



# Università degli Studi di Firenze



Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

**Convenzione tra il Comune di Firenze e  
il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze  
per una ricerca avente il seguente oggetto**

**VERIFICHE STATICHE  
DELLO STADIO "ARTEMIO FRANCHI" DI FIRENZE**

**STADIO "ARTEMIO FRANCHI"**  
**Viale Manfredo Fanti, 4, 50137, Firenze**

**ANALISI STATICA**



## INDICE

<b>1 - Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>2 - Riferimenti normativi</b>	<b>4</b>
<b>3 - Descrizione della struttura</b>	<b>5</b>
3.1 - Descrizione generale	5
3.2 - Tipizzazione dei telai	7
3.3 - Torre di Maratona	12
3.4 - Scale elicoidali	14
3.5 - Pensilina di copertura della Tribuna Centrale	16
3.6 - Ambienti interni	17
3.7 - Elementi strutturali	19
<b>4 - Caratteristiche dei materiali</b>	<b>51</b>
<b>5 - Analisi dei carichi e delle azioni</b>	<b>53</b>
5.1 - Determinazione dei carichi	53
5.2 - Combinazioni delle azioni	58
<b>6 - Modellazione computazionale</b>	<b>61</b>
<b>7 - Verifiche strutturali</b>	<b>64</b>
<b>8 - Considerazioni conclusive</b>	<b>65</b>



## 1 -Introduzione

Nella presente relazione sono riportate le verifiche statiche effettuate sulle strutture dello Stadio “Artemio Franchi”, situato a Firenze in Viale Manfredo Fanti, 4. La struttura è composta da una Tribuna Centrale coperta dalla pensilina risalente al 1931 (i tratti laterali ad essa connessa, originariamente scoperti, oggi risultano ricoperti dalla pensilina metallica realizzata in occasione del Campionato Mondiale di Calcio del 1990), dalla Tribuna di Maratona, in cui è posta l’omonima Torre risalente agli stessi anni Trenta del secolo scorso con annessa una delle tre scale elicoidali, e infine dalle due curve, Fiesole e Ferrovia. La curva Fiesole è il nome tradizionalmente conferito alla curva nord dello stadio, essendo quella orientata verso la cittadina collinare di Fiesole. La curva Ferrovia deve invece il suo nome all’orientazione verso la vicina stazione di Campo di Marte. Entrambe le curve sono costituite da una zona di parterre, nella parte inferiore, frutto della ristrutturazione degli anni ’90 del secolo scorso, e dalle gradinate, nella parte superiore, risalenti al 1932.

Dalla verifica sono inoltre esclusi tutti i manufatti realizzati in attinenza al “Riordino estetico funzionale dello Stadio Comunale di Firenze”, eseguito in vista del sopradetto Campionato Mondiale di calcio.



*Figura 1. Veduta aerea dello Stadio "Artemio Franchi" (fonte: Google Earth)*

## **2 -Riferimenti normativi**

Per le analisi è stato fatto riferimento ai seguenti testi normativi:

- NTC 2018 (D.M. 17 gennaio 2018);
- Circolare applicativa n.7 del 2019.

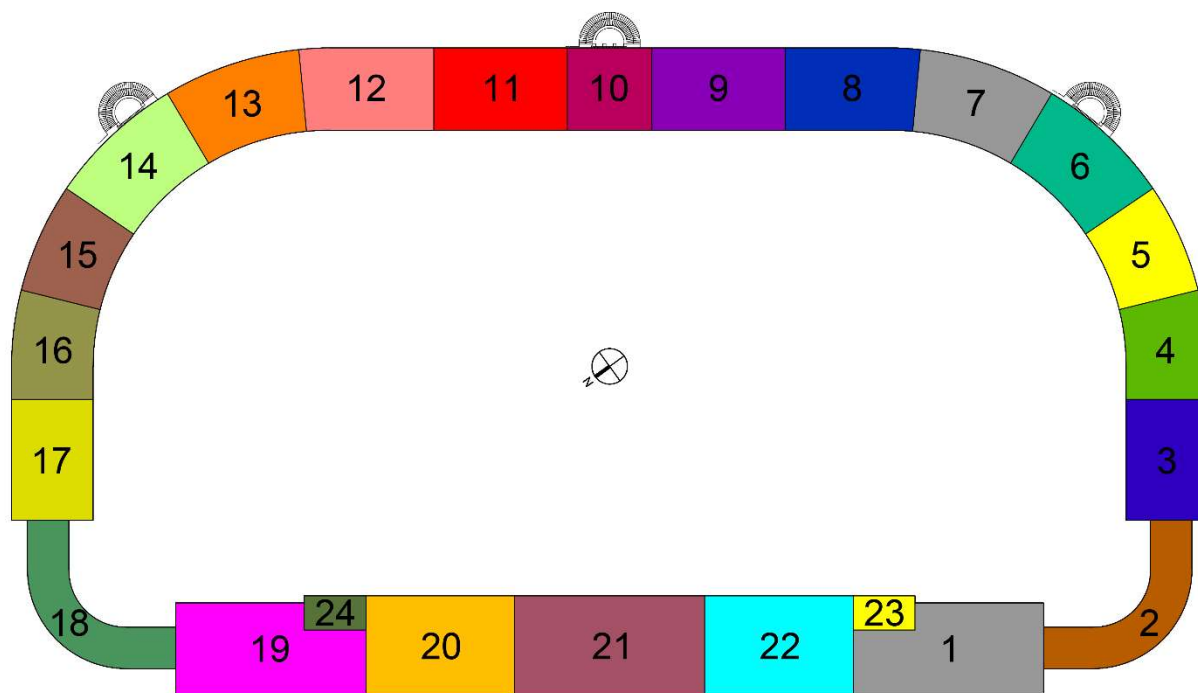
In particolare:

- Cap. 4 NTC per le verifiche ai carichi verticali;
- Cap. 7 NTC per le verifiche sotto l'azione sismica;
- Cap. 8 NTC per quanto riguarda le costruzioni esistenti.

### 3 -Descrizione della struttura

#### 3.1 - Descrizione generale

La struttura dell’impianto sportivo ha un ingombro di 270 m per 150 m circa, presenta una pianta a forma di lettera D ed è costituita da 24 blocchi distinti, rappresentati schematicamente in Figura 1.



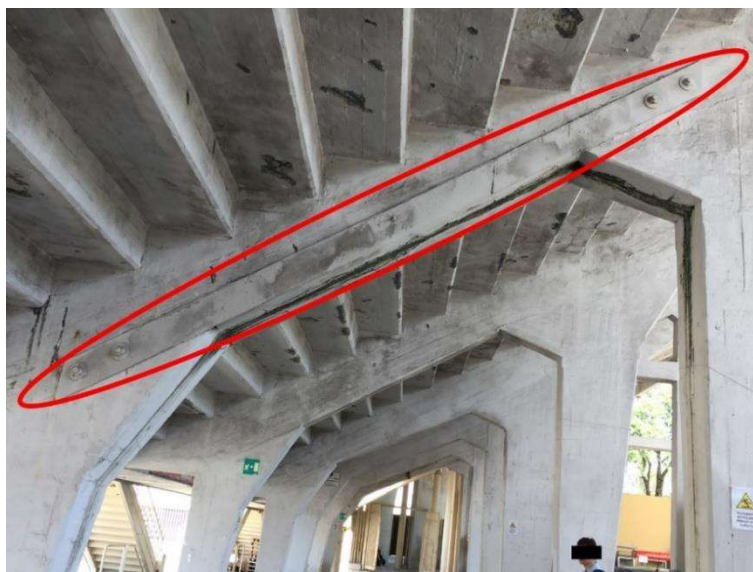
*Figura 2. Schematizzazione dei blocchi costituenti l'impianto sportivo originario*

I blocchi da 1 a 7 definiscono la Curva Ferrovia, i blocchi da 8 a 12 la Tribuna Maratona, da 13 a 19 la Curva Fiesole e i blocchi da 20 a 22 la Tribuna Centrale; questi ultimi sono sovrastati dalla Pensilina Nervi.

A ridosso dei blocchi 6,10 e 14, in continuità con le gradinate, si trovano le tre scale elicoidali dello stadio ed il blocco 10 accoglie inoltre la Torre di Maratona.

Inoltre, nei blocchi 20, 21 e 22 si trovano gli unici ambienti chiusi dello stadio, che si sviluppano su 4 livelli. Al piano interrato si trovano vani tecnici, spazi di servizio e spogliatoi; il piano terreno ospita uffici, spazi di rappresentanza e lo spogliatoio della squadra di casa; al piano primo si trovano altri spazi di rappresentanza e lo spogliatoio della squadra ospite; il quarto livello, infine, si presenta come un grande vano tecnico dove sono installati i macchinari che permettono il funzionamento degli impianti.

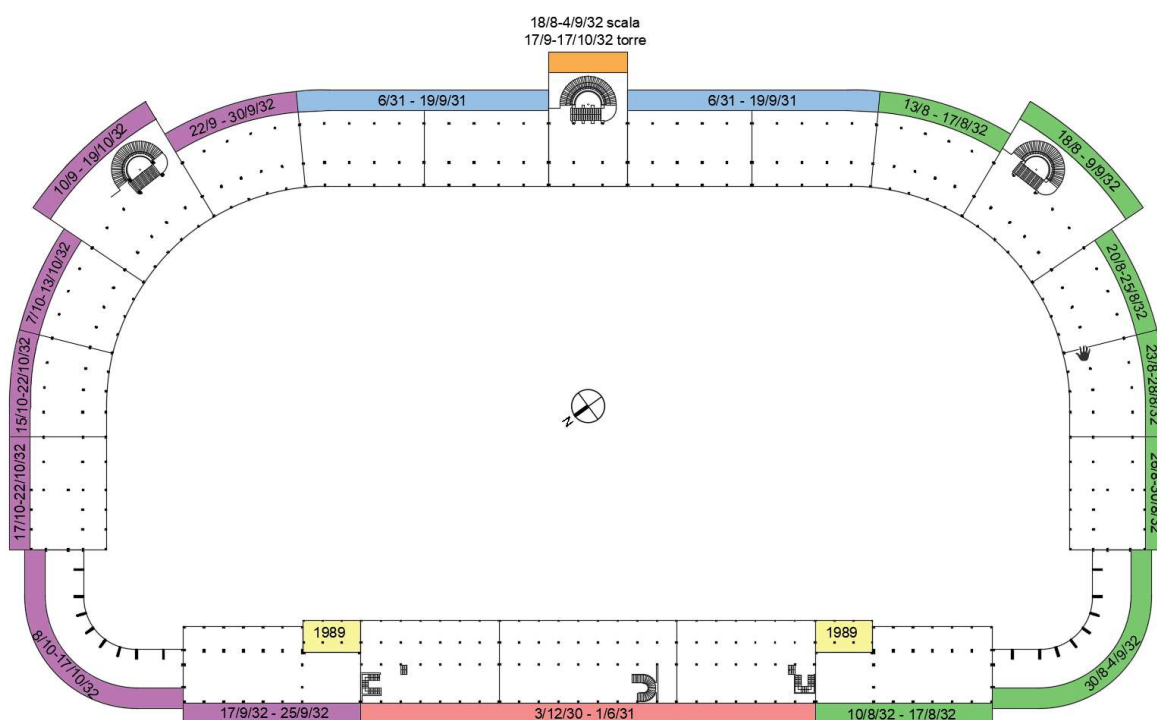
La suddivisione in blocchi è stata ottenuta mediante il raddoppiamento del telaio che porta le gradinate in corrispondenza delle stesse separazioni; i due telai risultanti sono quindi affiancati ma non collegati, e lungo il sottile spazio libero (circa 5-10 mm) tra questi due si colloca il confine ideale tra un blocco e quello adiacente. Esiste in realtà un collegamento, seppur di estensione limitata, sui giunti tra i blocchi dal numero 3 al numero 17 (Figura 2). Questo collegamento è stato realizzato mediante barre filettate passanti, bullonate in testa su di una piastra metallica (Figura 3); si estende esclusivamente tra i primi due pilastri dello stesso telaio ed interessa soltanto la tipologia che nel seguito verrà contraddistinta con la denominazione di telaio 7.



*Figura 3. Collegamento bullonato tra due telai affiancati*

I blocchi 23 e 24, pur essendo stati costruiti nell’ambito dei lavori di riordino estetico funzionale del 1990, sono stati comunque presi in considerazione nell’elaborazione del modello agli elementi finiti perché ricalcano fedelmente il profilo dei telai originali adiacenti, si inseriscono all’interno di nicchie presenti nella conformazione delle gradinate pre-esistenti e sono realizzati in c.a. come il resto della struttura più antica.

Nella rappresentazione schematica proposta in Figura 4, si evidenziano i periodi di costruzione dei vari settori dello stadio. In particolare, i settori in rosa sono stati costruiti tra il dicembre 1930 ed il giugno 1931, i settori in azzurro tra il giugno ed il settembre 1931, i settori in verde tra l’agosto ed il settembre 1932 e i settori in viola tra il settembre e l’ottobre del 1932; i settori in giallo, corrispondenti ai blocchi 23 e 24 visibili in Figura 2, sono stati conclusi pochi mesi prima dell’inizio del Campionato Mondiale di Calcio 1990.

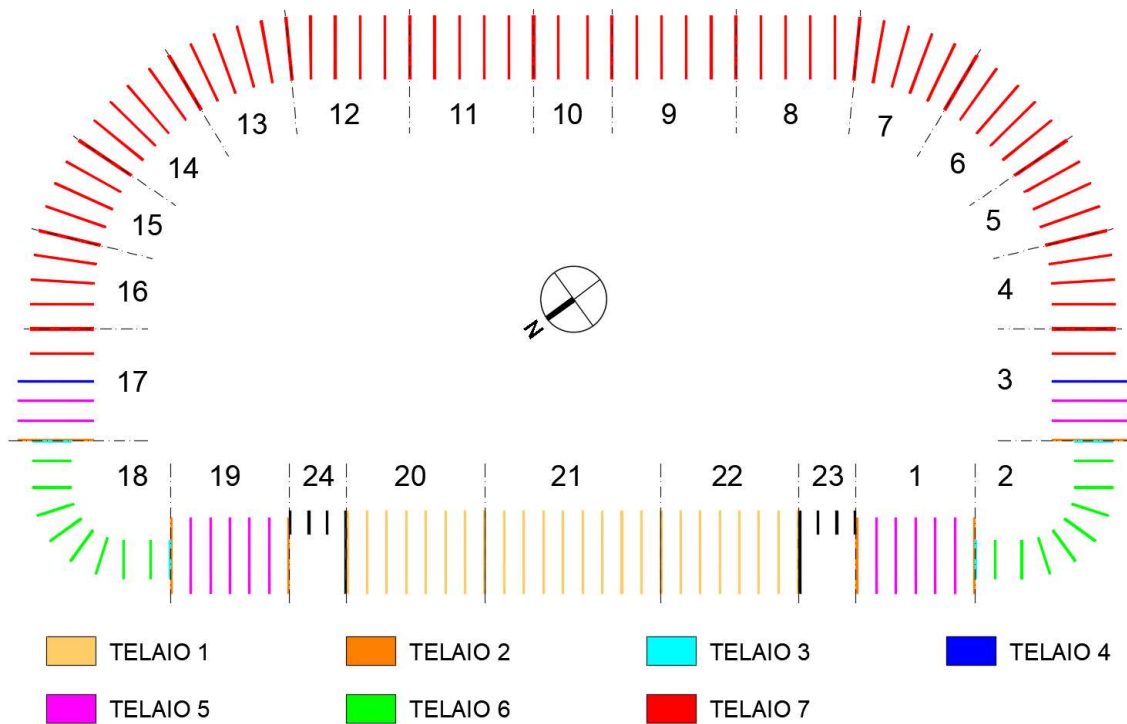


*Figura 4. Schematizzazione dei periodi di costruzione della struttura presa in esame*



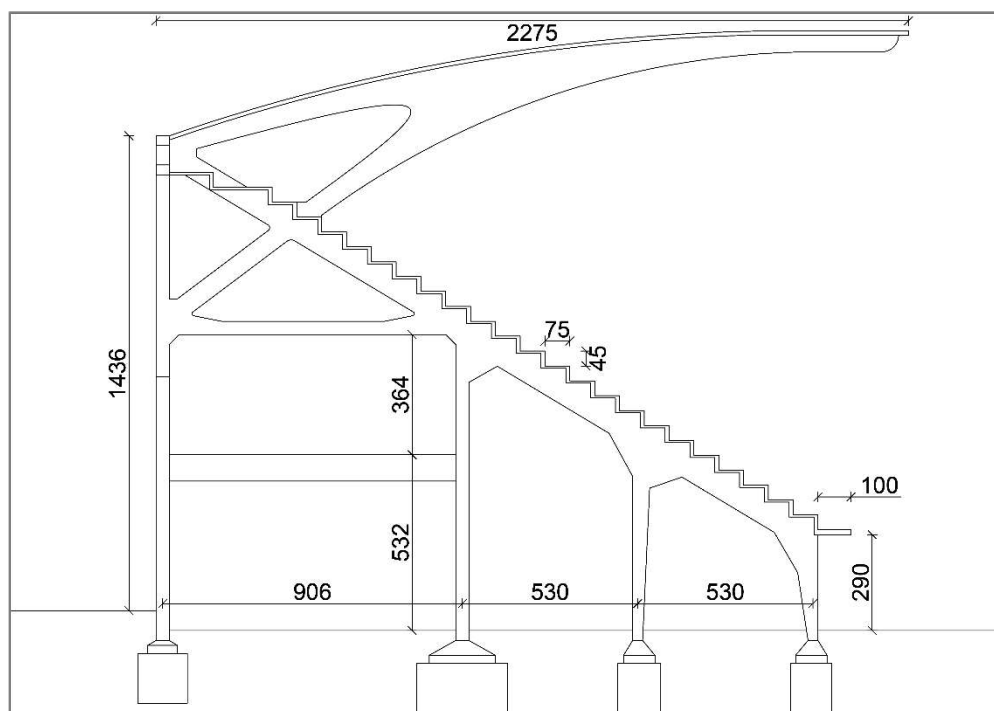
### 3.2 - Tipizzazione dei telai

Il corpo delle gradinate si sviluppa su di un unico anello ed i telai che portano le stesse gradinate sono tipizzati secondo sette principali configurazioni (ignorando le aggiunte realizzate durante il riordino estetico funzionale), evidenziate con colori diversi in Figura 5.



*Figura 5. Rappresentazione schematica dei 7 tipi diversi di telai che portano le gradinate*

Il telaio di tipo 1 (Figura 6) caratterizza la Tribuna Centrale coperta, ed è evidenziato in Figura 5 con il colore giallo.



*Figura 6. Telaio 1*

Il telaio di tipo 2 (Figura 7) ricorre nei tratti laterali della Tribuna Centrale e nelle curve, a ridosso dei settori curvi a raggio ridotto; in Figura 5 è rappresentato in arancione.

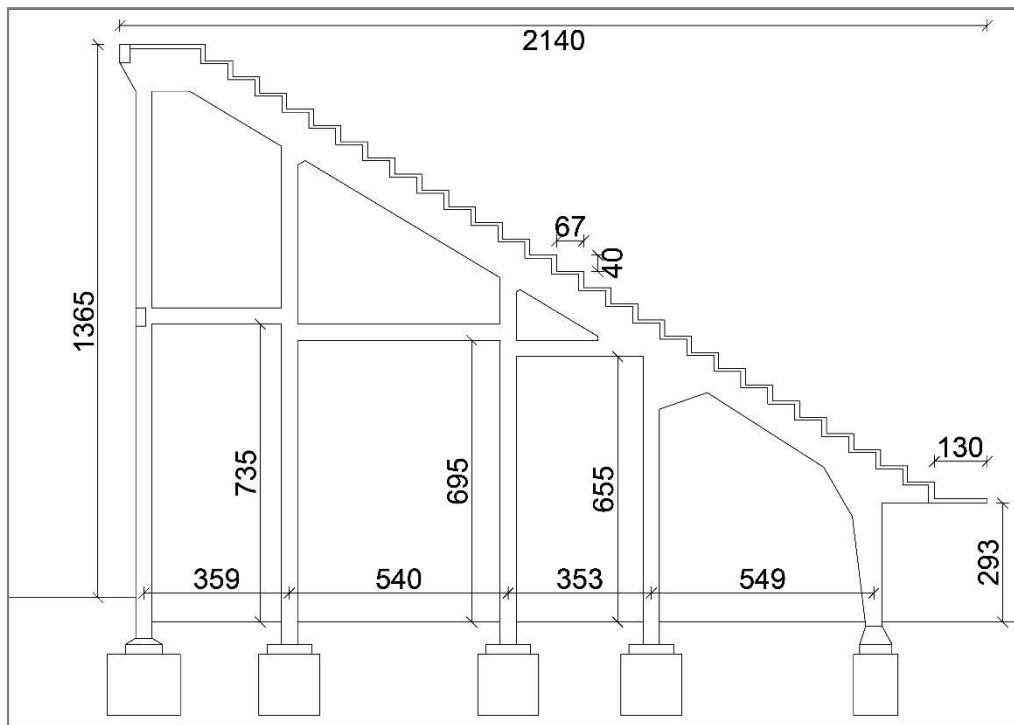


Figura 7. Telaio 2

Il telaio di tipo 3 (Figura 8) presenta un profilo che corrisponde perfettamente alla parte centrale del telaio 2, e si trova ai margini delle due curve a raggio ridotto; in Figura 5 è rappresentato con il colore ciano.

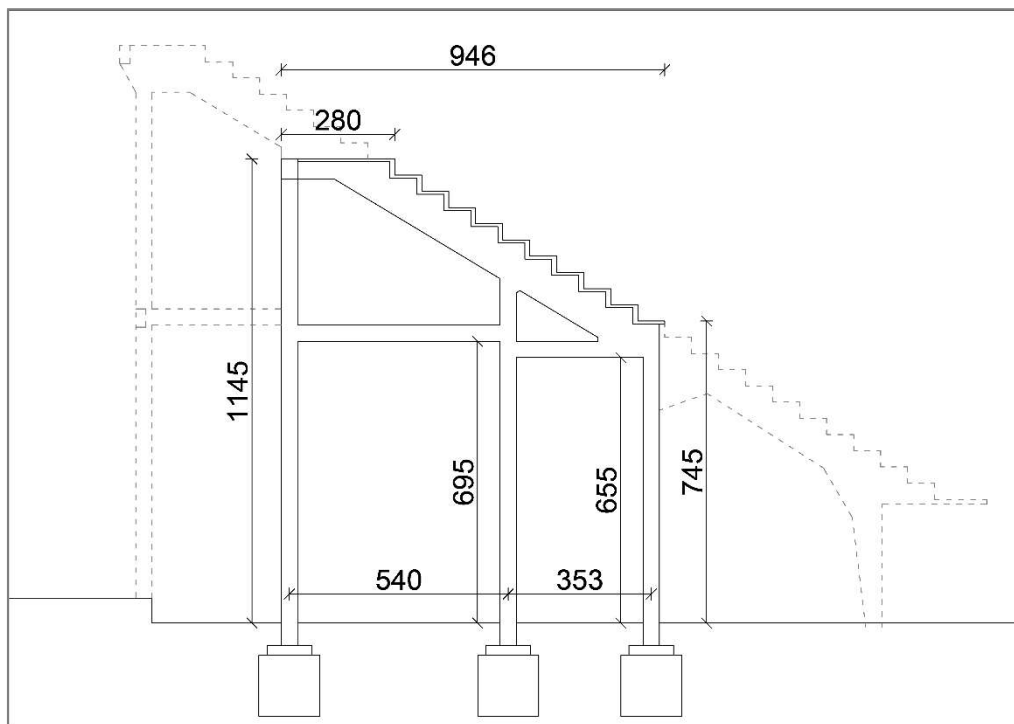


Figura 8. Telaio 3



Il telaio di tipo 4 (Figura 9) è del tutto simile al telaio 2, con l’eccezione del secondo pilastro da destra che è spostato di circa 50 cm verso l’esterno; ne è presente soltanto uno in entrambe le curve ed in Figura 5 è rappresentato in blu.

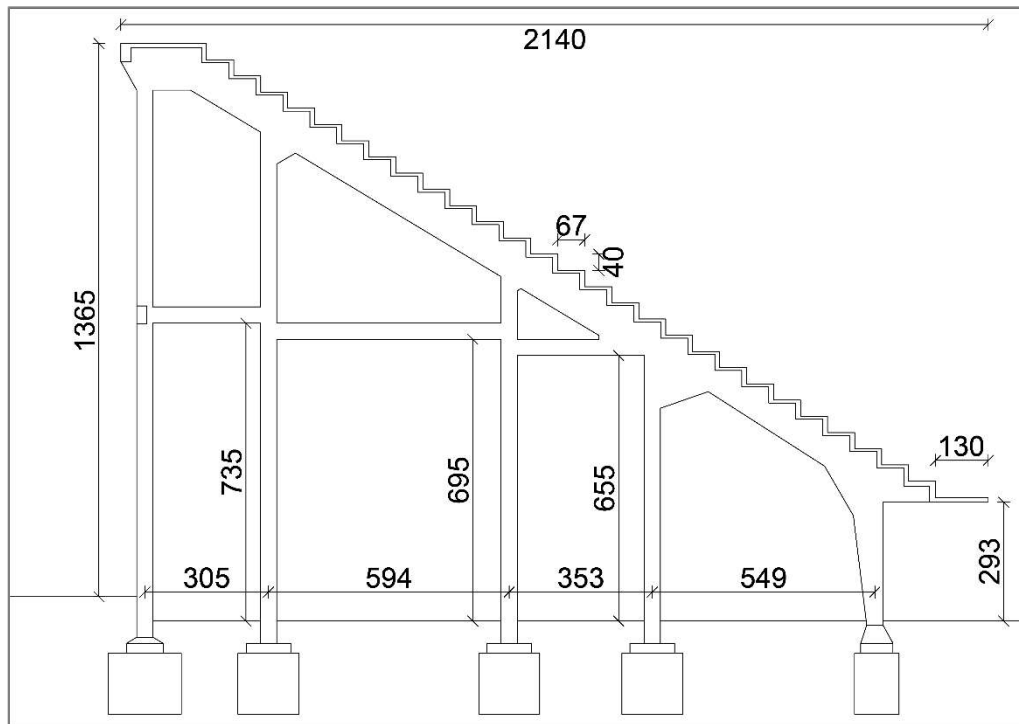


Figura 9. Telaio 4

Il telaio di tipo 5 (Figura 10) si trova nei tratti laterali della Tribuna Centrale e nelle due curve; in Figura 5 è evidenziato con il colore fucsia.

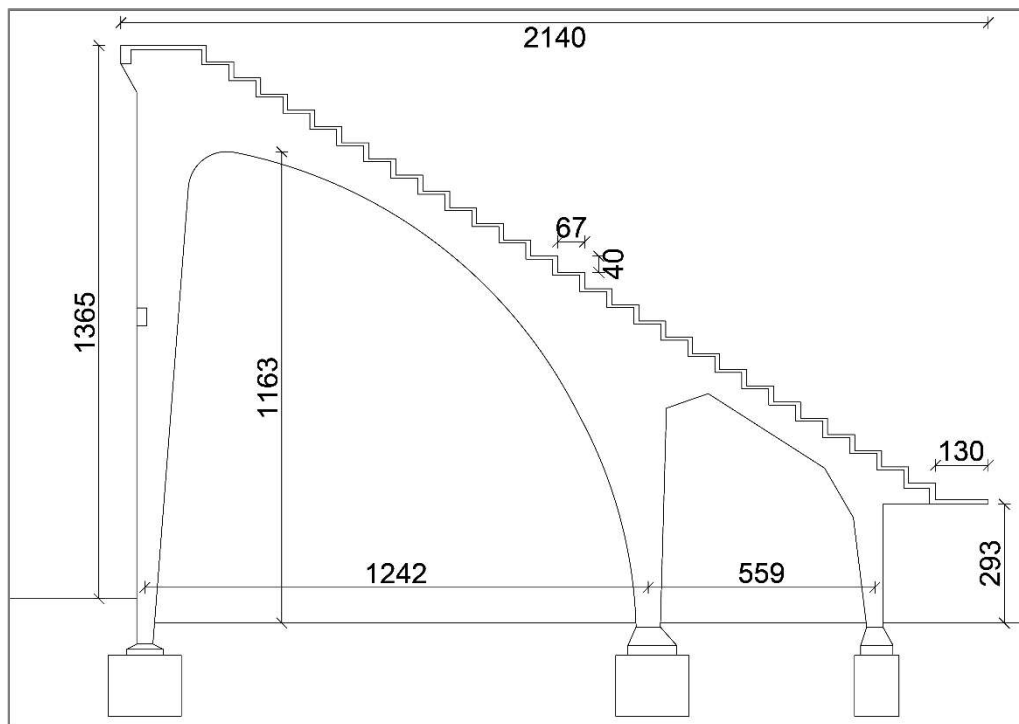
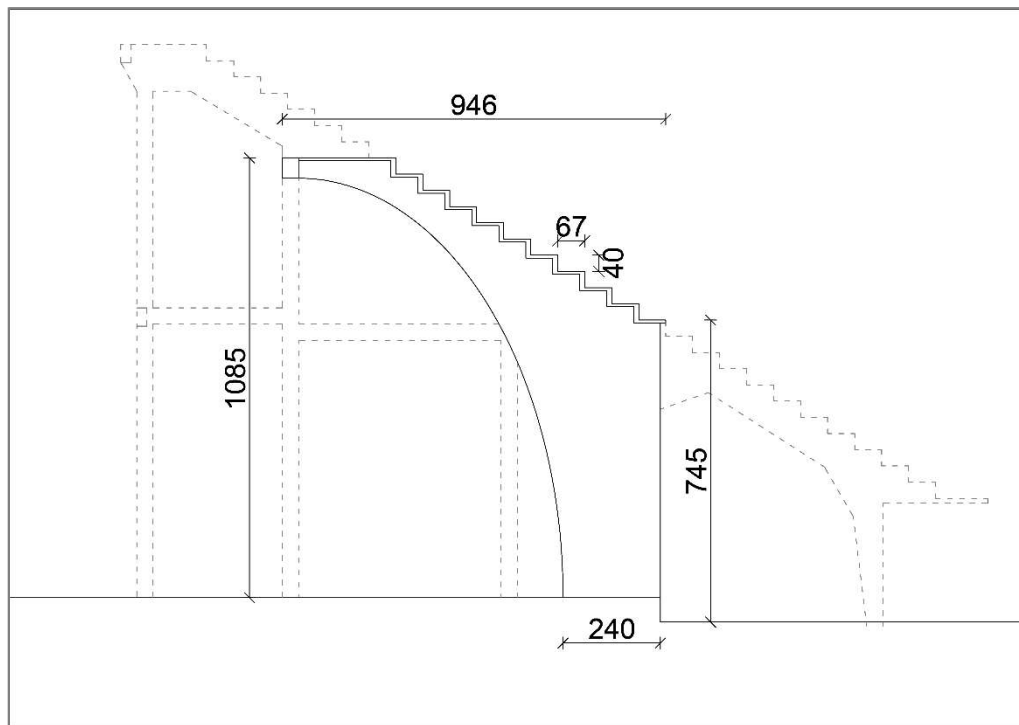


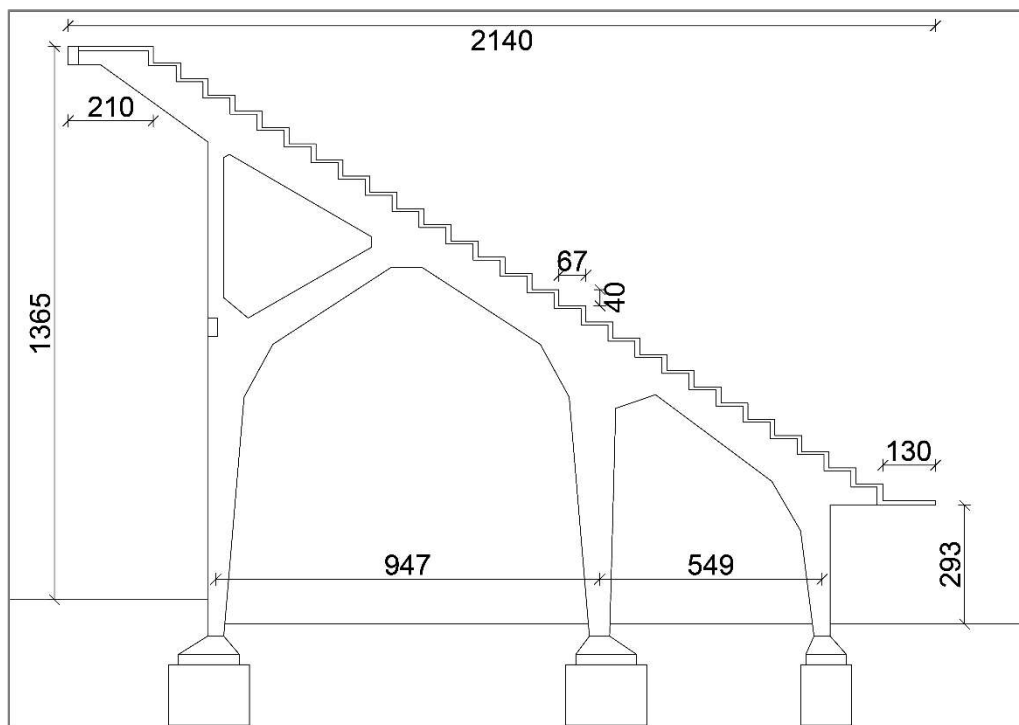
Figura 10. Telaio 5

Il telaio di tipo 6 (Figura 11) caratterizza le due curve a raggio ridotto ed in Figura 5 è indicato con il colore verde.



*Figura 11. Telaio 6*

Il telaio di tipo 7 (Figura 12) è di gran lunga il più diffuso nella struttura dello stadio e caratterizza l'intera Tribuna di Maratona e la gran parte di entrambe le curve; in Figura 5 è rappresentato in rosso.



*Figura 12. Telaio 7*

Il telaio di tipo 8 (Figura 13) si trova ai lati della Tribuna Centrale coperta e si compone di due parti, una più arretrata presente solo in adiacenza all’ultimo telaio della stessa Tribuna (su entrambi i lati di questa), ed una parte più avanzata (lato campo di gioco) che occupa gli interi blocchi 23 e 24 (Figura 2); in Figura 5 è indicato in nero.

Tutti i diversi tipi di telaio sono stati restituiti sul software Autodesk AutoCAD 2016 incrociando le informazioni derivanti dal materiale grafico rintracciato presso l’Archivio Storico del Comune di Firenze, dalla Relazione di Collaudo del 1932 e dalle immagini fotografiche rilevate in loco durante i sopralluoghi. Queste ultime si sono rivelate fondamentali per prendere coscienza delle piccole variazioni che interessano alcuni telai; le principali varianti ai telai-tipo sono localizzate all’interfaccia tra i telai 7 e la struttura delle scale elicoidali (blocchi 6, 10, 14 in Figura 2), dove il pilastro più esterno del telaio è inglobato in uno dei pilastri che porta il blocco scale, e nel settore centrale della Tribuna (blocco 21), relativamente al telaio 1, dove si registra l’aggiunta di un ulteriore pilastro tra i due più esterni.

I telai di tipo 1, 2, 4, 5 e 6 sono collegati trasversalmente al telaio adiacente mediante una trave di larghezza 25 cm ed altezza 45 cm, che s’incasta sul pilastro esterno ad una quota di 7,55 m.

I telai dell’intera struttura sono stati nominati in modo da poterli meglio identificare; il primo numero indica il blocco a cui il telaio appartiene e la lettera indica la posizione in cui esso si trova.

In Figura 13 è illustrato il metodo di denominazione assunto.

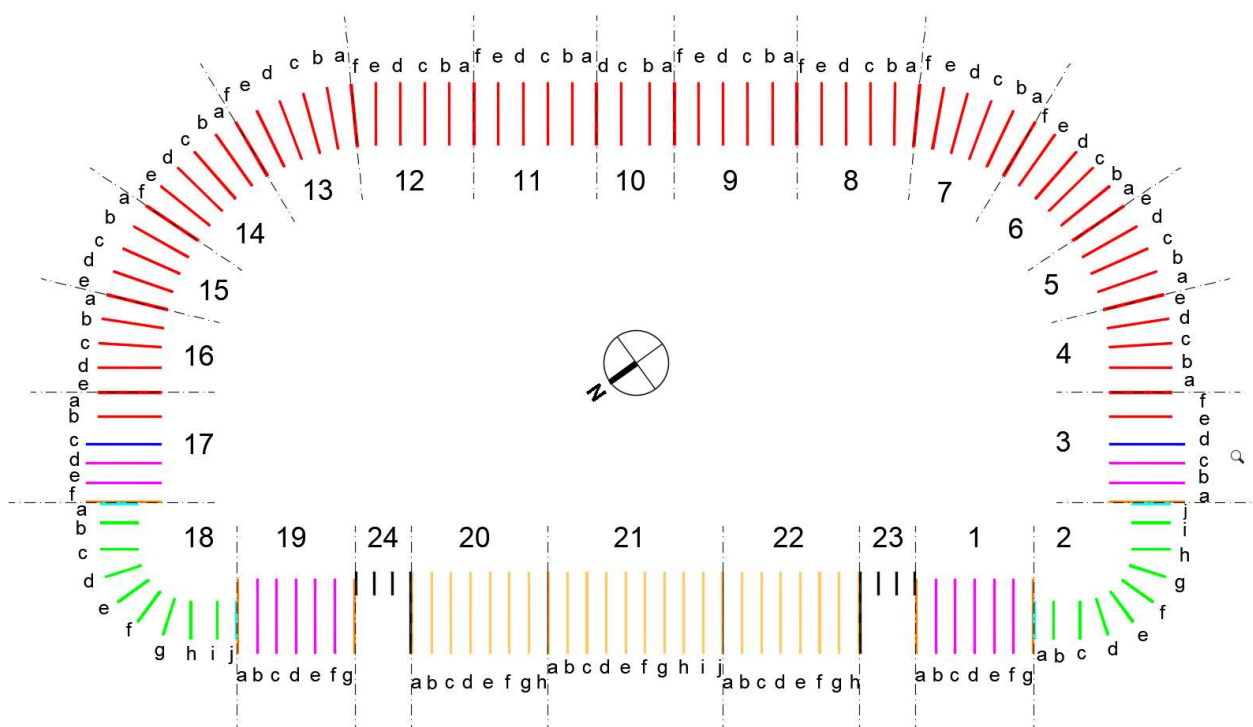


Figura 13. Schema per la denominazione dei telai

### 3.3 - Torre di Maratona

La Torre di Maratona è una struttura verticale in calcestruzzo armato, che si eleva dalle tribune scoperte dello stadio da una quota di 14,25 m (con base su una soletta in c.a. di 90 cm di spessore) e raggiunge la quota di 53,68 m (escluso il pennone porta-bandiera), estendendosi quindi su di una altezza propria di 39,43 m. La sezione di base è rettangolare e cava internamente, con dimensioni esterne di 3,15 m  $\times$  2,15 m (essendo la dimensione maggiore ortogonale al campo di gioco), mentre il vano interno ha dimensioni di 1,65  $\times$  1,15 m.

Lo spessore dei setti alla base misura 50 cm (54 cm comprendendo l'intonaco). Procedendo verso l'alto, la sezione presenta due riseghe alle quote 28,15 m e 41,18 m; tali riseghe interessano tre lati della sezione, quello posteriore ed i due laterali, cosicché lo spessore di tali setti si riduce a 30 cm (34 cm con l'intonaco) ed a 10 cm (14 cm con l'intonaco) rispettivamente nei due tratti medio ed alto. Nella parte anteriore (verso il campo) è presente un setto di chiusura di spessore 30 cm, costante fino alla sommità. Le dimensioni esterne della struttura risultano 2,95 m  $\times$  1,75 m nel tratto intermedio e 2,75 m  $\times$  1,35 m nel tratto più alto.

Nella parte anteriore la sezione della torre è chiusa da una pannellatura in vetro a forma semi-ellittica sostenuta da un telaio metallico e, a varie quote, sono presenti piccoli solai metallici interni a tale pannellatura; un ascensore interno, che sbocca a due quote intermedie ed in sommità, ed una scala metallica interna “alla marinara”, definiscono il collegamento verticale tra la base e la sommità della torre. La struttura presenta, nella parte più alta, una piccola sporgenza verso il campo, costituita da un vano chiuso in c.a. che sostituisce la pannellatura anteriore a tale altezza. Un solaio di spessore 10 cm permette di sostare sulla cima della torre. In questa zona, ammorsato nel setto trasversale anteriore per una lunghezza di circa 95 cm, si eleva un pennone metallico che ha la funzione di sorreggere un vessillo; detto pennone, che alla base ha sezione tubolare di 20 cm di diametro e spessore 8 mm, rastrema verso l'alto ed ha un'altezza complessiva di 15 m.

La sottostruttura della torre (dal piano di campagna a quota 13,65 m) è costituita da una parte della tribuna scoperta dello stadio. In particolare, sotto la torre, è presente un telaio di 8 pilastri in c.a. (che si riducono a 4 nella zona più bassa fino alle fondazioni), di sezione 70 cm  $\times$  70 cm, irrigiditi in entrambe le direzioni, sia immediatamente sotto la torre sia a due quote inferiori, da travi in c.a. di altezza 90 cm e larghezza 70 cm. Detto telaio sorregge, oltre a rampe di scale al suo interno, anche una delle scale elicoidali esterne con le relative travi irrigidenti. Quattro telai inclinati, che sostengono la gradonata della tribuna, costituiscono un vincolo in senso longitudinale (verso il campo) per la soletta di sommità alla base della torre. Nella parte anteriore, alla stessa quota della base della torre, è presente una pensilina semi-ellittica che si protrae a sbalzo verso il campo di gioco (Figura 14).

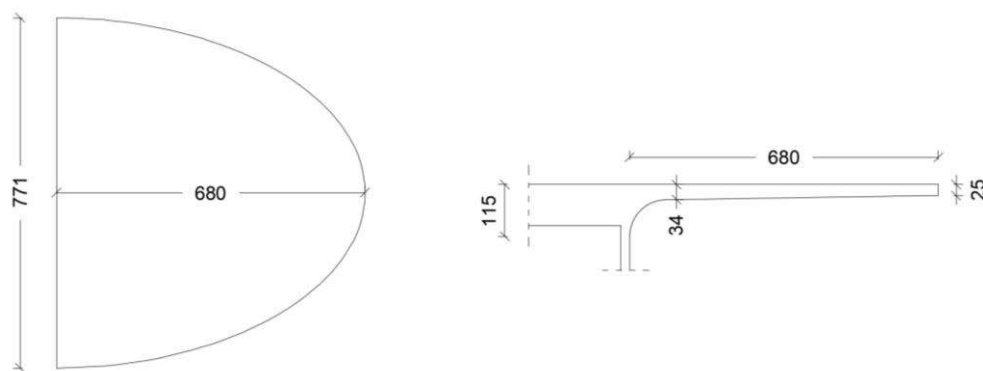


Figura 14. Pianta e sezione della pensilina semi-ellittica di Maratona



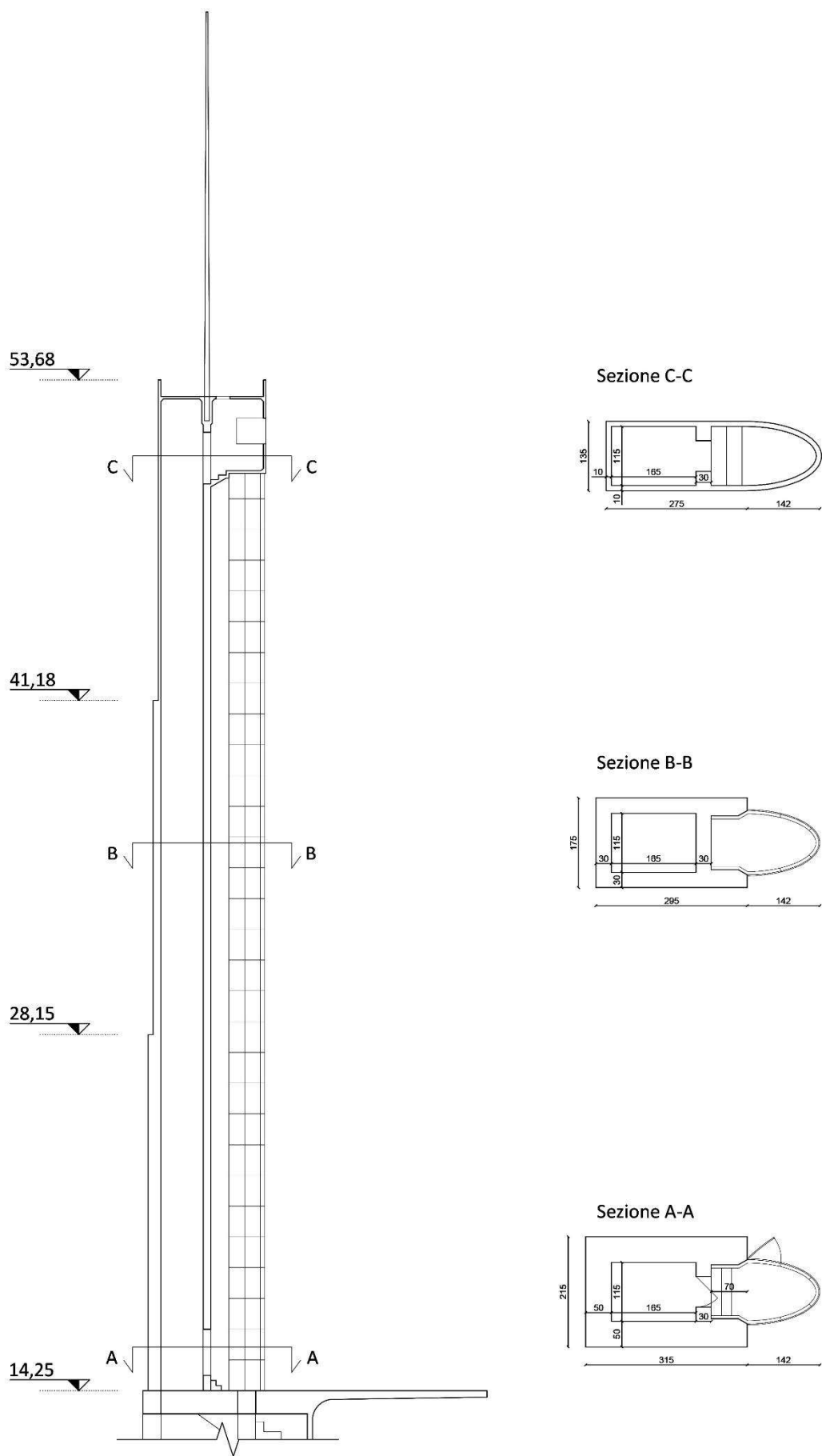


Figura 15. Torre di Maratona: sezione verticale e sezioni trasversali

### 3.4 - Scale elicoidali

Nella struttura dello stadio sono presenti tre scale elicoidali esterne alle estremità del rettilineo delle gradinate scoperte, rispettivamente a ridosso della Curva Fiesole, Curva Ferrovia e Tribuna di Maratona, queste ultime immediatamente sotto la Torre di Maratona.

La struttura delle scale (Figure 16 e 17) è costituita da 4 pilastri di sezione  $70\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ , irrigiditi sia in sommità, sia a due quote inferiori, da travi in c.a. di altezza  $90\text{ cm}$  e larghezza  $70\text{ cm}$ , in entrambe le direzioni; nelle scale di Maratona sono presenti 4 ulteriori pilastri i quali tuttavia non toccano il piano di campagna ma cadono in falso sulle più basse travi di irrigidimento, ad una quota di  $3,00\text{ m}$ .

All'interno della struttura dei pilastri si trovano due rampe rettilinee. La prima, alla quale si accede direttamente dal piano di campagna, sbarca su di una terrazza semicircolare a quota  $3,00\text{ m}$ ; dalla stessa terrazza si accede alla seconda rampa che porta alla quota di  $7,15\text{ m}$ , ovvero al pianerottolo dal quale si eleva la rampa elicoidale vera e propria che prosegue fino a quota  $13,65\text{ m}$ , cioè fino alla sommità delle gradinate.

La rampa elicoidale, larga  $3,00\text{ m}$ , sporge a mensola da una trave posta sul lato interno della stessa rampa ed avvolta a spirale, di  $60\text{ cm}$  di larghezza e  $70\text{ cm}$  di altezza; la trave poi si incrocia in mezzzeria con un'altra trave esattamente speculare. La soletta rastrema verso l'esterno, partendo da uno spessore di  $32\text{ cm}$  in prossimità della trave e riducendosi fino a  $10\text{ cm}$  all'estremità esterna.

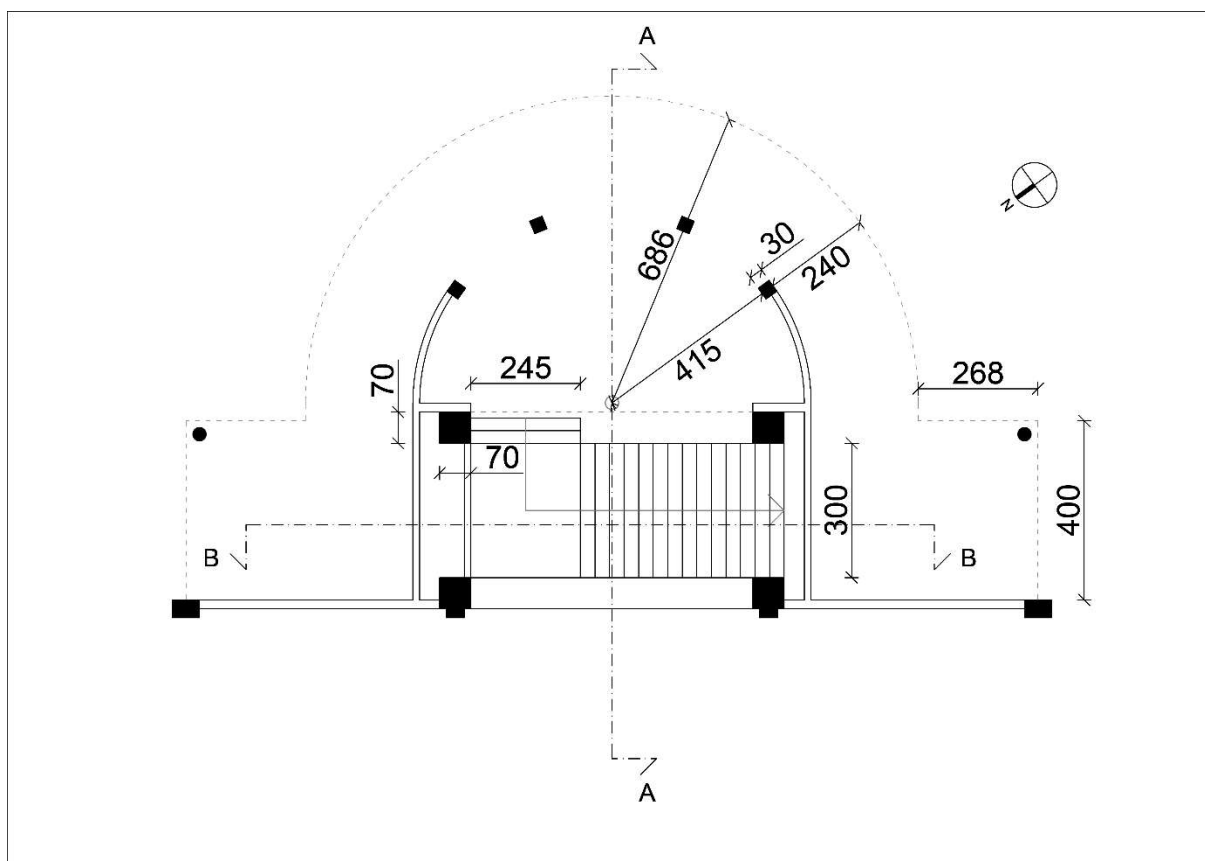
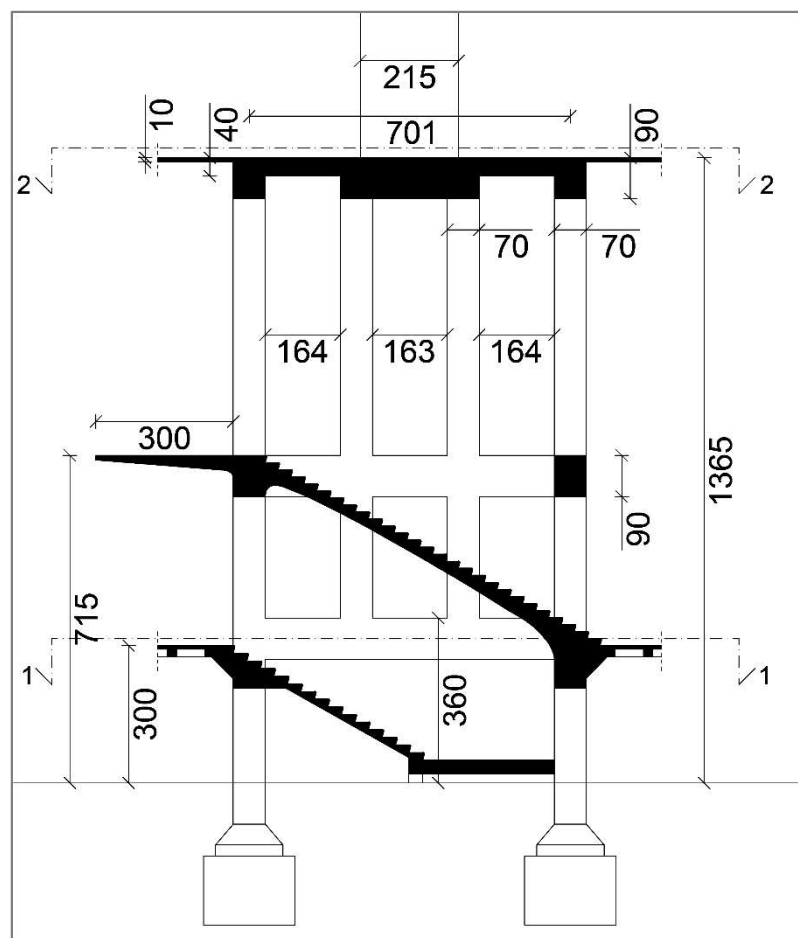
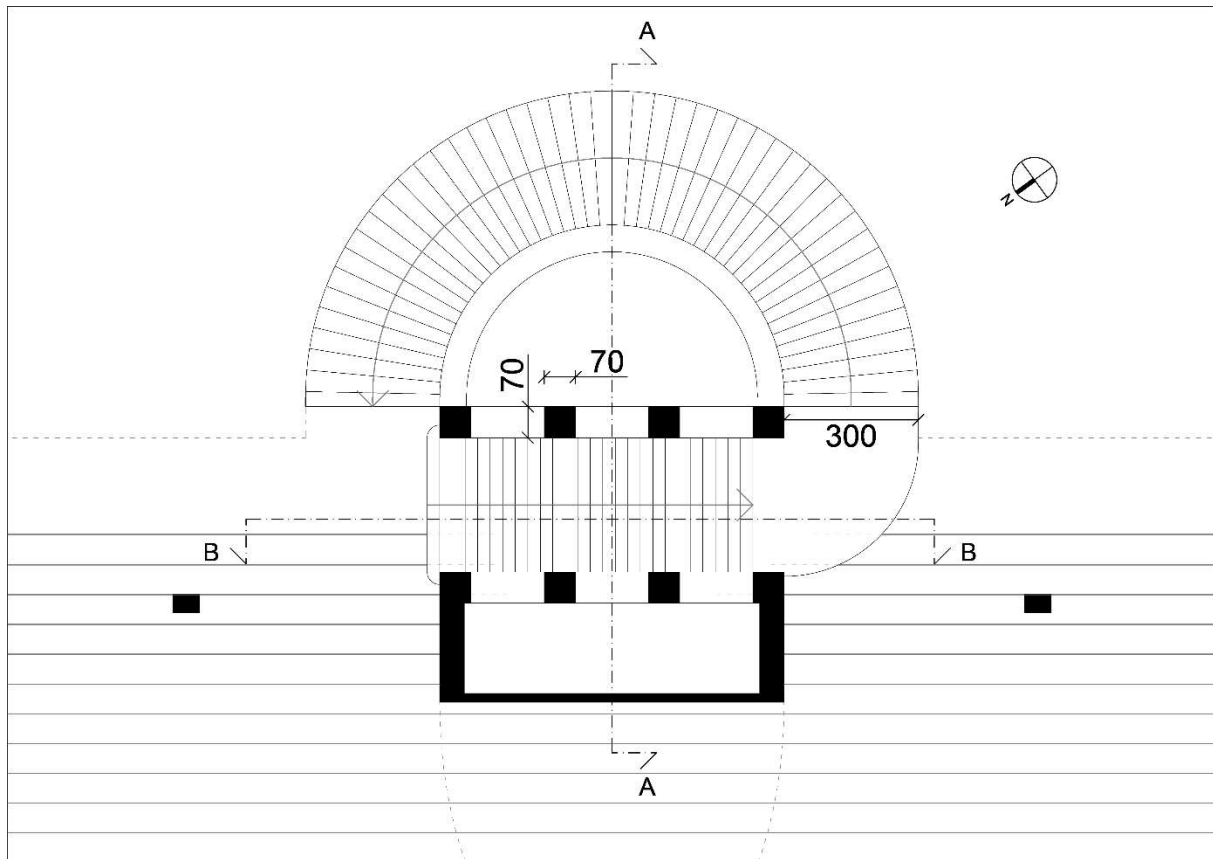


Figura 16. Sezione longitudinale della scala elicoidale (fonte: Archivio Storico del Comune di Firenze)



*Figura 17. Sezione orizzontale e verticale della scala elicoidale (fonte: Archivio Storico del Comune di Firenze)*

### 3.5 - Pensilina di copertura della Tribuna Centrale

La "Pensilina Nervi" (Figura 18) sovrasta la Tribuna Centrale per una lunghezza di 110 m ed è nervata da 24 mensoloni portanti; nel suo insieme risulta profonda circa 22,50 m, ma presenta dei puntone diagonali, integrati nel profilo della struttura, che di fatto ne dimezzano l'aggetto.

I mensoloni portanti hanno un passo costante di 4,765 m l'uno dall'altro; la loro sezione ha uno spessore costante di 40 cm dall'esterno del telaio fino all'intersezione tra il puntone diagonale e la mensola propriamente detta, mentre da quel punto fino all'estremità dello sbalzo lo spessore si riduce progressivamente fino a 35 cm.

La parte aggettante dei mensoloni ha un'altezza che varia dai 260 cm all'intersezione con il puntone fino ai 65 cm all'estremità dello sbalzo.

Una trave di altezza 12 cm e larghezza 90 cm ricalca l'estradosso di tutto il mensolone e porta il solaio di copertura.

I mensoloni sono tra loro collegati trasversalmente da una trave che si ancora nella zona di raccordo tra la mensola ed il puntone diagonale. Il profilo di questa trave è articolato in 3 settori, i due laterali con un'altezza variabile da 120 cm (all'incastro) fino a 90 cm, ed un settore centrale di altezza costante pari proprio a 90 cm.

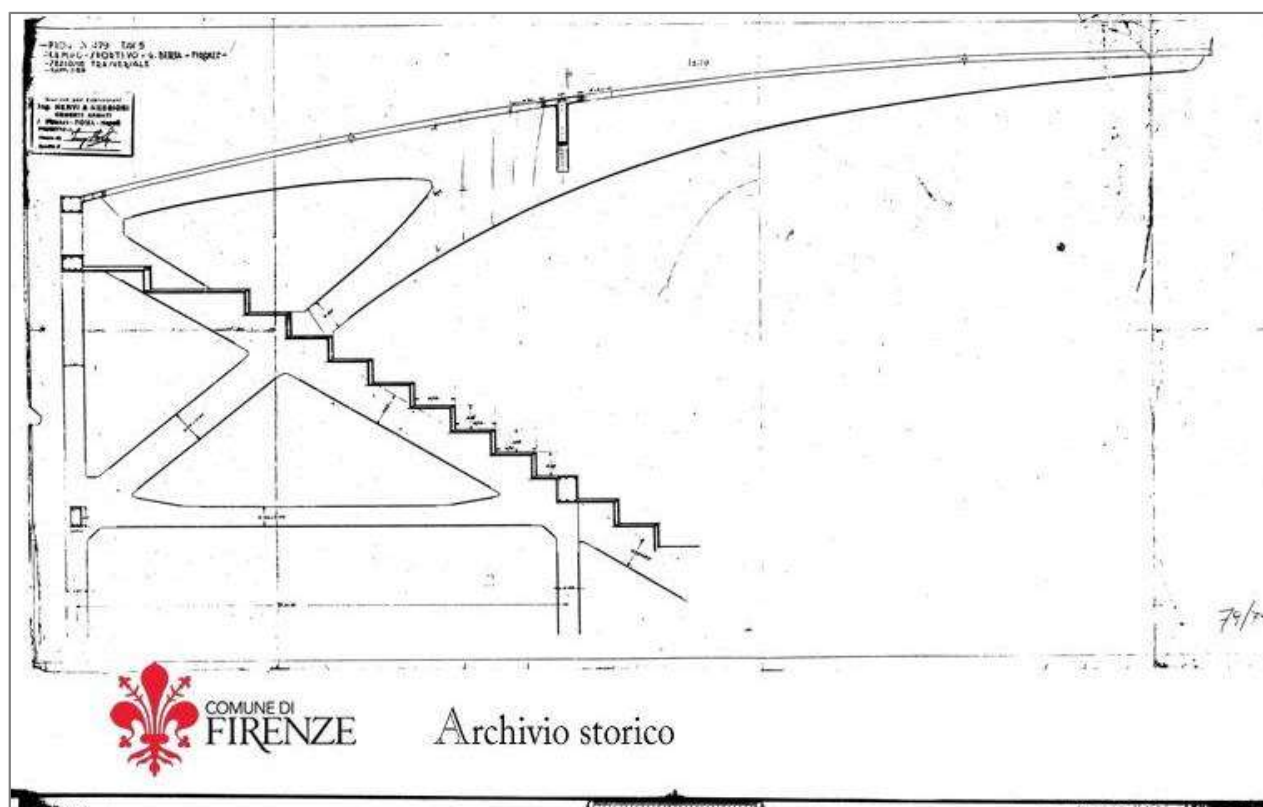


Figura 18. Tavola di progetto raffigurante la Pensilina di Copertura della Tribuna Centrale (fonte: Archivio Storico del Comune di Firenze)



### 3.6 - Ambienti interni

Come già anticipato sommariamente al §3.1, i blocchi 20, 21 e 22 (Figura 2) ospitano gli ambienti interni dello stadio, che si sviluppano su 4 diversi livelli.

Il piano interrato (Figura 19) si sviluppa ad una quota di -2,20 m dal piano di campagna nei suoi settori laterali (blocchi 20 e 22) e ad una quota di -1,70 m nel settore centrale (blocco 21). In corrispondenza del settore laterale sinistro (blocco 20) si trovano 3 locali tecnici, un magazzino, due spogliatoi per gli arbitri ed un vano destinato ai controlli antidoping, corredato da servizi igienici; nel settore di destra (blocco 22) trovano spazio 2 locali tecnici, 2 grandi spogliatoi destinati agli atleti ed uno spogliatoio più piccolo; infine, il settore centrale (blocco 21) è interamente occupato dai servizi igienici destinati agli spettatori della tribuna. Si accede al piano interrato attraverso due scale in c.a. poste alle due estremità del complesso della tribuna ed una scala metallica di nuova realizzazione posizionata al confine tra i blocchi 21 e 22.

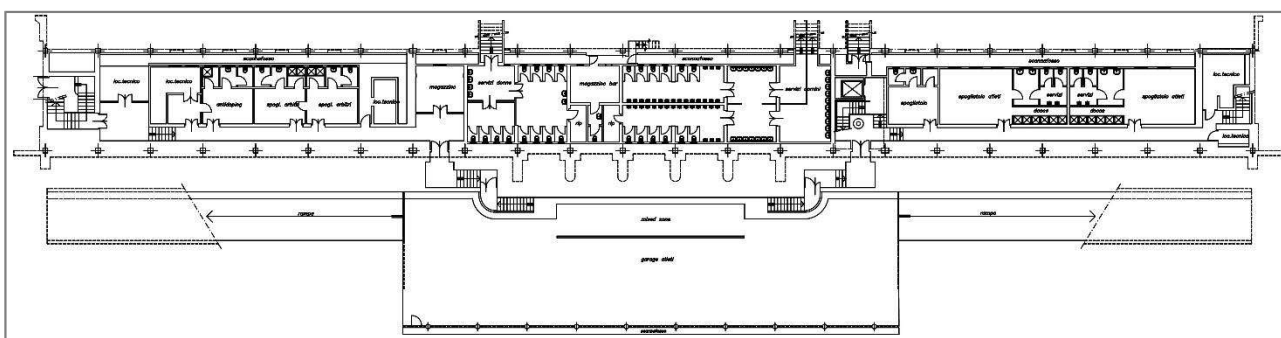


Figura 19. Piano interrato

Il piano terreno (Figura 20) si sviluppa pressoché interamente alla quota di 1,02 m sul piano di campagna. Gli ingressi laterali, sul livello stradale, permettono di accedere ai due settori marginali delle tribune, dove si trovano le rampe di scale che portano immediatamente al livello +1,02 ed anche i blocchi scala che permettono di passare al piano interrato ed al piano primo.

Gli ambienti di questo livello sono tutti collegati tra loro da un corridoio che si sviluppa sul lato del campo di gioco. Lo spogliatoio della squadra di casa occupa interamente il settore di sinistra (blocco 20) ed una parte del settore centrale (blocco 21), mentre sulla restante si sviluppa un ampio salone d'ingresso alla tribuna d'onore; nel settore sulla destra (blocco 22) si sviluppano 4 uffici, una centrale Telecom ed un blocco di servizi igienici.

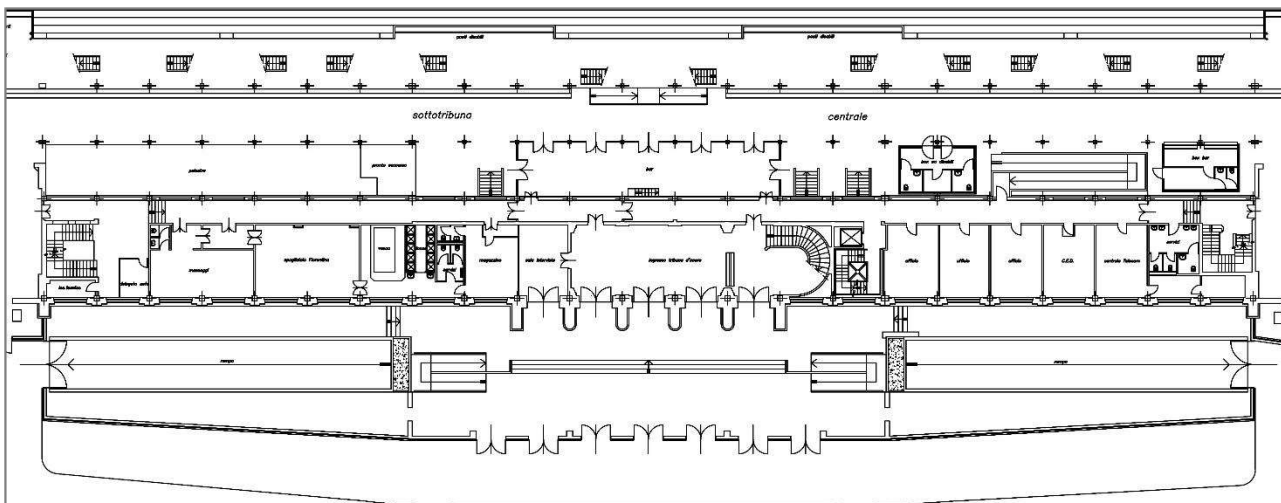
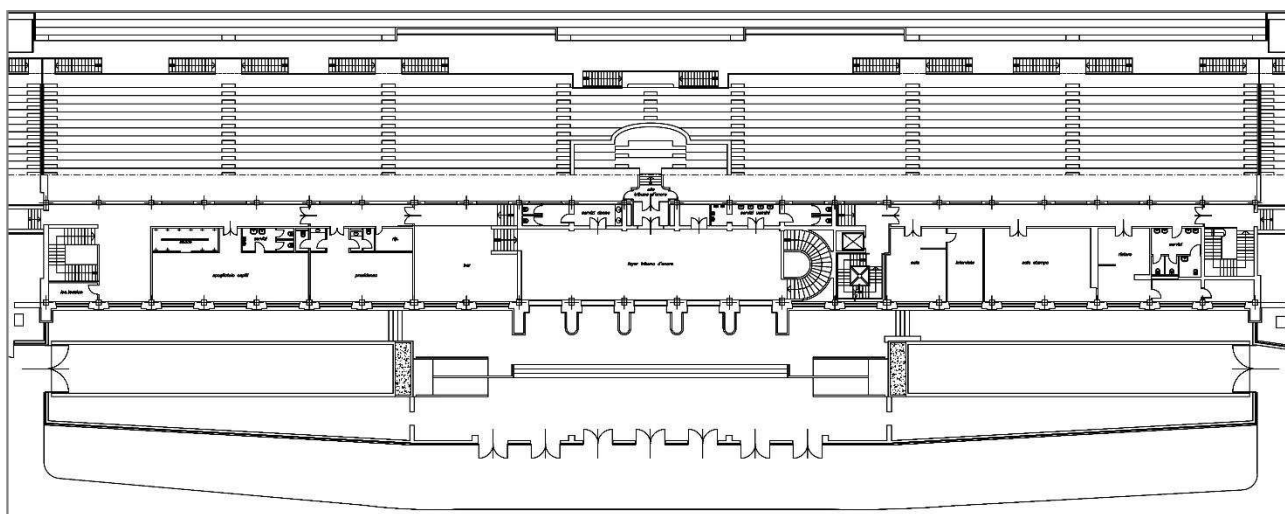


Figura 20. Piano terreno

Il piano primo (Figura 21) si sviluppa su due quote diverse; +4,55 m sul piano di campagna per i due blocchi laterali ed una porzione del blocco centrale, e +5,91 m per la parte rimanente dello stesso blocco centrale.

Il settore sinistro (blocco 20) accoglie lo spogliatoio della squadra ospite e l'ufficio della presidenza, mentre il settore centrale (blocco 21), al quale si accede mediante una scala elicoidale che si sviluppa a partire dal salone d'ingresso al piano inferiore, ospita un grande foyer e due blocchi di servizi igienici; il settore di destra (blocco 22) è collegato agli altri due da un corridoio che si sviluppa al di sotto dei servizi igienici del foyer ed accoglie una sala stampa, una sala interviste, un punto di ristoro ed un blocco di servizi igienici.

Si accede agli ambienti del piano primo attraverso le due scale laterali in c.a., la scala elicoidale centrale e la sopradetta scala metallica di più recente realizzazione.



*Figura 21. Piano primo*

Il livello più elevato si trova a due quote diverse, entrambe non definibili con precisione, ma approssimativamente di +9,35 m per i settori laterali e +10,05 m per quello centrale.

Questi ambienti, accessibili solo per manutenzione, accolgono i macchinari che permettono il funzionamento di tutto il sistema impiantistico che serve i piani inferiori. Si accede a questo livello attraverso botole ubicate in varie posizioni del soffitto del piano primo, mediante l'utilizzo di scale retrattili incorporate nelle stesse botole.

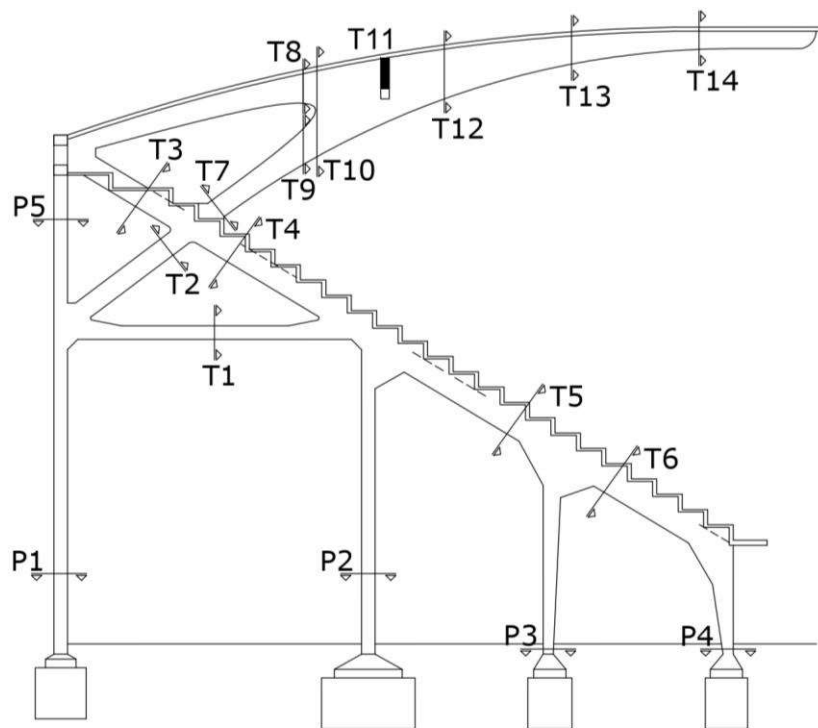
### 3.7 - Elementi strutturali

Si riportano di seguito le informazioni a disposizione sulle sezioni degli elementi strutturali facenti parte dei vari telai costituenti l'intera struttura.

I valori delle armature sono stati desunti dalla Relazione di Collaudo, dalle tavole di progetto ritrovate e dalle campagne di indagini condotte in situ.

Similmente è stata definita la profondità del copriferro per ogni sezione.

#### BLOCCHI 20 E 22 – TRIBUNA CENTRALE



*Figura 22. Telaio 1 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

Per quanto riguarda i blocchi 20 e 22 sono state considerate le armature riportate nella tabella seguente (Figura 23), ad eccezione della fila “b” appartenente al blocco 20 e della fila “g” appartenente al blocco 22 per le quali, in alcuni casi, sono stati riscontrati differenti quantitativi di armatura (Figura 24).

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/20
P2	400	400	3 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/15
P3	300	300	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	300	300	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø 6/25
P5	400	400	6 Ø 26	6 Ø 26	Ø 6/20
T1	400	500	6 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T2	400	600	4 Ø 26	2 Ø 26	Ø 8/20
T3	400	650	4 Ø 26	4 Ø 20	Ø 8/20
T4	400	650	2Ø20+4Ø26	4 Ø 20	Ø 8/20
T5	300	600	2Ø20+4Ø16	4 Ø 20	Ø 8/15
T6	300	600	4 Ø 16	2 Ø 16	Ø 8/20
T7	400	600	6 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/20
T8	400	1000	9 Ø 20	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T9	400	1200	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/10
T10	400	2600	6 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T11	250	900	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T12	400	1500	8 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 10/20
T13	370	950	6 Ø 26	9Ø26+2Ø20	Ø 8/15
T14	350	650	4 Ø 26	6Ø26+2Ø20	Ø 8/15

Figura 23. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 1



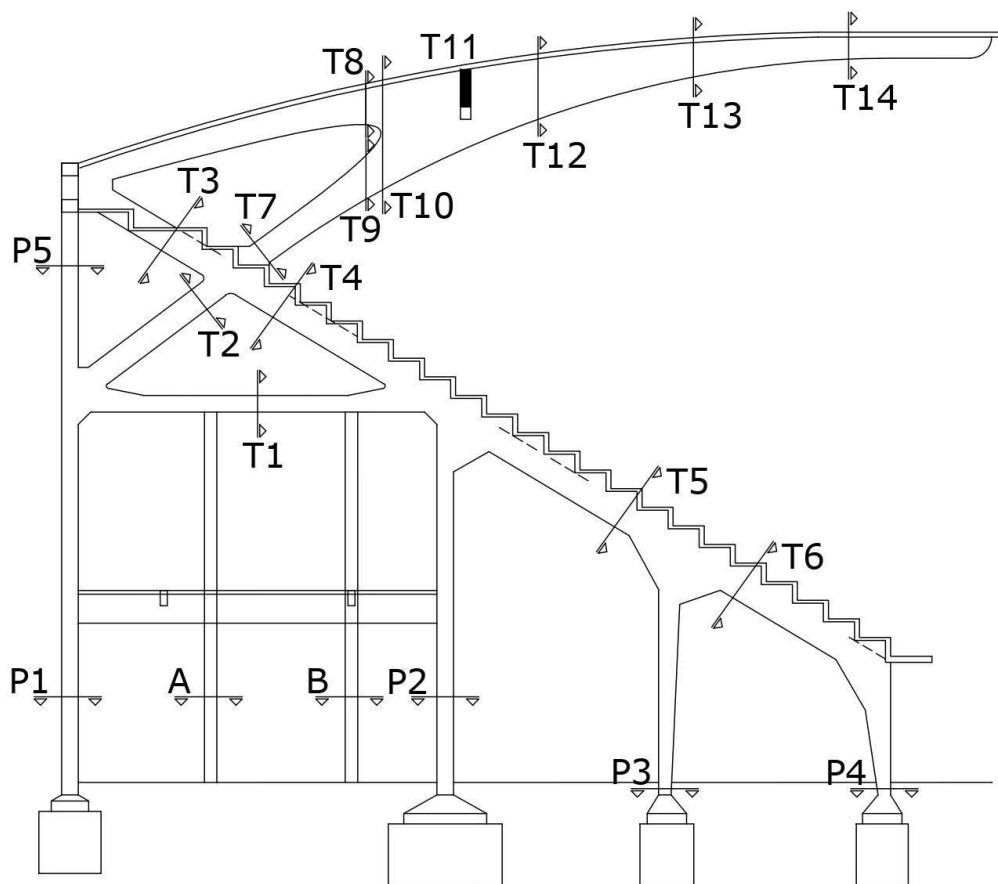
	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/20
P2	400	400	3 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/15
P3	300	300	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	300	300	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø 6/25
P5	400	400	6 Ø 26	6 Ø 26	Ø 6/20
T1	400	500	6 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T2	400	600	4 Ø 26	2 Ø 26	Ø 8/20
T3	400	650	4 Ø 26	4 Ø 20	Ø 8/20
T4	400	650	2Ø20+4Ø26	4 Ø 20	Ø 8/20
T5	300	600	2Ø20+4Ø16	4 Ø 20	Ø 8/15
T6	300	600	4 Ø 16	2 Ø 16	Ø 8/20
T7	400	600	6 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/20
T8	400	1000	9 Ø 20	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T9	400	1200	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/10
T10	400	2600	6 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T11	250	900	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T12	400	1500	5 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 10/20
T13	370	950	6 Ø 26	9Ø26+2Ø20	Ø 8/15
T14	350	650	4 Ø 26	6Ø26+2Ø20	Ø 8/15

*Figura 24. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica delle file 20b e 22g del telaio 1*

## BLOCCO 21 – TRIBUNA CENTRALE

Per quanto riguarda il blocco 21, pur essendo caratterizzato dal medesimo telaio 1, è stato fatto riferimento ad uno schema strutturale che si differenzia da quello impiegato per i blocchi 20 e 22 per la presenza del pilastro relativo alla sezione B che risulta essere assente nei due blocchi adiacenti.

Inoltre è stato riscontrato che il pilastro relativo alla sezione A fa parte soltanto ad uno dei telai del blocco 21.



*Figura 25. Telaio 1 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/20
P2	400	400	3 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/15
P3	300	300	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	300	300	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø 6/25
P5	400	400	6 Ø 26	6 Ø 26	Ø 6/20
T1	400	500	6 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T2	400	600	4 Ø 26	2 Ø 26	Ø 8/20
T3	400	650	4 Ø 26	4 Ø 20	Ø 8/20
T4	400	650	2Ø20+4Ø26	4 Ø 20	Ø 8/20
T5	300	600	2Ø20+4Ø16	4 Ø 20	Ø 8/15
T6	300	600	4 Ø 16	2 Ø 16	Ø 8/20
T7	400	600	6 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/20
T8	400	1000	9 Ø 20	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T9	400	1200	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/10
T10	400	2600	6 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T11	250	900	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T12	400	1500	8 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 10/20
T13	370	950	6 Ø 26	9Ø26+2Ø20	Ø 8/15
T14	350	650	4 Ø 26	6Ø26+2Ø20	Ø 8/15

*Figura 26. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 1*

Per la fila "b" sono state considerate sezioni strutturali diversificate rispetto agli altri telai del blocco 21 in quanto durante le indagini sono state riscontrate barre d'armatura differenti per numero e diametro.

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/20
P2	400	400	3 Ø 22	2 Ø 22	Ø 6/15
P3	300	300	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	300	300	2 Ø 16	2 Ø 16	Ø 6/25
P5	400	400	6 Ø 26	6 Ø 26	Ø 6/20
T1	400	500	6 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T2	400	600	4 Ø 26	2 Ø 26	Ø 8/20
T3	400	650	4 Ø 26	4 Ø 20	Ø 8/20
T4	400	650	2Ø20+4Ø26	4 Ø 20	Ø 8/20
T5	300	600	2Ø16	4 Ø 20	Ø 10/27
T6	300	600	4 Ø 16	2 Ø 16	Ø 8/20
T7	400	600	6 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/20
T8	400	1000	9 Ø 20	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T9	400	1200	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 8/10
T10	400	2600	6 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 8/10
T11	250	900	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 8/20
T12	400	1500	8 Ø 26	14Ø26+2Ø20	Ø 10/20
T13	370	950	6 Ø 26	9Ø26+2Ø20	Ø 8/15
T14	350	650	4 Ø 26	6Ø26+2Ø20	Ø 8/15

Figura 27. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 1b del blocco 21



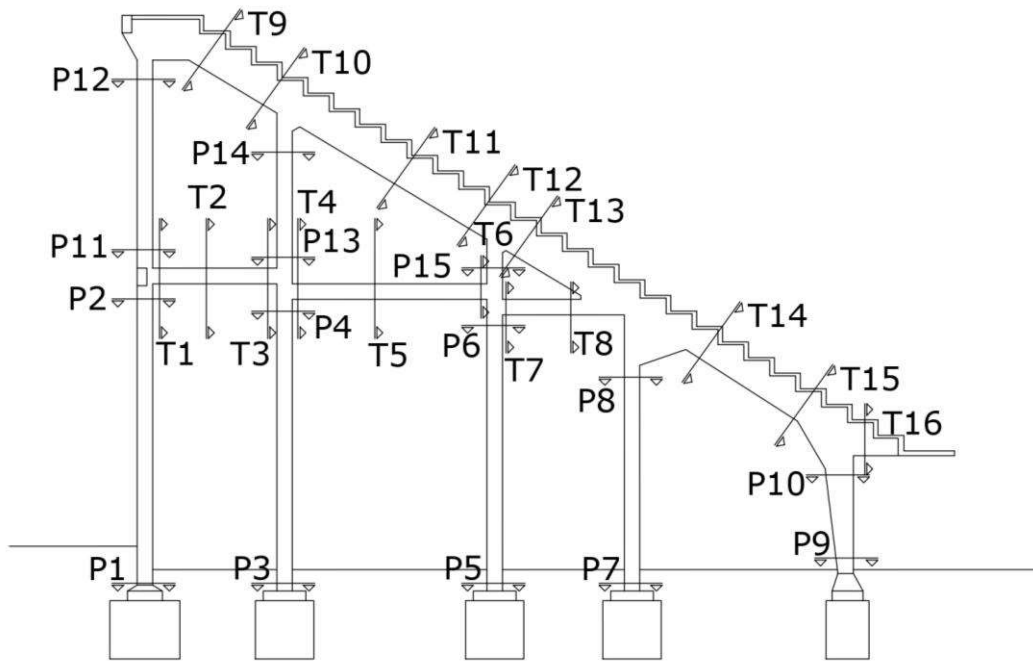
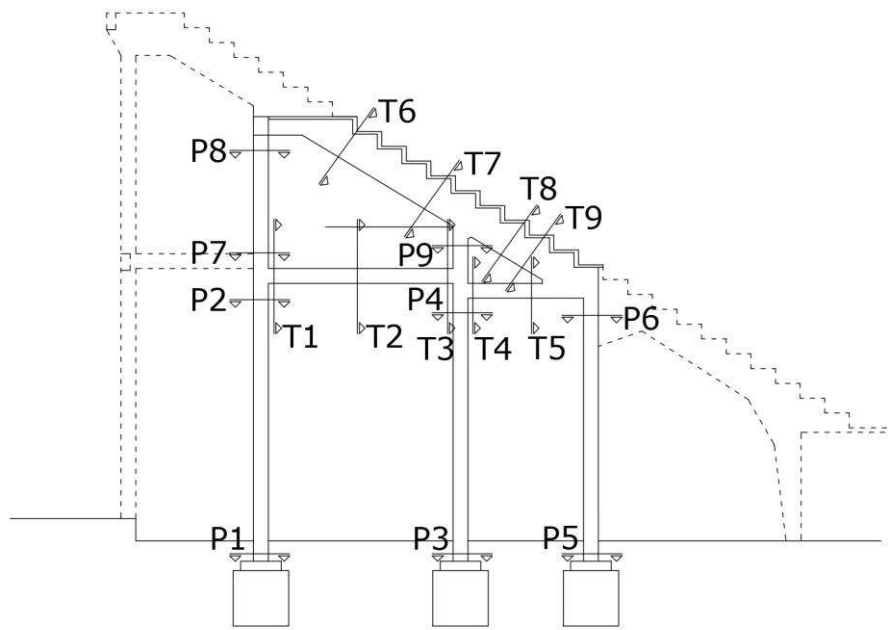


Figura 28. Telaio 2 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P3	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P8	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P9	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/28
P10	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/28
P11	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P12	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P13	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
P14	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
P15	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20

T1	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T2	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T3	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T4	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T6	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T8	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T9	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
T10	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T11	400	700	6 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
T12	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T13	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T14	400	600	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T15	400	600	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T16	400	600	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/20

*Figura 29. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 2*



*Figura 30. Telaio 3 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

	<b>B (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>Armatura inferiore</b>	<b>Armatura superiore</b>	<b>Staffe (mm/cm)</b>
P1	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P2	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P3	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P4	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P5	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P6	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P7	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P8	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
P9	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20

T1	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
T2	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
T3	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
T4	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
T5	400	400	2 Ø 18	2 Ø 18	Ø 6/20
T6	400	700	9 Ø 12	9 Ø 12	Ø 10/20
T7	400	700	9 Ø 12	9 Ø 12	Ø 10/20
T8	400	700	9 Ø 12	9 Ø 12	Ø 10/20
T9	400	700	9 Ø 12	9 Ø 12	Ø 10/20

*Figura 31. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 3*

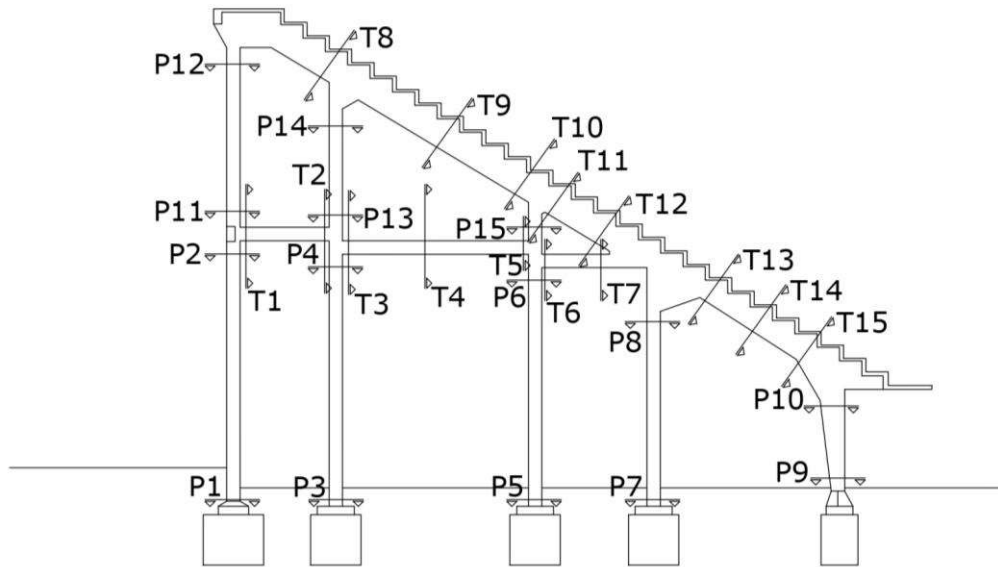


Figura 32. Telaio 4 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P3	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P8	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P9	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/28
P10	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/28
P11	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P12	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P13	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
P14	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
P15	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20

T1	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T2	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T3	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T4	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T6	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/22
T8	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T9	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T10	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T11	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T12	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T13	400	600	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T14	400	600	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T15	400	600	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20

*Figura 33. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 4*

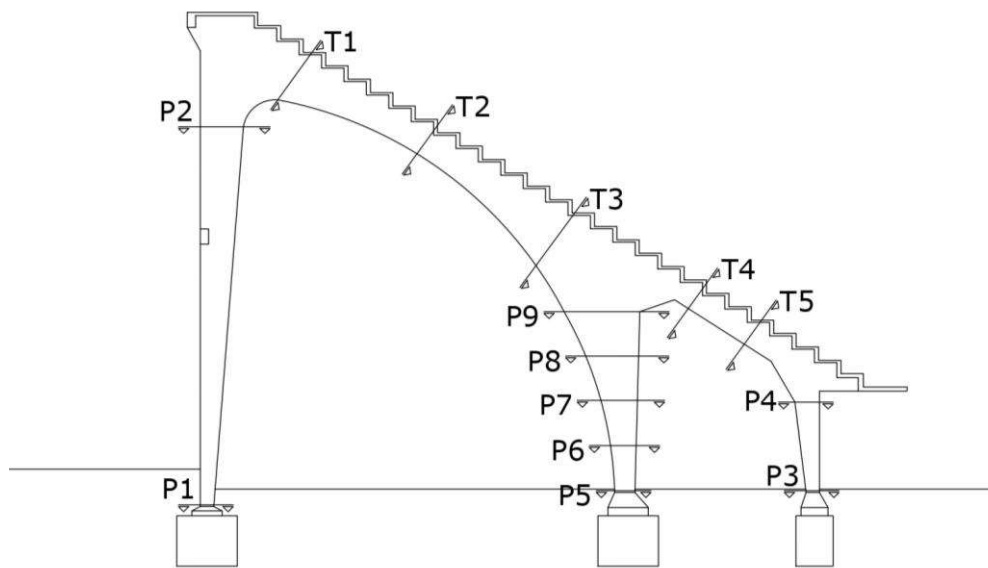


Figura 34. Telaio 5 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	4 Ø 20	4 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	1250	4 Ø 20	4 Ø 20	Ø 6/23
P3	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/23
P4	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P5	400	600	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 5/20
P6	400	750	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/18
P7	400	1050	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/25
P8	400	1550	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/25
P9	400	2250	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/25
T1	400	1400	3 Ø 26	2 Ø 26	Ø 10/20
T2	400	700	3 Ø 26	2 Ø 26	Ø 10/20
T3	400	2500	3 Ø 26	2 Ø 26	Ø 10/20
T4	400	500	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 5/20
T5	400	600	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/20

Figura 35. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 5



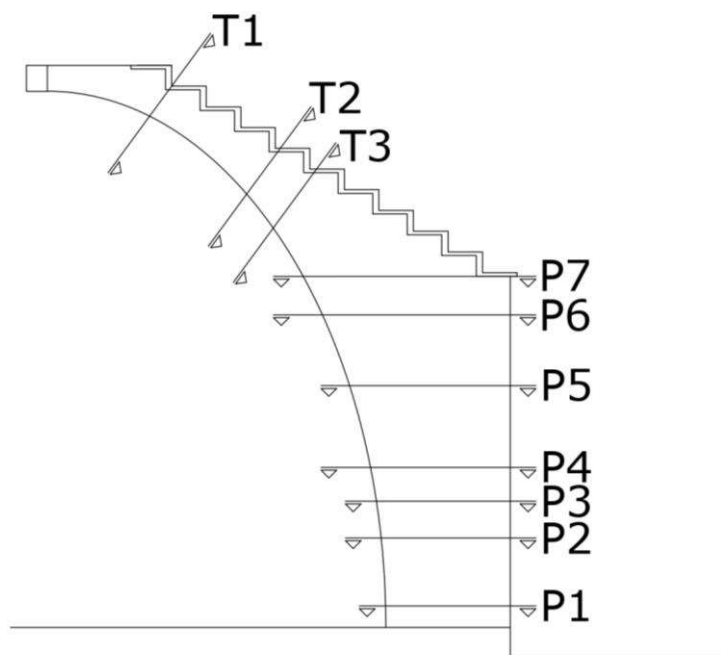


Figura 36. Telaio 6 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica

Per quanto riguarda il telaio 6, sono state considerate sezioni strutturali diversificate per il blocco 2, appartenente alla curva Ferrovia, e per il blocco 18, appartenente alla curva Fiesole, in quanto durante le indagini sono stati riscontrati ferri d'armatura differenti per numero e diametro.

#### BLOCCO 2 - CURVA FERROVIA

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	550	2400	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/20
P2	550	2500	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/20
P3	550	2600	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/20
P4	550	2700	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/20
P5	550	3100	12 $\emptyset$ 26+2 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/28
P6	550	3600	2 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/28
P7	550	4000	2 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/28
T1	550	3600	4 $\emptyset$ 20	4 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/10
T2	550	1000	16 $\emptyset$ 20	16 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/10
T3	550	1300	16 $\emptyset$ 20	16 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/10

Figura 37. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 6

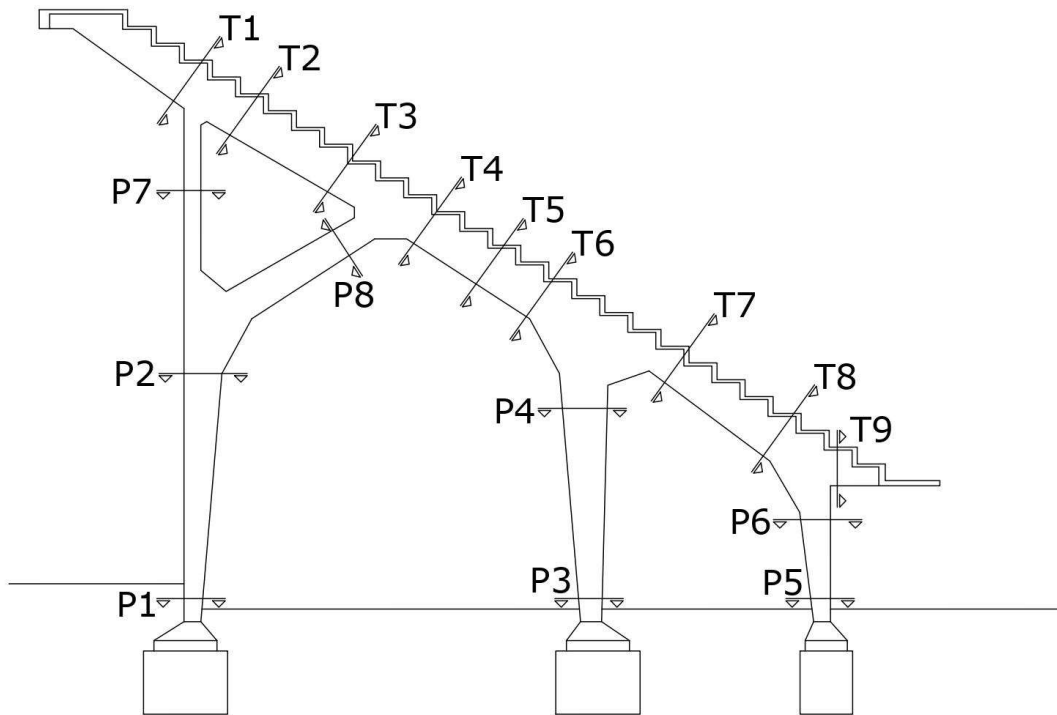
## BLOCCO 18 - CURVA FIESOLE

	<b>B (mm)</b>	<b>H (mm)</b>	<b>Armatura inferiore</b>	<b>Armatura superiore</b>	<b>Staffe (mm/cm)</b>
P1	550	2400	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/25
P2	550	2500	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/25
P3	550	2600	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/25
P4	550	2700	13 $\emptyset$ 28	6 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/25
P5	550	3100	17 $\emptyset$ 20	11 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/22
P6	550	3600	2 $\emptyset$ 20	11 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/22
P7	550	4000	2 $\emptyset$ 20	11 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/22
T1	550	3600	12 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/12
T2	550	1000	12 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/12
T3	550	1300	12 $\emptyset$ 20	12 $\emptyset$ 20	$\emptyset$ 10/12

*Figura 38. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 6*

Un’analoga situazione si ha per il telaio 7 che presenta dettagli strutturali differenti nel gruppo di blocchi relativi alla curva Ferrovia, alla tribuna Maratona ed alla curva Fiesole.

### CURVA FERROVIA



*Figura 39. Telaio 7 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

## CURVA FERROVIA – Telaio d'estremità tra i blocchi

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	300	400	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P2	300	900	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P3	300	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/18
P4	300	1100	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
P5	300	400	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 5/27
P6	300	700	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 5/27
P7	300	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/25
P8	300	700	4 Ø 20	2 Ø 16	Ø 5/20
T1	300	700	2Ø20+4Ø26	7 Ø 26	Ø 6/11
T2	300	700	6 Ø 26	3 Ø 26	Ø 5/20
T3	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
T4	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/19
T5	300	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T6	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T7	300	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/17
T8	300	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/22
T9	300	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/20

Figura 40. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 di estremità tra i blocchi

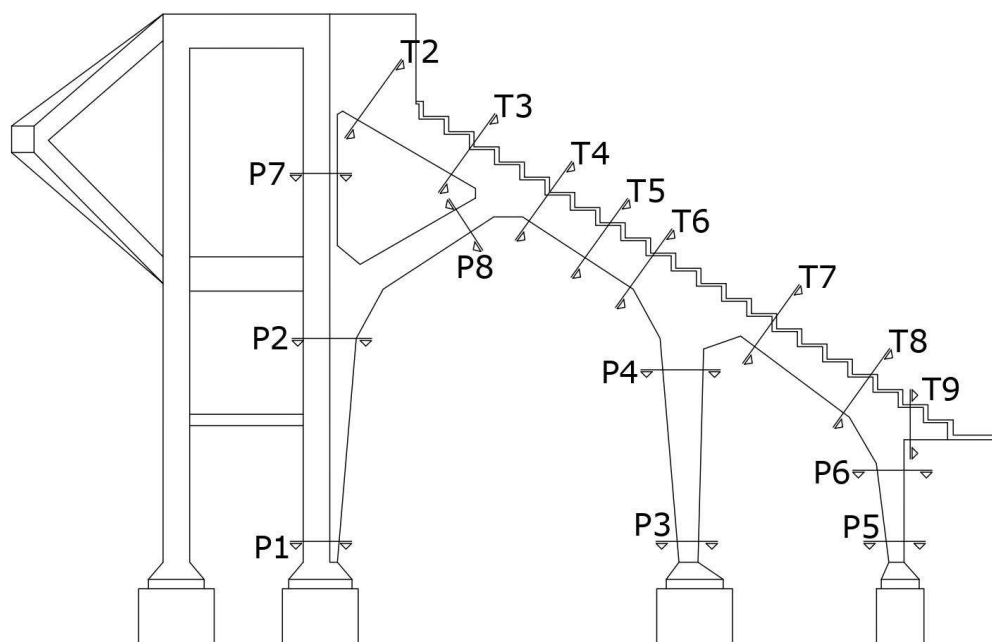
## CURVA FERROVIA – Telaio interno

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	6 Ø 20	6 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	900	2 Ø 20	4Ø20+4Ø26	Ø 6/25
P3	400	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/18
P4	400	1100	3 Ø 20	2Ø16+1Ø10	Ø 5/20
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/25
P8	400	700	4 Ø 20	2 Ø 16	Ø 5/20
T1	400	700	2Ø20+4Ø26	7 Ø 26	Ø 6/11
T2	400	700	6 Ø 26	3 Ø 26	Ø 5/20
T3	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
T4	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/19
T5	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T7	400	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/17
T8	400	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/22
T9	400	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/20

Figura 41. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 interno

Per quanto riguarda le file “d” ed “e” del blocco 6, sono state considerate sezioni strutturali diversificate per geometria e per quantitativo di armatura in esse riscontrata, data la presenza delle scale elicoidali in adiacenza alle suddette file di telai. Di seguito si riporta lo schema delle sezioni di verifica e la tabella relativa alla geometria e all’armatura per ciascuna sezione strutturale.

CURVA FERROVIA – Telaio 6d; telaio 6e



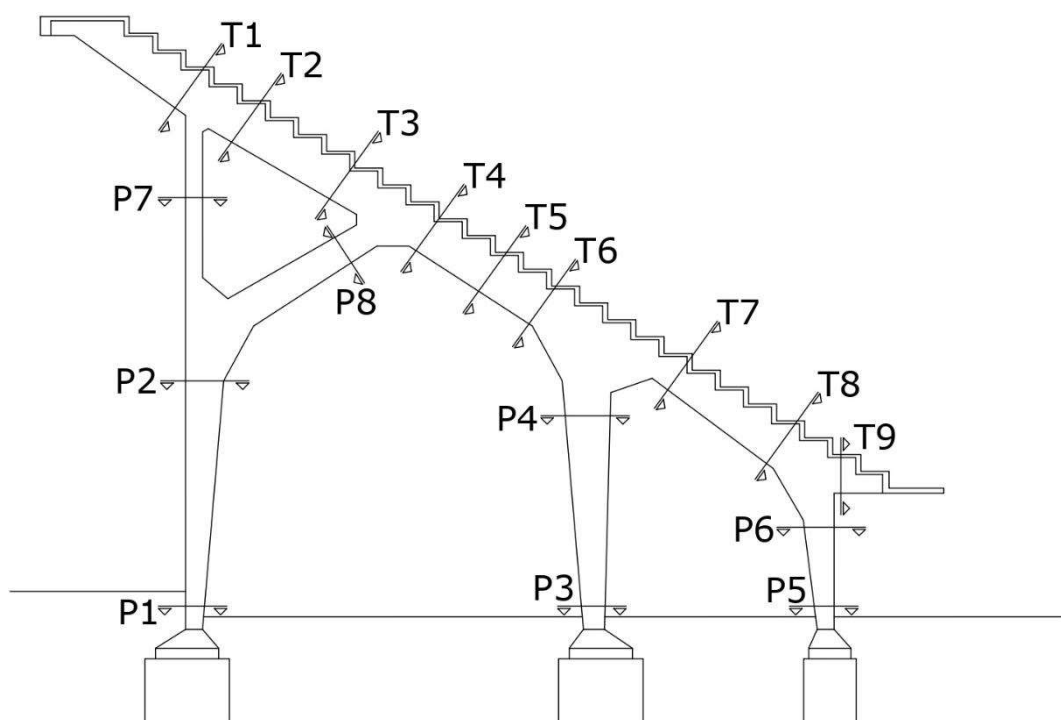
*Figura 42. Telaio 7 appartenente al blocco 6, file “d” ed “e”, con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

## CURVA FERROVIA – Telaio 6d; telaio 6e

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	6 Ø 20	6 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	900	2 Ø 20	4Ø20+4Ø26	Ø 6/25
P3	400	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/18
P4	400	1100	3 Ø 20	2Ø16+1Ø10	Ø 5/20
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/27
P7	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/25
P8	400	700	4 Ø 20	2 Ø 16	Ø 5/20
T1	400	700	2Ø20+4Ø26	7 Ø 26	Ø 6/11
T2	400	700	6 Ø 26	3 Ø 26	Ø 5/20
T3	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/20
T4	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/19
T5	400	700	4 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T7	400	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/17
T8	400	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/22
T9	400	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/20

Figura 43. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 appartenente al blocco 6, file "d" ed "e"

TRIBUNA MARATONA



*Figura 44. Telaio 7 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*



## TRIBUNA MARATONA – Telaio d'estremità tra i blocchi

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	300	400	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P2	300	900	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P3	300	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P4	300	1100	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P5	300	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	300	700	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P7	300	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P8	300	700	2 Ø 20	5 Ø 20	Ø 6/20
T1	300	700	7 Ø 20	7 Ø 20	Ø 10/12
T2	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T3	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T4	300	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T5	300	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T6	300	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T7	300	500	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T8	300	700	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T9	300	700	2 Ø 20	6 Ø 20	Ø 10/15

Figura 45. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 di estremità tra i blocchi

## TRIBUNA MARATONA – Telaio interno

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	6 Ø 20	6 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	900	3 Ø 20	4Ø20	Ø 6/18
P3	400	500	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	1100	6 Ø 20	5 Ø 20	Ø 10/15
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	400	400	2 Ø 26	2 Ø 26	Ø 10/22
P8	400	700	4 Ø 20	5 Ø 20	Ø 8/18
T1	400	700	7Ø20	7 Ø 20	Ø 10/12
T2	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T3	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T4	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T5	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T6	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T7	400	500	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T8	400	700	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T9	400	700	2 Ø 20	6 Ø 20	Ø 10/15

Figura 46. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 interno

Per quanto riguarda le file “b” ed “c” del blocco 9 e le file “d” ed “e” del blocco 11 sono state considerate sezioni strutturali diversificate, essendo state riscontrate delle variazioni nel quantitativo di armatura di alcune sezioni. Di seguito si riporta lo schema delle sezioni di verifica e la tabella relativa alla geometria e all’armatura per ciascuna sezione strutturale.

## TRIBUNA MARATONA – Telaio 9b; telaio 11e

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	6 Ø 20	6 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	900	3 Ø 20	4Ø20	Ø 6/18
P3	400	500	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	1100	6 Ø 20	5 Ø 20	Ø 10/15
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	400	400	2Ø20+1Ø6	2Ø20+1Ø6	Ø 6/22
P8	400	700	2 Ø 20	5 Ø 20	Ø 6/20
T1	400	700	7Ø20	7 Ø 20	Ø 10/12
T2	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T3	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T4	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T5	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T6	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T7	400	500	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T8	400	700	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T9	400	700	2 Ø 20	6 Ø 20	Ø 10/15

*Figura 47. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 appartenente al blocco 9 fila "b" ed al blocco 11 fila "e"*

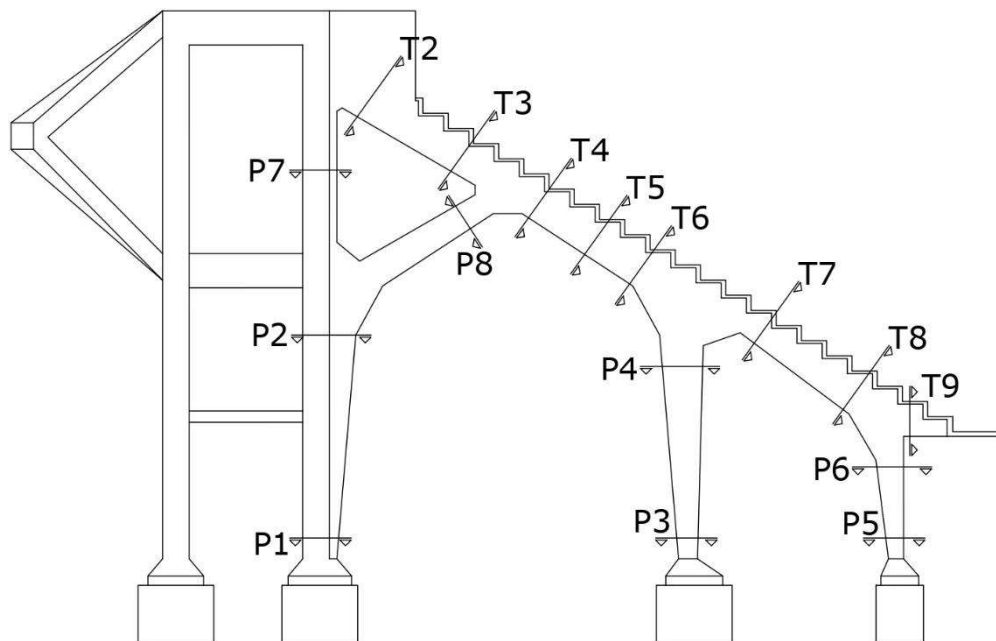
## TRIBUNA MARATONA – Telaio 9c; telaio 11d

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	6 Ø 20	6 Ø 20	Ø 6/20
P2	400	900	3 Ø 20	4Ø20	Ø 6/18
P3	400	500	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	1100	6 Ø 20	5 Ø 20	Ø 10/15
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	400	400	2 Ø 26	2 Ø 26	Ø 10/22
P8	400	700	4 Ø 20	5 Ø 20	Ø 6/20
T1	400	700	8Ø20	8 Ø 20	Ø 10/12
T2	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T3	400	800	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T4	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T5	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T6	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T7	400	500	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T8	400	700	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T9	400	700	2 Ø 20	6 Ø 20	Ø 10/15

*Figura 48. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 appartenente al blocco 9 fila "c" ed al blocco 11 fila "d"*

Per quanto riguarda le file “b” ed “c” del blocco 10, sono state considerate sezioni strutturali diversificate per geometria e per quantitativo di armatura in esse riscontrata, data la presenza delle scale elicoidali in adiacenza alle suddette file di telai. Di seguito si riporta lo schema delle sezioni di verifica e la tabella relativa alla geometria e all’armatura per ciascuna sezione strutturale.

TRIBUNA MARATONA – Telaio 10b; telaio 10c



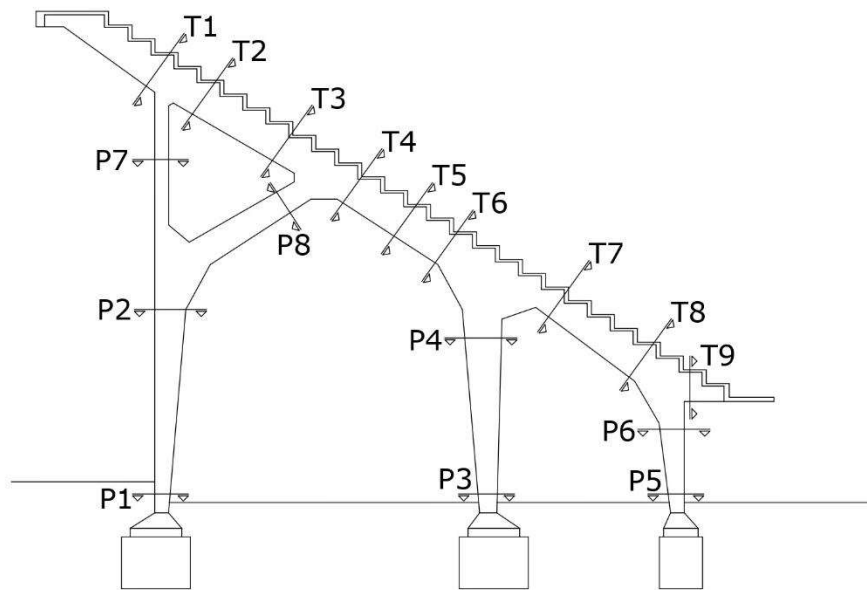
*Figura 49. Telaio 7 appartenente al blocco 10, file “b” ed “c”, con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

## TRIBUNA MARATONA – Telaio 10b; telaio 10c

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	700	700	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 10/20
P2	700	700	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 10/20
P3	400	500	3 Ø 20	3 Ø 20	Ø 6/20
P4	400	1100	6 Ø 20	5 Ø 20	Ø 10/15
P5	400	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P6	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
P7	700	700	4 Ø 26	4 Ø 26	Ø 10/20
P8	400	700	2 Ø 20	5 Ø 20	Ø 6/20
T1	\	\	\	\	\
T2	400	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T3	400	800	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/10
T4	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T5	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T6	400	700	5 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/16
T7	400	500	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T8	400	700	8 Ø 20	2 Ø 20	Ø 10/15
T9	400	700	2 Ø 20	6 Ø 20	Ø 10/15

Figura 50. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 appartenente al blocco 10, file "b" ed "c"

CURVA FIESOLE



*Figura 51. Telaio 7 con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

## CURVA FIESOLE – Telaio d'estremità tra i blocchi

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	300	400	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/20
P2	300	900	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 6/25
P3	300	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/28
P4	300	1100	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/23
P5	300	400	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 5/23
P6	300	700	2Ø20+1Ø24	2Ø20+1Ø24	Ø 5/23
P7	300	400	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/25
P8	300	700	4 Ø 20	2 Ø 16	Ø 6/20
T1	300	700	2Ø20+5Ø26	6 Ø 26	Ø 6/11
T2	300	700	6 Ø 26	3 Ø 26	Ø 6/18
T3	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/18
T4	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T5	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T6	300	700	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 5/17
T7	300	500	2 Ø 20	2 Ø 20	Ø 6/20
T8	300	700	2 Ø 20	4 Ø 20	Ø 5/15
T9	300	700	2 Ø 20	5 Ø 20	Ø 5/20

Figura 52. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 di estremità tra i blocchi



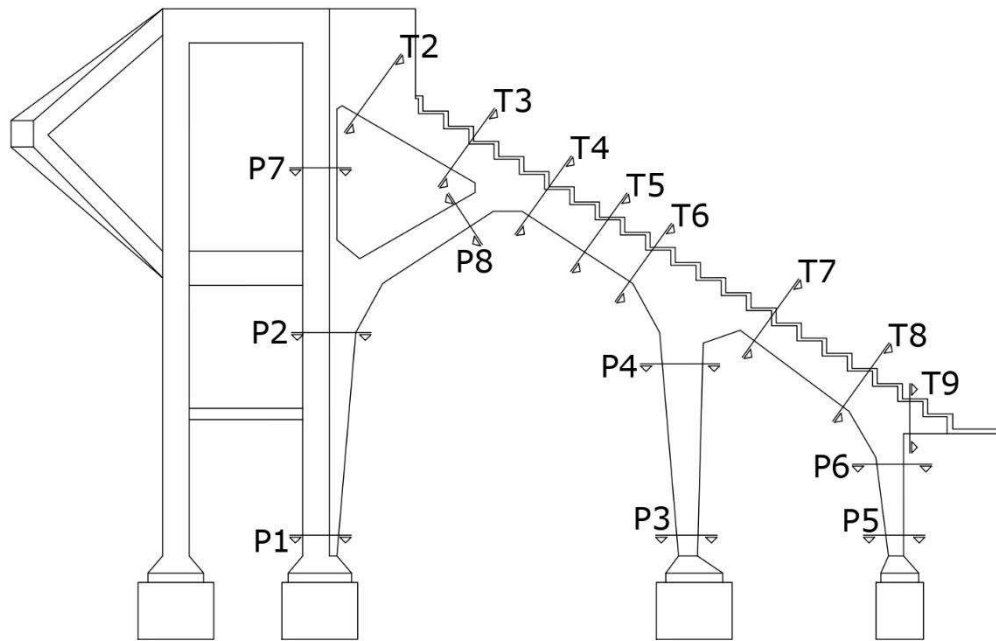
## CURVA FIESOLE – Telaio interno

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	4 $\varnothing$ 20	8 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
P2	400	900	2 $\varnothing$ 20	4 $\varnothing$ 20+4 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/25
P3	400	500	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/28
P4	400	1100	3 $\varnothing$ 20	3 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/23
P5	400	400	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/23
P6	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/23
P7	400	400	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/25
P8	400	700	4 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 16	$\varnothing$ 6/20
T1	400	700	2 $\varnothing$ 20+5 $\varnothing$ 26	7 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/11
T2	400	700	6 $\varnothing$ 26	3 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/18
T3	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/18
T4	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T5	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T6	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/17
T7	400	500	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T8	400	700	2 $\varnothing$ 20	4 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/15
T9	400	700	2 $\varnothing$ 20	5 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/20

Figura 53. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 interno

Per quanto riguarda le file “b” ed “c” del blocco 14, sono state considerate sezioni strutturali diversificate per geometria e per quantitativo di armatura in esse riscontrata, data la presenza delle scale elicoidali in adiacenza alle suddette file di telai. Di seguito si riporta lo schema delle sezioni di verifica e la tabella relativa alla geometria e all’armatura per ciascuna sezione strutturale.

CURVA FIESOLE – Telaio 14b; telaio 14c



*Figura 54. Telaio 7 appartenente al blocco 14, file “b” ed “c”, con indicazione delle sezioni oggetto di verifica*

## CURVA FIESOLE – Telaio 14b; telaio 14c

	B (mm)	H (mm)	Armatura inferiore	Armatura superiore	Staffe (mm/cm)
P1	400	400	4 $\varnothing$ 20	8 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
P2	400	900	2 $\varnothing$ 20	4 $\varnothing$ 20+4 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/25
P3	400	500	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/28
P4	400	1100	3 $\varnothing$ 20	3 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/23
P5	400	400	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/23
P6	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/23
P7	400	400	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/25
P8	400	700	4 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 16	$\varnothing$ 6/20
T1	400	700	2 $\varnothing$ 20+5 $\varnothing$ 26	7 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/11
T2	400	700	6 $\varnothing$ 26	3 $\varnothing$ 26	$\varnothing$ 6/18
T3	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/18
T4	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T5	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T6	400	700	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/17
T7	400	500	2 $\varnothing$ 20	2 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 6/20
T8	400	700	2 $\varnothing$ 20	4 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/15
T9	400	700	2 $\varnothing$ 20	5 $\varnothing$ 20	$\varnothing$ 5/20

Figura 55. Geometria ed armatura delle sezioni di verifica del telaio 7 appartenente al blocco 14, file "b" ed "c"

## 4 -Caratteristiche dei materiali

La Relazione di Collaudo, redatta tra il 1932 ed il 1933 dall’Ing. Vittorio Tognetti, attesta l’impiego di tre tipi diversi di cemento, dei quali si riportano di seguito le resistenze caratteristiche di:

- 400 kg/cm<sup>2</sup> (~ 39 N/mm<sup>2</sup>)
- 500 kg/cm<sup>2</sup> (~ 49 N/mm<sup>2</sup>)
- 600 kg/cm<sup>2</sup> (~ 59 N/mm<sup>2</sup>)

Il primo tipo è stato impiegato per la realizzazione dei telai e delle gradinate. Il conglomerato cementizio è stato ottenuto aggiungendo 0,80 m<sup>3</sup> di pietrisco e 0,40 m<sup>3</sup> di sabbia ogni 350 kg di cemento. Prove di resistenza a rottura per compressione effettuate su 30 campioni cubici di questo tipo di calcestruzzo hanno fornito valori di resistenza variabili tra 73 e 175 kg/cm<sup>2</sup>, escludendo i valori inferiori ai 100 kg/cm<sup>2</sup> si ottiene una media di 131 kg/cm<sup>2</sup>, ovvero 12,87 N/mm<sup>2</sup>.

Il secondo tipo è stato impiegato per le scale elicoidali. Il conglomerato cementizio è stato ottenuto aggiungendo 0,80 m<sup>3</sup> di pietrisco e 0,40 m<sup>3</sup> di sabbia ogni 500 kg di cemento. Prove di resistenza a rottura per compressione svolte su 6 campioni cubici di questo tipo di calcestruzzo hanno fornito valori di resistenza caratteristica variabili tra 214 e 323 kg/cm<sup>2</sup>, ottenendo una media di 296,5 kg/cm<sup>2</sup>, ovvero 29 N/mm<sup>2</sup>.

Il terzo tipo è stato impiegato esclusivamente per la Torre di Maratona. Il conglomerato cementizio è stato ottenuto aggiungendo 0,80 m<sup>3</sup> di pietrisco e 0,40 m<sup>3</sup> di sabbia ogni 350 kg di cemento. Prove di resistenza a rottura per compressione svolte su 24 campioni cubici di questo tipo di calcestruzzo hanno fornito valori di resistenza variabili tra 180 e 343 kg/cm<sup>2</sup>, ottenendo una media di 276 kg/cm<sup>2</sup>, ovvero 27 N/mm<sup>2</sup>; per assurdo il calcestruzzo realizzato con la malta tipo 600 risulta mediamente peggiore di quello realizzato con la malta tipo 500.

Per quanto riguarda l’acciaio utilizzato, la relazione di collaudo non fornisce informazioni sulla natura e sulla resistenza caratteristica delle barre.

Dacché le uniche informazioni sui materiali sono contenute nella Relazione di Collaudo coeva della costruzione, si è resa necessaria l’esecuzione di una campagna di indagini in sito utile sia a caratterizzare i materiali con strumenti e procedure moderne, necessariamente migliori, sia a valutare l’evoluzione del deterioramento degli stessi materiali, ovvero la carbonatazione del calcestruzzo e l’ossidazione delle barre di armatura.

La prima campagna di indagini in sito è stata eseguita nei giorni 28/08/2018, 29/08/2018 e 04/09/2018. Sono stati presi a campione alcuni elementi strutturali, sui quali è stata rilevata la numerosità e la posizione di barre longitudinali e staffe mediante saggi, ovvero la messa a nudo delle armature attraverso rimozioni localizzate di copriferro, e 19 prove pacometriche.

Per la caratterizzazione del calcestruzzo sono state attuate 14 prove Sonreb, che consistono nella combinazione di prove ultrasoniche e prove sclerometriche, oltre all’estrazione di 9 carote delle quali 5 su elementi realizzati con il calcestruzzo delle tribune, 2 su elementi definiti con il calcestruzzo delle scale e 2 sulla Torre di Maratona, anch’essi con il proprio specifico tipo di conglomerato.

Per la caratterizzazione dell’acciaio sono state estratte due barre di armatura, poi sottoposte a prove di trazione in laboratorio. Oltre a ciò, sono state operate tre misurazione durometriche su barre messe a nudo dai saggi.

La seconda campagna di indagini in sito è stata eseguita nei giorni 6/11/2019, 12/11/2019, 13/11/2019, 18/11/2019, 19/11/2019 e 25/11/2019. Analogamente alla precedente campagna, sono stati presi a campione altri elementi strutturali, sui quali è stata rilevata la numerosità e la posizione di barre longitudinali e staffe mediante saggi e 70 prove pacometriche.

Per la caratterizzazione del calcestruzzo sono state attuate 21 prove Sonreb, oltre all'estrazione di 3 carote su elementi realizzati con il calcestruzzo delle tribune.

Per la caratterizzazione dell'acciaio è stata estratta una barra di armatura. Sono state poi operate 10 misurazioni durometriche su barre messe a nudo dai saggi.

A fronte dei risultati ottenuti dalle verifiche sin qui condotte, è stato deciso di eseguire una terza campagna di indagini volta a raggiungere un'esaustiva conoscenza delle caratteristiche dei materiali e dei dettagli costruttivi degli elementi strutturali.

La terza campagna di indagini è stata svolta nei giorni 5/10/2020, 6/10/2020, 9/10/2020, 15/10/2020, 16/10/2020, 25/11/2020 e 26/11/2020.

Come nelle due precedenti campagne, sono stati indagati alcuni telai componenti i vari blocchi della struttura sui quali è stata rilevata la disposizione, il quantitativo ed il diametro delle barre di armatura e delle staffe mediante l'esecuzione di 32 prove pacometriche, 17 saggi e 16 prove con georadar.

Per la caratterizzazione del calcestruzzo sono state eseguite 25 prove Sonreb e 10 prove di compressione sui provini prelevati in situ di cui 3 nella Curva Fiesole, 2 nella Tribuna Centrale, 2 nella Tribuna di Maratona e 3 nella Curva Fiesole.

A differenza delle precedenti campagne, non sono state eseguite ulteriori indagini per la caratterizzazione dell'acciaio.

I 22 blocchi sono stati raggruppati in 4 gruppi in base al periodo di costruzione ed assegnate loro le relative caratteristiche, con l'esclusione delle scale e della torre in quanto presentano caratteristiche di resistenza del calcestruzzo differenti. Operando una media ponderata tra i risultati dei carotaggi e delle prove Sonreb ottenuti dalle tre campagne di indagini sino ad oggi condotte, è stata definita la resistenza media a compressione dei vari tipi di conglomerato impiegati nello stadio, seguendo le indicazioni riportate nella Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019.

- Cls tribuna Ferrovia:  $f_{cm} = 24,76 \text{ N/mm}^2$
- Cls tribuna Maratona:  $f_{cm} = 28,00 \text{ N/mm}^2$
- Cls tribuna Fiesole:  $f_{cm} = 25,19 \text{ N/mm}^2$
- Cls tribuna Centrale:  $f_{cm} = 25,47 \text{ N/mm}^2$
- Cls scale:  $f_{cm} = 30,04 \text{ N/mm}^2$
- Cls torre:  $f_{cm} = 46,17 \text{ N/mm}^2$

Questi risultati denotano la marcata differenza di qualità fra i tre tipi di calcestruzzo impiegati e correggono al rialzo le stime riportate dal collaudatore.

La resistenza media allo snervamento, ricavata dai risultati dalle prove di trazione condotte sulle tre barre estratte, fornisce un valore  $f_{ym} = 316,33 \text{ N/mm}^2$ . Le misurazioni durometriche restituiscono soltanto i valori limite a rottura delle barre; questi ultimi risultano confrontabili con quelli ricavati dalle prove di trazione, pertanto viene confermata la validità dei risultati delle prove dirette.

La Circolare applicativa della norma tecnica chiarisce il concetto di prove limitate e prove estese, quantificando la percentuale di elementi da indagare; tuttavia, nello stesso testo di norma è

specificato il carattere puramente indicativo delle percentuali definite, così come la necessità di adattare tali valori ai singoli casi. In relazione al caso specifico dello stadio, considerato che la normativa si riferisce al numero di piani per quantificare le prove da eseguire, risulta altresì difficile definire cosa s'intenda per “piano”, dal momento che, nello stesso settore, possono trovarsi impalcati orizzontali, a quote definite, e gradinate che invece si sviluppano seguendo un dislivello. Il numero di prove da eseguire è stato dunque stabilito cercando d'indagare il maggior numero possibile di elementi diversi tra loro, e sfruttando la serialità di ampi tratti della struttura per poter ragionevolmente estendere i risultati ottenuti agli elementi non indagati.

Nel processo conoscitivo della struttura, alla Relazione di Collaudo ed ai risultati delle prove in sito si aggiunge un vasto corpo di materiale grafico costituito da tavole architettoniche, dettagli tecnici e foto di cantiere che è stato possibile rintracciare presso l'Archivio Storico del Comune di Firenze e nell'archivio di Pier Luigi Nervi presso il museo MAXXI di Roma.

Considerando quindi la quantità delle prove in sito eseguite e la vastità del materiale grafico e descrittivo a disposizione, si è ritenuto di aver raggiunto un livello di conoscenza LC3 che consente di adottare un fattore di confidenza  $FC = 1,00$ .

## 5 -Analisi dei carichi e delle azioni

### 5.1 - Determinazione dei carichi

Si riporta di seguito la stima delle azioni sulla struttura; per alcuni elementi sono stati definiti carichi di superficie [ $\text{kN/m}^2$ ], mentre per altri sono stati sfruttati carichi lineari [ $\text{kN/m}$ ].

I carichi utili a definire le azioni  $G_1$  e  $G_2$  sono stati valutati a partire dalle indicazioni contenute in normativa (NTC 2018) e da dati suggeriti in schede tecniche; di seguito si riporta un riepilogo dei materiali presi in considerazione.

Tipo	Riferimento	Valore
Calcestruzzo	NTC 2018	$25 \text{ kN/m}^3$
Magrone (sp. 5 cm)	Scheda tecnica	$75 \text{ kg/m}^2$
Acciaio, IPE 200	Scheda tecnica	$22,4 \text{ kg/m}$
Tavolato in legno (sp. 5 cm)	Scheda tecnica	$30 \text{ kg/m}^2$
Pavimento flottante (sp. 2,8 cm)	Scheda tecnica	$42 \text{ kg/m}^2$
Tramezzi	NTC 2018, elementi divisorii interni con $2 < G_2 < 3$	$1,2 \text{ kN/m}^2$
Massetto	NTC, calcestruzzi “leggeri”	$20 \text{ kN/m}^3$
Pavimentazione + malta	Scheda tecnica; NTC 2018, malta di cemento	$(0,35+0,21) \text{ kN/m}^2$
Intonaco	Scheda tecnica	$0,27 \text{ kN/m}^2$
Ascensore	Scheda tecnica	$9 \text{ kN}$
Vetro	NTC 2018, vetro	$25 \text{ kN/m}^3$
Solaio Duplex	Scheda tecnica	$3,6 \text{ kN/m}^2$
Laterizio forato	Scheda tecnica	$6,5 \text{ kN/m}^3$

Di seguito si riepilogano le azioni variabili che interessano la struttura in esame, estratte direttamente dalle tabelle di normativa.

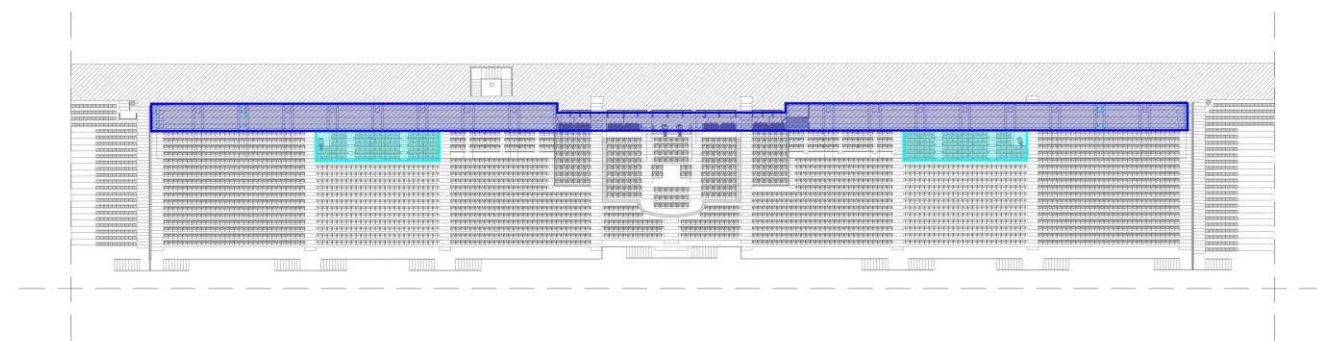
Tipo	Riferimento	Valore
$Q_C$ , Cat. C5	NTC 2018, [...] palazzetti per lo sport [...]	5 kN/m <sup>2</sup>
$Q_C$ , Cat. C1	NTC 2018, [...] sale per banchetti [...]	3 kN/m <sup>2</sup>
$Q_H$	NTC 2018, [...] manutenzione.	0,5 kN/m <sup>2</sup>
$Q_{NEVE}$	NTC 2018, calcolato per la zona in questione	0,8 kN/m <sup>2</sup>

Per gli ambienti interni, localizzati nei blocchi 20, 21 e 22 è stato assunto un carico pari a quello suggerito per le sale per banchetti, dal momento che il foyer al primo piano viene saltuariamente sfruttato proprio a questo scopo; lo stesso carico è stato poi esteso a tutti gli ambienti attigui, anche al piano inferiore.

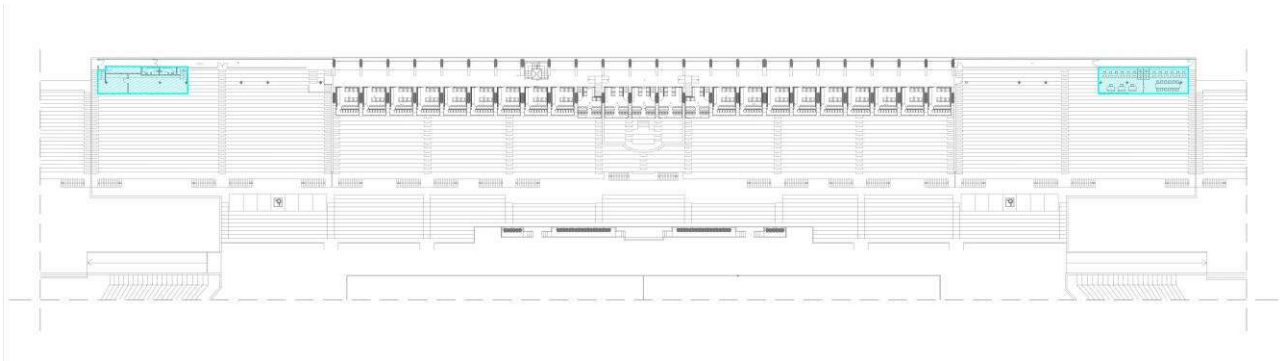
L'affollamento  $Q_{C,Cat. C5}$  è stato poi distinto tra quello assegnato alle gradinate coperte e quello assegnato alle gradinate scoperte; per queste ultime l'affollamento infatti entra, in combinazione con il carico da neve, nel meccanismo “carico principale-carico secondario”, mentre l'affollamento sulle gradinate coperte sarà sempre un carico principale.

Per quanto riguarda alcune gradinate coperte della Tribuna Centrale e delle Tribune Laterali è stata applicata una riduzione del sovraccarico d'uso. In particolare, il carico applicato alla zona posta al di sotto degli sky box, indicata in blu nella figura 56, è stato assunto pari a 3 kN/m<sup>2</sup>.

Le porzioni delle tribune riservate ai giornalisti e le sale Gos e “Chianti Classico”, indicate in ciano nelle figure 56 e 57, sono state assimilate ad uffici aperti al pubblico. Pertanto, anche ai suddetti ambienti è stato esteso un valore del sovraccarico d'uso pari a 3 kN/m<sup>2</sup>, come prescritto dalle NTC 2018 per le categorie d'uso appartenenti alla categoria B2.



**Figura 56.** Nell'immagine si individuano le porzioni della Tribuna Centrale a cui è stato assegnato un carico ridotto pari a 3 kN/m<sup>2</sup>. In blu viene rappresentata l'area posta al di sotto degli skybox, mentre in ciano sono le aree riservate ai giornalisti



*Figura 57. Nell'immagine vengono rappresentate in ciano le aree appartenenti alle due Tribune laterali alle quali è stato assegnato un carico ridotto pari a 3 kN/m<sup>2</sup>*

### 5.1.1 - Gradinate scoperte

Per le gradinate scoperte si è scelto di modellare soltanto il travetto che porta il gradone ed assegnare allo stesso travetto, sottoforma di carico lineare, il carico agente su tutta la superficie del gradone.

$$G_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,07 \text{ m} \cdot 0,55 \text{ m} = 0,9625 \text{ kN/m}$$

$$G_{1, \text{GRADINATA DOPPIA}} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,07 \text{ m} \cdot 1,132 \text{ m} + 6,5 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 0,65 \text{ m} = 3,671 \text{ kN/m}$$

$$G_{1, \text{SBARCO INFERIORE}} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m} + 0,9625 \text{ kN/m} = 4,8625 \text{ kN/m}$$

$$G_{1, \text{SBARCO SUPERIORE}} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot (1,73 - 0,55) \text{ m} = 2,95 \text{ kN/m}$$

$$G_{1, \text{SBARCO SUPERIORE CURVINO}} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} \cdot (2,3 - 0,55) \text{ m} = 4,375 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,55 \text{ m} = 2,75 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{Sala Gos; Sala Chianti Classico} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,55 \text{ m} = 1,65 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, GRADINATA DOPPIA} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,132 \text{ m} = 5,66 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO INFERIORE} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3 \text{ m} + 2,75 \text{ kN/m} = 9,25 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot (1,73 + 0,55) \text{ m} = 5,9 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE CURVINO} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,3 - 0,55) \text{ m} = 8,75 \text{ kN/m}$$

$$Q_N = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,55 \text{ m} = 0,44 \text{ kN/m}$$

$$Q_N, \text{GRADINATA DOPPIA} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,132 \text{ m} = 0,9056 \text{ kN/m}$$

$$Q_N, \text{SBARCO INFERIORE} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,3 \text{ m} + 0,44 \text{ kN/m} = 1,48 \text{ kN/m}$$

$$Q_N, \text{SBARCO SUPERIORE} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot (1,73 + 0,55) \text{ m} = 0,944 \text{ kN/m}$$

$$Q_N, \text{SBARCO SUPERIORE CURVINO} = 0,8 \text{ kN/m}^2 \cdot (2,3 + 0,55) \text{ m} = 1,4 \text{ kN/m}$$



**5.1.2 - Gradinate coperte**

$$G_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,07 \text{ m} \cdot 0,63 \text{ m} = 1,1025 \text{ kN/m}$$

$$G_1, \text{SBARCO INFERIORE} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} + 1,1025 \text{ kN/m}^3 = 4,852 \text{ kN/m}$$

$$G_1, \text{SBARCO SUPERIORE}_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 1,65 \text{ m} = 2,8875 \text{ kN/m}$$

$$G_1, \text{SBARCO SUPERIORE}_2 = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 1,2 \text{ m} = 2,1 \text{ kN/m}$$

$$G_2, \text{SKY-BOX NUOVI}^* = 30 \text{ kg/m}^2 + 42 \text{ kg/m}^2 = 72 \text{ kg/m}^2 = 0,71 \text{ kN/m}^2$$

$$G_2, \text{SKY-BOX VECCHI}^{**} = 22,4 \text{ kg/m} \cdot (4 \cdot 5 \text{ m} + 3 \cdot 4,765 \text{ m} + 4 \cdot 1,35 + 4 \cdot 2,25 \text{ m}) + (30 + 42) \text{ kg/m}^2 \cdot (5 \cdot 4,765) \text{ m}^2 = 2810 \text{ kg} = 27,56 \text{ kN} \text{ (6,89 kN per nodo)}$$

$$Q_C, \text{CAT C5} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,63 \text{ m} = 3,15 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5 RIDOTTO} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,63 \text{ m} = 1,89 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO INFERIORE} = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} + 3,15 \text{ kN/m} = 8,15 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE}_1 = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,65 \text{ m} = 8,25 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE}_1 \text{ RIDOTTO} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,65 \text{ m} = 4,95 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE}_2 = 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,2 \text{ m} = 6 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C5, SBARCO SUPERIORE}_2 \text{ RIDOTTO} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,2 \text{ m} = 3,60 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C3, SKY-BOX NUOVI}^{***} = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_C, \text{CAT C3, SKY-BOX VECCHI}^{****} = 3 \text{ kN/m}^2 \cdot (1,5 + 3,5) \text{ m} \cdot 4,765 \text{ m} = 71,475 \text{ kN} \text{ (17,87 kN per nodo)}$$

$$Q_H, \text{VANO SOTTO SKY-BOX} = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,55 \text{ m} = 0,275 \text{ kN/m}$$

\*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\*: tutti gli Sky-Box, sia nuovi sia vecchi, dopo alcune prove di modellazione sono stati scartati e non presi in considerazione (si veda quanto commentato al §6).

**5.1.3 - Solai e copertura della Tribuna**

$$G_{1\_0} = 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,09 \text{ m} \cdot 0,63 \text{ m} = 2,25 \text{ kN/m}$$

$$G_{1\_1} = G_{1\_0}$$

$$G_{1\_2} = 0$$

$$G_{1\_COPERTURA} + G_{2\_COPERTURA} = 1,78 \text{ kN/m}^2 \text{ (valore estratto dalla Relazione di Collaudo)}$$

$$G_{2\_0} = 1,2 \text{ kN/m}^2 + 20 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,1 \text{ m} + (0,35 + 0,21) \text{ kN/m}^2 + 0,27 \text{ kN/m}^2 = 4,03 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2\_1} = G_{2\_0}$$

$$G_{2\_2} = [22,4 \text{ kg/m} \cdot (4 \cdot 4,765 \text{ m}) + 30 \text{ kg/m}^2 \cdot (5 \cdot 4,765) \text{ m} + 75 \text{ kg/m}^2 \cdot (5 \cdot 4,765) \text{ m}] / 5 \text{ m} = 580 \text{ kg/m} = 5,75 \text{ kN/m}$$

$$Q_C, \text{CAT C1}_0 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_C, \text{CAT C1}_1 = Q_C, \text{CAT C1}_0$$

$$Q_H, 2 = 0,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 4,765 \text{ m} = 2,3825 \text{ kN/m}$$

$$Q_H, \text{COPERTURA} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_N = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_C, \text{CAT C5}_\text{SCALE} = 5 \text{ kN/m}^2$$

#### 5.1.4 - Scale elicoidali e Torre di Maratona

$$G_{1\_TERRAZZA} = 3,2 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2\_TERRAZZA} = 0,27 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2\_ASCENSORE} = 9 \text{ kN} \cdot (1 / 3,3825 \text{ m}^2) = 2,36 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2\_VETRO} = (25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,09 \text{ m}^2 \cdot 35,79 \text{ m}) / (1,4175 \text{ m}^2) = 56,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_H = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{C, \text{ CAT C5\_SCALE}} = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_N = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$G_{2\_ASCENSORE}$  è applicato come carico distribuito al pianerottolo in sommità della torre per restituire la condizione più critica del meccanismo a “pendolo inverso”, mentre  $G_{2\_VETRO}$  è applicato, anch’esso come carico distribuito, alla soletta alla base della torre, più precisamente agli elementi *Shell* del modello computazionale sui quali s’intende appoggiata la pannellatura in vetro.

Per tener conto degli effetti indotti in particolare sulla Torre di Maratona, nella definizione delle combinazioni agli Stati Limite Ultimi sono stati considerati i casi di carico relativi all’azione del vento agente secondo le direzioni orizzontali x ed y, calcolata in ottemperanza alle indicazioni riportate nelle NTC 2018 e nella Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019.

Una volta definiti i carichi, tutti i casi di carico ( $G$ ,  $G_2$ ;  $Q_C$ , RIPARATO;  $Q_C$ , RIPARATO\_1;  $Q_C$ , RIPARATO\_2;  $Q_C$ , NON RIPARATO;  $Q_C$ , NON RIPARATO\_1;  $Q_C$ , NON RIPARATO\_2;  $Q_H$ ;  $Q_{H\_1}$ ;  $Q_{H\_2}$ ;  $Q_{NEVE}$ ;  $Q_{VENTO}$ ) sono stati immessi nel programma di modellazione SAP2000 v.22.0.0 attraverso il comando Define >> Load Patterns: ad ognuno dei casi di carico è stato imposto un valore di Self Weight Multiplier pari a 0, mentre per il caso di carico DEAD (peso proprio) lo stesso valore è stato assegnato pari a 1.

I casi di carico che presentano i pedici 1 e 2 sono quelli che entrano nelle due diverse distribuzioni a scacchiera di carico variabile.

## 5.2 - Combinazioni delle azioni

### 5.2.1 - Carichi verticali

- **SLU, combinazione fondamentale**

Nella definizione delle combinazioni, in prima istanza, è stata considerata l'azione non dominante del vento agente secondo le direzioni x, y e diagonali, come indicato nelle NTC 2018 §3.3.3.

$$SLU_{1\_x} \text{ (neve secondaria)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_H + 0,75 \cdot Q_N + \\ + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{2\_x} \text{ (neve principale)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_N + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_H + \\ + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{C1\_x} \text{ (scacchiera 1, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H1} + \\ + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{N1\_x} \text{ (scacchiera 1, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + \\ + 0 \cdot Q_{H1} + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{C2\_x} \text{ (scacchiera 2, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H2} + \\ + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{N2\_x} \text{ (scacchiera 2, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + \\ + 0 \cdot Q_{H2} + 0,90 \cdot Q_{w,x}$$

$$SLU_{ENV\_x} = \text{involuppo di tutti gli } SLU\_x$$

$$SLU_{1\_y} \text{ (neve secondaria)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_H + 0,75 \cdot Q_N + \\ + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{2\_y} \text{ (neve principale)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_N + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_H + \\ + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{C1\_y} \text{ (scacchiera 1, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H1} + \\ + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{N1\_y} \text{ (scacchiera 1, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + \\ + 0 \cdot Q_{H1} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{C2\_y} \text{ (scacchiera 2, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H2} + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{N2\_y} \text{ (scacchiera 2, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_{H2} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{ENV\_y} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_y$$

$$SLU_{1\_xy} \text{ (neve secondaria)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_H + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{2\_xy} \text{ (neve principale)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_N + 1,5 \cdot Q_{C,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_H + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{C1\_xy} \text{ (scacchiera 1, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H1} + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{N1\_xy} \text{ (scacchiera 1, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C1,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_{H1} + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{C2\_xy} \text{ (scacchiera 2, neve second.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + 1,5 \cdot Q_{H2} + 0,75 \cdot Q_N + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{N2\_xy} \text{ (scacchiera 2, neve princ.)} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{C2,RIP} + 1,5 \cdot Q_N + 1,05 \cdot Q_{C2,NON\ RIP} + 0 \cdot Q_{H2} + 0,90 \cdot Q_{w,x} + 0,90 \cdot Q_{w,y}$$

$$SLU_{ENV\_xy} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{xy}$$

$$ENV\ SLU_1 = \text{involuppo di tutti gli } SLU_1$$

$$ENV\ SLU_2 = \text{involuppo di tutti gli } SLU_2$$

$$ENV\ SLU_{C1} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{C1}$$

$$ENV\ SLU_{C2} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{C2}$$

$$ENV\ SLU_{N1} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{N1}$$

$$ENV\ SLU_{N2} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{N2}$$

Successivamente è stata considerata l'azione dominante del vento agente secondo le direzioni x, y e secondo la direzione di una delle diagonali.

$$SLU_{Q_{wx} \text{ dominante}} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{w,x} + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C1,NON \text{ RIP}} + 0 \cdot Q_{H1} + 0,75 \cdot Q_N$$

$$SLU_{Q_{wy} \text{ dominante}} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{w,y} + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C1,NON \text{ RIP}} + 0 \cdot Q_{H1} + 0,75 \cdot Q_N$$

$$SLU_{Q_{wx} Q_{wy} \text{ dominante}} = 1,3 \cdot G_1 + 1,5 \cdot G_2 + 1,5 \cdot Q_{w,x} + 1,5 \cdot Q_{w,y} + 1,5 \cdot Q_{C1,RIP} + 1,05 \cdot Q_{C1,NON \text{ RIP}} + 0 \cdot Q_{H1} + 0,75 \cdot Q_N$$

$$SLU_{Q_w \text{ dominante}} = \text{involuppo di tutti gli } SLU_{Q_w \text{ dominante}}$$

Infine è stata definita la combinazione adottata per le verifiche agli SLU, denominata  $SLU_{totale}$ , ottenuta come involucro delle sei combinazioni relative alla condizione di vento non dominante e alla combinazione  $SLU_{Q_w \text{ dominante}}$  riferita al caso di azione del vento dominante.

N.B.: il programma calcola automaticamente il peso proprio degli elementi modellati (DEAD); al caso di carico DEAD, analogamente a  $G_1$ , va assegnato un coefficiente moltiplicativo pari a 1,3.

## 6 -Modellazione computazionale

L’edificio è stato modellato utilizzando il codice di calcolo agli elementi finiti SAP2000 v19.2.1. I telai di sostegno delle gradinate sono stati disegnati preventivamente su AutoCAD; i pilastri sono stati definiti, fin dove possibile, come elementi monodimensionali, mentre, per la parte rimanente di ogni telaio, è stata tracciata una *mesh* di elementi triangolari e rettangolari, successivamente descritti come elementi di superficie (bidimensionali) mediante il comando 3DFACCIA (Figura 58). Agli elementi monodimensionali è stato assegnato uno specifico *layer* (*frame*) così come per quelli bi-dimensionali (*shell*). Il file riferito ad ogni telaio è stato poi importato su SAP2000 in formato “.dxf”; ad ogni elemento è stata quindi assegnata la relativa sezione, precedentemente definita sul programma agli elementi finiti.

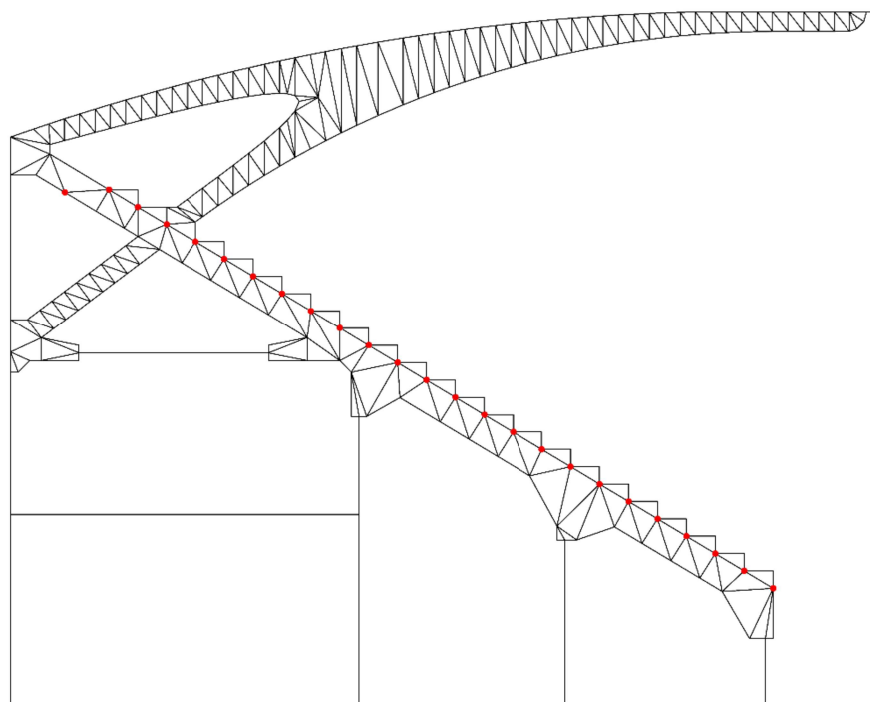


Figura 58. Immagine del file “.dxf” generato per l’importazione su SAP del telaio 1: in rosso i punti di incastro dei cordoli dei gradoni con il telaio

Relativamente alle gradinate, è stato modellato esclusivamente il cordolo portante in testa ad ogni gradone, mentre la soletta costituente la passerella di coronamento è stata modellata direttamente all’interno del codice di calcolo agli elementi finiti come un elemento *frame* a cui sono stati poi assegnati i carichi  $G_1$ ,  $G_2$  ed il carico neve.

Successivamente sono state inserite le porzioni in acciaio dei curvini facenti parte della Curva Fiesole e della curva Ferrovia. Anch’esse sono state modellate all’interno del codice di calcolo agli elementi finiti, definendo le travi ed i pilastri come elementi *frame* ed assegnando loro le specifiche caratteristiche geometriche ed i relativi carichi.

Gli ambienti interni situati nei blocchi 20, 21 e 22 sono stati modellati direttamente sul codice di calcolo; le travi ed i pilastri aggiuntivi rispetto a quelli propri dei telai sono stati schematizzati mediante elementi *frame* (monodimensionali), mentre elementi *shell* (bidimensionali) sono stati

utilizzati per la modellazione di setti, solette, scale e solai e per la copertura della pensilina della Tribuna centrale.

Il blocco delle scale elicoidali è stato modellato in parte mediante il SAP2000 NL ed in parte sfruttando l'importazione di elementi preventivamente definiti con il codice grafico AutoCAD. Nello specifico, i pilastri che portano il blocco scale, le relative travi di irrigidimento, le rampe rettilinee e la terrazza sono stati riprodotti col programma agli elementi finiti, mediante elementi *frame* per le travi ed i pilastri ed elementi *shell* per le scale ed il solaio della terrazza.

La rampa elicoidale è stata invece modellata sfruttando un file “.dxf” d'importazione (Figura 59). La proiezione sul piano della scala è stata disegnata su AutoCAD, dove ogni linea rappresentativa dell'alzata di un gradino è stata suddivisa in sei segmenti di pari lunghezza e poi cancellata, lasciando in vista soltanto i punti di divisione. Sul bordo interno della scala è stata tracciata la trave portante mediante semplici linee; il pianerottolo di partenza della scala è stato invece definito con elementi di superficie triangolari e rettangolari. Così come per i telai, specifici *layers* sono stati assegnati a nodi, elementi monodimensionali e bidimensionali. Una volta importato il file “.dxf” su SAP2000NL, ogni linea di punti è stata spostata verso l'alto alla quota esatta del rispettivo gradino; la soletta è stata quindi modellata manualmente, elemento per elemento. La trave portante è stata poi specchiata, definendo in questo modo la contro-trave che s'incrocia con essa in mezzzeria.

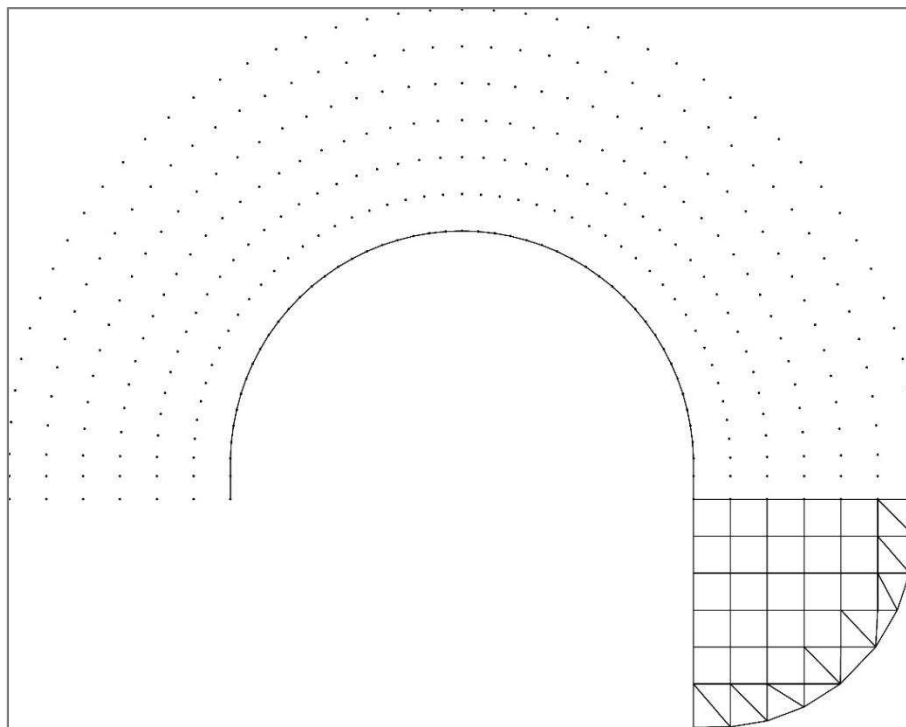


Figura 59. Immagine del file “.dxf” generato per l'importazione su SAP della scala elicoidale

Un ulteriore file “.dxf” è stato generato per l'importazione da AutoCAD a SAP della pensilina semi-ellittica alla base della Torre di Maratona, mentre la stessa torre è stata modellata mediante elementi *shell* direttamente su SAP.

Una delle peculiarità della modellazione tramite SAP2000L è che gli elementi *frame*, pur avendo ognuno assegnata una specifica sezione, vengono considerati in riferimento al loro asse baricentrico (che può essere spostato tramite il comando Assign >> Frame >> Insertion Point);

all'interfaccia tra *frames* e *shells* può dunque verificarsi la situazione di nodi di elementi *shell* che, tridimensionalmente, fanno parte anche del *frame*, ma che il programma non mette in collegamento tra di loro perché non intercettati dall'asse del *frame*. Per ripristinare la continuità degli spostamenti tra nodi esterni (ma tridimensionalmente interni all'elemento) e nodi sull'asse dei *frame* si sfrutta il vincolo di corpo rigido “Body” (Assign >> Joint >> Constraints); assegnando lo stesso vincolo a due nodi diversi, si fa in modo che questi registrino gli stessi spostamenti. La situazione appena descritta si riscontra all'interfaccia tra i pilastri e la parte di telaio modellata tramite *shells* e tra i travetti delle gradinate e gli stessi *shells*; come mostrato in Figura 60, i punti con gli apici (a', a'', b', c', d', e', f') nella realtà fanno parte degli elementi *frames*, ma il programma collega con questi ultimi soltanto quelli che si trovano direttamente sul loro asse (a, b, c, d, e, f).

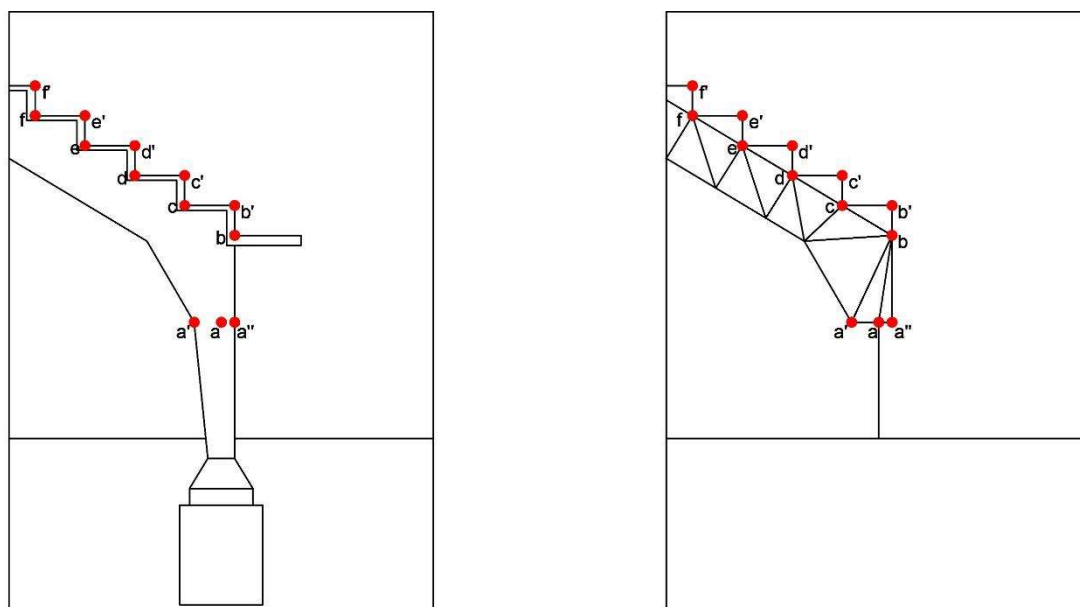


Figura 60. Sulla sinistra una porzione del profilo reale del telaio 1, sulla destra la sua discretizzazione implementata su SAP2000

La Tribuna Centrale presenta, nella porzione più alta, delle installazioni denominate Sky-Box (Figura 61). I 5 Sky-Box centrali risalgono ai lavori di riordino estetico funzionale e la loro struttura metallica risulta appesa ai telai in c.a. della tribuna, pertanto questi stessi Sky-Box non sono stati modellati e, in un primo momento, è stato semplicemente applicato il carico corrispondente sui nodi ai quali la struttura è appesa. Viceversa, gli Sky-Box laterali, risalenti al 2012, presentano una struttura in profili metallici bullonati sulle gradinate; queste installazioni sono state dunque modellate, applicando il carico agli *shells* che ne rappresentano i solai. Tuttavia, in forza della presenza di queste strutture notevolmente “leggere”, l'analisi modale risultava “sporcata”, essendo la massa partecipante dei blocchi 20, 21 e 22, in ognuno dei modi di vibrare, di fatto trascurabile rispetto alla massa totale del blocco. Inoltre, considerando che le sollecitazioni indotte sui gradoni sui quali poggiano gli Sky-Box risultavano essere inferiori a quelle che si registrano sui gradoni sottoposti all'affollamento del pubblico spettatore, è stato deciso di rimuovere del tutto dal modello gli stessi Sky-Box ed applicare uniformemente alle gradinate il relativo carico di affollamento; in questo modo si descrive, a favore di sicurezza, la condizione di carico che risulta essere più gravosa di quella attuale, che esisteva prima che gli Sky-Box fossero montati e che si verificherebbe nuovamente nel caso in cui le sopradette installazioni venissero rimosse.





Figura 61. Evidenziati in giallo gli Sky-Box risalenti al 1990 ed in rosso quelli realizzati nel 2012

I componenti strutturali monodimensionali come travi, pilastri e cordoli, modellati con elementi lineari di tipo prismatico *frames*, sono collegati fra di loro nei nodi (*joints*). Alla base dei pilastri sono stati imposti dei vincoli d’incastro, trascurando così la cedevolezza del terreno.

Per la modellazione dei setti è stato seguito il criterio che suggerisce di delineare degli elementi *shell* quadrangolari di lato compreso tra i 30 cm ed i 50 cm, generando così una *mesh* sufficientemente accurata ma non troppo fitta, per non aumentare eccessivamente gli oneri computazionali. La parte dei telai che è stata modellata tramite *shell* presenta principalmente elementi triangolari, la forma dei quali si adatta meglio, anche se talvolta in modo “forzato”, all’estrema irregolarità del profilo degli stessi telai.

## 7 - Verifiche strutturali

Per quanto riguarda le verifiche strutturali per carichi verticali (SLU) e l’individuazione delle relative criticità, queste sono riportate nella relazione denominata “Allegato verifiche statiche LC3, FC=1,00, taglio resistente contributo solo cls”.

Le verifiche per carichi verticali sono state condotte secondo l’attuale normativa tecnica (NTC 2018, cap. 8; CM n. 7 del 2019, cap. C8), considerando però la resistenza a taglio dovuta al solo contributo del calcestruzzo. Ciò è motivato dal fatto che la struttura è stata progettata ed eseguita secondo un approccio progettuale per resistenza che affidava la capacità resistente al taglio solo alla sezione di conglomerato cementizio (§8.5.3 – NTC 2018; §C8.5.3.2 – Circolare n. 7 del 2019).

## 8 -Considerazioni conclusive

Le informazioni inerenti la struttura sono state desunte dagli elaborati progettuali rinvenuti ed integrate dai sopralluoghi e dalla estesa campagna d'indagine effettuata. Il livello di conoscenza acquisito è del tipo LC3, conformemente a quanto indicato nella Circolare applicativa n. 7 del 2019 (§ C8.5.4.2).

Le indagini dirette ed indirette condotte hanno permesso di approfondire la conoscenza delle caratteristiche degli elementi strutturali e delle proprietà dei materiali costituenti la costruzione.

Le verifiche effettuate in relazione alle analisi derivanti dal modello hanno riguardato sino ad ora la condizione di soli carichi verticali, evidenziando criticità a pressoflessione in un numero non rilevante di elementi trave costituenti i vari telai dell'impianto sportivo, ad eccezione dei blocchi 8-9-10-11-12 della Tribuna Maratona per i quali le verifiche a pressoflessione hanno dato esito positivo.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio, non sono emerse criticità in nessun elemento strutturale facente parte dei telai esaminati.

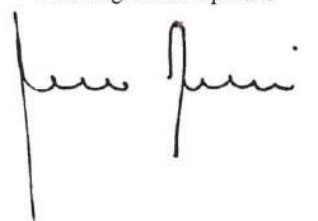
Luogo e data

Firenze 06/ 04 /2020

Responsabile scientifico

Firma

Prof. Ing. Paolo Spinelli



Responsabile operativo

Firma

Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

