in c.a. e spalti, il sistema strutturale è composto da una pila in acciaio (profilato H ad ali extra larghe), ancorata nel nodo di giunzione con un vincolo di incastro. La pila in acciaio costituisce lo strallo atto a sorreggere la copertura dello stadio, tramite un sistema di funi: una fune portante è ancorata al corrente reticolare della copertura ad una luce di circa 20 metri in proiezione orizzontale. Una coppia di due funi portanti, dal lato opposto, stabilizza lo strallo direttamente al terreno tramite un sistema di fondazione a gravità.



# GEOMETRIA, MATERIALI E SEZIONI

## GEOMETRIA E VINCOLI

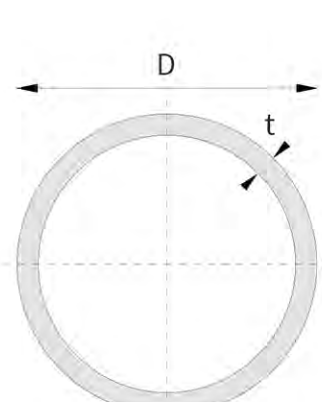
Una volta disegnato il modello in AUTOCAD è stato importato nel formato .dxf all'interno del programma di calcolo agli elementi finiti SAP2000. La geometria così importata assume direttamente, per ogni linea la condizione di asta vincolata ai due estremi (nodi i e j) con degli incastrati interni. Gli unici vincoli (Restrains) saranno quelli esterni a terra: incastro per la pila in c.a. e cerniera per il tirante d'acciaio.

## MATERIALI

Il modello strutturale presenta diversi tipi di materiali in virtù della caratteristica di struttura mista. Il materiale **calcestruzzo** è stato inserito come elastico lineare isotropo, con modulo di Young  $E=300.000.000 \text{ N/m}^2$  e coefficiente di Poisson  $\nu=0,2$ . Per quanto riguarda l'acciaio delle aste reticolari e dei tubolari è stato assegnato un modulo di Young  $E=206.000.000.000 \text{ N/m}^2$  e coefficiente di Poisson  $\nu=0,3$ . Per le funi portanti in acciaio, si è fatto riferimento ad un modulo di elasticità apparente fornito dal produttore Pfeifer con  $E=160.000.000.000 \text{ N/m}^2$  e Poisson's ratio  $\nu=0,3$ .

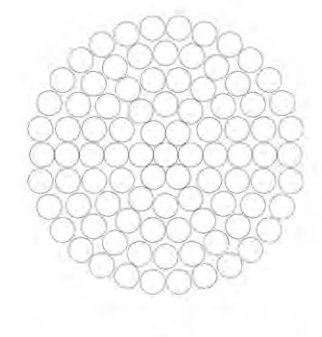
## SEZIONI ED ELEMENTI FINITI

Sono state definite 5 tipologie di sezione che fanno riferimento a 7 gruppi identificati come segue: **A1, A2, A3** corrispondono alle aste della struttura reticolare del corrente differenziate per dimensione, **C\_152X100** rappresenta la pila in c.a., **HL 920x1269** costituisce la pila in acciaio, **R** sono gli elementi "rods", ossia tubolari ed **F** per le funi spirroidali portanti.



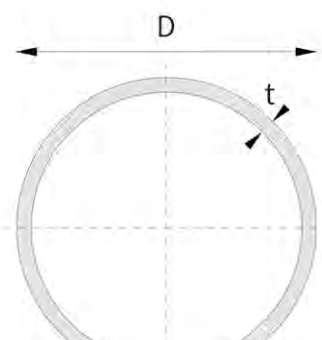
### R\_RODS

Gli elementi **Tubolari (R)**, prevalentemente compressi, sono stati scelti secondo il catalogo produttore **Macalloy®** di tipo **M100** con diametro esterno  $D=244,5 \text{ mm}$  e  $t=16 \text{ mm}$ .



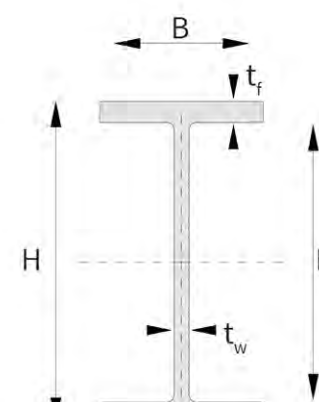
### F\_FUNI

Gli elementi tesi **Funi (F)** **VS-3 130 mm**, sono stati scelti partendo da un diametro nominale  $D=130 \text{ mm}$  e carico di rottura di  $17300 \text{ kN}$ .



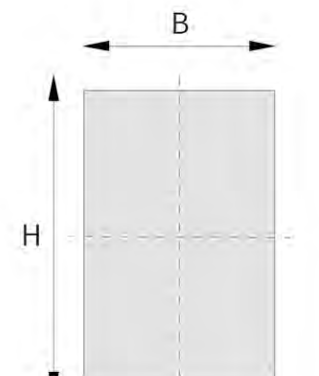
### A\_ASTE

Le **Aste** del corrente della copertura reticolare variano in funzione della loro gruppo di appartenenza: **A1**  $D=193,7 \text{ mm}$   $t=16 \text{ mm}$ , **A2**  $D=219,1 \text{ mm}$   $t=20 \text{ mm}$ , **A3**  $D=373 \text{ mm}$   $t=20 \text{ mm}$ .



### HL 920x1269

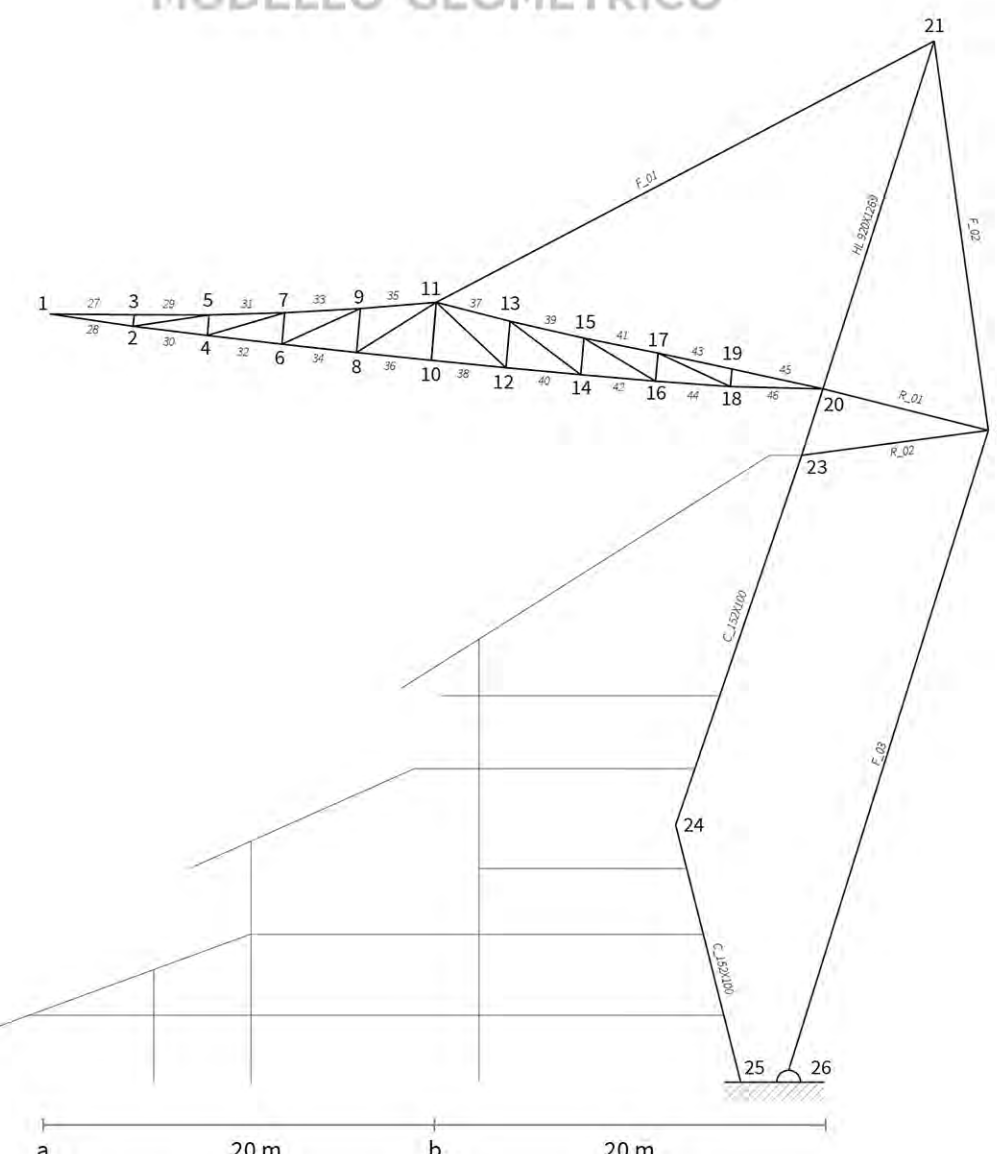
La **Pila in Acciaio** costituente lo strallo, soggetta prevalentemente a trazione, è stata semplificata come un profilato "doppio t" con flange larghe (HL 920x1269), scelta dal produttore **ArceleorMittal®**.  
 $B=461 \text{ mm}$   
 $H=1093 \text{ mm}$   
 $H_f=863,2 \text{ mm}$   
 $t_w=64 \text{ mm}$   
 $t_f=115,10 \text{ mm}$



### C\_152X100

L'elemento **Pila in calcestruzzo armato**, la cui sezione è variabile lungo l'asse longitudinale, è stato semplificato con una sezione omogenea:  
 $B=1000 \text{ mm}$   
 $H=1520 \text{ mm}$

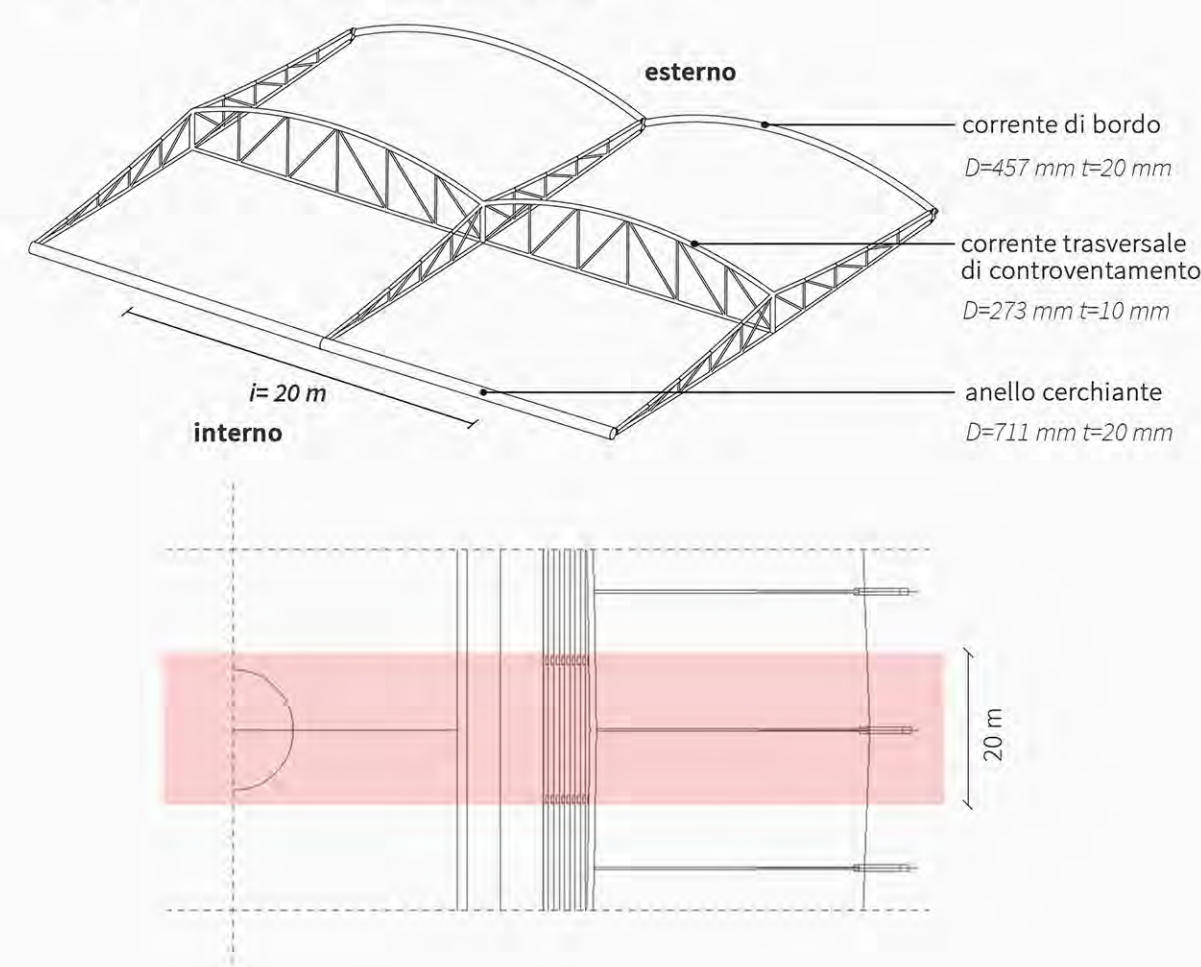
## MODELLO GEOMETRICO



# ANALISI DEI CARICHI E COMBINAZIONI DI CARICO

## PREDIMENSIONAMENTO COPERTURA

Per eseguire una stima accurata del peso della copertura si è proceduto attraverso un calcolo dei pesi equivalenti degli elementi strutturali e del pacchetto della copertura (membrana) incidenti per un interasse di 20 m, dove la copertura assume la massima luce.



## PESO COPERTURA

I carichi di base tengono conto dei carichi permanenti strutturali e non strutturali (pacchetto copertura), del peso proprio delle funi e degli imprevisti:

**Pacchetto copertura** = 350 N/mq  
**Peso proprio funi + morsetti** = 40 N/mq  
**Imprevisti** = 80 N/mq  
**Totale** = 470 N/mq

## CARICO DA VENTO

Per la determinazione del carico da vento si assume come metodo semplificato la condizione che la copertura possa essere assimilata ad una "tettoia piana". Come definito dal **CNR 207/08 3.2.7**, la pressione cinetica di picco del vento  $q_p$  è pari ha:

$$q_p(z) = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot c_e(z)$$

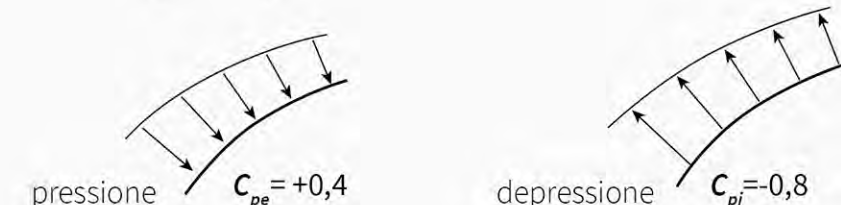
Considerando che la quota  $z$  massima della copertura è di 42,15 m si ha:

$$q_p(42,15) = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 31,75^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 2,40 = 1512 \text{ N/m}^2$$

I valori della pressione interna ed esterna vengono calcolati secondo le relazioni:

$$P_e(z) = q_p(z) \cdot C_{pe} \quad 605 \text{ N/m}^2$$

$$P_i(z) = q_p(z) \cdot C_{pi} \quad 1210 \text{ N/m}^2$$



## CARICO DA NEVE

Il carico da neve sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_{te} \cdot C_{t1}$$

$C_e = 1$  coefficiente di esposizione  
 $C_t = 1$  coefficiente termico  
 $\mu_i = 0,80$  coefficiente di forma con  $0^\circ < \alpha < 30^\circ$   
 $q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$  valore caratteristico di riferimento del carico di neve con  $a_{sini} < 200 \text{ m}$

$$q_s = 0,8 \cdot 1500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1 \cdot 1 = 1200 \text{ N/m}^2$$

## COMBINAZIONI DI CARICO

Sono state adottate le combinazioni di carico con peso proprio, neve e vento, tenendo conto dei coefficienti parziali di sicurezza. Successivamente, i carichi da neve e vento, sono stati combinati considerandoli alternativamente l'uno principale e l'altro secondario (combinazioni 7-10).

$$F_{d1} = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_1 + 1,5 \cdot \psi_0 \cdot Q_2$$

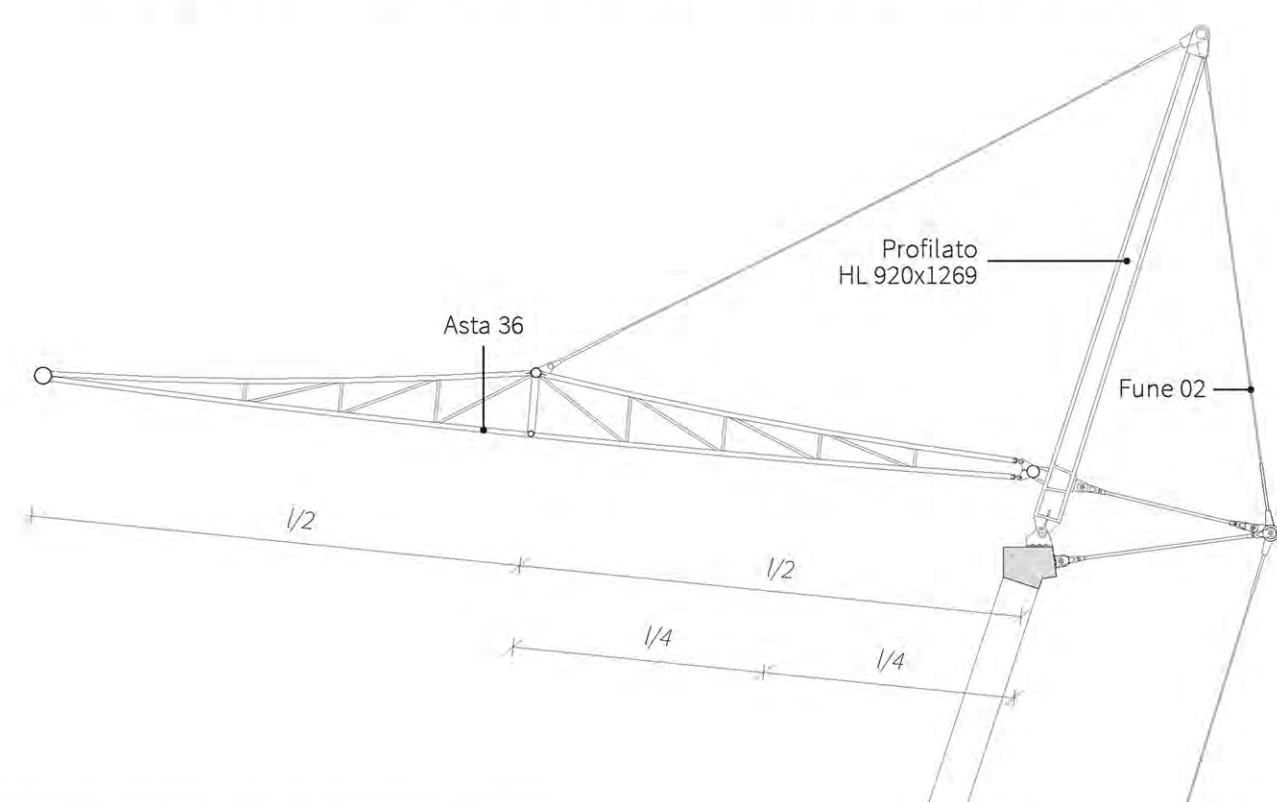
$\psi_0 = 0,6$  (vento),  $\psi_0 = 0,5$  (neve  $a < 1000 \text{ m s.l.m.}$ )

1	1,35xg
2	1,35xg + 1,5xneve <sub>ab,ac</sub>
3	1,35xg + 1,5x(0,5xneve <sub>ab</sub> + neve <sub>bc</sub> )
4	1,35xg + 1,5x(neve <sub>ab</sub> + 0,5xneve <sub>bc</sub> )
5	1,35xg + 1,5xvento <sub>(Pi)</sub>
6	1,35xg + 1,5xvento <sub>(Pj)</sub>
7	1,35xg + 1,5xneve <sub>ab,ac</sub> + 0,9xvento <sub>(Pi)</sub>
8	1,35xg + 1,5xneve <sub>ab,ac</sub> + 0,9xvento <sub>(Pj)</sub>
9	1,35xg + 1,5xvento <sub>(Pi)</sub> + 0,75xneve <sub>ab,ac</sub>
10	1,35xg + 1,5xvento <sub>(Pj)</sub> + 0,75xneve <sub>ab,ac</sub>

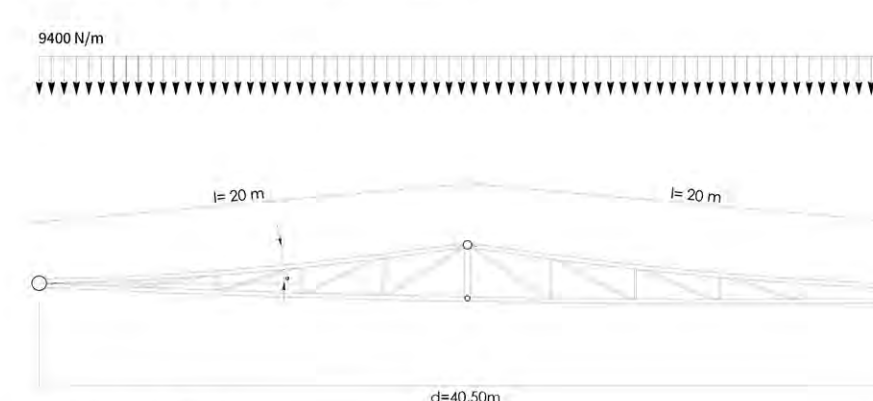
# ANALISI LINEARE

## RIPARTIZIONE DEI CARICHI ACCIDENTALI

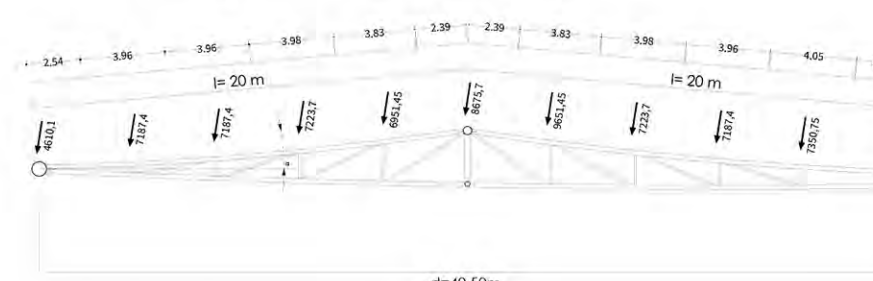
L'impostazione del **problema piano** del sistema pila-tirante-corrente impone delle condizioni iniziali di cui tenere conto per il calcolo della ripartizione dei carichi attesi sulla struttura reticolare della copertura. Si suppone quindi che **3/4 delle azioni accidentali** (neve e vento) siano "sostenute" dal sistema pila-tirante, mentre il **restante 1/4** venga sostenuto dal sistema dei traversi disposti lungo la direzione ortogonale rispetto al corrente della copertura, di cui non ci occuperemo in questo problema. Quindi l'entità delle forze agenti sarà diminuita del 25% rispetto ai valori calcolati.



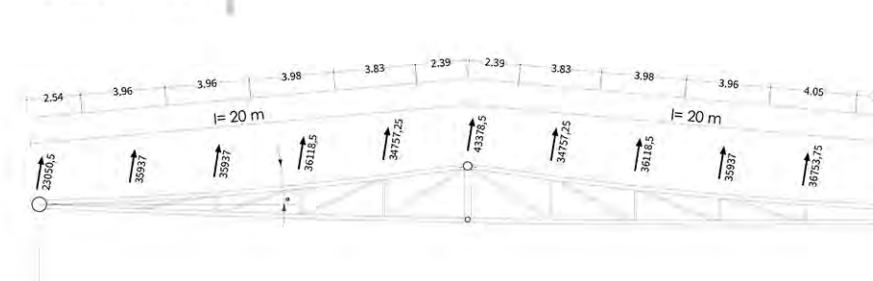
## PESO COPERTURA



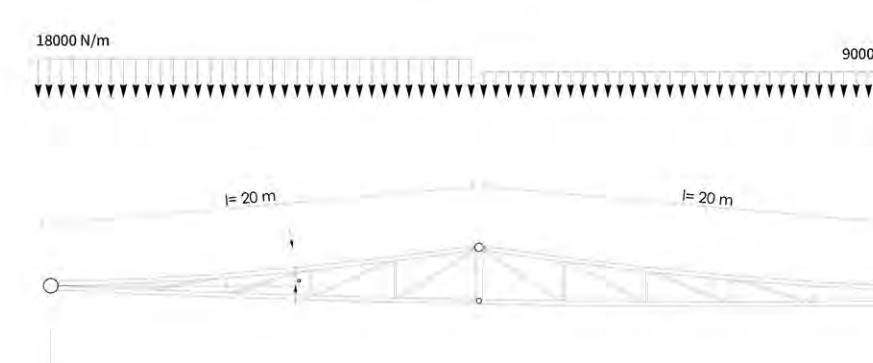
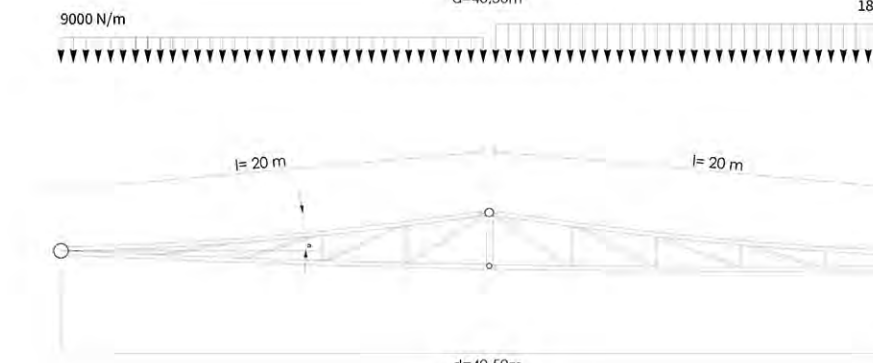
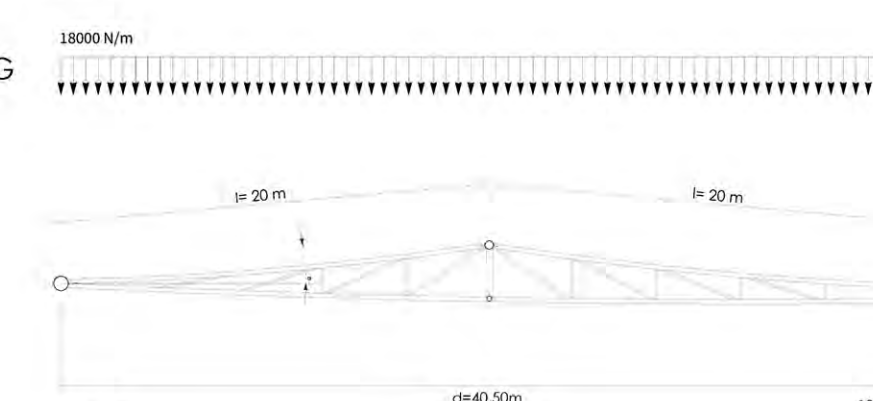
## VENTO ↓



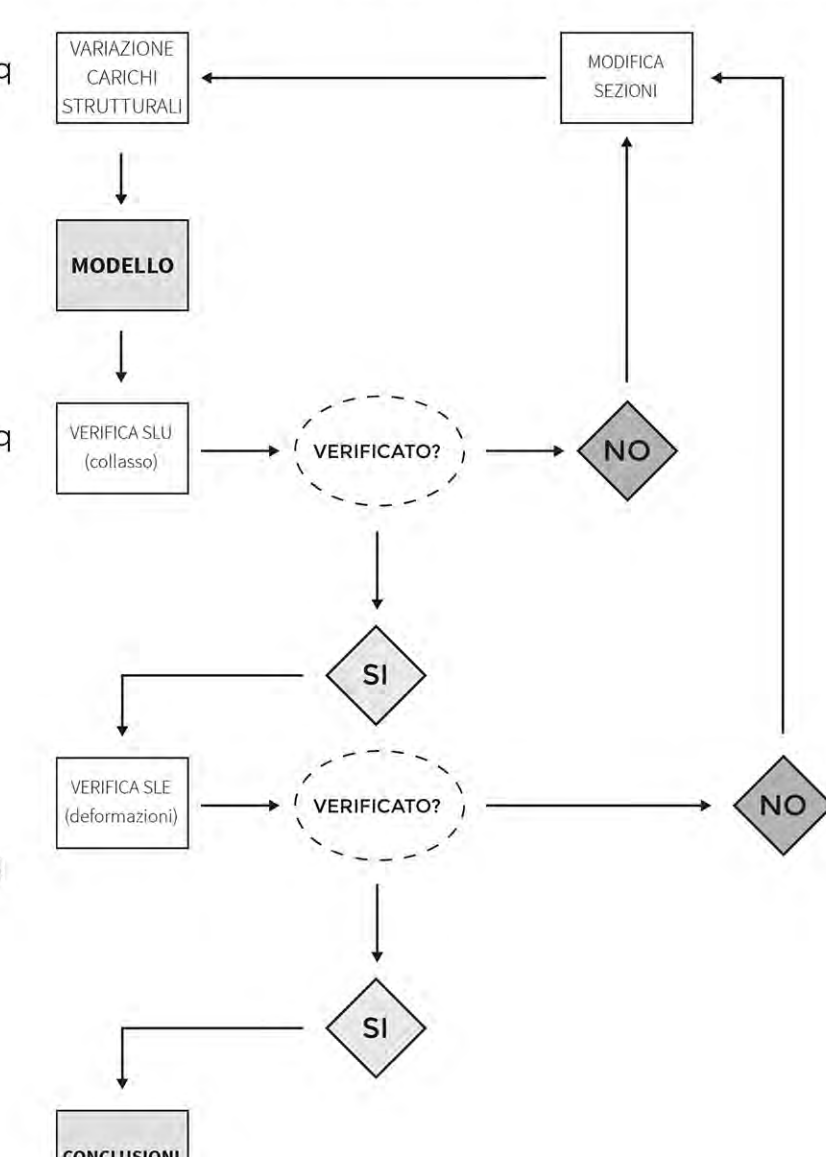
## VENTO ↑



## NEVE



## METODO DI ANALISI E VERIFICA

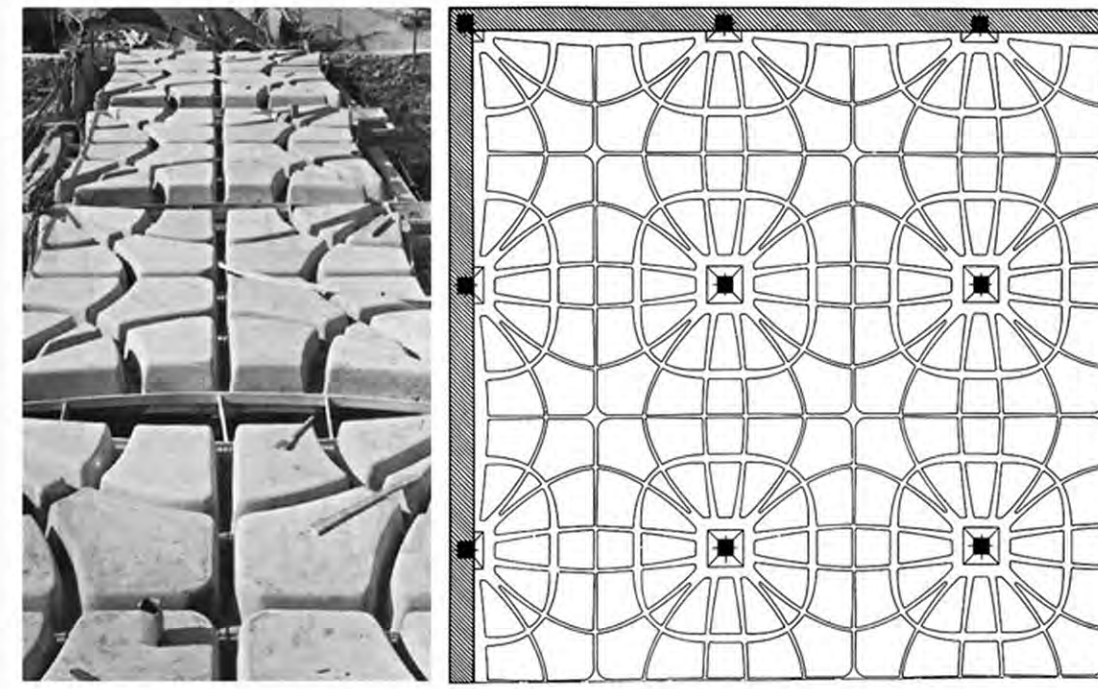




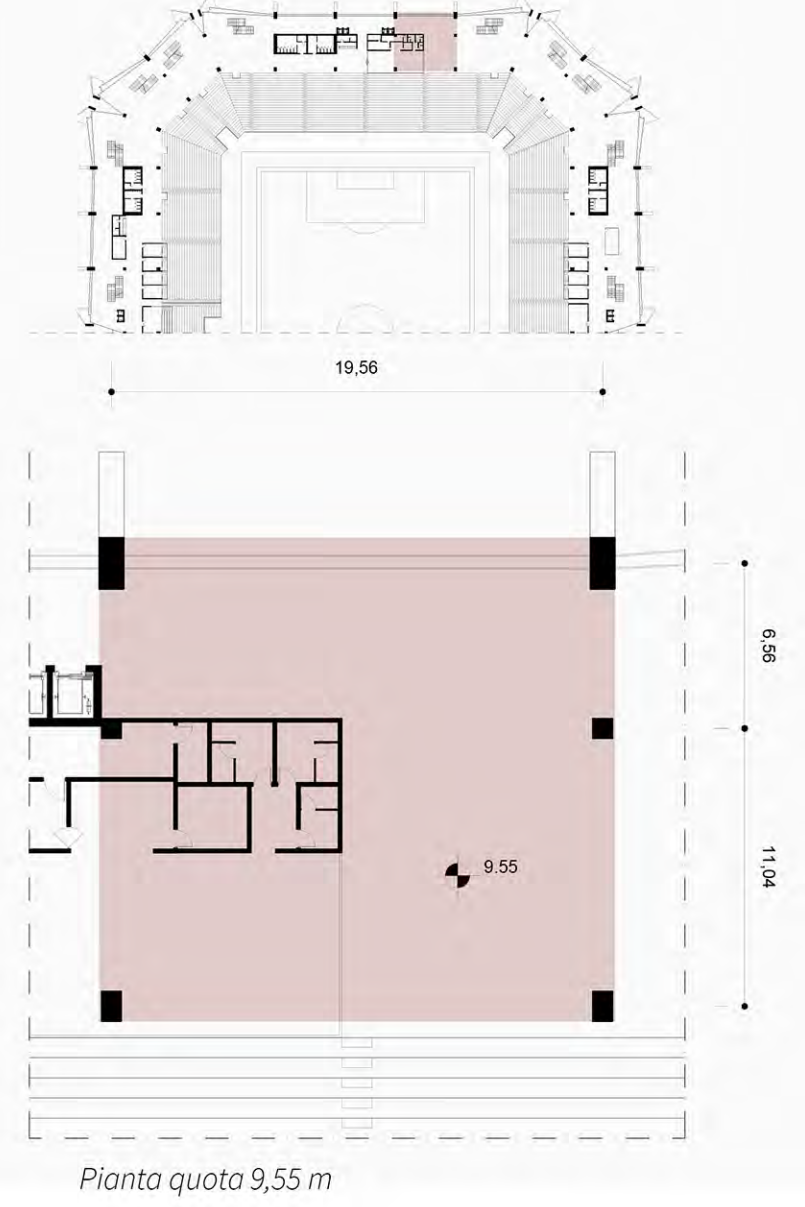
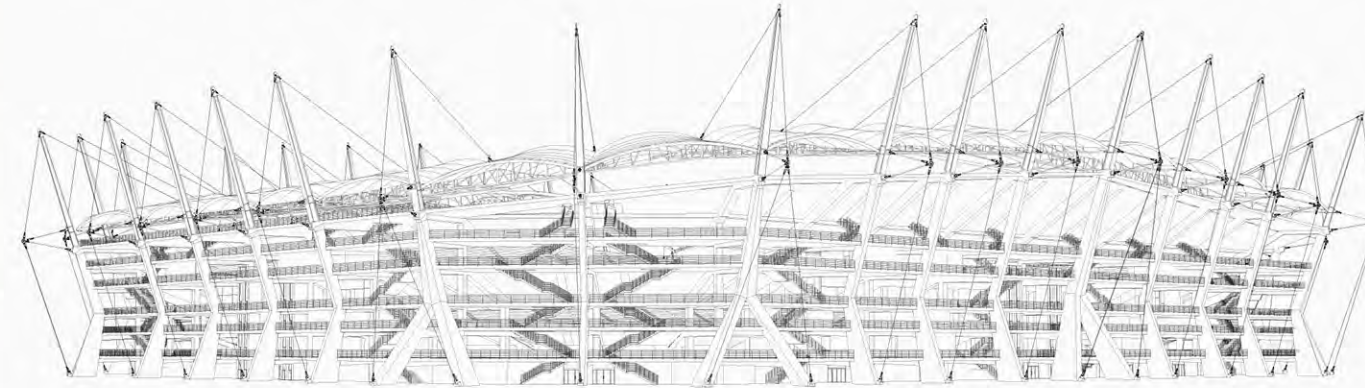
# OBIETTIVI FEM

## PRESENTAZIONE DEL PROBLEMA

Il linguaggio architettonico dell'edificio si esprime innanzitutto attraverso un principio di forma-struttura, che ne costituisce l'essenza. In quest'ottica ci si propone di ottimizzare e rendere coerente l'intero sistema della struttura a telaio, studiando la possibilità di alleggerire i solai e disporre le travi in base all'analisi degli sforzi agenti, ottenendo così una maggiore qualità architettonica degli spazi attraverso la corrispondenza fondamentale tra i principi statici e formali. A questo scopo sono stati scelti due moduli adiacenti di soletta, a base rettangolare secondo l'orditura dei pilastri, per eseguire con il metodo degli elementi finiti e con il supporto del software di calcolo numerico ADINA 900, uno studio "ad hoc" delle direzioni principali di sforzo; il che ha permesso di definire l'articolazione degli elementi orizzontali di piano, che si inseriscono così con eleganza e carattere nel progetto, a completamento statico e concettuale dello stesso. Sulla destra la suggestiva immagine di un celebre lavoro di Pier Luigi Nervi, al quale ci si è ispirati.



Lanificio Gatti, Pier Luigi Nervi



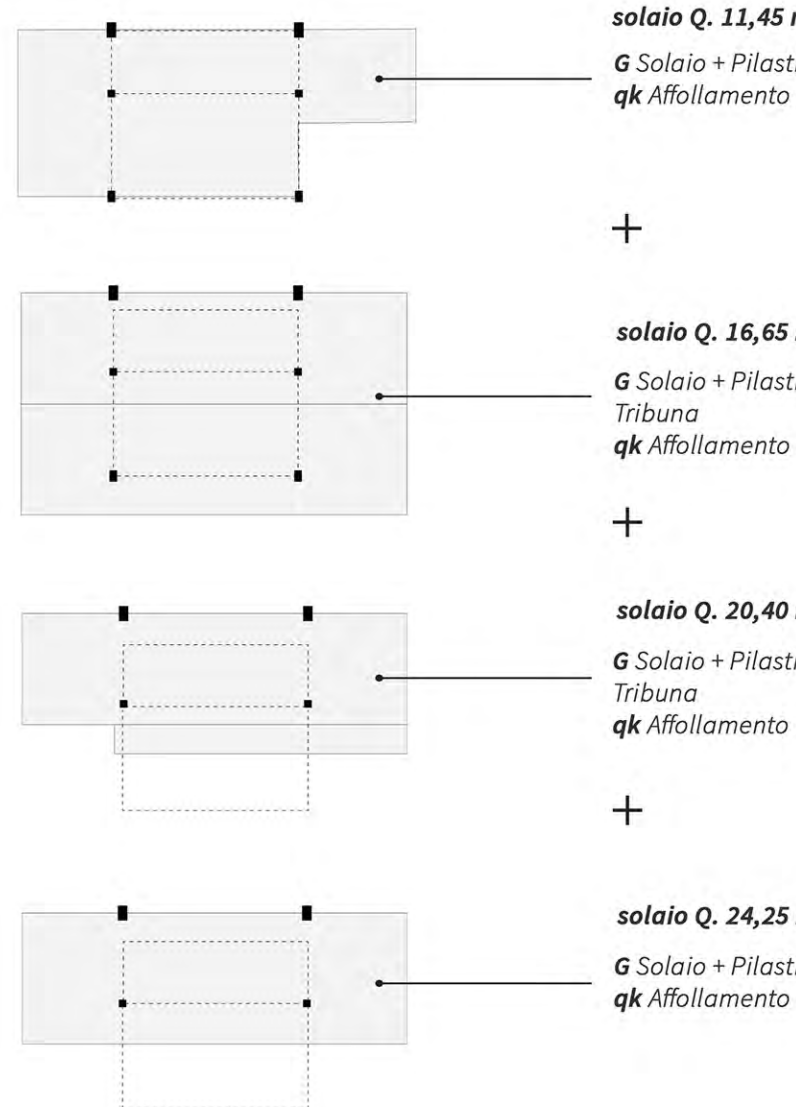
Pianta quota 9,55 m

# ANALISI DELLA STRUTTURA

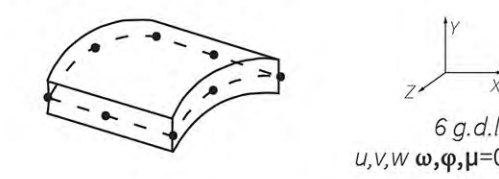
## CONDIZIONI AL CONTORNO

Prima di procedere all'analisi FEM, sono state definite le condizioni al contorno della struttura. Per quanto riguarda l'analisi dei carichi, la stima del peso gravante sui solai è stata condotta sulla base delle aree di influenza di ciascuno dei 6 pilastri per ogni livello superiore al piano di riferimento (q, 9,55). L'area di influenza viene calcolata assumendo le misure di larghezza/altezza come metà della distanza tra i pilastri P1-P2/P1-P4 più la distanza del semi-interasse con i pilastri adiacenti. Per il calcolo dei pesi si è tenuto conto dei permanenti strutturali (G), facendo una stima per pesi equivalenti, moltiplicando il peso del materiale per l'unità di volume, il quale in questo caso trattandosi esclusivamente di struttura in c.a., è sempre pari a 25000 N/m<sup>3</sup>. Inoltre sono stati sommati i carichi variabili (qk) legati al tipo di ambienti suscettibili di affollamento, per 4 kN/mq. Il solaio subisce dunque una risultante di sei carichi puntiformi sui pilastri più il carico uniformemente distribuito equivalente al peso proprio. Per quanto riguarda i vincoli imposti, rispetto al sistema di coordinate cartesiane globale x,y,z, oltre agli incastri sui pilastri si è tenuto conto dei vincoli di simmetria sui lati e dell'appoggio della tribuna. Si introducono infine i principali passi operativi dell'analisi condotta con il metodo FEM.

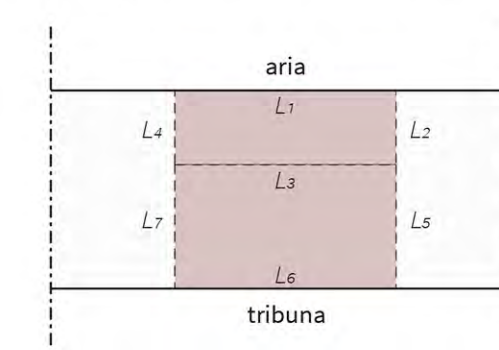
### AREE DI INFLUENZA



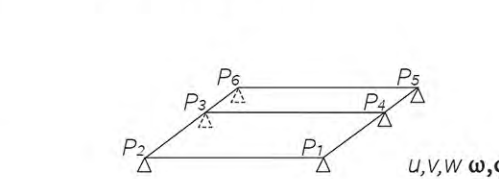
### ELEMENTO SHELL



### VINCOLI DI SIMMETRIA E APPOGGIO



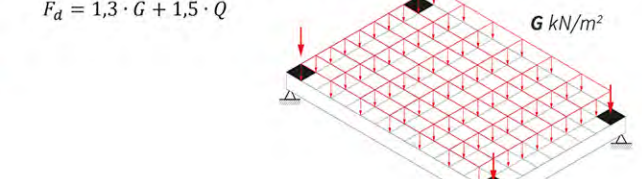
### VINCOLI AD INCASTRO



### CONDIZIONI DI VINCOLO

Poiché per lo studio in esame si considera una quota parte del solaio, si tiene conto per i lati adiacenti alla continuazione dello stesso, dei vincoli di simmetria. Per i modelli shell, la simmetria impone che le facce siano coincidenti ai piani di simmetria, onde impedire il movimento in direzione normale e la rotazione nelle altre due direzioni ortogonali. I vincoli sono applicati lungo lo spessore del modello, ai bordi dei solai-shell, identificati dalle linee L2, L4, L5, L7. Mentre la tribuna costituisce un vincolo di appoggio sul lato L6.

### COMBINAZIONI DI CARICO

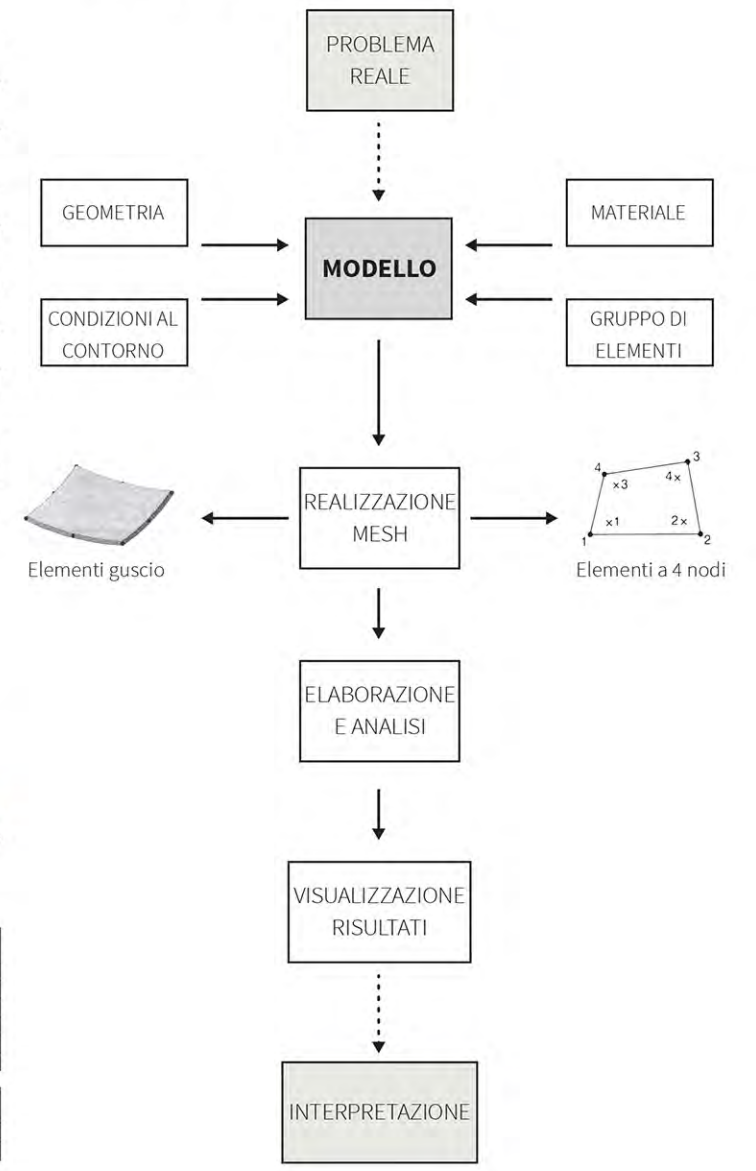


G1 [kN]	Y c1	qk [kN/m]	Y qk	Tot [kN]
P4	5453.75	1.3	1520.00	8779.88
P1	2890.00	1.3	1832.00	7745.00
P4	1420.00	1.3	3148.00	11706.44
P1	5005.50	1.3	2793.00	10697.55
P2	2001.33	1.3	1180.00	4665.39
P1	1887.85	1.3	1048.00	3723.21

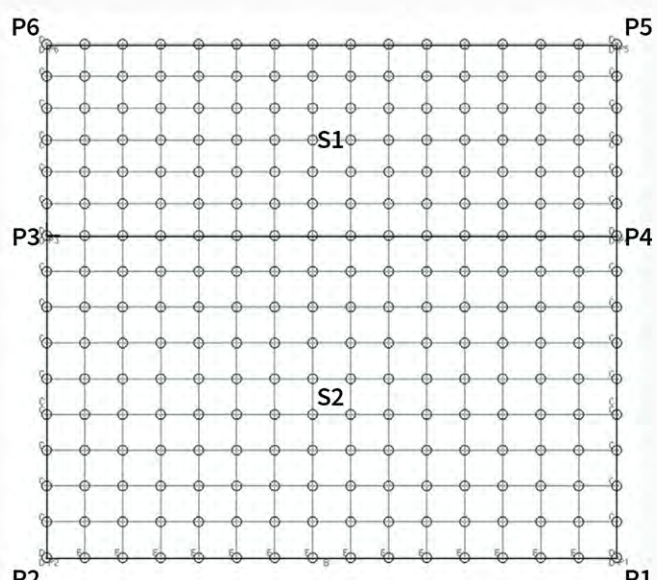
G1 [kN/m]	Y c1	qk [kN/m]	Y qk	Tot [kN/m]
G1	8.75	1.3	4.00	17.38
G2	8.75	1.3	4.00	17.38

## METODO FEM

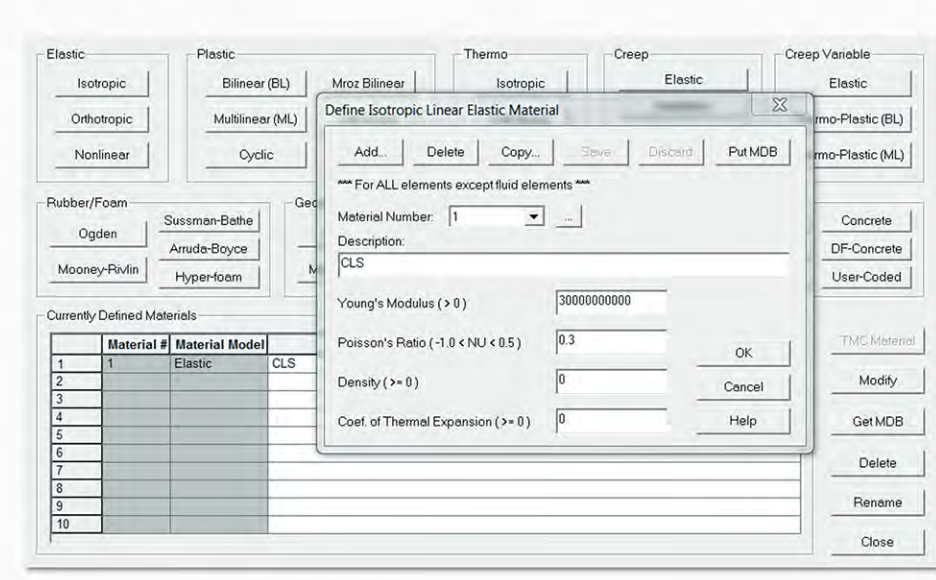


# GEOMETRIA E MECCANICA

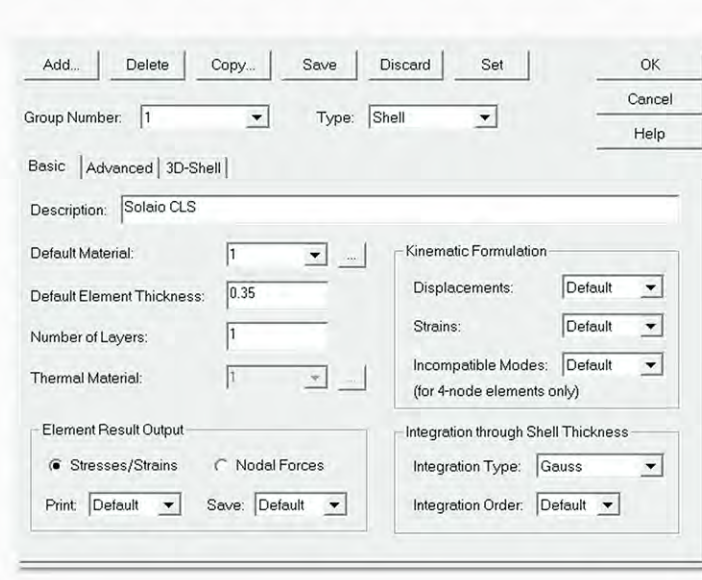
## GEOMETRIA



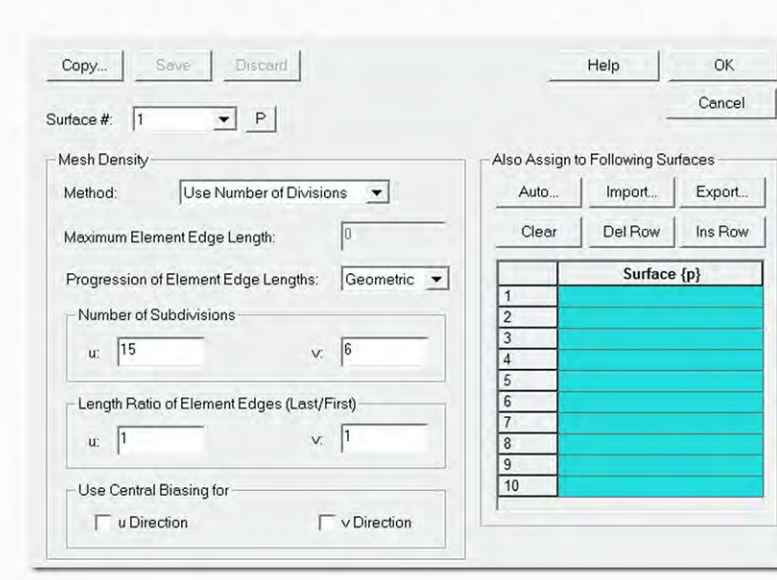
## MATERIALI



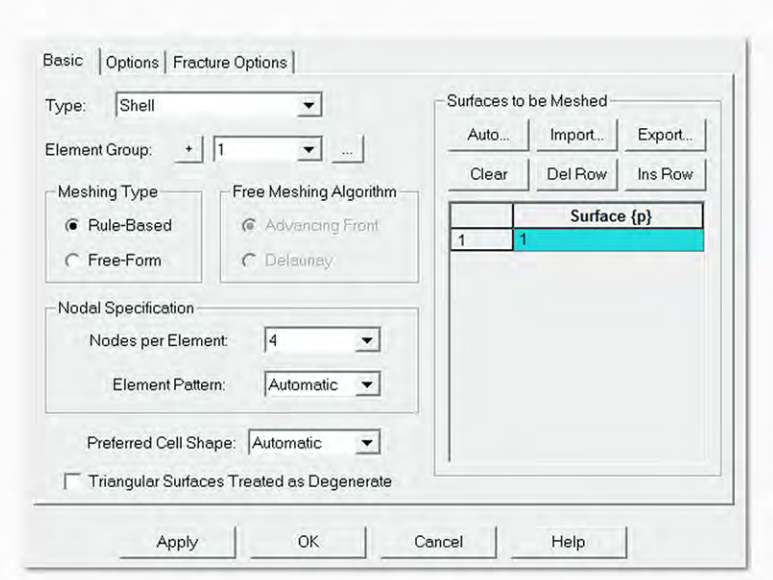
## GRUPPI ELEMENTI FINITI



## DEFINIZIONE SUPERFICIE



## CREAZIONE MESH



**1 GEOMETRIA**  
La geometria del modello, costituita dalle 7 linee di bordo e dai punti rappresentanti i pilastri, è stata importata nel software come file IGES. Con il comando DEFINE SURFACE è stato possibile definire le superfici dei vertici (P1, P2, P3, P4, P5, P6). La mesh è stata poi discretizzata in 225 elementi, con il comando DEFINE SURFACE MESH DENSITY; infatti utilizzando il metodo del numero di suddivisioni sono stati stabiliti i parametri u=15 e v=6 per S1 e u=15 e v=9 per S2.

**2 MATERIALE**  
Il materiale, calcestruzzo armato, è stato inserito come elastico lineare isotropo, con un modulo di Young pari a  $E=30000000000$  N/m e coefficiente di Poisson's=0,3.

**3 PROPRIETÀ**  
Le proprietà meccaniche del gruppo di elementi, definite nell'apposita sezione DEFINE ELEMENT GROUP, corrispondono alla tipologia SHELL (guscio) con uno spessore di progetto della soletta pari a 0,35 m. Una volta scelti 4 nodi per elemento, per un totale di 900 nodi, al massimo delle capacità di calcolo del software, attraverso il comando MESH SURFACES, è stato possibile applicare alla superficie il gruppo di elementi finiti.

**4 VINCOLI**  
Attraverso il comando APPLY FIXITY, sono stati applicati ai nodi-vertice della superficie (in corrispondenza dei pilastri) 6 vincoli a incastro; con lo stesso comando sono stati applicati i vincoli di simmetria alle linee di bordo delle superfici confinanti con la continuazione del solaio, i quali impediscono le rotazioni e gli spostamenti che portano le linee rispettivamente fuori piano; infine il vincolo di appoggio sulla linea della tribuna.

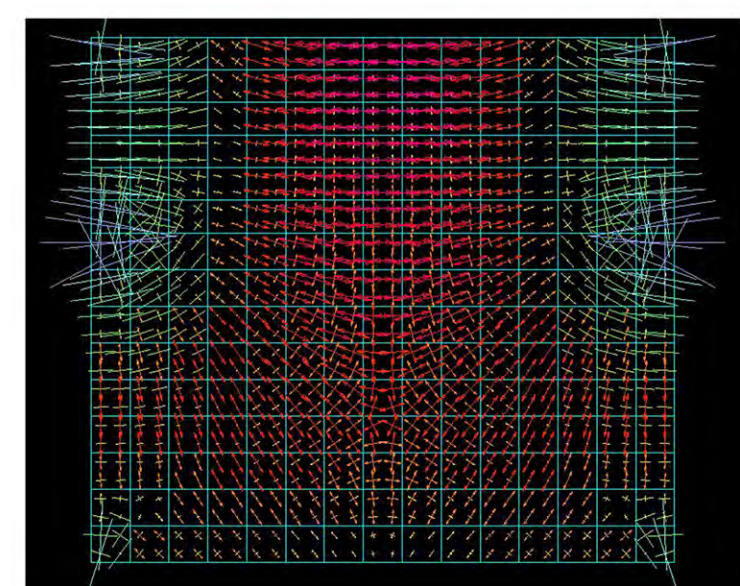
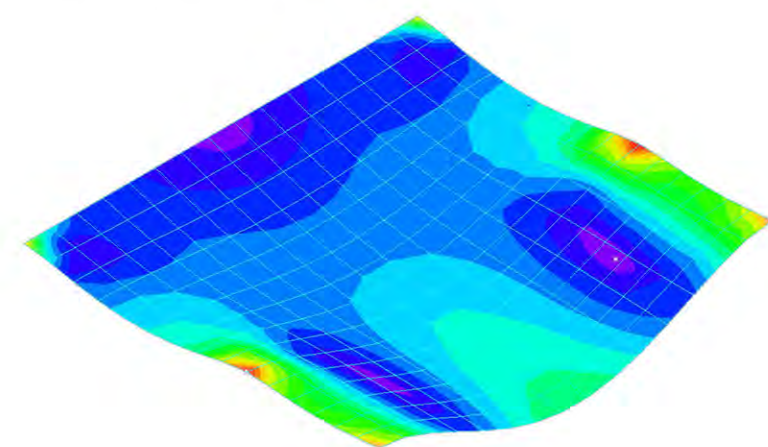
**5 CARICHI**  
Sono stati applicati due diversi tipi di carico con il comando APPLY LOAD, con direzione di forza  $X=0, Y=0, Z=-1$ :  
- Sei carichi concentrati applicati ai nodi, tra loro differenti in funzione del calcolo eseguito sulle aree di influenza di ciascun pilastro;  
- Un carico uniformemente distribuito, lo stesso carico applicato ad ogni nodo della mesh, corrispondente al peso proprio della soletta.

# DIREZIONI PRINCIPALI DI SFORZO

## CONCLUSIONI

Una volta definito il modello numerico, con il comando DATA FILE/SOLUTION si è passati alla sua elaborazione, la quale ha avuto esito positivo. Fatto ciò, nella fase di POST-PROCESSING, è stato possibile visualizzare i risultati attesi; tramite LIST\_VALUE LIST\_ZONE si possono leggere gli sforzi su ogni elemento dell'intero modello e tramite il comando CREATE BAND PLOT è stato plottato il diagramma con la deformata della mesh sulla base degli sforzi efficaci ed una gamma di colori ad essi associata. Il comando QUICK VECTOR PLOT mostra le direzioni principali degli sforzi agenti sulla soletta. La fase conclusiva si è compiuta con l'interpretazione dei risultati ottenuti al fine di tracciare il posizionamento dei ferri di armatura delle travi. Nel processo di coinvolgimento delle forze sui pilastri si constata che il regime statico delle solette si avvicina più a quello di trave che non di piastra, il cui comportamento è esemplificato dalla struttura di Nervi associata a corpi regolari multipli e simetrici.

## SFORZI EFFICACI



## INTERPRETAZIONE DEI DATI

**DIMENSIONAMENTO TRAVI**  
Altezza ipotizzata = 40 cm  
Tramite i comandi:  
**List\_Force\_Nodal Moment X**  
si è trovato il valore di riferimento per l'equilibrio alla rotazione della sezione di un elemento maggiormente sollecitato:  
**Elemento 61 M = 200000 N/m**  
 $A_s = M / 0.8 \times f_{yd} \times d$   
con  $f_{yd} = 391$  N/mm<sup>2</sup>  
con  $d = 40$  cm - 5 cm (copriferro)  
 $A_s = 1826$  mm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  6  $\psi$ 20

## EVOLUZIONE E STUDIO DELLE NERVATURE

