



UNIVERSITÀ
DI PAVIA

FACOLTA' DI INGEGNERIA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E ARCHITETTURA
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA EDILE-ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

Progetto per lo Stadio Giuseppe Sinigaglia in Como: tra integrazione urbana e rinnovamento
edilizio

Candidato: Riccardo Ienco

Relatore: Prof. Marco Morandotti

A.A. 2025/2026

Indice

Abstract.....	9
1. L'evoluzione storica degli stadi.....	10
1.1 Antichità	10
1.2 Era premoderna fino al XIX secolo.....	11
1.3 Era moderna e contemporanea: teoria generazionale 1863-2022.....	12
1.4 L'evoluzione tecnologica.....	13
1.5 Infrastrutture sportive di quinta e sesta generazione: 2002-2016 e 2016 a oggi	13
1.6 La relazione col progetto di tesi	14
2. Casi studio	16
2.1 Craven Cottage, Populous, Fulham FC, Londra, 28.000 spettatori: La Riverside Stand	16
2.2 Nuovo stadio di Bordeaux, Herzog & de Meuron, Bordeaux, 2010-2015, 42.115 spettatori	18
2.3 Allianz Riviera, Wilmotte & Associés SA / VINCI, Nizza, 2013, 35.000 spettatori.....	20
2.4 Forest Green Rovers Eco Park Stadium, Zaha Hadid Architects, Stroud (Regno Unito), non realizzato, 5.000 - 10.000 spettatori	21
3. Lo Stadio Giuseppe Sinigaglia di Como	22
3.1 Storia dell'impianto e del suo contesto.....	22
3.2 Vincoli: paesaggistici, di tutela, urbanistici, idrogeologici, idraulici	26
4. Quadro normativo e criteri dimensionanti.....	28
4.1 Introduzione.....	28
4.2 I corpi normativi	28
4.2.1 Il ruolo delle due norme federali	29
4.3 Il criterio di prevalenza.....	29
4.4 Criteri sportivi	31
4.4.1 Il terreno di gioco e le distanze.....	31
4.4.2 Capienza e Sedute.....	32
4.4.3 Aree riservate a giocatori, arbitri e staff	33
4.4.4 Aree per broadcaster e media.....	34
4.4.5 Autorità e ospitalità.....	36
4.4.6 Dotazioni in ogni settore	36
4.4.7 Sicurezza, controllo e accessi	37
4.4.8 Illuminazione di gara	37

4.4.9 Visibilità	38
4.5 D.M. 18 Marzo 1996.....	39
4.5.1 Campo di applicazione e classificazione dell'intervento	39
4.5.2 I posti.....	40
4.5.3 Le soglie dimensionali che si attivano e le settorizzazioni	40
4.5.4 La separazione fra pubblico e campo.....	41
4.5.5 Il sistema delle vie d'uscita	41
4.5.6 La distribuzione interna delle gradinate	42
4.5.7 Anelli di sicurezza, varchi e area di servizio.....	42
4.5.8 Accostamento dei mezzi di soccorso	43
4.5.9 Servizi di supporto agli spettatori	43
4.5.10 Impianti tecnici e antincendio	44
4.5.11 Strutture, reazioni al fuoco e depositi	45
4.5.12 Controllo spettatori e gestione delle emergenze	45
4.6 Riconciliazione tra D.M. e criteri sportivi	46
5. Il progetto urbano: concept e masterplan	47
5.1 Introduzione	47
5.2 Concept scala urbana	47
5.3 Masterplan al 2000	50
6. Il progetto architettonico dello stadio	50
6.1 Circolazione: lo stato attuale e di progetto.....	50
6.2 Il progetto: lo stato di fatto.....	54
6.3 Il progetto.....	56
6.3.1 Concept stadio e adiacenza urbana, demolizioni	56
6.3.2 Masterplan al 500	60
6.3.3 Ingressi e aree funzionali	60
6.3.4 Funzioni	63
6.3.4.1 Funzioni tribuna Nord.....	65
6.3.4.2 Funzioni tribuna Ovest.....	66
6.3.4.3 Funzioni tribuna Est.....	67
6.3.4.4 Funzioni tribuna Sud.....	68
6.3.5 Tornelli e vie d'esodo.....	72
6.3.6 Capienza totale dello stadio	77
6.3.7 Il campo di gioco: distanze minime e area di gioco.....	78

6.3.8 Il campo di gioco: manto erboso, riscaldamento, drenaggio e irrigazione.....	80
6.3.8.1 Manto erboso	80
6.3.8.2 Sistema di riscaldamento	82
6.3.7.3 Sistema di drenaggio	84
6.3.8.4 Sistema di irrigazione	86
6.4 Il valore C	88
6.4.1 Definizione geometrica del valore C	89
6.4.2 Il valore assunto.....	89
6.4.3 La formulazione delle Norme CONI.....	89
6.4.4 Dalla formulazione delle Norme CONI a quella internazionale	90
6.4.5 Le due formule indicizzate impiegate per il profilo delle gradinate.....	92
6.4.6 Il procedimento di calcolo per la determinazione del profilo dei gradoni.....	93
6.4.7 Un profilo unico per le quattro tribune.....	94
6.4.8 Il profilo delle tribune Nord, Ovest e Est	94
6.4.8.1 I dati di ingresso: campo e distanze.....	94
6.4.8.2 I parametri della gradinata.....	95
6.4.8.3 Le alzate a blocchi	96
6.4.8.4 Risultati e verifiche.....	96
6.4.8.5 La verifica fila per fila	97
6.4.8.6 Il super valore C	99
6.4.8.7 Profili di progetto	100
6.4.9 Il profilo della tribuna Sud	101
6.4.9.1 La verifica fila per fila.....	101
6.4.9.2 Profilo di progetto.....	102
6.5 La tecnica del Jet Grouting.....	102
6.5.1 Introduzione.....	102
6.5.2 La tecnica e i tre sistemi di trattamento: monofluido, bifluido, trifluido	102
6.5.3 Planimetria galleria.....	105
6.5.4 Schema strutturale adottato	106
6.5.5 I dati di ingresso	107
6.5.6 La sezione tipo e la profondità di scavo	110
6.5.7 Il profilo longitudinale: dislivello e raggio di curvatura.....	113
6.5.8 I diaframmi perimetrali.....	114
6.5.9 I tamponi di fondo	117

6.5.10 Il tampone di fondo della galleria	117
6.5.11 Il tampone di fondo del parcheggio	118
6.5.12 Verifiche a Sollevamento galleria e parcheggio	119
6.5.13 Gli ancoraggi di fondo per il parcheggio	121
6.5.14 Quadro riassuntivo e limiti del pre-dimensionamento	122
7. La struttura della tribuna in c.a. prefabbricato: predimensionamento	124
7.1 Introduzione	124
7.2 Geometria e maglia dei telai	124
7.3 Raker: la trave a ginocchio.....	125
7.4 I pilastri	126
7.5 Analisi dei carichi.....	126
7.6 Il pilastro più caricato	127
7.7 Osservazioni conclusive.....	128
8. Il sistema di copertura: dalla mensola alla fondazione	128
8.1 Introduzione	128
8.2 Concept architettonico e strutturale: costoloni inflessi rastremati	128
8.3 Geometria.....	129
8.4 Il manto della copertura	130
8.5 Analisi dei carichi e predimensionamento strutturale del costolone.....	131
8.5.1 Geometria.....	131
8.5.2 Materiali.....	132
8.5.3 Carichi e azioni sul costolone	133
8.5.4 Sollecitazioni alla radice	133
8.5.5 Verifica di resistenza	134
8.5.6 Verifica di deformazione	134
8.5.7 Vento in sollevamento e ancoraggio	135
8.5.8 Verifica di svergolamento, instabilità flesso-torsionale	136
8.5.9 Quadro riassuntivo delle verifiche del costolone di copertura.....	137
8.6 Pre-dimensionamento della gamba del costolone rastremata	137
8.6.1 Geometria e azioni	138
8.6.2 Schema statico e necessità dei ritegni	138
8.6.3 Perché la rastremazione continua non è praticabile	139
8.6.4 Le tre alternative valutate.....	140
8.6.5 Profilo adottato e verifica sezione per sezione.....	140

8.6.6	Instabilità fuori dal piano.....	141
8.6.7	Il trasferimento della spinta alla struttura della tribuna	143
8.6.8	Quadro riassuntivo delle verifiche.....	144
8.7	Predimensionamento delle fondazioni.....	144
8.7.1	Le azioni alla base della gamba.....	144
8.7.2	Le due famiglie di plinti	145
8.7.3	L'equilibrio della spinta orizzontale	146
8.7.4	Verifica di portanza del plinto comune.....	146
8.7.5	Verifica del plinto di sola gamba	147
8.7.6	Eventuale ricorso alle fondazioni profonde.....	148
8.7.7	Osservazioni conclusive fondazioni	148
9.	Il modello agli elementi finiti e le verifiche a valle dell'analisi	149
9.1	Impostazione del modello.....	149
9.2	Materiali	149
9.3	Sezioni	150
9.4	Parametri geometrici e nodi del telaio tipo.....	152
9.5	Aste e rilasci	154
9.6	Casi di carico	156
9.7	Combinazione delle azioni	159
9.8	Combinazioni non impiegate.....	161
9.9	La catena strutturale: verifiche a valle dell'analisi	161
9.9.1	Dal manto al costolone: la sezione di radice	161
9.9.2	Oltre il ginocchio: il tratto di gamba sopra il ritegno alto	163
9.9.3	Il tratto tra i due ritegni.....	164
9.9.4	Il trasferimento attraverso il nodo di ginocchio	165
9.9.5	L'effetto di ritorno sulla punta: la deformazione	166
9.9.6	La struttura della tribuna: il pilastro più caricato	167
9.9.7	Il comportamento dinamico.....	168
9.9.8	L'arrivo in fondazione	170
9.9.9	Quadro riassuntivo delle verifiche.....	170
9.9.10	Osservazioni conclusive	171
10.	Conclusioni.....	172
	Bibliografia.....	173
	Articoli.....	173

Cartografia, normativa e regolamenti tecnici.....	173
Cartografia Comune di Como	173
Normative e regolamenti tecnici applicati	174
Sitografia	174
Sitografia (documentazione tecnica di prodotto)	175
Fonti archivistiche.....	175
Indice delle figure	175
Indice delle tabelle	177
Ringraziamenti	181

Abstract

Lo Stadio Giuseppe Sinigaglia occupa una delle posizioni più delicate di Como, tra il bacino lariano, il Tempio Voltiano e le opere di Giuseppe Terragni, il Monumento ai Caduti e il Novocomum: un intorno insieme paesaggistico e monumentale, entro un tessuto ormai consolidato che non concede margini di espansione. L'impianto, costruito in epoca razionalista, non risponde più agli standard richiesti dal calcio professionistico, e la sua permanenza in quel luogo pone una domanda: se un'infrastruttura sportiva contemporanea possa stare sul lungolago senza sottrarlo alla città. La tesi proposta risponde affermativamente e lo fa muovendo dal contesto fino all'edificio. Il progetto urbano recupera anzitutto la rete tranviaria sull'impronta di quella dismessa negli anni Cinquanta, favorendo la mobilità sostenibile, riducendo il traffico veicolare e collegando lo stadio alle due stazioni ferroviarie e a un autosilo che concentra la sosta lontano dal lago e dal centro città. Sul fronte lacustre, il progetto restituisce continuità al passeggio tra viale Geno e Villa Olmo pedonalizzando via Giancarlo Peucher e portando l'attuale sede carrabile sotto quota, in galleria artificiale, tramite la tecnica del jet grouting. Lo stadio diventa così motivo di rigenerazione urbana. Alla scala dell'edificio, il progetto nasce dal confronto fra le normative applicabili, assumendo di volta in volta la prescrizione più restrittiva, e da un sedime che il contesto costruito fissa. Da questa doppia costrizione discende la geometria delle gradinate, disegnata con il metodo punto per punto del valore C, che risulta rispettato su tutte le file per una capienza complessiva di 12.000 posti. Delle tribune esistenti si conserva la facciata storica della Sud, dove le nuove volumetrie restano riconoscibili perché rivestite in legno, lo stesso materiale delle tribune ricostruite, che media il rapporto dell'impianto con il paesaggio lacustre. Queste ospitano al piano terra funzioni aperte alla città anche nei giorni senza partita, secondo il modello dello stadio contemporaneo. La tesi propone infine un approfondimento sulla copertura a sbalzo in legno lamellare, il cui momento non è scaricato a terra ma trattenuto dalla tribuna: scelta verificata con predimensionamento manuale e successivo modello agli elementi finiti in SAP2000.

1. L'evoluzione storica degli stadi

La ricostruzione dell'evoluzione della tipologia proposta in questo capitolo assume come riferimento principale il saggio di Davide Allegri *Costruire lo stadio. Progetto contemporaneo e innovazione tecnologica*, contenuto nel volume collettaneo *Progettare uno stadio. Architettura costruzione gestione*, curato con Emilio Faroldi, Pietro Chierici e Maria Pilar Vettori.

Dal punto di vista tipologico, la configurazione dello stadio contemporaneo conserva similarità con i modelli dell'antichità: tribune gradonate, spazi serventi ricavati sotto di esse e il vuoto centrale del terreno di gioco. Questa triade, che duemila anni di storia costruttiva non hanno sostanzialmente modificato, costituisce una configurazione spaziale stabile che struttura in modo duraturo nel tempo il rapporto tra l'uomo e il proprio ambiente costruito.

Su questa permanenza si possono innestare tre direttrici: il valore simbolico che i luoghi dello sport hanno storicamente assunto in rapporto agli assetti culturali e politici; la persistenza di un impianto morfo-tipologico che varia nei materiali e nelle prestazioni ma non nei suoi elementi costitutivi; la funzione identitaria dello sport come pratica sociale. Quello che la teoria evolutiva evidenzia è l'intreccio tra due piani: l'innovazione tecnologica e funzionale e il modo in cui l'edificio-stadio ridefinisce nel tempo la propria relazione con il paesaggio fisico e culturale insieme.

Su queste basi si identificano quattro ere: antichità; era premoderna fino al XIX secolo; era moderna nel periodo 1863-1989/92; era contemporanea dal 1989/92 al 2026. All'interno delle ultime due si distribuiscono le generazioni della cosiddetta Teoria Generazionale¹.

1.1 Antichità

Lo spazio centrale focalizzato, racchiuso entro un perimetro, genera un *Genius loci* di notevole intensità all'interno del paesaggio culturale antico. Entro questa comune matrice è possibile distinguere tre distinti approcci progettuali, corrispondenti ad altrettante declinazioni spaziali.

In area mesoamericana, tra il XIV secolo a.C. e il 700 d.C. circa, si affermano recinti destinati ai giochi con la palla, nei quali i terreni di gioco, a pianta pressoché a forma di T e le sedute per il pubblico risultano delimitati da murature regolari. Queste ultime, oltre a contenere il campo, geometrizzano il paesaggio naturale conferendogli un ordine artificiale. Qui il gesto costruttivo traccia una separazione netta fra lo spazio del gioco e il contesto che lo circonda.

Nel bacino orientale del Mediterraneo, tra Grecia e Anatolia, nel periodo compreso all'incirca tra V e III secolo a.C., prevale un modello opposto, quello dello stadio-paesaggio. L'architettura si integra al suolo senza soluzione di continuità. La forma agisce per sottrazione: una morfologia in prevalenza ipogea, ricavata nell'andamento del terreno. Ne consegue che il

¹ Cfr. D. Allegri, *Costruire lo stadio. Progetto contemporaneo e innovazione tecnologica*, in E. Faroldi, D. Allegri, P. Chierici, M.P. Vettori, *Progettare uno stadio. Architettura costruzione gestione*, Santarcangelo di Romagna, 2^a ed., Maggioli Editore, 2022, pag. 109-110

confine tra interno ed esterno non è affidato ad una massa costruita, ma a un segno lieve inciso nel suolo e alla presenza fisica degli spettatori disposti lungo il perimetro.

Con l'Europa occidentale di età romana, fra il II secolo a.C. e il II d.C., si compie invece il passaggio decisivo verso lo stadio urbano, inserito nel tessuto denso della città e riconoscibile come antecedente diretto dello stadio contemporaneo. Sono materiali e tecniche a rendere possibile questo salto: il calcestruzzo pozzolanico, l'opus incertum nelle apparecchiature murarie e soprattutto la piena padronanza dell'arco. La sezione dell'edificio viene scavata, attribuendo alla massa sottratta le funzioni spaziali. Proprio nella sezione, e in particolare nell'articolazione degli ambienti sotto le gradinate, avviene l'innovazione tecno-tipologica della versione occidentale del tipo. Nel Colosseo, sono già presenti i caratteri costruttivi dello stadio contemporaneo: un catino calibrato in pianta e sezione sulla distribuzione del pubblico e sulla sua visibilità; un sistema di percorsi capace di garantire il funzionamento dell'edificio anche in condizioni di massima affluenza; un rapporto armonico tra il linguaggio delle facciate e il fronte urbano; una flessibilità d'uso testimoniata dal velario di copertura e dagli allestimenti per le naumachie, concetto del tutto contemporaneo².

1.2 Era premoderna fino al XIX secolo

Tra XV e XIX secolo si distinguono tre fasi successive, ciascuna delle quali produce una configurazione spaziale proprio in funzione del luogo.

Il punto di partenza è la corte nobiliare: se l'origine geografica del gioco resta controversa, la sua matrice sociale è invece univocamente aristocratica. Il gioco del pallone nasce nelle corti, soprattutto italiane e francesi.

Tale collocazione si rivela però inadeguata, ne deriva fra Seicento e Settecento, la ricerca di uno scenario adeguato alle nuove esigenze sociali della pratica, individuato nella piazza. Quest'ultima diventa così il luogo simbolico dei giochi con la palla, antecedente del calcio moderno. Il passaggio non è solo dimensionale ma risponde al mutamento di atteggiamento che i pubblici poteri maturano nel corso del Settecento.

La popolarità raggiunta dal gioco induce l'autorità a leggerlo non più come disordine da reprimere ma come strumento di educazione e di controllo sociale, con una torsione che anticipa di circa un secolo quanto avverrà nell'Inghilterra vittoriana. Lo spazio ludico assume allora il rango di nodo socio-urbanistico, capace di rispondere a una domanda reale di luoghi di svago. I governi regolamentano lo svolgimento anche in funzione preventiva ai fenomeni di violenza collettiva. Da queste esigenze, nell'Ottocento, nascono gli sferisteri: strutture appositamente costruite per accogliere un pubblico in costante crescita, la cui realizzazione non soltanto risolve i problemi di ordine pubblico posti dal gioco in piazza, ma ne sancisce il riconoscimento ufficiale. Lo sferisterio rappresenta così il vero anello di congiunzione fra i giochi con la palla di matrice preindustriale e il calcio moderno, il gioco del popolo che si codifica nell'Inghilterra vittoriana di fine Ottocento³.

² *Ivi*, pag. 110-112

³ *Ivi*, pag. 112-113

1.3 Era moderna e contemporanea: teoria generazionale 1863-2022

La teoria generazionale individua in modo schematico alcune fasi, appunto generazioni, nelle quali si esprimono dei modelli in relazione al contesto geografico e socioculturale⁴.

Il 1863, anno in cui vengono codificate le regole moderne del football, segna la soglia fra era premoderna e moderna oltre a quella fra le pratiche ludiche di matrice preindustriale e post rivoluzione industriale. Allen Guttmann ha individuato sette caratteri che qualificano lo sport come compiutamente moderno: secolarizzazione, uguaglianza delle condizioni di gara, specializzazione dei ruoli, razionalizzazione, organizzazione burocratica, quantificazione della prestazione, ricerca del primato. Questi caratteri, applicati alle pratiche preindustriali, e quindi a un mondo in cui lo stadio moderno non esiste ancora, perdono capacità descrittiva: questo scarto giustifica la soglia.

A partire dal 1863, Allegri propone una periodizzazione articolata in sei fasi. La prima, fra 1863 e 1920, coincide con la nascita del calcio e dello sport moderni. La seconda, dal 1920 fino agli anni Sessanta e Settanta, vede l'architettura sportiva farsi strumento di rappresentazione del potere politico. La terza, fino al 1989, è dominata da impianti a basso contenuto tecnologico, in lamiera e calcestruzzo, accanto ai quali si collocano le megastrutture di matrice brutalista. La quarta, fra 1992 e 2002, corrisponde al periodo successivo al Taylor Report (rapporto che ha ridisegnato le norme di sicurezza negli stadi britannici) e alle prime sperimentazioni della cultura architettonica contemporanea. La quinta, dal 2002 al 2016, è quella dei grandi eventi e dell'affermazione dello stadio come icona identitaria di portata globale ad alto contenuto tecnologico. La sesta, dal 2016 e tuttora in corso, tende verso lo stadio-parco tematico, concepito per eventi a forte proiezione mediatica.

Al netto di alcune eccezioni, fino al 1989, lo stadio resta prevalentemente una massa compatta di calcestruzzo, un recinto verticale ripiegato su sé stesso, circondato da superfici a parcheggio. Un elemento di discontinuità nel tessuto urbano. Un'entità chiusa in senso duplice: sul piano percettivo e, in modo ancor più determinante, su quello delle funzioni che vi trovano collocazione, di fatto limitate all'evento sportivo e al suo pubblico.

Il 1989 può essere assunto come soglia simbolica fra era moderna ed era contemporanea. Corrisponde all'anno del disastro di Hillsborough, da cui si muove l'inchiesta di Taylor che porterà all'affermazione del cosiddetto modello inglese. La svolta investe la cultura progettuale prima ancora delle soluzioni architettoniche e ingegneristiche.

Fra 1992 e 2002, il paradigma del mix funzionale investe anche la tipologia dello stadio, dando corpo a modelli per tutti. A fronte di un innalzamento oggettivo dei livelli di sicurezza e fruibilità, il progetto resta però governato dalle discipline ingegneristiche, con una sostanziale assenza del dato tecnologico inteso come strumento di prestazione e comfort e della dimensione estetica e simbolica che caratterizza le arene successive.

Nel promuovere l'infrastruttura sportiva al rango di icona mondiale, un ruolo decisivo spetta ai grandi eventi, nei quali i paesi ospitanti mettono in scena il proprio peso politico ed economico e soprattutto la propria capacità tecnologica. I mondiali di Corea del Sud e Giappone del 2002

⁴ *Ivi*, pag. 126

sono contraddistinti dall'impiego di membrane composite (PTFE, ETFE, Teflon) con forme che rimandano alla tradizione costruttiva locale. Gli Europei in Portogallo del 2004 riportano invece materiali e tecniche locali calibrate sulla morfologia del territorio. I mondiali in Germania 2006 segnano la svolta eco-tecnologica: mentre nel caso portoghese la compatibilità ambientale si esprimeva con materiali, morfologia e paesaggio, qui il tema diventa la produzione di energia da fonti rinnovabili, recupero delle acque meteoriche e riuso dei materiali. In continuità con l'esperienza tedesca si collocano gli Europei di Svizzera e Austria 2008, ad alta concentrazione tecnologica, ricorso a fonti rinnovabili e materiali a basso impatto come il legno. Le edizioni dei mondiali di Sudafrica 2010 e del Brasile 2014 hanno prodotto invece impianti di difficile gestione nella fase post-evento. Diverso è il caso dei mondiali di Russia 2018 e Qatar 2022, i cui stadi nascono come icone mediatiche e simboli di equilibri geopolitici rischiando che l'esaltazione tecnologica conduca a una condizione di non luogo, potendo gli edifici scenografici inserirsi in qualsiasi posto nel mondo⁵.

1.4 L'evoluzione tecnologica

Sulla scansione generazionale appena delineata è possibile sovrapporre una seconda linea di lettura, quella dell'evoluzione tecnologica (materiali e tecnologia).

La prima, che accompagna la generazione iniziale a partire dal 1863, è quella del legno, del ferro e della ghisa: trova la sua espressione più matura in Inghilterra nei numerosi football grounds progettati da Archibald Leitch, e più in generale in Europa settentrionale.

Segue la stagione del calcestruzzo armato e della pietra, che in Italia coincide con le prime realizzazioni di stadi littori e raggiunge l'eccellenza nello stadio Berta di Firenze, opera di Pier Luigi Nervi.

Per la terza e quarta generazione, dagli anni Settanta all'inizio del nuovo millennio, entrano in scena polimeri ad alte prestazioni e tessuti compositi, applicazioni che nell'architettura sportiva costituiscono un fronte avanzato di sperimentazione: è il caso degli stadi olimpici di Monaco di Baviera e di Montréal.

Dalla fine degli anni Novanta a oggi, lungo la quinta e sesta generazione, si afferma l'impiego di compositi ad alte prestazioni per involucri e coperture. Questa tendenza si consolida a partire dal Mondiale di Corea del Sud e Giappone del 2002⁶.

1.5 Infrastrutture sportive di quinta e sesta generazione: 2002-2016 e 2016 a oggi

Le infrastrutture sportive di quinta e sesta generazione si collocano all'incrocio di due tendenze. La prima, già citata, è legata ai grandi eventi e alla competizione per l'impianto tecnologicamente più avanzato. La seconda, che costituisce il tratto distintivo di questa fase, è una rinnovata attenzione alla qualità architettonica e urbana, riferita tanto all'edificio quanto allo spazio pubblico che lo circonda, inteso come un intreccio di ambiente, territorio e identità delle comunità insediate. Il progetto diventa dichiaratamente eteronomo, intendendo che fino

⁵ *Avi*, pag. 113-116

⁶ *Avi*, pag. 116-117

alla quarta generazione (2002), lo stadio era un problema tecnico autosufficiente: capienza, visibilità, strutture, esodo. Bastavano l'ingegneria e il calcolo funzionale. Dalla quinta in poi entrano in gioco competenze che vengono da altri campi: paesaggio, design, gestione, marketing, comunicazione.

Di fatto, se negli anni Ottanta e Novanta il museo d'autore ha rappresentato il simbolo culturale per eccellenza della città (come, ad esempio, il Guggenheim Museum Bilbao), oggi è l'edificio dello sport ad assumere quel ruolo di monumento urbano. Parallelamente, l'attenzione si sposta dall'impianto in sé al suo intorno corrispondente a una domanda sociale crescente di luoghi per la pratica non agonistica: spazio pubblico, parchi urbani e periurbani⁷.

Entro questo quadro Allegri individua sei paradigmi progettuali:

- 1) L'integrazione nel paesaggio naturale ottenuta sfruttando la conformazione del terreno per ricavare l'invaso del catino;
- 2) L'integrazione nel paesaggio urbano che discende dalla concezione dello stadio come nodo infrastrutturale e come dispositivo di rigenerazione alla scala del quartiere;
- 3) Involucri tecnologicamente evoluti e porosi: questo paradigma segna il passaggio dal contenitore anonimo di cemento all'edificio permeabile ad alta caratterizzazione formale: pelli traslucide o trasparenti in materiali compositi;
- 4) La sostenibilità, interpretata secondo due modelli distinti: il primo sfrutta l'ampia superficie disponibile con sistemi integrati in facciata e copertura per la produzione da fonti rinnovabili; il secondo si affida a materiali tradizionali ed ecocompatibili rilette attraverso sistemi costruttivi innovativi;
- 5) La resilienza, intesa come capacità dell'impianto di adattarsi e trasformarsi rispetto a variabili sociali, economiche e ambientali: storicamente lo stadio è una tipologia poco resiliente per conformazione e destinazione d'uso;
- 6) Lo stadio come macchina totale: inteso come ecoquartiere autosufficiente ed ecosistema multifunzionale, aperto tanto agli sport tradizionali quanto a discipline non convenzionali, dove le persone vivono, lavorano e si intrattengono⁸.

1.6 La relazione col progetto di tesi

Premettendo che si assume la periodizzazione di Allegri (descritta al paragrafo §1.3) come griglia di lettura dichiarata dall'autore e non come storiografia consolidata, lo Stadio Giuseppe Sinigaglia si inserisce all'interno della seconda fase (o seconda generazione), periodo compreso tra 1920 e anni Sessanta/Settanta. La sua collocazione tecnologica (descritta al paragrafo §1.4) risiede nella stagione del calcestruzzo armato.

La sua costruzione nel 1927 avviene nella fascia temporale contraddistinta dalla presa di potere del partito fascista che assoggetta l'architettura sportiva come strumento di rappresentazione del potere politico. Nella sua storia l'impianto ha subito delle trasformazioni di cui la più sostanziale riguarda l'intervento sulla tribuna Sud, sempre nel periodo fascista, su committenza dell'Opera Nazionale Balilla, come spiegato al paragrafo §3.1.

⁷ *Ivi*, pag. 117-118

⁸ *Ivi*, pag. 118-124

Ad oggi, lo stadio risulta un impianto datato sia dal punto vista estetico che funzionale: uno stadio ancora autonomo, dedito alle sole sue funzioni e scollegato dal contesto urbano, distante dai cosiddetti “paradigmi” citati da Allegri.

Il progetto risponde a questi ultimi nei termini seguenti. Il primo, l'integrazione nel paesaggio naturale, non è praticabile poiché presuppone un dislivello sfruttabile per ricavare l'invaso del catino, condizione assente nell'area pianeggiante del Sinigaglia. Il secondo, l'integrazione nel paesaggio urbano, si attua attraverso la connessione con il sistema tranviario e la rigenerazione del tratto di viale Peucher, che viene pedonalizzato, restituendo continuità tra città, impianto e fronte lago. Il terzo, l'involucro poroso, trova una declinazione sottrattiva anziché tecnologica: la permeabilità non è affidata ad un sistema di facciata ma alla scelta di lasciare aperti gli spazi del sotto tribuna, stabilendo una relazione diretta tra interno ed esterno, mentre le porzioni opache sono trattate con rivestimento in legno in coerenza con la struttura di copertura. Il quarto, la sostenibilità, è perseguito nella declinazione dei materiali e dei sistemi costruttivi: legno lamellare e rivestimento in legno come materiali rinnovabili e prefabbricazione delle strutture delle tribune per ridurre gli scarti nei cantieri e il tempo d'esecuzione. Il quinto, la resilienza, si esprime su tre piani: il dimensionamento calibrato sulla domanda reale, che sottrae l'impianto al rischio di ingestibilità post evento; il mix funzionale con le attività commerciali al piano terra, l'utilizzo delle aree premium nei giorni senza gara e l'apertura a eventi di natura diversa, che assicurano all'edificio un funzionamento continuo; infine, la tecnologia costruttiva in quanto il sistema di copertura è totalmente reversibile grazie ai nodi meccanici in acciaio, mentre la struttura della tribuna in calcestruzzo armato prefabbricato consente industrializzazione e sostituibilità dei singoli elementi, con una reversibilità limitata dai getti di completamento. Il sesto paradigma, lo stadio come macchina totale, non viene invece perseguito: presuppone masse critiche di utenza estranee ad un contesto di dimensioni contenute.

2. Casi studio

2.1 Craven Cottage, Populous, Fulham FC, Londra, 28.000 spettatori: La Riverside Stand

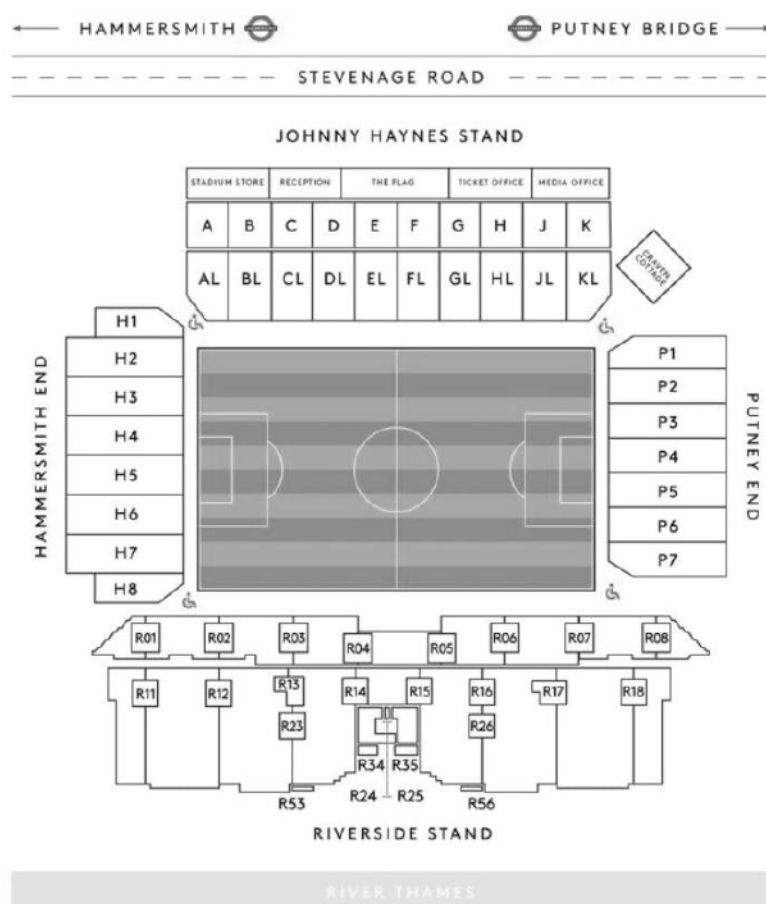


Figura 1: Planimetria schematica. Fonte: Fulham FC, [Fulham FC - Fulham v Tottenham Hotspur](#) (ultima consultazione 24/08/2026)

Con l'obiettivo di aumento di capienza dello stadio, si è condotta un'analisi preliminare per la riqualifica di Craven Cottage. Questa individua un insieme di vincoli e opportunità che definiscono il campo d'azione del progetto.

- 1) Il primo condizionamento è di natura dimensionale: lo stadio occupa per intero il lotto disponibile, il rettangolo di gioco è di dimensione ridotta e il baricentro dell'impianto non è spostabile; le tribune Hammersmith End e Putney End occupano già lo spazio compreso tra il terreno di gioco e il confine di proprietà, riducendo al minimo i margini per un incremento di capienza;
- 2) Il secondo condizionamento prevede una serie di vincoli di carattere conservativo: la tribuna Johnny Haynes su Stevenage Road e il cottage sono edifici tutelati, escludendo un ampliamento sul fronte;

- 3) Il terzo è quello dell'accessibilità e dei flussi: ingressi e uscite si concentrano su un unico fronte, con conseguente congestione su Stevenage Road e l'apertura di un ingresso dall'angolo a Sud viene indicato come principale opportunità di riequilibrio. Questo fenomeno è aggravato dal fatto che con carenza di servizi interni all'impianto, l'utenza si riversa sull'area nei pochi minuti che precedono il calcio d'inizio;
- 4) Il quarto tema è il rapporto con il Tamigi: La Riverside Stand è giudicata inadeguata sia sul piano architettonico che su quello funzionale e, soprattutto, interrompe la continuità del percorso lungo il fiume. La sua riqualifica permette dunque di perseguire 2 obiettivi: la valorizzazione dell'affaccio fluviale e la restituzione alla città di un collegamento pubblico continuo.

Sulla base di tale quadro, il progetto della riqualifica della Riverside Stand individua i seguenti obiettivi:

- 1) Il primo è di ordine dimensionale: portare la capienza a 30.000 posti;
- 2) Mantenere una scala complessiva coerente;
- 3) Fornire una passeggiata lungo il fiume dotata di servizi igienici, caffè, ristorazione e attività analoghe;
- 4) Materiali e colori che riflettano l'ambientazione fluviale;
- 5) Previsione di spazi destinati ad altri usi e alla comunità nei giorni non di gara⁹.

Il caso Craven Cottage interessa il presente lavoro su due piani distinti. Il primo è metodologico e riguarda la sequenza con cui il progetto è impostato: la ricognizione dei vincoli precede la definizione degli obiettivi, e questi ultimi si concentrano dove il sito ha margine di trasformazione. La tesi preserva tale atteggiamento, infatti, le condizioni del sedime e le preesistenze tutelate sono assunte come premessa e non a posteriori. Il secondo piano riguarda il rapporto con l'acqua. Dalla riqualifica della Riverside Stand nasce un'opportunità di trasformazione urbana localizzata, la passeggiata lungo il fiume. Il progetto di tesi prevede la stessa visione.

⁹ Cfr. Fulham Football Club, *Craven Cottage Riverside Stand Planning Application*, 2017, pag. 6-7, [Craven-Cottage-Riverside-Stand-Planning-Summary-November-2017.pdf](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)

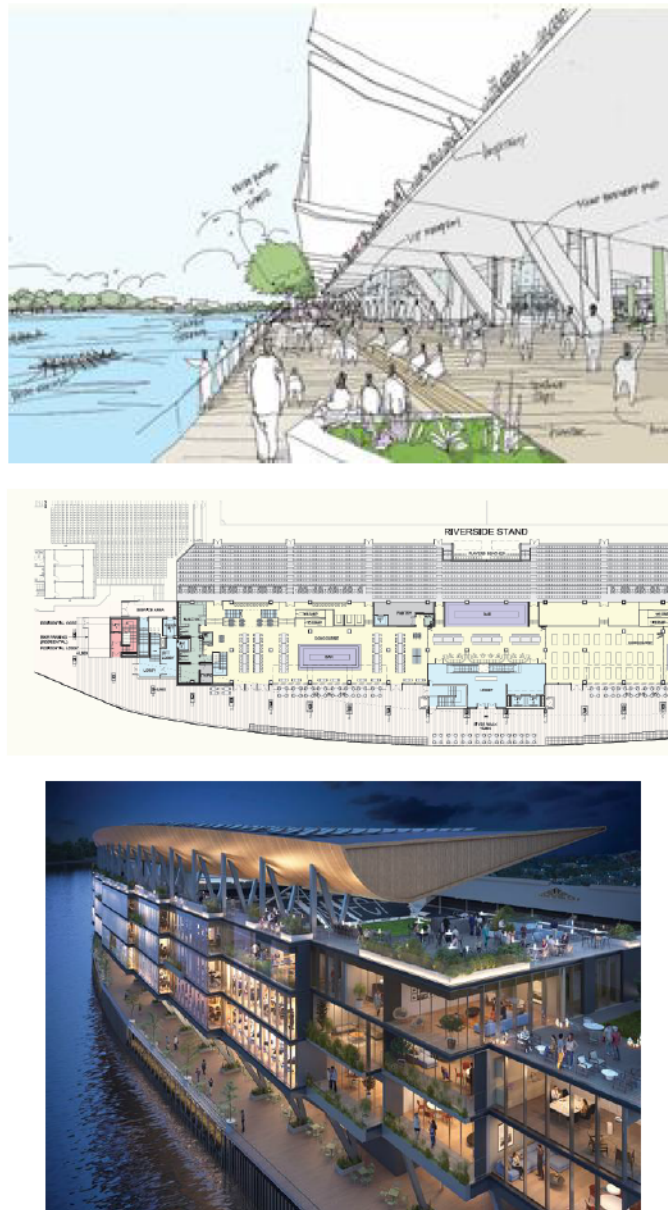


Figura 2: Concept architettonico iniziale della passeggiata sulla Riverside a sinistra; Planimetria piano terra Riverside a destra. Fonte: Fulham Football Club, *Craven Cottage Riverside Stand Planning Application*, 2017, pag. 8-10, [Craven-Cottage-Riverside-Stand-Planning-Summary-November-2017.pdf](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)

2.2 Nuovo stadio di Bordeaux, Herzog & de Meuron, Bordeaux, 2010-2015, 42.115 spettatori

Il caso di bordeaux interessa questo lavoro per una natura strettamente compositiva: la rinuncia alla facciata come elemento di chiusura del perimetro. Il volume esterno dello stadio non è definito da un involucro continuo, ma da una trama di novecento colonne d'acciaio bianco di

sezione molto ridotta che sostengono la copertura rettangolare arrivando. Il fronte non separa, l'edificio resta visivamente attraversabile¹⁰.

Due sono le conseguenze che lo stadio di bordeaux porta al progetto di tesi. La prima è che a Bordeaux ogni pilastro produce una ripetizione ritmica creando l'immagine dell'edificio ed è il medesimo concetto che si applica al Sinigaglia tramutandone la scala e optando per pochi elementi gerarchici ma più massivi: i costoloni in legno lamellare. La seconda riguarda la massa percepita: il Sinigaglia si colloca in un'area di elevata qualità paesaggistica, in un contesto nel quale l'ingombro visivo costituisce un tema di progetto. Bordeaux dimostra che un edificio di notevole dimensione può risultare permeabile visivamente quando il perimetro è affidato a una struttura ritmata anziché a una superficie continua. Questa è la condizione che il progetto di tesi persegue interponendo tra la tribuna e il paesaggio lacustre, una copertura a costoloni distanziati priva di chiusure verticali.



Figura 3: Sezione delle tribune in alto; Vista prospettica in basso. Fonte: Alessandro Coppa, *Stadi e strutture per lo sport*, collana "Le sfide dell'architettura", Milano, n.7, RCS MediaGroup, 2018, pag. 12-13 e 20

¹⁰ Cfr. Alessandro Coppa, *Stadi e strutture per lo sport*, collana "Le sfide dell'architettura", Milano, n.7, RCS MediaGroup, 2018, pag. 15-16

2.3 Allianz Riviera, Wilmotte & Associés SA / VINCI, Nizza, 2013, 35.000 spettatori

Dall'Allianz Riviera di Nizza, si mutua l'impiego del manto traslucido monostrato in ETFE. Tale soluzione, per leggerezza e trasparenza, mantiene a vista la struttura lignea e garantisce l'illuminazione naturale del terreno di gioco.

Si specifica che il sistema di copertura dell'Allianz Riviera è misto: ETFE, PVC e sottostruttura in legno e acciaio¹¹.

Il dettaglio della copertura del sistema ETFE è rappresentato in maniera più approfondita al §8.4.

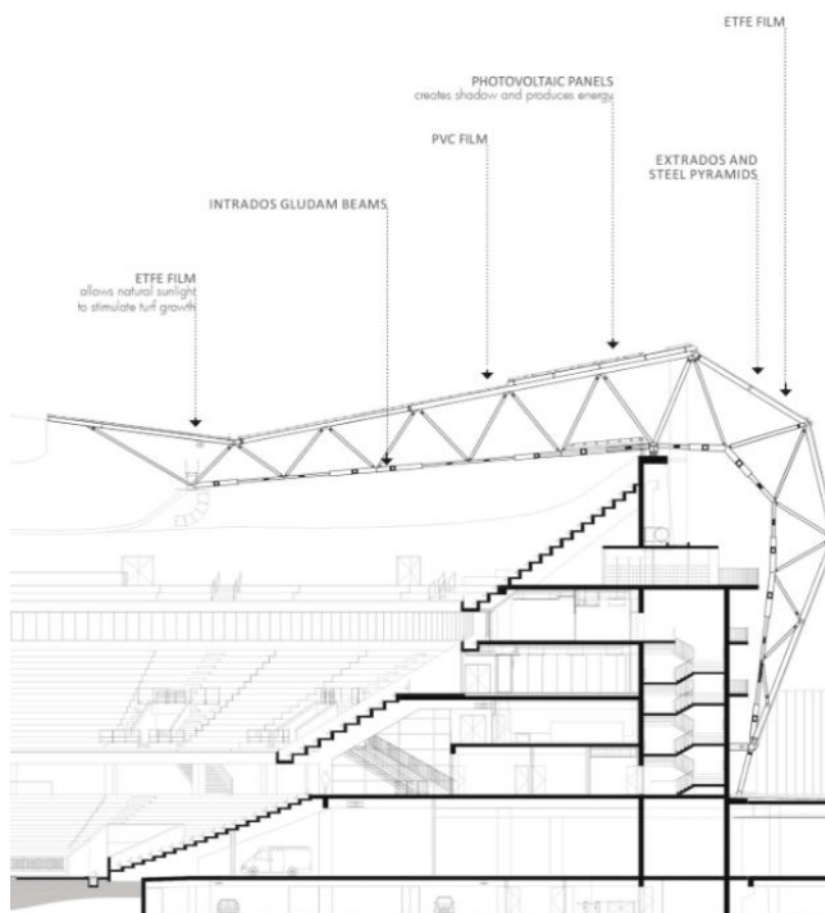


Figura 4: Schema copertura. Fonte: BauNetz, [Allianz Riviera in Nizza | Gebäudetechnik | Freizeit/Sport | BauNetz Wissen](#), (ultima consultazione 11/09/2026)

¹¹ A. Escoffier, A. Albrecht, F. Consigny, *Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof*, *International Journal of Structural and Construction Engineering*, World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 8, n. 3, 2014, pp. 299–303, [Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof](#) (ultima consultazione:11/09/2026)



Figura 5: Vista della copertura. Fonte: Archello, [ALLIANZ RIVIERA STADIUM | Wilmotte & Associés Architectes | Archello](#) (ultima consultazione 11/09/2026)

2.4 Forest Green Rovers Eco Park Stadium, Zaha Hadid Architects, Stroud (Regno Unito), non realizzato, 5.000 - 10.000 spettatori

Il progetto assume come riferimento l'Eco Park Stadium di Zaha Hadid Architects, sia per l'effetto di scansione ritmica del fronte dettata da elementi in legno, sia per l'impiego della controventatura in acciaio della copertura.



Figura 6: Scansione ritmica. Fonte: Archdaily, [Gli architetti Zaha Hadid inaugurano il primo stadio di calcio tutto in legno a Stroud, Regno Unito | ArchDaily](#) (ultima consultazione 11/09/2026)



Figura 7 Dettaglio copertura. Fonte: Archdaily, [Gli architetti Zaha Hadid inaugurano il primo stadio di calcio tutto in legno a Stroud, Regno Unito](#) | ArchDaily (ultima consultazione 11/09/2026)

3. Lo Stadio Giuseppe Sinigaglia di Como

3.1 Storia dell'impianto e del suo contesto

Nei decenni tra le due guerre, l'attenzione per lo sport crebbe sensibilmente anche nei centri di media dimensione come Como, non solo per una maggiore diffusione per le diverse discipline, in primo luogo il calcio, ma anche perché il regime fascista, ormai consolidato, aveva riconosciuto negli eventi sportivi un efficace strumento di prestigio e di consenso. La città restava però priva di un impianto capace di ospitare competizioni di un certo rilievo. In occasione del centenario voltiano nel 1927, per la realizzazione dello stadio intitolato a Giuseppe Sinigaglia, canottiere della Lario ed illustre rappresentante dello sport, si scelse l'area a destinazione dell'impianto, la quale ricadde nel Campo Garibaldi, un terreno incolto che dalla metà dell'Ottocento i militari utilizzavano come piazza.

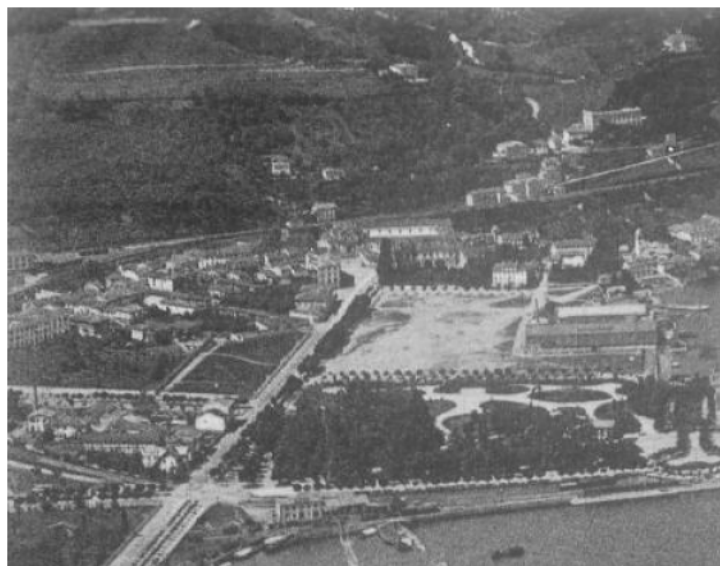


Figura 8: Campo Garibaldi nei primi anni del '900. Fonte: Old Como, [Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)

Si trattava della prima opera pubblica realizzata a Como dal regime fascista. Il progetto, originariamente concepito come velodromo dall'architetto Giovanni Greppi di Milano, univa le esigenze celebrative, coi due fronti principali decorati con colonne di retorica ispirazione romana, e quelle costruttive, in corrispondenza delle parti funzionali con tecnologia in cemento armato. Per l'epoca risultava tra gli impianti più efficienti della regione, concepito in senso polivalente: oltre al ciclismo, si disputavano gare di atletica e tennis.



*Figura 9: Lo stadio di Como negli anni Trenta. Fonte: Sandro Solinas, *Stadi d'Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi*, Roma, Bonanno Editore, 2008, pag. 106*

Nello stesso periodo, l'Opera Nazionale Balilla andava accumulando un numero considerevole di realizzazioni nel settore degli impianti sportivi. A Como venne ideata la Casa del Balilla sulla preesistenza dello stadio, costringendo il nuovo edificio su un'area lunga e stretta, addossata alla gradinata. Il progetto, redatto dall'ingegnere Gianni Mantero tra il 1932 e il 1936, fu risolto allineando corpi di fabbrica di diversa altezza in colore rosso cupo, con ampie vetrate e imponenti portali in marmo di Musso ospitanti una piscina, tutt'ora conservata, una palestra e degli uffici. Venne dunque smontata la facciata dell'architetto Greppi, dato che i nuovi volumi si innestavano sulle gradinate.



Figura 10: Lavori sulla facciata. Fonte: Old Como, [Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)



Figura 11: Facciata in stile classico dell'arch. Giovanni Greppi a sinistra; Facciata razionalista dell'ing. Gianni Mantero a destra. Fonte: Old Como, [Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)

Seguirono poi altri interventi. Alla fine degli anni Quaranta le gradinate vennero sopraelevate con strutture in cemento armato, su progetto degli ingegneri Enrico Ballerini e Luciano Trolli. Negli anni Settanta la pista ciclistica fu demolita per ricavare posti a sedere, mentre nel 1984 si procedette all'ampliamento della curva Ovest. Tra il 1990 e 1991 vennero restaurati gli edifici lungo viale Sinigaglia e ristrutturata la tribuna principale, coperta con una nuova pensilina a sbalzo su progetto dell'architetto Enrico Mantero.

Nel primo decennio degli anni Duemila lo stadio lariano aveva capienza di 13.602 spettatori ed era provvisto di copertura nella sola tribuna principale a Sud con 2.500 posti. La tifoseria comasca era collocata nella Curva Ovest, configurata in due settori metallici ad angolo con capienza 5.000 posti, mentre i Distinti erano collocati nella tribuna in muratura nella parte Nord. Il settore ospiti, ricavato in una gradinata semicircolare, parzialmente ricostruito nel 2003 con capienza 3.500 posti, era nel lato Est¹².

Lo stadio conserva tuttora l'assetto funzionale definito nei primi anni Duemila. Nell'estate 2026 è stato però oggetto di lavori di adeguamento richiesti dalla UEFA. L'intervento ha previsto lo smantellamento della tribuna Ovest, realizzata in elementi tubolari, in favore della costruzione

¹² Cfr. Sandro Solinas, *Stadi d'Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi*, Roma, Bonanno Editore, 2008, pag.106-108; si veda anche Enrico Levrini, "La costruzione dello stadio", [La costruzione dello Stadio - Il Museo del Como](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)

di una tribuna in cemento armato prefabbricato. Restano tuttavia due configurazioni distinte nell'impianto: 12.370 spettatori per il campionato di Serie A e 10.875 per le partite europee. La riduzione dipende dal fatto che nelle competizioni UEFA non è ammesso l'impiego di spalti su struttura tubolare¹³.



Figura 12: Stato antecedente all'intervento della tribuna Ovest. Fonte: Sandro Solinas, Stadi d'Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi, Roma, Bonanno Editore, 2008, pag. 107

¹³ Cfr. Calcio Finanza, “*Il Sinigaglia di Como verso il via libera per la Champions: capienza da quasi 11mila posti*”, 2026, [Il Sinigaglia di Como verso il via libera per ospitare la Champions](#) (ultima consultazione: 29/08/2026)



Figura 13: Intervento estate 2026, nuova tribuna Ovest. Fotografia personale

3.2 Vincoli: paesaggistici, di tutela, urbanistici, idrogeologici, idraulici

Si riportano di seguito i principali vincoli gravanti sulle aree di progetto: paesaggistici, di tutela, urbanistici, idrogeologici e idraulici.

In relazione ai vincoli paesaggistici, secondo il Piano delle Regole del Comune di Como, nello specifico all'interno della tavola 16.1 "Cartografia ricognitiva degli ambiti assoggettati a specifica tutela paesaggistica"¹⁴, si evince che: il sedime dello stadio, l'impianto, il Novocomum e l'edificio residenziale adiacente, la Canottieri Lario, lo Yacht Club e l'Aero Club non sono sottoposti a tutela ai sensi dell'art.142, comma 1, lettere b) e c) del D.Lgs. 42/2004. La tavola 16.1 li individua fra le aree escluse dal vincolo in quanto già delimitate come zone A e B negli strumenti urbanistici vigenti alla data del 6 settembre 1985. Ne consegue che per tali aree non è richiesta autorizzazione paesaggistica. Risultano invece assoggettate a tutela e dunque soggette ad autorizzazione le aree immediatamente contigue tra le quali i giardini del Tempio Voltiano, il Tempio Voltiano e il Monumento ai Caduti, nonché i tratti della rete tranviaria di progetto e l'area del nuovo autosilo.

¹⁴ Comune di Como, Tav. 16.1, *Cartografia ricognitiva degli ambiti assoggettati a specifica tutela paesaggistica*, [Tavola-16-1.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

Per i vincoli di tutela, all'interno della tavola 1.2 “Carta dei beni storico-artistico-monumentali e/o archeologici oggetto di tutela”¹⁵, risultano tutelati lo stadio, i giardini del Tempio Voltiano, il Tempio Voltiano, la parte Nord dell'edificio Novocomum e il Monumento ai Caduti, in relazione al progetto.

Sotto il profilo dei vincoli urbanistici, l'area è disciplinata da due strumenti complementari. La tavola 6 “Carta della classificazione del tessuto urbano consolidato”¹⁶ indica l'area dello stadio, compresi l'impianto, lo Yacht Club, il Canottieri Lario, l'Aero Club e il Novocomum come “tessuto o immobili altamente qualificati o contemporanei di pregio testimoniale” categoria CT3. Le medesime aree insieme al Tempio Voltiano, i giardini del Tempio Voltiano e l'area di collegamento sul lungolago sono classificati come “Centri storici suburbani, nuclei storici ed edifici di valore storico e/o rilevanza artistica e/o ambientale” categoria CT2, in accordo con la tavola 1.2. Il Piano dei Servizi, con la tavola 1.1 “Carta della distribuzione delle attrezzature pubbliche e di uso pubblico o collettivo esistenti: le categorie I,II,III”¹⁷ censisce lo stadio, l'Aero Club, lo Yacht Club ed il Canottieri Lario come categoria III “spazi a verde urbano di interesse locale” con sigla VS (verde sportivo) e censisce i giardini del Tempio Voltiano con la medesima categoria ma con sigla VQ (verde di quartiere). Le tavole consultate non associano all'area dello stadio parametri edificatori, come è proprio delle attrezzature pubbliche, la cui trasformazione è rimandata al progetto approvato dall'amministrazione. Ne consegue che i limiti dimensionanti effettivi non sono di natura urbanistica ma derivano dal sedime fisicamente disponibile.

Diverso è il regime dell'area destinata al nuovo autosilo e alla stazione del tram, che ricade in un ambito strategico di riqualificazione urbana disciplinato dal Documento di Piano e assoggettato a pianificazione attuativa come da Tavola 6. La relativa scheda “Ambito Viale Innocenzo XI – Inquadramento territoriale”¹⁸ ammette come destinazioni i servizi pubblici e di interesse pubblico o generale e, in quota parte, funzioni terziario-ricettive: l'autosilo e la stazione dei tram rientrano pertanto nella destinazione principale prevista dal piano.

Per i vincoli idrogeologici, secondo la tavola 16.2 “Carta del vincolo idrogeologico”¹⁹, le zone di progetto non risultano esserne assoggettate.

Sotto il profilo della fattibilità geologica e del rischio idraulico, la tavola 10.1 “Carta della fattibilità geologica”²⁰ colloca il sedime dello stadio e quello dell'autosilo in classe 3 (fattibilità

¹⁵ Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 1.2, *Carta dei beni storico-artistico-monumentali e/o archeologici oggetto di tutela*, [PdR Tavola 1.2 Carta beni storico artistico monumentali oggetto di tutela.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

¹⁶ Comune di Como, *Piano delle regole*, Tav. 6, *Carta della classificazione del tessuto urbano consolidato*, [PdR Tavola 6 Carta classificazione tessuto urbano consolidato.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

¹⁷ Comune di Como, *Piano dei Servizi*, Tav. 1.1, *Carta della distribuzione delle attrezzature pubbliche e di uso pubblico o collettivo esistenti: le categorie I, II e III*, [PdS Tavola 1.1.1 Carta distribuzione attrezzature pubbliche e uso pubblico comune esistenti categorie I II III.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

¹⁸ Comune di Como, *Documento di Piano, Ambito Viale Innocenzo XI*, [Scheda VialeInnocenzoXI](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

¹⁹ Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 16.2, *Carta del vincolo idrogeologico*, [PdR Tavola 16.2 Carta del vincolo idrogeologico.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

²⁰ Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 10.1, *Carta della fattibilità geologica*, [PdR Tavola 10.1 Carta fattibilita geologica.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

con consistenti limitazioni), mentre i tracciati di collegamento ricadono in parte in classe 3, lungo il fronte lacustre, e in parte in classe 2 (fattibilità senza particolari limitazioni). La classe 3, in corrispondenza dello stadio, rientra nella sottoclasse 3.f “aree soggette ad inondazioni lacustri: aree cittadine in prossimità del lago, con falda subaffiorante e substrati in gran parte costituiti da materiale di riporto”, condizione che orienta le scelte fondazionali e le modalità esecutive della galleria. Le aree di progetto non ricadono in fasce o dissesti perimetrati dal PAI, come testimonia la tavola 8-bis “Carta del dissesto con legenda uniformata PAI”²¹.

4. Quadro normativo e criteri dimensionanti

4.1 Introduzione

Uno stadio destinato al campionato di serie A e alle competizioni UEFA è governato da quattro fonti normative, lo Stato, il CONI, la FIGC e la UEFA. I sei documenti che ne derivano si applicano in sovrapposizione e non in alternativa. Essi operano su tre piani distinti:

- 1) da un lato i criteri sportivi, che definiscono i requisiti di qualità dell’impianto e condizionano l’ammissione alle competizioni: CONI²², criteri Infrastrutturali Serie A (norma federale FIGC)²³, UEFA²⁴
- 2) dall’altro la norma di sicurezza (Stato), che ne disciplina la costruzione e l’esercizio in quanto luogo aperto al pubblico: D.M. 18/03/1996 e successive modifiche²⁵ (D.M. 6/06/2005, D.M. 13/08/2024, D.M. 24/12/2025);
- 3) l’ultimo riguarda le altre due norme federali FIGC che disciplinano le regole di gioco²⁶ e l’omologazione degli impianti (N.O.I.F.).

Il capitolo segue tale distinzione. La prima parte confronta i criteri sportivi e ne ricava i valori dimensionanti; la seconda espone le prescrizioni del D.M. 18/3/1996 e le soglie che esse attivano nel caso in esame. Le due parti confluiscono nel quadro di sintesi conclusivo.

4.2 I corpi normativi

I sei documenti differiscono per fonte, natura e grado di cogenza, e la differenza non è di rilievo solo formale, perché da essa dipende il criterio di prevalenza esposto al §4.3. Uno solo, il D.M. 18/3/1996, è norma di legge. Le Norme CONI sono norme tecniche approvate dal Consiglio Nazionale dell’ente e costituiscono il riferimento per il parere di conformità sugli impianti. I

²¹ Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 8.bis, *Carta del dissesto con legenda uniformata PAI*, [PdR Tavola 8.bis Carta dissesto con legenda uniformata PAI.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

²² CONI, *Norme CONI per l’impiantistica sportiva*, https://cis.coni.it/quadro_normativo.pdf, (ultima consultazione: 14/09/2026)

²³ FIGC, *Sistema delle Licenze Nazionali 2026/2027*, *Criteri Infrastrutturali Serie A*, allegato A), <https://www.figc.it/media/257613/all-al-cu-145-all-a-criteri-infrastrutturali-2025-2026-serie-a.pdf> (ultima consultazione 14/09/2026)

²⁴ UEFA, *UEFA Stadium Infrastructure Regulations*, edizione 2025, in vigore dal 1/06/2025, [UEFA Stadium Infrastructure Regulations • Lettore • Documents UEFA](#) (ultima consultazione 14/09/2026)

²⁵ D.M. 18 marzo 1996, *Norme di sicurezza per la costruzione e l’esercizio degli impianti sportivi*, e successive modificazioni; testo coordinato a cura del Ministero dell’interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, Direzione centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, Marzo 2026, [DM 18/03/96](#) (ultima consultazione: 14/09/2026)

²⁶ FIGC-AIA, *Associazione Italiana Arbitri, Il regolamento del Giuoco del Calcio e Decisioni Ufficiali*, ed.2026, [reg 2026.pdf](#) (ultima consultazione: 14/09/2026)

Criteri Infrastrutturali di Serie A e il Regolamento UEFA sono norme dell'ordinamento sportivo: vincolano le società non per legge ma per effetto dell'affiliazione e della partecipazione alle competizioni, e ne condizionano l'ammissione. Le due norme federali FIGC (Regolamento del Giuoco del Calcio e N.O.I.F.), infine, disciplinano il gioco e l'organizzazione, non l'edificio.

Documento	Natura	Ambito	Cogenza
D.M. 18 marzo 1996	Norma di sicurezza	Qualunque impianto sportivo	Cogente per legge
Regolamento del Giuoco del Calcio e N.O.I.F. (F.I.G.C.)	Norme federali di gioco e ordinamento	Società affiliate	Vincolante per gli affiliati
Norme CONI 2008	Norme tecnico-edilizie	Progettazione; parere CONI	Necessaria per il parere
Criteri Infrastrutturali Serie A 2026/27 (F.I.G.C.)	(norma federale) Requisiti di licenza	Stadio di una società di Serie A	Condizione di ammissione
Regolamento UEFA 2025, Categoria 4	Criteri per categoria	Stadi per gare UEFA	Condizione di omologazione

Tabella 1 Documenti di riferimento

4.2.1 Il ruolo delle due norme federali

Come appena citato, le due norme federali Regolamento del Giuoco del Calcio e N.O.I.F., di derivazione F.I.G.C., governano il gioco, non l'edificio. Il Regolamento del Giuoco del Calcio, che recepisce le Regole IFAB (International Football Association Board) disciplina il rettangolo di gioco, il tracciamento, le porte, l'area tecnica e la fascia complanare di rispetto; le Norme Organizzative Interne (NOIF) disciplinano affiliazione, tesseramento e omologazione degli impianti, e hanno quindi rilevanza procedurale più che dimensionale.

I tre parametri dei due documenti che interessano le dotazioni del progetto sono tre: le dimensioni del terreno di gioco, la fascia complanare di rispetto e le dimensioni delle porte. Tutti e tre risultano recepiti, con valori identici o più severi, dai Criteri Infrastrutturali di Serie A.

4.3 Il criterio di prevalenza

Per ciascun parametro si assume il valore più restrittivo fra quelli prescritti dalle fonti applicabili. Il documento dimensionante varia quindi da parametro a parametro.

Il criterio discende dalle fonti stesse.

L'art.1 del D.M. 18/3/1996 stabilisce che gli impianti sportivi devono essere conformi, oltre che alle proprie disposizioni, anche ai regolamenti del C.O.N.I. e delle Federazioni Sportive Nazionali e Internazionali: *"I suddetti complessi o impianti sportivi, nel seguito denominati impianti sportivi, devono essere conformi oltre che alle presenti disposizioni anche ai*

regolamenti del C.O.N.I. e delle Federazioni Sportive Nazionali e Internazionali.”²⁷ La norma di legge costituisce la base obbligatoria, cui i regolamenti sportivi si aggiungono senza sostituirla.

Le Norme CONI stabiliscono all’art. 1 che, in caso di contrasto con la legge, valgono le indicazioni più restrittive:” *Tutti gli impianti sportivi di cui sopra, oltre che alle presenti norme, dovranno essere conformi alle norme di Legge che sotto qualsiasi titolo regolano la loro progettazione, costruzione ed esercizio, quali ad esempio le norme urbanistiche, di sicurezza, di igiene, per il superamento delle barriere architettoniche, ecc. Nel caso di indicazioni contrastanti tra le presenti norme e quelle di Legge, valgono le indicazioni più restrittive.*”²⁸ Inoltre in relazione ai regolamenti sportivi, le norme CONI indicano che gli impianti agonistici debbano essere conformi ai regolamenti tecnici e di omologazione approvati dalla Federazione e dal CONI, in relazione al livello di attività previsto, e aggiungono che per quanto espressamente previsto da tali regolamenti:” *le relative prescrizioni sono prevalenti rispetto alle presenti norme.*”²⁹

Il regolamento UEFA dichiara di non pregiudicare gli obblighi di legge nazionali:” *These regulations do not affect the legal obligations arising from national law applicable to stadium facilities.*”³⁰

I Criteri Infrastrutturali di Serie A non contengono una clausola analoga, ma la loro natura di requisiti di licenza ne esclude ogni efficacia derogatoria rispetto alla legge.

Ne deriva la gerarchia adottata. la legge come base obbligatoria; seguono i regolamenti tecnici di competizione (Serie A, UEFA), dei quali si assume parametro per parametro il valore più elevato; infine, le norme CONI, che si collocano in posizione residuale secondo la loro stessa previsione: esse dettano la disciplina tecnico-edilizia generale e cedono rispetto ai regolamenti tecnici. Ne consegue che, le Norme CONI risultano generalmente meno restrittive, ma restano l’unica fonte applicabile per i parametri che gli altri criteri non contemplano.

L’impianto è progettato per la categoria UEFA 4 (articolo 33.01 del regolamento della UEFA Champions League stabilisce la categoria 4 dai play-off alle semifinali)³¹, la più elevata, e per dodicimila posti, minimo prescritto dalla Serie A.

²⁷ D.M. 18 marzo 1996, art.1, pag.10

²⁸ Norme CONI 2008, art. 1, pag.1

²⁹ Norme CONI 2008, art. 1, pag.1

³⁰ UEFA Stadium Infrastructure Regulations 2025, art. 1, 1.04. “Il presente regolamento non pregiudica gli obblighi legali derivanti dalla legislazione nazionale applicabile agli impianti degli stadi”.

³¹ UEFA, *Regulations of the UEFA Champions League*, edizione 2026/2027, in vigore dal 29/06/2026, art. 33.01, [Article 1 Scope of application • Regulations of the UEFA Champions League • Lettore • Documents UEFA](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

4.4 Criteri sportivi

4.4.1 Il terreno di gioco e le distanze

Le dimensioni del campo e le distanze minime degli ostacoli determinano la posizione del fronte delle tribune, e con essa il punto da cui si misura la visibilità.

Il progetto adotta 8,50 m fra il fronte delle tribune e la linea di campo per Nord, Est e Ovest, e 13,10 m per la Sud: valori superiori ai minimi, che accolgono la fascia di rispetto, lo spazio dietro i cartelloni, la separazione e le esigenze di ripresa.

Parametro	CONI - FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Dimensioni del campo	rinvia a FIGC: 90<linea laterale<120; 45<linea di porta<90	105 · 68 m; 65 m solo per vincoli non eliminabili	105 · 68 m	105 · 68 m	FIGC 3, Serie A A1, UEFA 5.01
Campo per destinazione (fascia complanare)	Fascia di rispetto $\geq 1,50$ m	1,50 m sul perimetro, complanare e priva di ostacoli	area adiacente sicura	1,50 m	CONI 7.3, Serie A A1, UEFA 5.07
Ostacoli dalle linee laterali	-	$\geq 2,50$ m	$\geq 3,00$ m	3,00 m	Serie A A1, UEFA allegato pag.32
Ostacoli dalle linee di porta	-	$\geq 3,50$ m, riducibile a 2,50 con vincoli	$\geq 3,00$ m	3,50 m	Serie A A1, UEFA allegato pag.32
Spazio operativo dietro i pannelli	-	area di riscaldamento dietro i pannelli posti dietro le porte	$\geq 2,00$ m dietro ogni cartellone	2,00 m	SERIE A A1, UEFA 5.08
Altezza libera sul campo	≥ 7 m (spazi > 250 m ²)	≥ 21 m	≥ 21 m	21,00 m	CONI 7.6, Serie A A2, UEFA 5.06
Superficie di gioco	-	erba naturale, naturale rinforzata/mista o artificiale	superficie di gioco naturale (100% erba naturale), erba naturale rinforzata (ibrida) o erba sintetica per calcio (100% fibre artificiali).	naturale, ibrida oppure sintetica	Serie A A2, UEFA 5.03
Drenaggio e irrigazione	drenaggio e irrigazione obbligatori	sistema di drenaggio idoneo e irrigazione uniforme	irrigazione sotterranea automatizzata (Cat. 3-4)	sotterranea automatizzata	CONI 10.3.1, Serie A A2, UEFA 5.01
Riscaldamento del manto erboso	—	obbligatorio, salvo Campania, Puglia, Basilicata, Calabria, Sicilia e Sardegna	riscaldamento o copertura del campo secondo località e clima	obbligatorio	Serie A B3, UEFA 5.01

Tabella 2 Terreno di gioco, distanze minime e dotazioni di contorno

Parametro	CONI - FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Porte	rinvia a FIGC	7,32 · 2,44 m	7,32 · 2,44 m	7,32 · 2,44 m	FIGC 10, Serie A A 4; UEFA 7.01
Porte: materiale e sezione	-	alluminio o lega leggera; sezione circolare o ellittica; bianche	alluminio o simile; rotonde o ellittiche; bianche; profondità ≤ 12 cm	sezione circolare o ellittica, bianca	Serie a A4; UEFA 7.01
Porte di riserva	-	1 coppia di riserva	almeno 1 di riserva	1 coppia di riserva	Serie A A4, UEFA 7.04
Aree di riscaldamento	-	lungo le linee laterali o dietro i pannelli posti dietro le porte	2 aree, una per squadra, di 4×20 m o 3×25 m	2 aree di 4×20 m	Serie A A1, UEFA 6.01
Pannelli pubblicitari	-	altezza massima 1,20 m; massimo 2 file contigue di LED	≥ 2 m di spazio operativo dietro	$h \leq 1,20$ m; max 2 file	Serie A A7, UEFA 5.08

Tabella 3 Porte, aree di riscaldamento e pannelli

4.4.2 Capienza e Sedute

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Capienza minima	in funzione di sicurezza e visibilità	12.000 posti	8.000 posti	12.000 posti	Serie A A 16, UEFA 17.01
Sedute individuali	-	fissate, numerate, separate, ignifughe, anatomiche; schienale ≥ 30 cm	individuali, numerate, fissate, infrangibili e ignifughe; schienale ≥ 30 cm	schienale ≥ 30 cm	Serie A A 17; UEFA 18.01
Settore ospiti	accessibile	$\geq 5\%$ della capienza; ≥ 4 settori indipendenti	$\geq 5\%$ della capienza	$5\% = 600$ posti	CONI 9.2, Serie A A 19, UEFA 17.02
Posti per spettatori disabili	accessibile	2 ogni 400 posti, coperti, con pari numero di accompagnatori; anche nel settore ospiti	$\geq 0,1\%$ della capienza	60 posti su 12.000	CONI 9.2, Serie A A 21; UEFA 24.03

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Strutture delle tribune	-	metallo tubolare ammesso ma non temporaneo; fissato a fondazioni	non ammessi tubolari o ponteggi; strutture permanenti	strutture permanenti	Serie A A19, UEFA 18.02

Tabella 4 Capienza, sedute, settori, strutture

4.4.3 Aree riservate a giocatori, arbitri e staff

In premessa si citano gli articoli 8.6 e 8.7 delle norme CONI, le quali prevedono rispettivamente che almeno un servizio igienico per gli spogliatoi degli uomini e uno per le donne deve essere fruibile da parte degli utenti DA e che in ogni locale doccia almeno un posto doccia deve essere fruibile da parte degli utenti DA.

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Spogliatoi squadre	≥ 2 locali; 1,60 m ² per posto; 1 WC ogni 16 posti; 1 doccia ogni 4 posti, minimo 2;	posti e armadietti per ≥ 25 persone; 10 docce; 3 WC; 1 lettino massaggi; lavagna tattica; climatizzazione	vano giocatori 23 posti (55 m ²); 6 docce; 3 WC; 3 lettini (15 m ²); deposito 5 m ² ; frigo	25 posti; 10 docce; 3 WC; 3 lettini; frigo; suite ≈ 95 m ²	CONI 8.1, Serie A A 10, UEFA 11.01
Spogliatoio staff	-	≥ 5 posti; docce; WC; ricambio d'aria	incluso nel vano dirigenti (7 posti, 20 m ²); 1 tavolo e 2 sedie	≥ 7 posti; 20 m ² ; 1 tavolo e 2 sedie	Serie A A10, UEFA 11.01
Spogliatoio arbitri	≥ 2 locali per i giudici; WC e docce dedicati;	separato; ≥ 20 m ² ; 6 posti e 6 armadietti; 2 docce; 1 lavabo; 1 WC; tavolino e 2 sedie; 1 lettino	20 m ² per tutte le categorie; 4 posti; 2 docce; 1 WC; frigorifero; tavolo e 2 sedie;	20 m ² ; 6 posti; 2 docce; 1 WC; lettino e frigorifero; tavolo e 2 sedie	CONI 8.2, Serie A A 11, UEFA 11.02
Spogliatoio arbitri donne o misto	-	locale ulteriore: 2 posti; 1 doccia; 1 WC; lavabo	locale ulteriore: 2 posti; 1 doccia; 1 WC; frigorifero; tavolo e 2 sedie	locale ulteriore: 2 posti; 1 doccia; 1 WC; frigorifero; tavolo e 2 sedie	Serie A A11, UEFA 11.03
Panchine	-	coperte; 21 persone ciascuna; ≥ 2,50 m dalla linea laterale, 4 m per nuova costruzione; spigoli protetti; panchina aggiuntiva (NOIF)	2 panchine; ≥ 20 persone ciascuna; ≥ 4 m dalla laterale; parallele e coperte	21 persone; ≥ 4 m; coperte; con panchina aggiuntiva (NOIF)	Serie A A6, UEFA 8.01

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Quarto ufficiale	-	panchina a 2,50 m dalla linea laterale, presso la mezzeria	postazione con sedile e scrivania a bordo campo, separata e coperta	postazione con sedile e scrivania a 2,50 m, separata e coperta	Serie A A6; UEFA 8.04
Infermeria giocatori e arbitri	primo soccorso ≥ 9 m ² ; lato $\geq 2,50$ m; WC proprio accessibile	vicino agli spogliatoi; accessibile dal campo e dall'esterno; accesso ambulanze; lettino, barella, armadio farmaci, ossigeno, defibrillatore, WC separato	infermeria d'emergenza secondo il Regolamento Medico UEFA	≥ 9 m ² con dotazione Serie A, defibrillatore incluso	CONI 8.3.1, Serie A A13, UEFA 13.01
Locale antidoping	rinvia al D.M. 30/12/2004, WADA e CONI-NADO	≥ 20 m ² ; inaccessibile a pubblico e media; zona attesa (8 posti, frigorifero), zona prelievi (scrivania, 4 sedie, armadio con serratura) e bagno	postazione dedicata secondo il Regolamento Antidoping UEFA	≥ 20 m ² su tre zone	CONI 8.3.2, Serie A A14, UEFA 14.01
Sala delegati	-	connessione Internet; prossima agli spogliatoi	sala riservata al delegato UEFA e all'osservatore arbitrale	locale dedicato prossimo agli spogliatoi riservata al delegato UEFA e all'osservatore arbitrale	Serie A B12, UEFA 12.01
Accesso al campo	separazione fra pubblico e atleti	tunnel separato dal pubblico, protetto dai lanci; protezioni mobili spostabili in ≤ 30 s; pavimentazione antiscivolo	accesso diretto, privato e sicuro dagli spogliatoi al campo	tunnel protetto e antiscivolo; protezioni mobili ≤ 30 s	CONI 9.1, Serie A A9, UEFA 11.04

Tabella 5 Ambienti per squadre e ufficiali di gara

4.4.4 Aree per broadcaster e media

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Tribuna stampa	-	60 postazioni, di cui 30 con presa e piano di lavoro; coperta	60 posti, di cui 30 con scrivania	60 posti, 30 attrezzati	Serie A B23, UEFA 31.02

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Postazioni telecronisti	-	≥ 5 postazioni coperte in tribuna principale, con ≥ 3 posti ciascuna	10 postazioni; scrivania ≥ 180 cm; ≥ 3 posti ciascuna; telefono, presa, luce, internet	10 postazioni	Serie a B24, UEFA 32
Sala lavoro media (giornalisti e fotografi)	-	≥ 100 m² per 50 giornalisti e 15 fotografi; 200 m² per nuova costruzione (75 e 25)	30 posti media e 20 posti fotografi	200 m²; 75 giornalisti e 25 fotografi	Serie A B25, UEFA 31.02 e 30.01
TV compound	-	≥ 600 m²; 1.000 m² per nuova costruzione; tre aree; recintato e illuminato	1.000 m² adiacente, drenato, 100 lux	1.000 m²	Serie A B26; UEFA 36.01
Sala conferenze stampa	-	≥ 50 posti; 75 per nuova costruzione; tavolo su podio; piattaforma telecamere; insonorizzata	50 posti; podio; piattaforma per ≥ 8 telecamere; audio a 16 uscite	75 posti con podio e piattaforma	Serie A B27, UEFA 37.01
Mixed zone	-	coperta; ≥ 50 persone, 75 per nuova costruzione; sul percorso spogliatoi-bus	coperta; ≥ 50 persone	75 persone	Serie A B30, UEFA 38.02
Studi televisivi (Cabina TV e pitch)	-	2 studi, di cui uno con vista sul campo;	2 studi, di cui uno con vista sul campo; 5 · 5 · 2,5	2 studi di cui uno con vista sul campo (cabina TV); 5 · 5 · 2,5	Serie A B31, UEFA 34.01
Flash interview	-	5 postazioni flash interview	4 postazioni di 4 · 3 m	5 postazioni di 4 · 3 m	Serie A B31, UEFA 35.02
Piattaforme telecamere	-	la società fornisce supporti idonei	principale 6 · 2 m per 3 telecamere; reverse angle 2 · 2 m; due a 16 m; due dietro le porte	principale 6 · 2 m per 3 telecamere; reverse angle 2 × 2 m; due a 16 m; due dietro le porte	Serie A B33, UEFA 33
Maxi schermo	-	obbligatorio, con regia dedicata	non richiesto espressamente	obbligatorio	Serie A B32

Tabella 6 Ambienti e postazioni per i media

4.4.5 Autorità e ospitalità

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Posti in tribuna autorità	-	≥ 100 coperti e centrali; 250 per nuova costruzione, di cui 50 per gli ospiti	100 posti, compresi fra le linee dei 16 m, coperti	250 posti	Serie A B28, UEFA 25.01 -25.02
Area hospitality	-	≥ 200 m² prossima ai posti autorità	area dedicata con accesso ai posti VIP	200 m²	Serie A B28, UEFA 25.03
Parcheggi autorità e VIP	-	≥ 110 posti	150 posti	150 posti	Serie A B29, UEFA 26.01
Parcheggio squadre e ufficiali	-	2 autobus squadre e 10 automobili; interdetto al pubblico	area riservata e sicura	2 autobus e 10 automobili	Serie A A15, UEFA 15.01

Tabella 7 Ambienti per autorità e ospitalità

4.4.6 Dotazioni in ogni settore

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Servizi igienici uomini	per gli atleti 1 WC ogni 16	1 WC ogni 250; 1 orinatoio ogni 125, su quota 80%	1 WC con lavabo ogni 250; 1 orinatoio ogni 125	1 WC con lavabo ogni 250; 1 orinatoio ogni 125	CONI 8.6, Serie A A20, UEFA 19.02
Servizi igienici donne	-	1 WC ogni 125, su quota 20%	1 WC con lavabo ogni 120 nei settori casa; 1 ogni 80 nel settore ospiti	1 ogni 120 casa; 1 ogni 80 ospiti	Serie A A20, UEFA 19.02
Servizi igienici per disabili	-	1 WC attrezzato ogni 15 posti per disabili	1 ogni 15, più 1 ogni 10 aggiuntivi; entro 40 m e nello stesso settore	1 ogni 15, con incremento	Serie A A21, UEFA 24.07
Primo soccorso spettatori	-	-	in ogni settore, attrezzato e approvato dall'autorità locale	uno per settore	UEFA art. 20.01
Punti ristoro	consigliati	in ogni settore	in ogni settore; prezzi ospiti non superiori a quelli dei settori casa	uno per settore	CONI 9.3, Serie A A19, UEFA 18.06

Tabella 8 Servizi e dotazioni per ciascun settore

4.4.7 Sicurezza, controllo e accessi

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Accessi e uscite	vie di esodo a norma	-	porte e cancelli apribili verso l'esterno e sbloccabili; segnaletica; tornelli e ticketing elettronico, 1 ogni 660 spettatori	1 tornello ogni 660	CONI 7.14, UEFA 21.06
Sala di controllo	-	-	Cat. 3-4: sala con vista sul campo, radio, monitor CCTV e dati di biglietteria in tempo reale	sala con CCTV e ticketing	UEFA 27.01
Impianto televisivo a circuito chiuso	-	-	Cat. 3-4: telecamere a colori orientabili su tutti gli accessi e le aree pubbliche, con registrazione	telecamere a colori orientabili su tutti gli accessi e le aree pubbliche, con registrazione	UEFA 28.01
Diffusione sonora	altoparlanti; segnalazione visiva e sonora di emergenza	impianto idoneo, funzionante in assenza di rete; udibile fino alla recinzione	impianto elettronico in tutte le aree, con alimentazione di continuità	con alimentazione autonoma	CONI 9.3, Serie A A22, UEFA 23
Illuminazione di sicurezza	Rimando a UNI EN 12193	generatori per la continuità della ripresa televisiva, $\geq 2/3$ dei valori	impianto di emergenza coprente tutte le aree dello stadio	10% entro 90 s; 5 lux per 60 min	CONI 7.9, Serie A A8, UEFA 22.01

Tabella 9 Impianti e ambienti per la sicurezza

4.4.8 Illuminazione di gara

L'illuminazione costituisce l'ambito in cui le fonti divergono maggiormente, poiché adottano grandezze e logiche differenti: le Norme CONI all'art.9 rinviano alla UNI EN 12193, i criteri di Serie A fissano valori unici indipendenti dalla categoria, il regolamento UEFA li grada per categoria.

Sul piano orizzontale e su quello verticale verso la camera principale i criteri di Serie A risultano più severi del regolamento UEFA di categoria 4, con 1.650 lux contro 1.400 e 1.000. L'impianto è pertanto dimensionato sui valori di Serie A, verificando per contro le uniformità secondo i rapporti più stringenti previsti da UEFA.

Parametro	CONI-FIGC	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Illuminamento orizzontale medio	-	≥ 1.650 lux	≥ 1.400 lux	1.650 lux	Serie A A8, UEFA 16.01
Illuminamento orizzontale minimo	-	≥ 1.150 lux	definito dalle uniformità	1.150 lux	Serie A A8, UEFA 16.01
Illuminamento verticale verso la camera principale	-	medio ≥ 1.650 lux; minimo ≥ 1.000 lux	medio ≥ 1.000 lux	1.650 lux	Serie A A8, UEFA 16.01
Illuminamento verticale sui quattro piani	-	medio ≥ 1.000 lux; minimo ≥ 650 lux	medio ≥ 1.000 lux	1.000 lux	Serie A A8, UEFA 16.01
Uniformità orizzontale	-	min/max $\geq 0,5$; min/med $\geq 0,7$	U1h $> 0,5$; U2h $> 0,7$	entrambi i criteri	Serie A A8, UEFA 16.01
Uniformità verticale	-	min/max $\geq 0,5$; min/med $\geq 0,6$	U1v $> 0,4$; U2v $> 0,5$	entrambi i criteri	Serie A A8, UEFA 16.01
Illuminazione delle prime file di tribuna	-	≥ 200 lux verticali sulle prime 12 file	-	200 lux	Serie A A8,
Alimentazione di riserva	-	verso la camera principale: medio > 1.100 lux; $\geq 2/3$ dei valori	900 lux entro 15 minuti	entrambi i criteri	Serie A A8, UEFA 16.03

Tabella 10 Illuminazione di gara: confronto e valori dimensionanti

4.4.9 Visibilità

La verifica di visibilità costituisce il vincolo che governa il profilo delle gradinate. Il parametro che la misura è la distanza verticale fra la linea di vista di uno spettatore, diretta al punto focale, e la sommità del capo dello spettatore seduto nella fila immediatamente antistante. Il progetto assume un valore C di 120 mm. Tale grandezza corrisponde al valore che le Norme CONI indicano come preferibile, e non al minimo: la scelta è pertanto cautelativa e coerente con la categoria dell'impianto. Poiché né i criteri di Serie A né il regolamento UEFA fissano sul punto una grandezza numerica, limitandosi a prescrivere la visuale libera del campo di gioco, il valore dimensionante discende integralmente dalle Norme CONI, in accordo con la Green Guide. Tale parametro sarà oggetto di approfondimento al §6.4.

La denominazione richiede una precisazione. Le Norme CONI designano tale grandezza con il simbolo d; la letteratura tecnica internazionale la indica come valore C. Le due grandezze coincidono: nel seguito si adotta la seconda denominazione, corrente nella progettazione degli impianti sportivi.

Parametro	CONI	Serie A	UEFA Cat. 4	Dimensionante	Fonte
Margine visivo (valore C)	valore minimo da normativa vigente; preferibile 0,12 m	visibilità non pregiudicata da panchine e pannelli	visuale libera del campo	120 mm	CONI art. 9; Serie A A6 e A7, UEFA 18.05

Tabella 11 Visibilità, confronto e valore dimensionante

Il quadro delle fonti presenta una particolarità che va esplicitata: l'art.6 del D.M. 1996 rinvia a una norma oggi ritirata (UNI 9217); l'art. 23-bis del medesimo decreto consente di riferire tale rinvio alla regola dell'arte vigente³². La verifica è pertanto condotta secondo lo schema di calcolo delle Norme CONI 2008, che riproduce quello già contenuto nella norma ritirata.

Passaggio	Contenuto	Fonte
Obbligo di garantire a ogni spettatore la visibilità dell'area di attività sportiva, con rinvio a norma tecnica	rinvio alla norma UNI 9217	D.M. 18/3/1996, art. 6
Il rinvio alle norme tecniche richiamate si intende riferito alla regola dell'arte vigente	clausola di aggiornamento	D.M. 18/3/1996, art. 23-bis
Norma richiamata dal decreto	ritirata senza sostituzione	UNI 9217:1988, catalogo UNI ³³
Schema di calcolo della curva di visibilità e valore del margine visivo	formula e valore preferibile 0,12 m	Norme CONI 2008, art. 9

Tabella 12 Catena dei riferimenti normativi per la verifica di visibilità

4.5 D.M. 18 Marzo 1996

Il D.M. 18/3/1996, recante norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi, non stabilisce requisiti di qualità sportiva bensì prescrizioni di sicurezza. Esso è qui considerato nel testo coordinato con le successive modificazioni.

4.5.1 Campo di applicazione e classificazione dell'intervento

L'art. 1 assoggetta al decreto gli impianti di nuova costruzione e quelli esistenti nei quali si realizzino variazioni distributive o funzionali, con esclusione della sola manutenzione ordinaria, ove sia prevista la presenza di oltre cento spettatori.

La qualificazione dell'intervento non è questione meramente formale, poiché da essa dipende la possibilità di ricorrere alle deroghe che i criteri di Serie A ammettono per gli impianti oggetto

³² D.M. 18 marzo 1996, art.23-bis, pag.28

³³ UNI 9217, *Impianti sportivi e ricreativi. Tribune. Caratteristiche e prescrizioni generali*. Ente Italiano di Normazione, 1994 ritirata [UNI 9217 - UNI - Ente Italiano di Normazione](#) (ultima consultazione 10/08/2026)

di ristrutturazione. Nel caso in esame le tribune Nord, Est e Ovest sono demolite e ricostruite, e costituiscono pertanto nuova costruzione a tutti gli effetti. La tribuna Sud è oggetto di ristrutturazione, intervento che eccede la manutenzione ordinaria e ricade quindi nel campo di applicazione del decreto.

Poiché tre tribune su quattro sono ricostruite e la quarta è sostanzialmente trasformata, il progetto assume l'impianto come di nuova costruzione e ne persegue la piena conformità senza ricorso a deroghe. La classificazione definitiva compete alle autorità preposte, e la scelta progettuale è pertanto la più cautelativa: eventuali deroghe localizzate potrebbero riguardare la sola tribuna Sud, ove vincoli di tutela storico-architettonica lo impongono.

4.5.2 I posti

Prescrizione	Valore	Fonte
Capienza	somma dei posti a sedere e dei posti in piedi	D.M. art. 6
Posti a sedere	numero degli elementi di seduta con soluzione di continuità, ovvero sviluppo lineare dei gradoni diviso 0,48 m	D.M. art. 6 (UNI 9931)
Individuazione dei posti	tutti i posti individuati e numerati	D.M. art. 6 (UNI 9931 e 9939)
Percorsi di smistamento	esclusi dal computo e da mantenere liberi	D.M. art. 6
Posti in piedi	ammessi nei soli impianti all'aperto con capienza fino a 2.000 spettatori	D.M. art. 6
Visibilità	garantita a ogni spettatore, con rinvio a norma tecnica	D.M. art. 6

Tabella 13 Determinazione posti

4.5.3 Le soglie dimensionali che si attivano e le settorizzazioni

Le prescrizioni relative agli impianti calcistici con capienza superiore a diecimila spettatori sono quelle che incidono maggiormente sulla concezione architettonica: settorizzazione, anelli di sicurezza, varchi di accesso, vie di esodo e locali di controllo.

Soglia	Prescrizione attivata	Fonte
Oltre 10.000 spettatori	Suddivisione in settori; posto pronto soccorso, presidio medico e ambulanza; impianto televisivo a circuito chiuso; centro gestione emergenze compartimentato e con accesso diretto dall'esterno (19) - G.O.S. con visibilità su spettatori e campo (19 iter); locale polizia (19-iter).	D.M. art.7, 10, 18, 19, 19-iter

Soglia	Prescrizione attivata	Fonte
Capienza massima del singolo settore	10.000 spettatori	D.M. art. 7
Settore ospiti	con ingressi, vie di uscita e parcheggi indipendenti e separati	D.M. art. 7
Uscite per settore	almeno due, con servizi e vie di uscita indipendenti	D.M. artt. 7 e 8
Separazione fra settori	elementi incombustibili atti a impedire il contatto fra tifoserie	D.M. art. 7 (UNI 10121-2)

Tabella 14 Soglia di capienza e prescrizioni attivate

4.5.4 La separazione fra pubblico e campo

Il D.M. ammette tre soluzioni alternative. La scelta condiziona la quota del piano della prima fila e quindi il profilo delle gradinate. Il progetto adotta la terza soluzione. Il dislivello fornisce un metro di quota utile alla visibilità.

Prescrizione	Valore	Fonte
Parapetto in materiale incombustibile, conforme a UNI 10121-2	altezza 1,10 m	D.M. art. 6-bis, lett. a)
Fossato a pareti e fondo piani, con parapetti su entrambi i lati	profondità e larghezza $\geq$ 2,50 m	D.M. art. 6-bis, lett. b)
Dislivello fra piano degli spettatori e campo, con parapetto superiore	dislivello 1,00 m; parapetto 1,10 m	D.M. art. 6-bis, lett. c)
Separatori elevabili su almeno uno dei parapetti, disposti dal Questore	fino a 2,20 m complessivi	D.M. art. 6-bis

Tabella 15 Sistemi di separazione ammessi

4.5.5 Il sistema delle vie d'uscita

Prescrizione	Valore	Fonte
Modulo unitario di passaggio	0,60 m	D.M. art. 8
Larghezza minima di ogni uscita e via di uscita	2 moduli, pari a 1,20 m	D.M. art. 8
Capacità di deflusso, impianti all'aperto	250 persone per modulo, ossia 1,20 m ogni 500 persone	D.M. art. 8
Capacità di deflusso, ambienti interni	50 persone per modulo, ossia 1,20 m ogni 100 persone	D.M. art. 8

Prescrizione	Valore	Fonte
Vie di uscita	di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori	D.M. art. 8
Numero minimo di uscite	due per ciascun settore	D.M. art. 8
Scale di esodo	alzata ≤ 17 cm; pedata ≥ 30 cm; rampe rettilinee di 3–15 gradini; corrimano	D.M. art. 8
Rampe senza gradini	pendenza $\leq 12\%$, con pianerottoli	D.M. art. 8

Tabella 16 Dimensionamento esodo

4.5.6 La distribuzione interna delle gradinate

Prescrizione	Valore	Fonte
Larghezza dei percorsi di smistamento	$\geq 1,20$ m	D.M. art. 9
Posti serviti da ciascun percorso	≤ 20 per fila e per parte	D.M. art. 9
Passaggio parallelo alle file, ogni quindici file	$\geq 1,20$ m; omissibile se i percorsi adducono direttamente alle uscite	D.M. art. 9
Pedata dei gradoni per posti a sedere	$\geq 0,60$ m	D.M. art. 9
Rapporto fra pedata e alzata dei gradoni	$\geq 1,2$	D.M. art. 9
Scale di smistamento	alzata ≤ 25 cm; pedata ≥ 23 cm; rapporto $> 1,2$	D.M. art. 9
Piano di riposo al cambio di pendenza	profondità $\geq 1,20$ m	D.M. art. 9

Tabella 17 Geometria dei gradoni e dei percorsi

4.5.7 Anelli di sicurezza, varchi e area di servizio

Prescrizione	Valore	Fonte
Area di massima sicurezza	impianto e area di servizio annessa, ove sono ubicati i varchi di accesso, delimitata da elementi incombustibili	D.M. art. 8-bis
Area riservata	nell'area di servizio esterna, accessibile ai soli aventi diritto, suddivisa in settori	D.M. art. 8-bis

Prescrizione	Valore	Fonte
Varchi di ingresso	almeno 1 ogni 750 spettatori del settore servito, atti a completare l'afflusso entro un'ora e mezza	D.M. art. 8-bis
Tomelli	a tutta altezza, con preselettori di incanalamento e corsia di ritorno	D.M. art. 8-bis
Indipendenza dei varchi	separati e indipendenti dal sistema delle vie di uscita; biglietterie esterne all'area riservata	D.M. art. 8-bis
Area di servizio annessa	spazi scoperti liberi da ostacoli; densità 2 persone per m ² ; delimitazione a $\geq 6,00$ m dal perimetro dell'impianto	D.M. art. 5

Tabella 18 Aree di sicurezza e sistema dei varchi

4.5.8 Accostamento dei mezzi di soccorso

Prescrizione	Valore	Fonte
Larghezza degli accessi	$\geq 3,50$ m	D.M. art. 4
Altezza libera	$\geq 4,00$ m	D.M. art. 4
Raggio di volta	≥ 13 m	D.M. art. 4
Pendenza	$\leq 10\%$	D.M. art. 4
Resistenza al carico	per mezzi di soccorso di almeno 20 t	D.M. art. 4

Tabella 19 Accessibilità per i mezzi di soccorso

4.5.9 Servizi di supporto agli spettatori

I rapporti prescritti dal decreto sono meno severi di quelli imposti dai criteri di Serie A e dal regolamento UEFA, che risultano pertanto dimensionanti. Restano invece applicabili le prescrizioni del decreto relative alla distanza dalle uscite e all'aerazione.

Prescrizione	Valore	Fonte
Servizi igienici, uomini	1 gabinetto e 2 orinatoi ogni 500 spettatori	D.M. art. 10
Servizi igienici, donne	2 gabinetti ogni 500 spettatrici	D.M. art. 10

Prescrizione	Valore	Fonte
Rapporto fra utenza maschile e femminile	2 a 1 negli impianti all'aperto	D.M. art. 10
Ubicazione dei servizi	entro 50 m dalle uscite, con aerazione	D.M. art. 10
Pronto soccorso spettatori	1 posto ogni 10.000 spettatori, con accesso garantito da ogni settore	D.M. art. 10
Dotazione del posto di pronto soccorso	telefono, lavabo, acqua potabile, lettino con sgabelli, scrivania e sedia	D.M. art. 10

Tabella 20 Servizi igienici e pronto soccorso

4.5.10 Impianti tecnici e antincendio

Prescrizione	Valore	Fonte
Illuminazione di sicurezza	≥ 5 lux a un metro dal piano di calpestio lungo le vie di uscita; autonomia ≥ 60 minuti	D.M. art. 17
Alimentazione di sicurezza	interruzione breve, inferiore a 0,5 s, per segnalazione, allarme e illuminazione; media, inferiore a 15 s, per gli impianti idrici antincendio	D.M. art. 17
Autonomie richieste	allarme 30 minuti; illuminazione 60 minuti; impianti idrici 60 minuti	D.M. art. 17
Rivelazione e segnalazione incendi	obbligatoria negli ambienti interni degli impianti all'aperto oltre 5.000 spettatori; centrale in ambiente presidiato	D.M. art. 17
Rete idranti	portata ≥ 360 l/min per colonna, con almeno due colonne in contemporanea; 120 l/min per idrante a 2 bar; autonomia 60 minuti	D.M. art. 17
Idrante esterno per i Vigili del fuoco	≥ 460 l/min per 60 minuti, oltre 10.000 spettatori	D.M. art. 17
Estintori portatili	classe 13A–89B, distribuiti uniformemente	D.M. art. 17

Tabella 21 Impianti di sicurezza

4.5.11 Strutture, reazioni al fuoco e depositi

Prescrizione	Valore	Fonte
Protezione sismica	coefficiente $\geq 1,2$; nella pratica corrente, progetto secondo le NTC 2018	D.M. art. 15; NTC 2018
Resistenza al fuoco delle strutture	determinata in funzione del carico di incendio secondo la regola tecnica vigente	D.M. art. 15
Reazione al fuoco di atri, corridoi, scale e rampe	classe 1 per non oltre il 50% della superficie; restante parte in classe 0	D.M. art. 15
Reazione al fuoco degli altri ambienti	pavimenti in classe 2; rivestimenti in classe 1	D.M. art. 15
Sedili	non imbottiti, in materiale rigido conforme alla classe prescritta	D.M. art. 15
Depositi di materiale combustibile	fino a 25 m ² REI 60 con carico ≤ 30 kg/m ² ; oltre 25 m ² REI 90 con rivelazione automatica e carico ≤ 50 kg/m ²	D.M. art. 16

Tabella 22 Requisiti strutturali e di reazione al fuoco

4.5.12 Controllo spettatori e gestione delle emergenze

Prescrizione	Valore	Fonte
Impianto televisivo a circuito chiuso	osservazione della zona spettatori, dell'area di servizio annessa e degli accessi, con registrazione, da locale presidiato con visione diretta di campo e spettatori	D.M. art. 18
Centro di gestione delle emergenze	locale costituente compartimento antincendio, con accesso diretto dall'esterno, dotato di comunicazioni, diffusione sonora, centrali televisiva e antincendio, planimetrie	D.M. art. 19

Prescrizione	Valore	Fonte
Gruppo Operativo Sicurezza	locale con visibilità su spettatori e campo, destinato al centro di gestione della sicurezza delle manifestazioni calcistiche	D.M. art. 19-ter

Tabella 23 Impianti e locali per le gestioni delle emergenze

4.6 Riconciliazione tra D.M. e criteri sportivi

Le due parti dell'analisi convergono su alcuni parametri e divergono su altri. La tabella che segue riconcilia le due famiglie di fonti e riporta il valore che il progetto assume.

Parametro	D.M. 18/3/1996	Criteri sportivi	Dimensionante
Settorizzazione	settori obbligatori, ciascuno ≤ 10.000 ; ospiti separato	Serie A: ≥ 4 settori, ospiti $\geq 5\%$	≥ 4 settori indipendenti, ciascuno ≤ 10.000 , ospiti $\geq 5\%$
Varchi e tornelli	1 ogni 750; tornelli a tutta altezza; afflusso entro 1,5 ore	UEFA: 1 tornello ogni 660	1 ogni 660, a tutta altezza
Separazione pubblico-campo	parapetto 1,10 m, fossato $2,50 \times 2,50$ o dislivello 1,00 m	distanze degli ostacoli dal campo, 3,00–3,50 m	separazione secondo il decreto e distanze secondo i criteri sportivi
Posti in piedi	vietati oltre 2.000 spettatori	tutti i posti a sedere	nessun posto in piedi; sedute con schienale ≥ 30 cm
Servizi igienici	1 gabinetto e 2 orinatoi ogni 500 uomini; 2 gabinetti ogni 500 donne	Serie A e UEFA sensibilmente più severi (4.4.6)	rapporti sportivi, con distanza ≤ 50 m e aerazione secondo il decreto
Pronto soccorso	1 posto ogni 10.000 spettatori	infermerie per squadre e arbitri	pronto soccorso spettatori 1 ogni 10.000, in aggiunta alle infermerie sportive
Impianto televisivo	obbligatorio con registrazione	UEFA: telecamere a colori orientabili	telecamere a colori orientabili con registrazione
Vie di esodo	modulo 0,60 m; capacità di deflusso 250	non quantificate dai criteri sportivi	dimensionamento secondo il decreto: 28,80 m per 12.000 posti
Strutture	coefficiente sismico $\geq 1,2$; requisiti di resistenza al fuoco	non trattate	decreto e NTC 2018

Tabella 24 Confronto tra le prescrizioni del decreto e i criteri sportivi

5. Il progetto urbano: concept e masterplan

5.1 Introduzione

L'intervento a scala urbana muove da un obiettivo di riequilibrio della mobilità: alleggerire il traffico veicolare sul lungolago, garantire l'efficienza degli spostamenti nelle giornate di gara e rafforzare il trasporto pubblico dell'intera città. Esso prevede a tal fine il ripristino della rete tranviaria dismessa negli anni Cinquanta di cui l'andamento è mostrato nella figura di seguito. La linea risponde così a una duplice esigenza: assorbire i flussi concentrati generati dall'impianto sportivo e servire, negli altri giorni, la mobilità ordinaria della città.

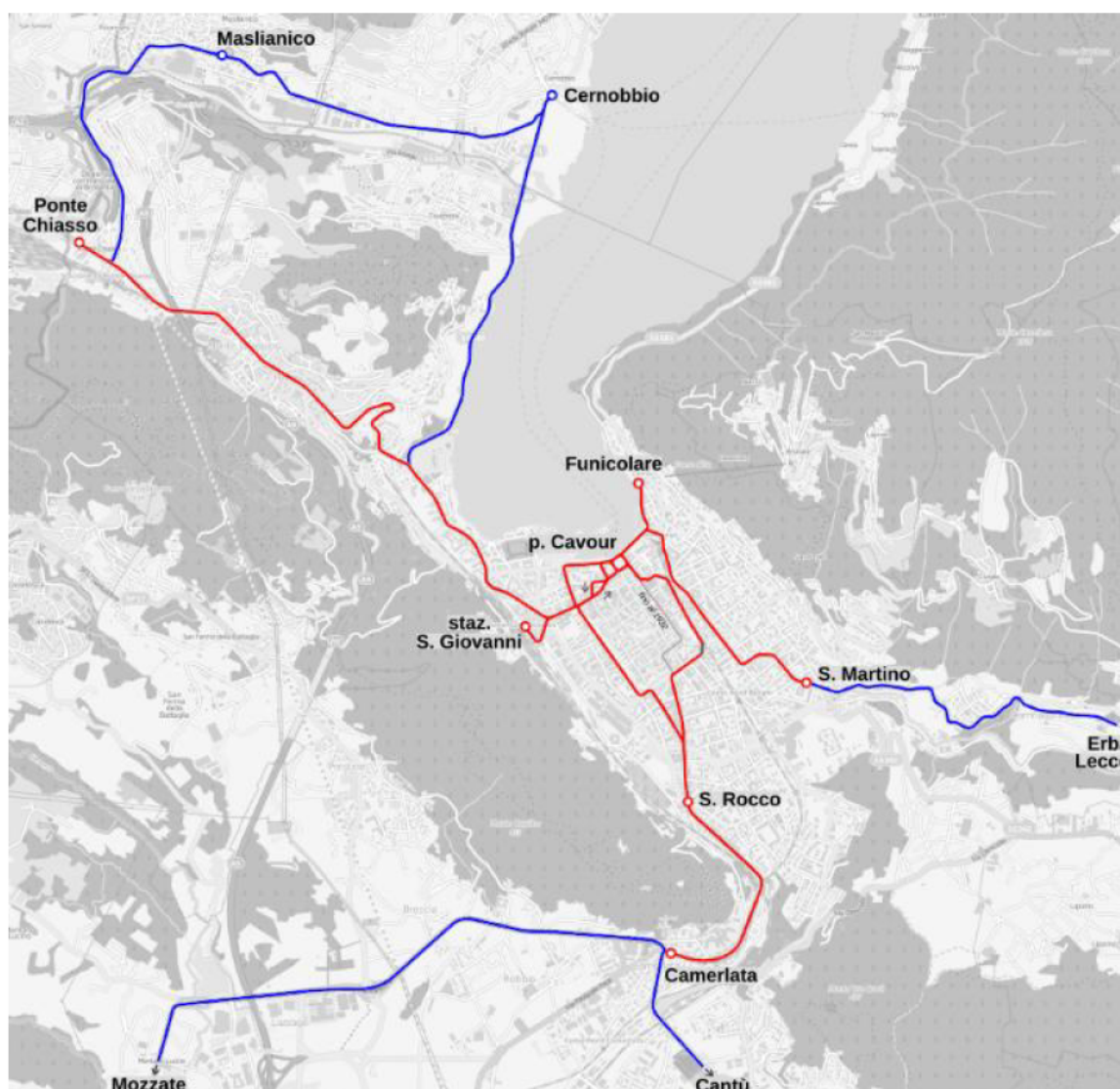


Figura 14: Rete tranviaria dismessa nel 1952. Fonte: [Rete Tranviaria Como - Tram e Treni](#) Ultima consultazione: 24/08/2026

5.2 Concept scala urbana

Come già detto al paragrafo precedente, l'andamento della nuova rete tranviaria riprende quello dismesso nella maggior parte del suo sviluppo. I collegamenti principali sono le tre stazioni dei tram di progetto:

- 1) Stazione del tram principale in corrispondenza dell'attuale area dell'ex scalo merci, nei pressi della stazione dei treni Como San Giovanni (ad Ovest rispetto al centro urbano);
- 2) Stazione del tram in corrispondenza dello stadio (a Nord rispetto al centro urbano);
- 3) Stazione del tram in corrispondenza di Piazza Giacomo Matteotti, nei pressi dell'altra stazione dei treni Como Lago (ad Est rispetto al centro urbano).

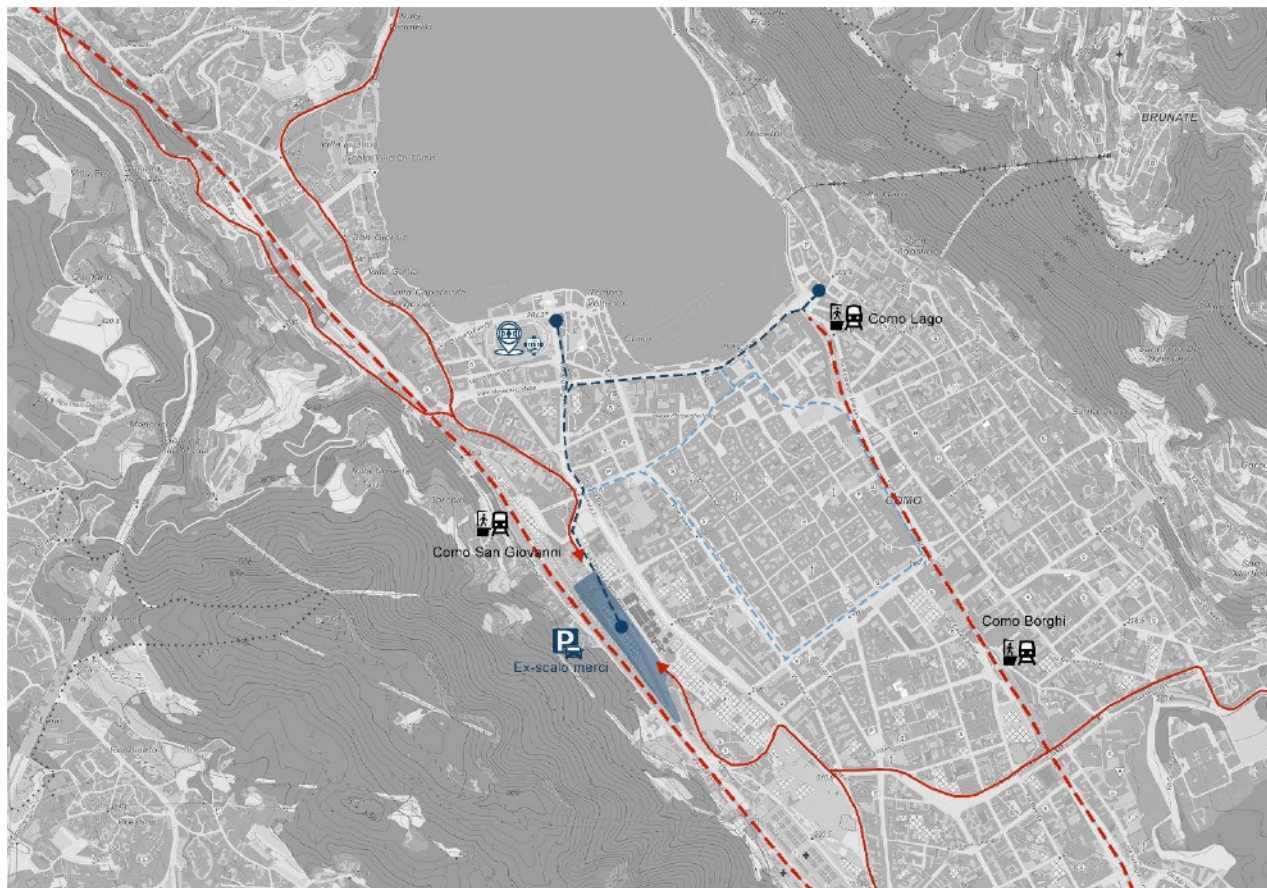


Figura 15 Concept strategico urbano. Elaborazione personale

Simbolo	Descrizione
	Stadio di progetto
	Stazioni ferroviarie esistenti
	Autosilo di progetto
	Stazioni tramviarie di progetto
	Flussi di traffico principali in entrata verso l'autosilo
	Linea ferroviaria esistente

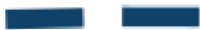
	Linea tranviaria di progetto principale
	Linea tranviaria di progetto secondaria: distribuzione in città
	Area soggetta ad intervento urbano: ex scalo merci

Tabella 25 Legenda Concept strategico

Per quanto riguarda l'area dell'ex scalo merci, essa non è un'area libera a disposizione: è un comparto per il quale il Comune ha già previsto una trasformazione. Il Documento di Piano del vigente Piano di Governo del Territorio la comprende nell'ambito di trasformazione "Viale Innocenzo XI"³⁴ e la individua come comparto 1b, con una superficie di 38.084 m² destinata a servizi pubblici e di interesse pubblico.

Il Piano indica anche che cosa realizzarvi. Nella porzione più vicina a via Venini prevede la nuova stazione delle autolinee dei quadranti sud e nord-est, su una superficie di circa 12.000 m², e sotto di essa un parcheggio di interscambio multipiano da 700 posti auto. Altri 250 posti sono previsti nell'area dell'attuale sede Enel. L'area è dunque già destinata a diventare un nodo di scambio fra la ferrovia, la sosta e il trasporto pubblico su gomma.

Il progetto conferma questo ruolo ma lo declina in modo diverso. Vi colloca un autosilo e il capolinea della linea tranviaria, e non la stazione delle autolinee. La ragione è che il tram e l'autobus extraurbano assolvono in questo contesto alla stessa funzione, quella di portare verso il centro chi arriva da fuori città o lascia l'auto in periferia, e il trasporto su ferro lo fa con capacità maggiore, tempi certi e nessuna emissione: caratteristiche decisive quando in un tempo contenuto devono raggiungere lo stadio dodicimila persone.

Elemento	Previsione del Piano	Progetto di tesi
Superficie del comparto 1b	38.084 m ²	invariata
Destinazione d'uso	servizi pubblici e di interesse pubblico	confermata
Ruolo dell'area	nodo di scambio	confermato
Sosta di interscambio	parcheggio interrato da 700 posti	autosilo
Adduzione verso il centro	stazione delle autolinee extraurbane	capolinea della linea tranviaria

Tabella 26 Confronto tra le previsioni del Piano e il progetto

L'intervento risponde anche a un problema che il Piano stesso segnala. La valutazione paesaggistica della scheda descrive l'ex scalo merci come una delle strutture che danno all'ambito un'immagine di degrado e un carattere di periferia urbana, in un contesto che comprende invece testimonianze importanti come la Basilica di Sant'Abbondio, i fabbricati

³⁴ Comune di Como, *Documento di Piano, Ambito Viale Innocenzo XI*, [Scheda VialeInnocenzoXI](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

delle Dogane e gli opifici tessili lungo viale Innocenzo XI. Riqualificare quest'area significa quindi restituire ordine a un tratto di città oggi irrisolto.

5.3 Masterplan al 2000



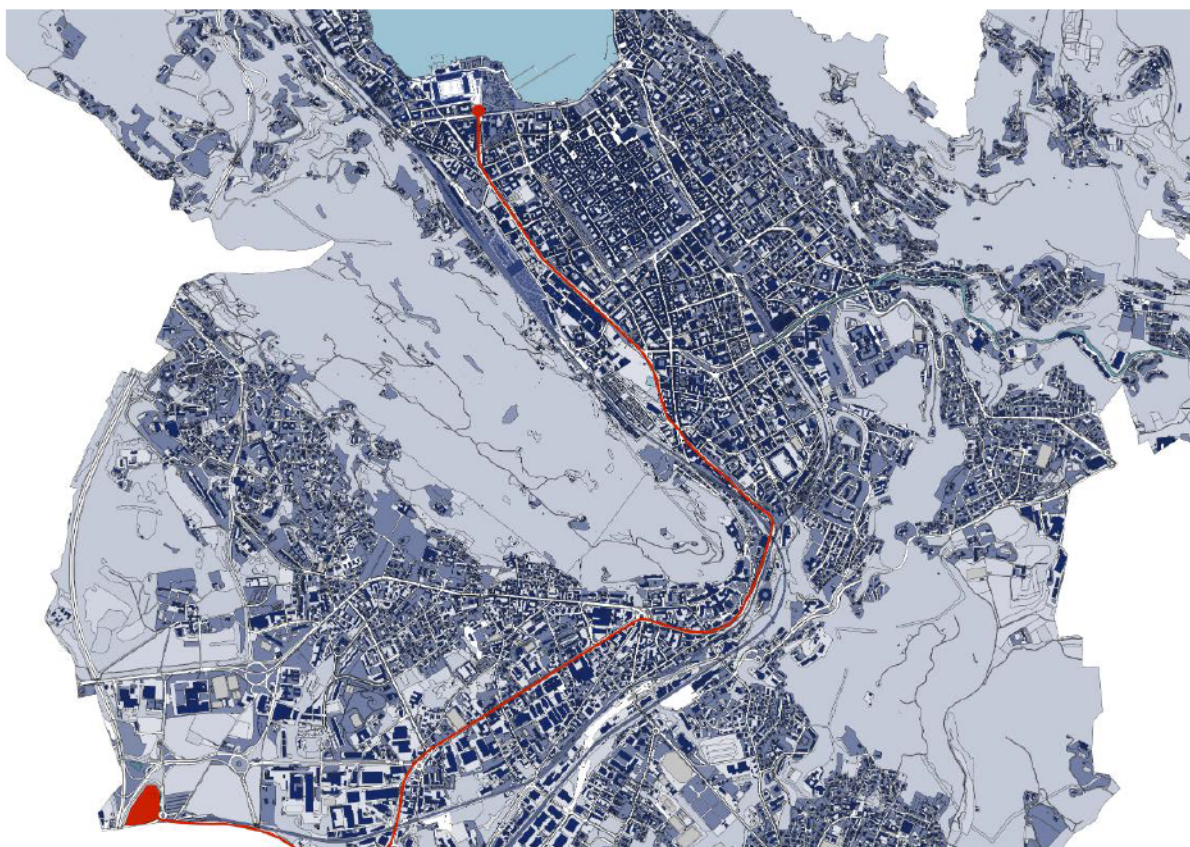
Figura 16 Masterplan di progetto. Scala 2000. Elaborazione personale

6. Il progetto architettonico dello stadio

6.1 Circolazione: lo stato attuale e di progetto

Per ragioni di sicurezza il progetto mantiene invariate le modalità di arrivo dei tifosi ospiti, che restano quelle attualmente in uso: i pullman della tifoseria ospite arrivano nel parcheggio fuori dalla città in corrispondenza della stazione di Grandate³⁵, da qui raggiungono lo stadio scortati e accedono direttamente al settore loro riservato, in viale Vittorio Veneto.

³⁵ Dario De Simone, *Como-Napoli: tutte le indicazioni per i tifosi ospiti*, [Como-Napoli: tutte le indicazioni per i tifosi ospiti](#) - (Ultima consultazione: 26/08/2026)



*Figura 17 Arrivo dei tifosi ospiti. Stato attuale e di progetto invariato: l'area a Ovest è la stazione di Grandate.
Elaborazione personale*

Diversa è la soluzione adottata per i tifosi di casa, per i quali il progetto prevede il sistema descritto al paragrafo 5.1: sosta nell'autosilo dell'ex scalo merci e trasferimento in tram fino alla fermata prossima all'impianto. Stesso schema per la fermata verso Como Lago.



Figura 18 Arrivo dei tifosi di casa. Stato di progetto con rete tranviaria. Elaborazione personale

Nelle ore precedenti e successive alla gara le strade che circondano lo stadio sono attualmente chiuse al traffico. Tale misura si articola come segue³⁶:

- 1) Inizio partita fino alle 16. Dalle 24 ore antecedenti l'incontro e fino alle 24 del giorno della gara: divieto di sosta con rimozione in Via Sinigaglia, largo Borgonovo, via Veneto, viale Peucher, viale Masia (tra piazzale Somaini e viale Rosselli) via Martinelli, piazzale Somaini e Pietro da Breggia.
- 2) Inizio partita dalle 16 in poi. Dalle 7 alle 24 del giorno gara: divieto di sosta con rimozione in Via Sinigaglia, largo Borgonovo, via Veneto, viale Peucher, viale Masia (tra piazzale Somaini e viale Rosselli) via Martinelli, piazzale Somaini e Pietro da Breggia. Dalle 24 ore antecedenti l'incontro fino alle 24 del giorno di gara: divieto di sosta in viale Vittorio Veneto (lato sinistro, direzione via Peucher) in 18 stalli.
- 3) In entrambi i casi. Da 8 ore prima dell'inizio: divieto di circolazione in via Sinigaglia, largo Borgonovo, viale Peucher, via Veneto, viale Masia (tra piazzale Somaini e viale Rosselli) via Martinelli, Piazzale Somaini e Pietro da Breggia. Accesso ai posti auto privati fino a tre ore prima della partita; divieto di circolazione e sosta con rimozione in via Recchi (aree adibite alla sosta) Rosselli (controviaie alberate), Campo Garibaldi, Vacchi. Accesso ai posti auto privati fino a tre ore dalla partita; divieto di circolazione e sosta con rimozione nel parcheggio a Lazzago di fianco alla stazione. Doppio senso di circolazione con transito consentito ai residenti, in viale Masia, nel tratto fra viale Rosselli e via Sinigaglia.

³⁶ La Provincia, "La viabilità quando gioca il Como: divieti diversi in base all'orario", [Como, la viabilità quando gioca il Como](#) (Ultima consultazione 26/08/2026)



Figura 19 Divieto di sosta e circolazione attuali delle aree nei pressi dello stadio. Elaborazione personale

Nel progetto rimane necessaria parte della limitazione per poter garantire l'accesso in totale sicurezza delle squadre, degli arbitri e dello staff nella tribuna Sud e degli spettatori ospiti nella tribuna Est. Gli accessi ai posti auto privati quali residenziali, dello Yacht Club e del Canottieri Lario saranno comunque accessibili fino a tre ore prima della partita.

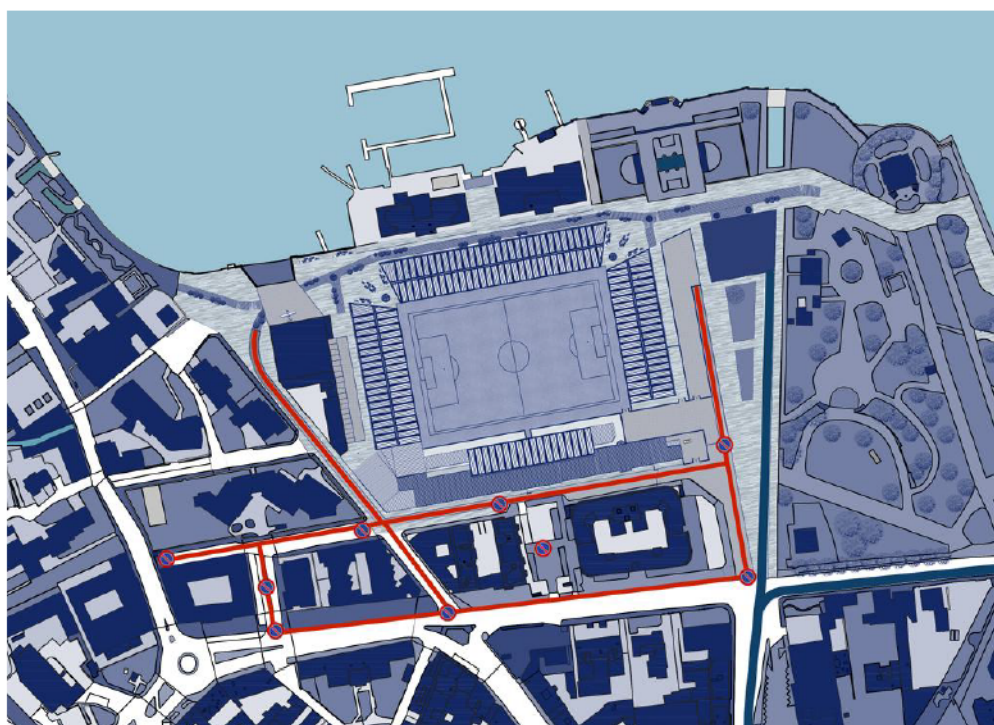


Figura 20 Divieto di sosta e circolazione di progetto delle aree nei pressi dello stadio. Elaborazione personale

6.2 Il progetto: lo stato di fatto

Lo Stadio Giuseppe Sinigaglia occupa una delle posizioni più delicate di Como. Affacciato sul bacino del lago, si colloca in un intorno con valore insieme paesaggistico e monumentale: il Tempio Voltiano e i suoi giardini, il Monumento ai Caduti e il Novocomum di Giuseppe Terragni. A questi si affiancano le sedi storiche della vita sportiva sul lago, la Canottieri Lario, lo Yacht Club, l'Aeroclub e sul fronte opposto un tessuto residenziale consolidato.

Inoltre, la mobilità dolce viene interrotta proprio in corrispondenza di via Giancarlo Peucher, attualmente carrabile.

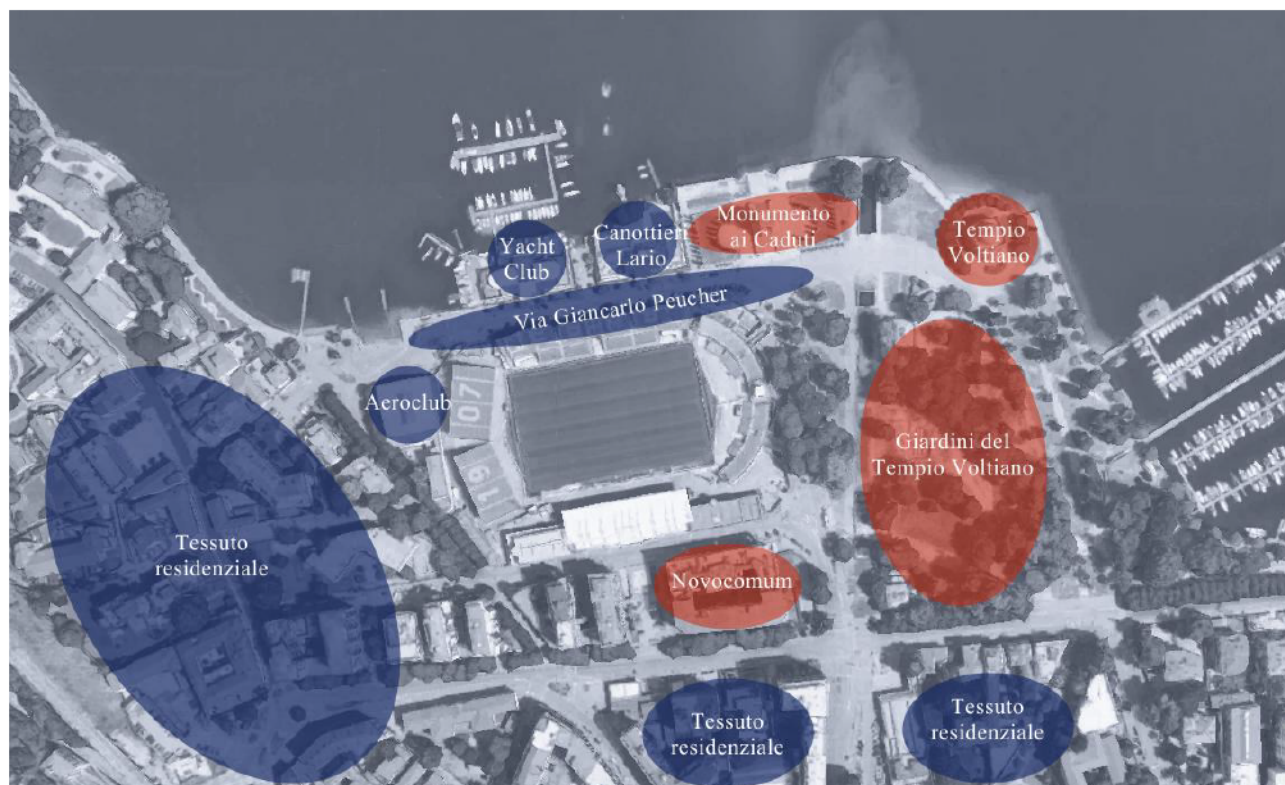


Figura 21 Stato attuale. Elaborazione personale

L'area su cui l'impianto insiste è il risultato di adattamenti successivi, ricostruiti nel §3.1. Non vi sono margini di espansione e ogni scelta progettuale deve misurarsi con questa condizione. Attualmente il sedime dello stadio è costituito 4 volumetrie distinte: la tribuna Sud ospita la tribuna d'onore, la piscina recentemente oggetto di restauro, una palestra inutilizzata, gli spogliatoi e tutte le funzioni di supporto allo stadio; la tribuna Nord ospita i distinti; la Ovest la Curva Como; la Est gli spettatori ospiti.

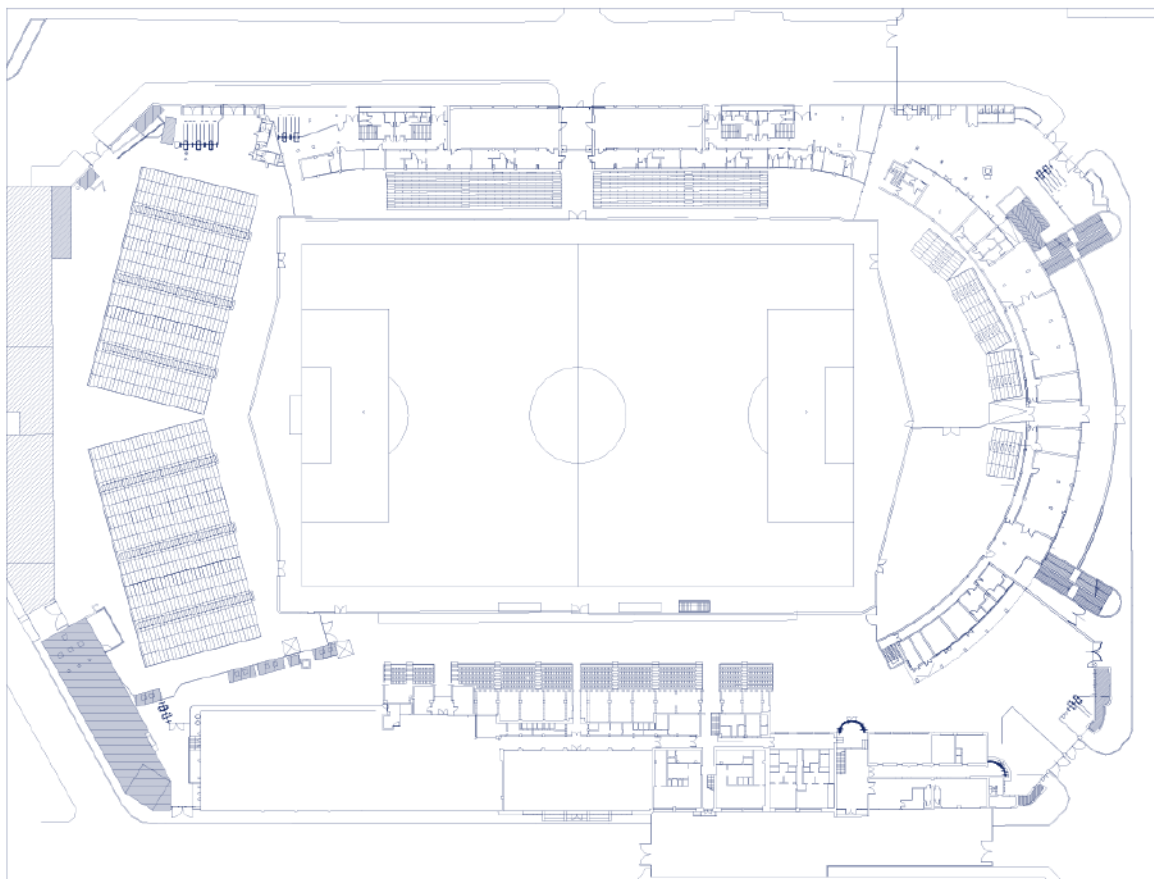


Figura 22 Stato di fatto_Piano terra. Fonte: Comune di Como

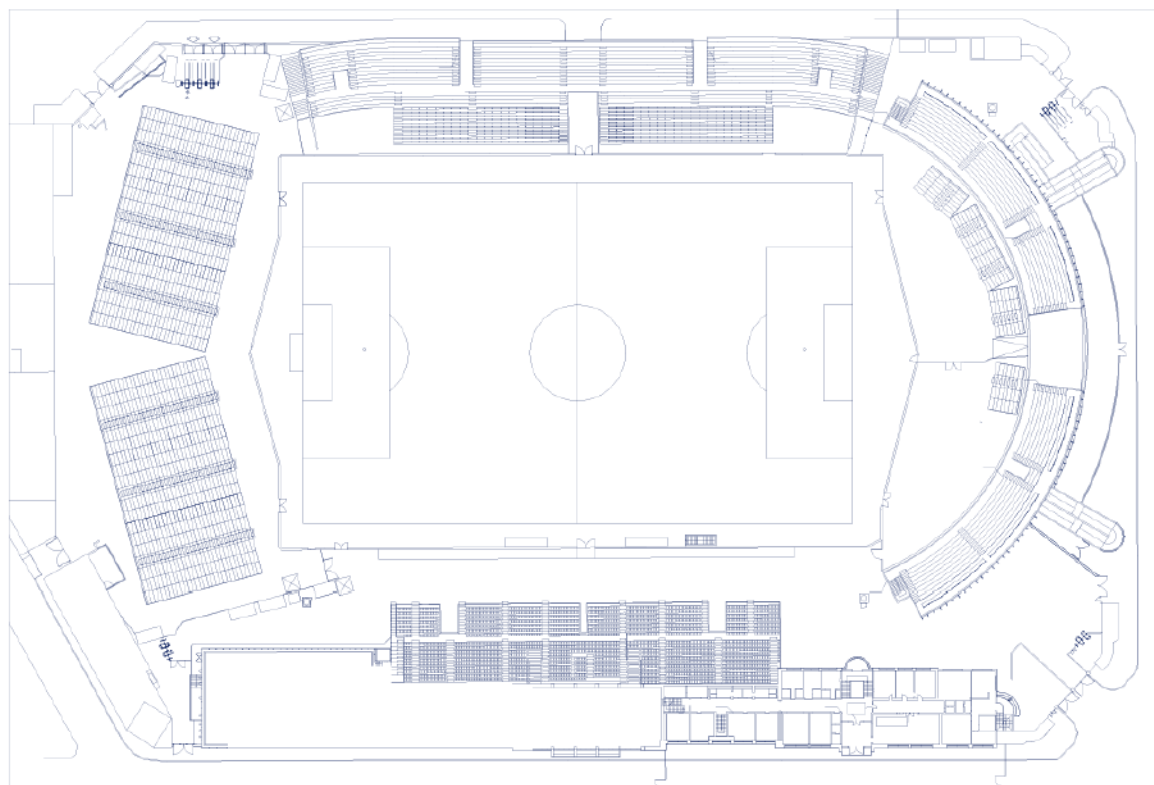


Figura 23 Stato di fatto_Piano primo. Fonte Comune di Como

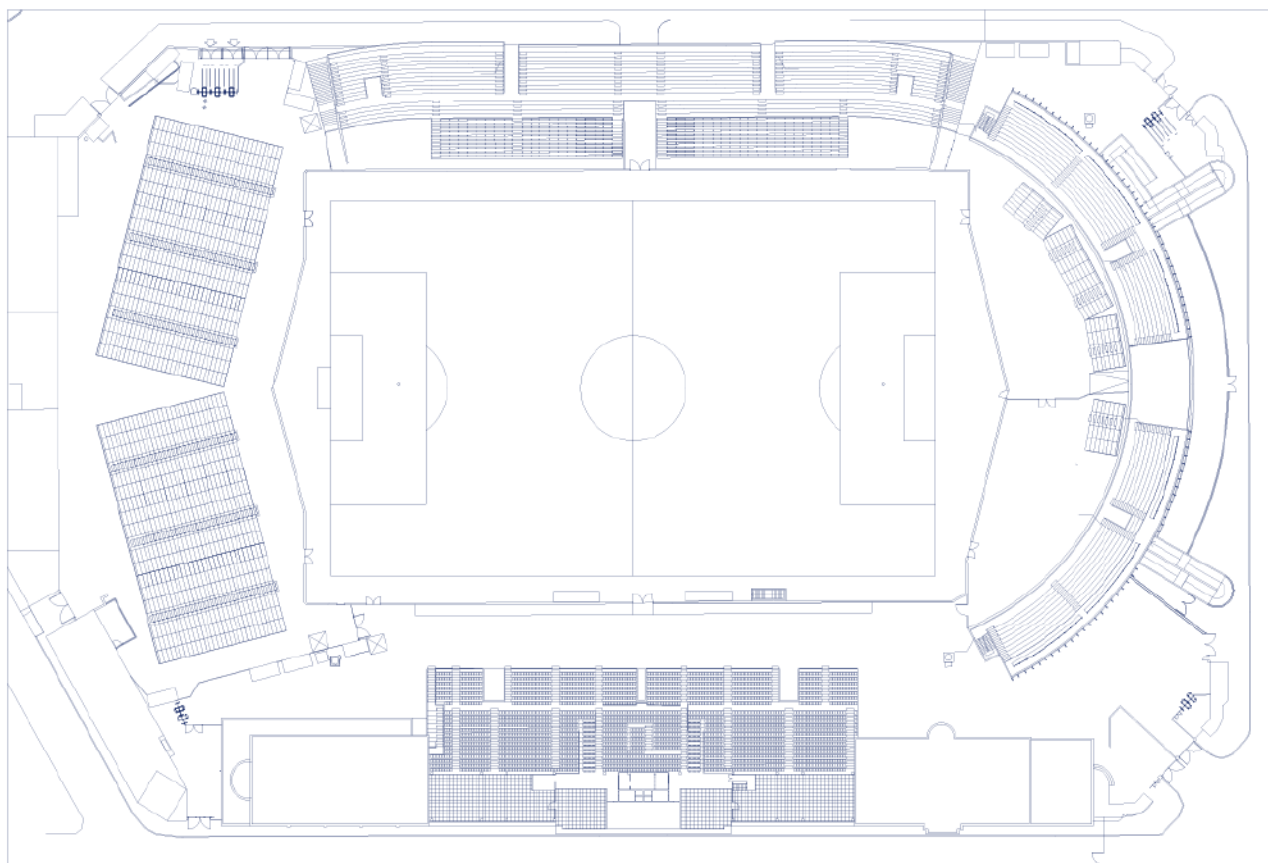


Figura 24 Stato di fatto _Piano secondo. Fonte: Comune di Como

6.3 Il progetto

6.3.1 Concept stadio e adiacenza urbana, demolizioni

Il progetto prevede l'interramento del tratto di viale Giancarlo Peucher nel sottosuolo, così da restituire alla quota zero un percorso interamente pedonale. La scelta risponde a un obiettivo di scala urbana: ricomporre la continuità della passeggiata a lago, oggi interrotta dal traffico, fra viale Geno nella parte Est e Villa Olmo a Ovest. L'esecuzione dell'opera, in prossimità della falda e del bacino lacustre, richiede il consolidamento preventivo dei terreni mediante jet grouting, tecnica descritta nel §6.5.



*Figura 25 Concept passeggiata sul lago: ad Ovest Villa Olmo e ad Est viale Geno. In rosso il tratto pedonalizzato.
Elaborazione personale*

Il concept dello stadio e nelle aree immediatamente adiacenti prevede la demolizione delle tribune Nord, Ovest ed Est e la parziale demolizione della tribuna Sud. Quest'ultima conserva in particolar modo la facciata, di valore storico-artistico, e la zona della piscina recentemente oggetto di ristrutturazione. Si prevede inoltre la rifunzionalizzazione interna delle altre zone assieme alla demolizione dell'attuale sedime della tribuna in funzione di conformità alla regola del valore C.

Nei dintorni vi è la realizzazione della rete tranviaria e la sua fermata a servizio dell'impianto dello stadio. Inoltre, in relazione alla pedonalizzazione di viale Giancarlo Peucher vi è la previsione della galleria con metodo jet grouting.

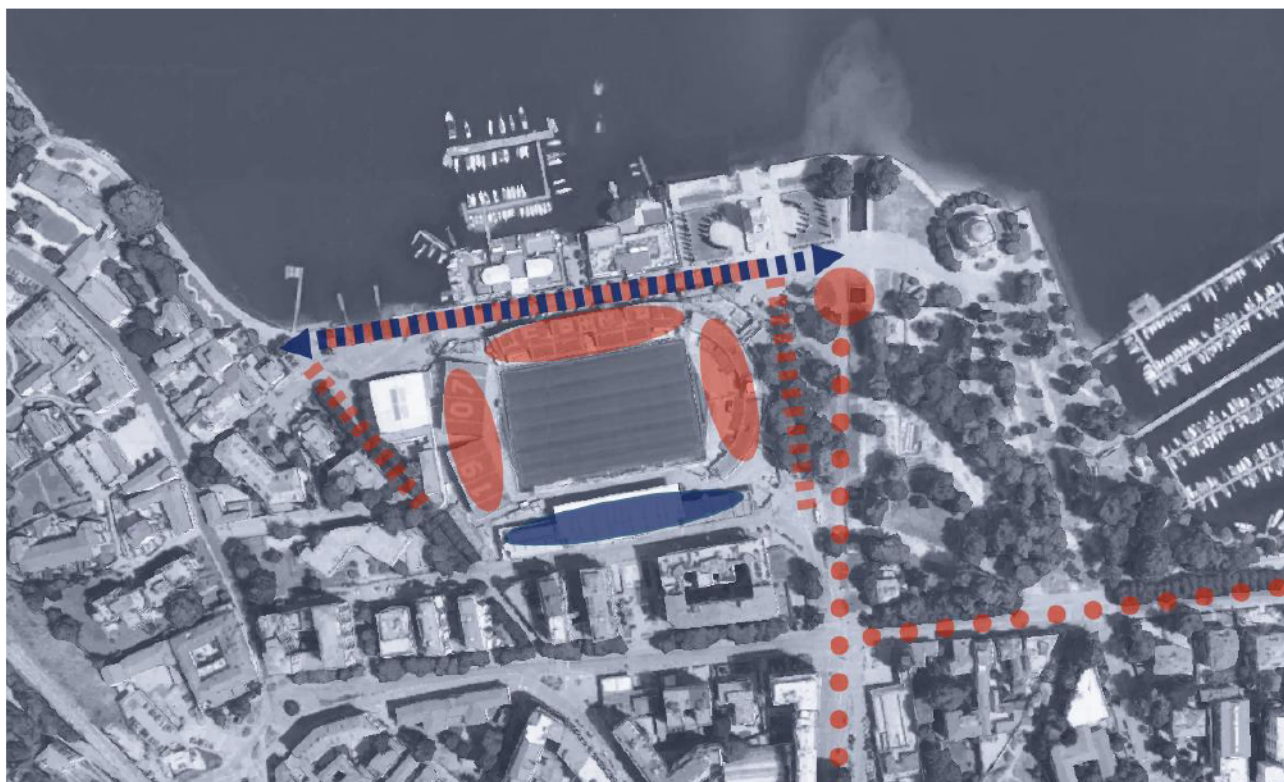


Figura 26 Concept stadio e intervento urbano nelle zone limitrofe. Elaborazione personale

Simbolo	Descrizione
	Nuova via pedonale
	Linea galleria
	Stazione tram
	Linea tranviaria
	Demolizione tribune: Nord, Ovest, est
	Demolizione parziale e rinnovamento tribuna Sud

Di seguito si riportano le relative aree dello stadio soggette a demolizione, rifunzionalizzazione e mantenimento della facciata

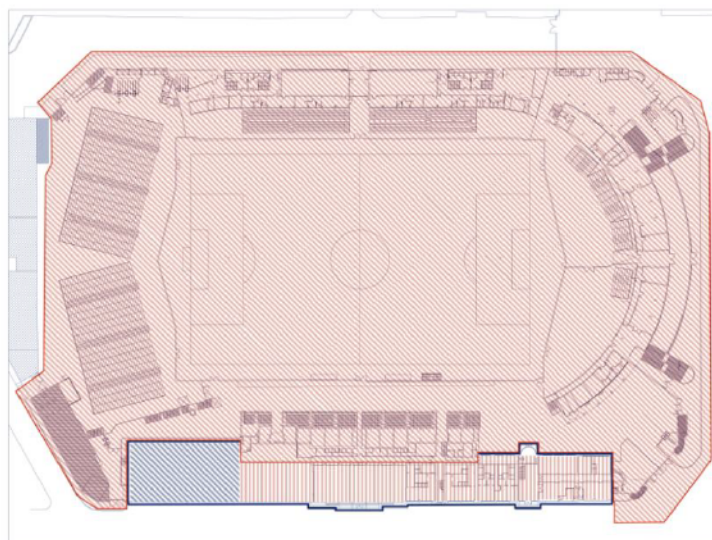


Figura 27 Piano terra: demolizioni, rifunionalizzazione, mantenimento facciata Sud

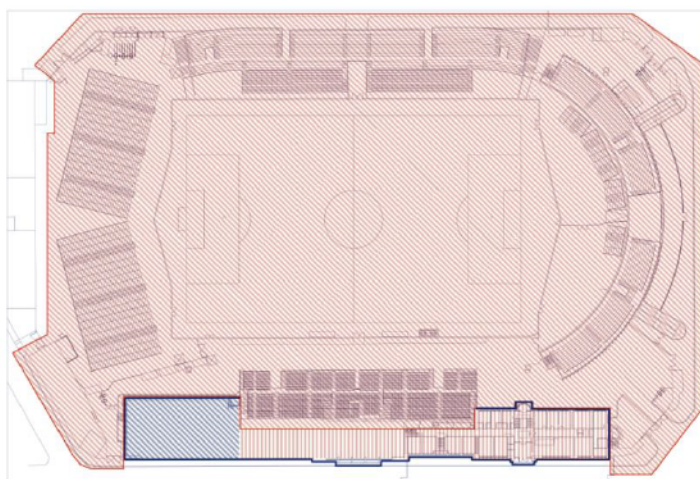


Figura 28 Piano primo: demolizioni, rifunionalizzazione, mantenimento facciata Sud

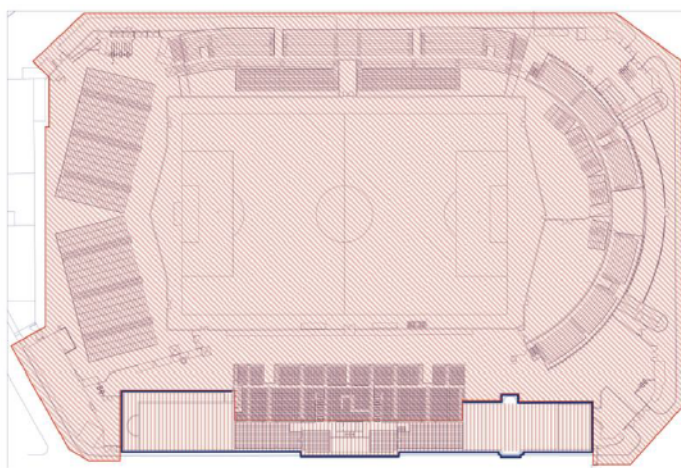


Figura 29 Piano secondo: demolizioni, rifunionalizzazione, mantenimento facciata Sud

Simbolo	Descrizione
	Demolizione
	Rifunzionalizzazione
	Area piscina
	Perimetro area mantenuta

Tabella 27 Demolizione, rifunzionalizzazione e mantenimento facciata tribuna Sud

6.3.2 Masterplan al 500

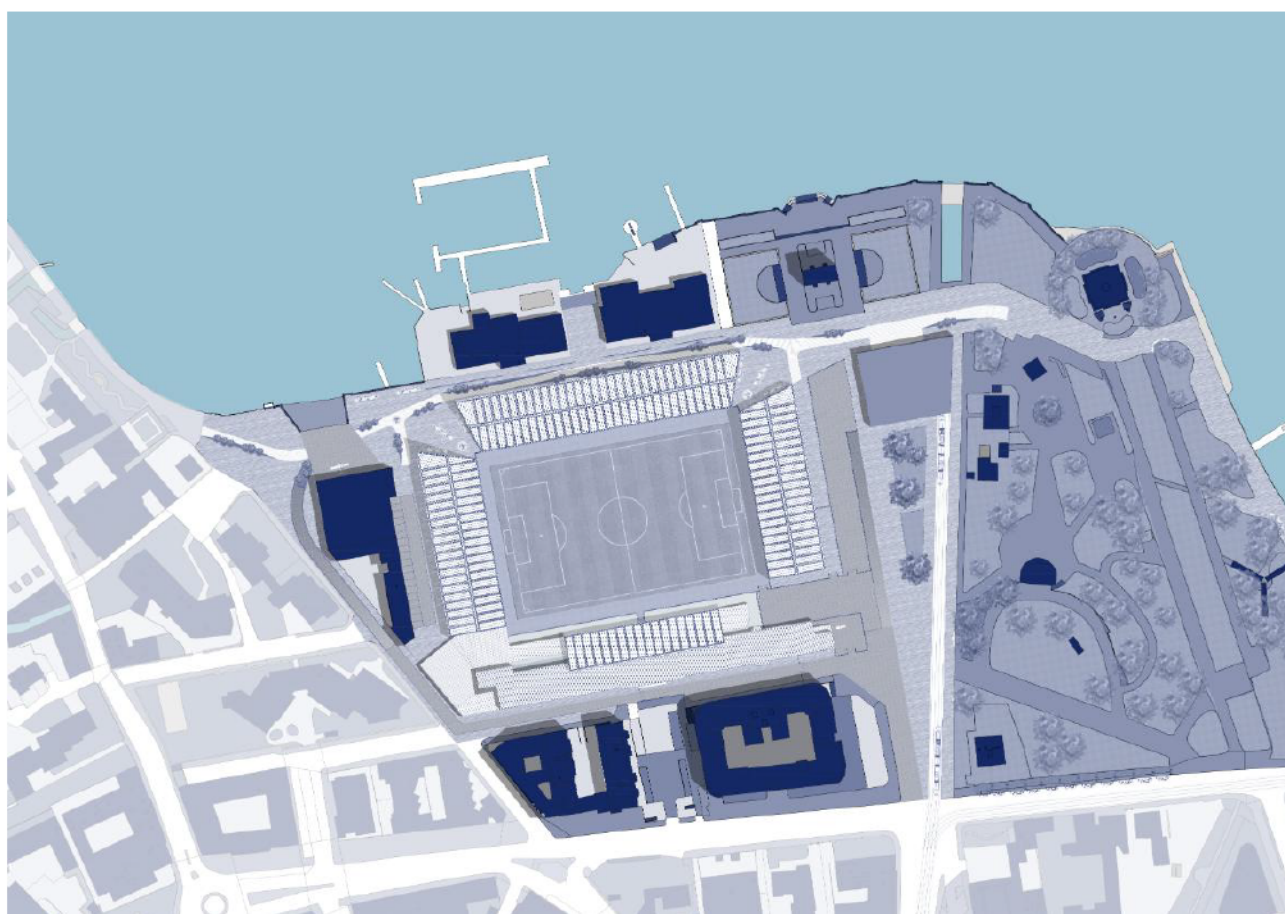


Figura 30 Masterplan di progetto. Scala 500. Elaborazione personale

6.3.3 Ingressi e aree funzionali

Le tribune dispongono di vari accessi per le diverse categorie di spettatori: le tribune Nord e Ovest, sono provviste di ingressi GA e premium; la tribuna Est di ingressi GA, premium e spettatori ospiti; la tribuna Sud prevede gli ingressi della squadra di casa e di quella ospite, dello staff, degli arbitri, dei dirigenti, dei vip, dei media e della tribuna stampa.

Il settore ospiti nella tribuna Est prevede un'area recintata per garantire la massima sicurezza pre, durante e post-partita. La tribuna Sud prevede un'area riservata a funzione di parcheggio per le squadre e gli arbitri, inoltre un'altra area riservata è garantita per l'ingresso dei dirigenti

e dei vip. L'area del TV compund di 1000 m² a servizio dei media è garantita nella parte Ovest dello stadio.

Simbolo	Descrizione
	Ingresso GA
	Aree GA
	Ingresso premium
	Aree premium (queste aree possono essere aperte al pubblico durante le giornate non di gara)
	Ingresso ospiti
	Aree ospiti
	Area ingresso riservato ospiti
	Ingresso dirigenti e vip
	Aree dirigenti e vip
	Area ingresso riservato dirigenti e vip
	Ingresso media, stampa, polizia, GOS
	Aree media, stampa, GOS; (TV compund area Est 1000 m ²)
	Ingresso calciatori Como e staff
	Ingresso calciatori ospiti e staff
	Ingresso arbitri
	Area parcheggio squadre e arbitri
	Aree calciatori, arbitri, staff
	Aree pubblico

Tabella 28 Legenda ingressi e aree

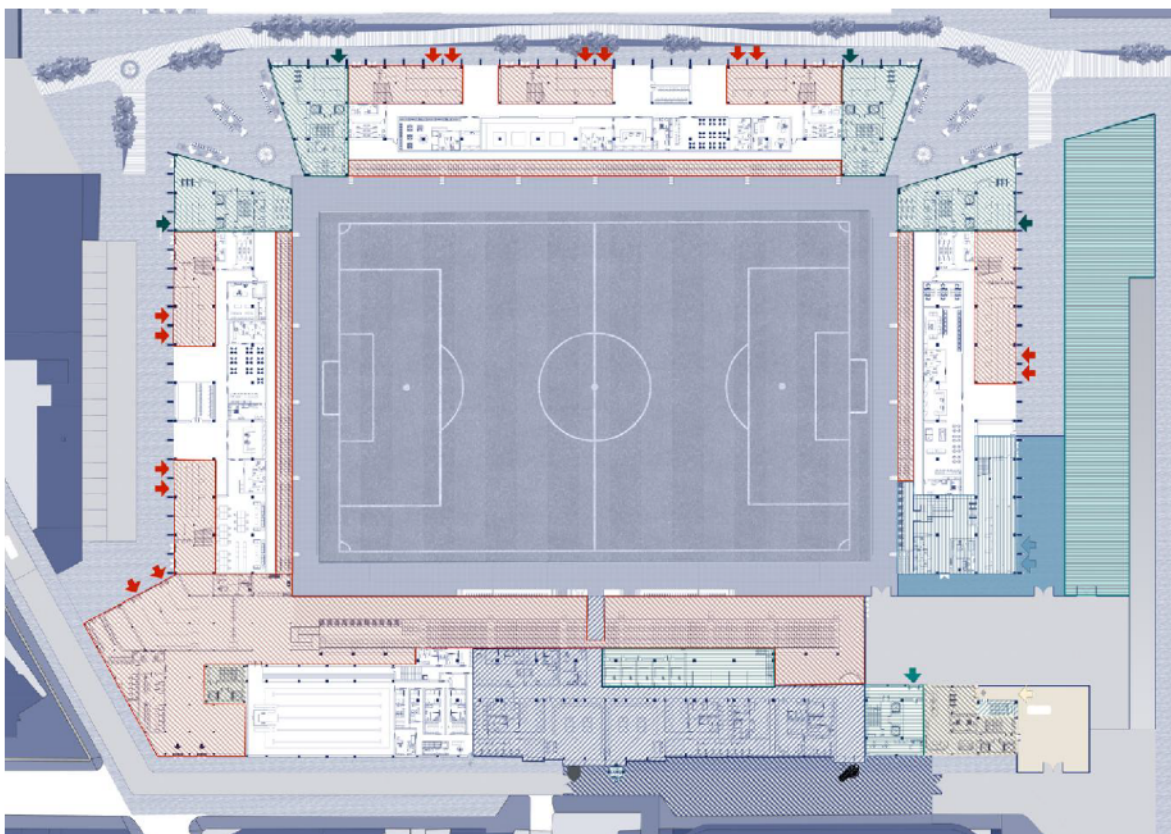


Figura 31 Ingressi e aree piano terra. Elaborazione personale

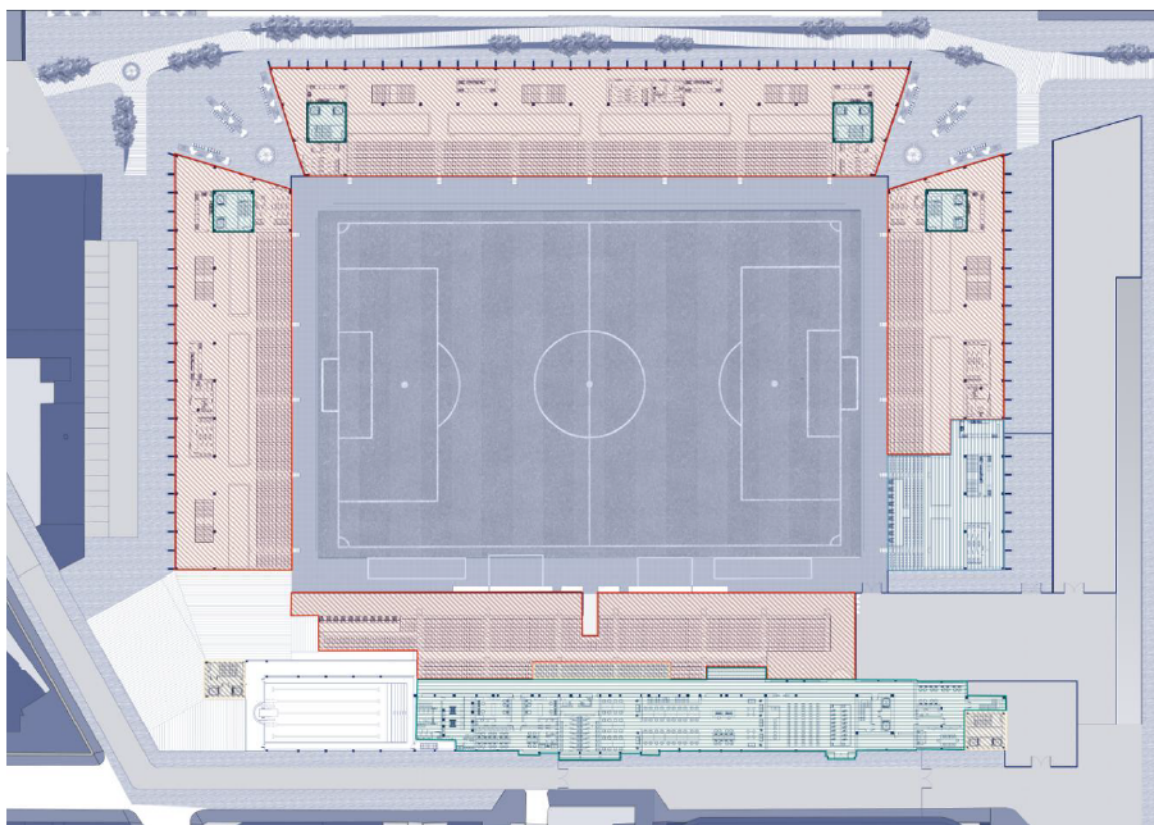


Figura 32 Aree piano primo. Elaborazione personale

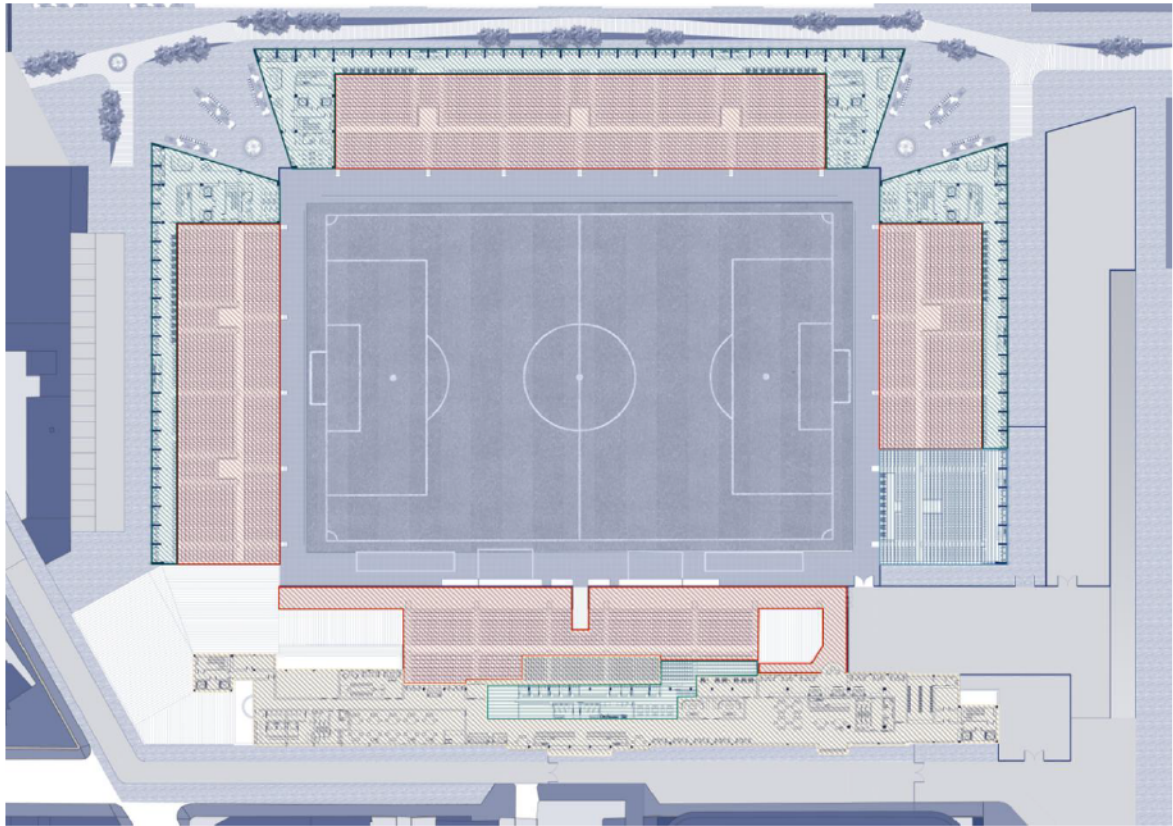


Figura 33 Aree piano secondo. Elaborazione personale

6.3.4 Funzioni

La distribuzione funzionale delle tribune discende dai requisiti dimensionali e prestazionali minimi ricavati al §4. Le tribune Nord, Ovest ed Est accolgono, oltre agli spazi tecnici, le destinazioni aperte al pubblico. La tribuna Sud è riservata ai servizi di gara. Di seguito si descrive l'assetto planimetrico e la corrispondenza tra dotazione e tribuna.

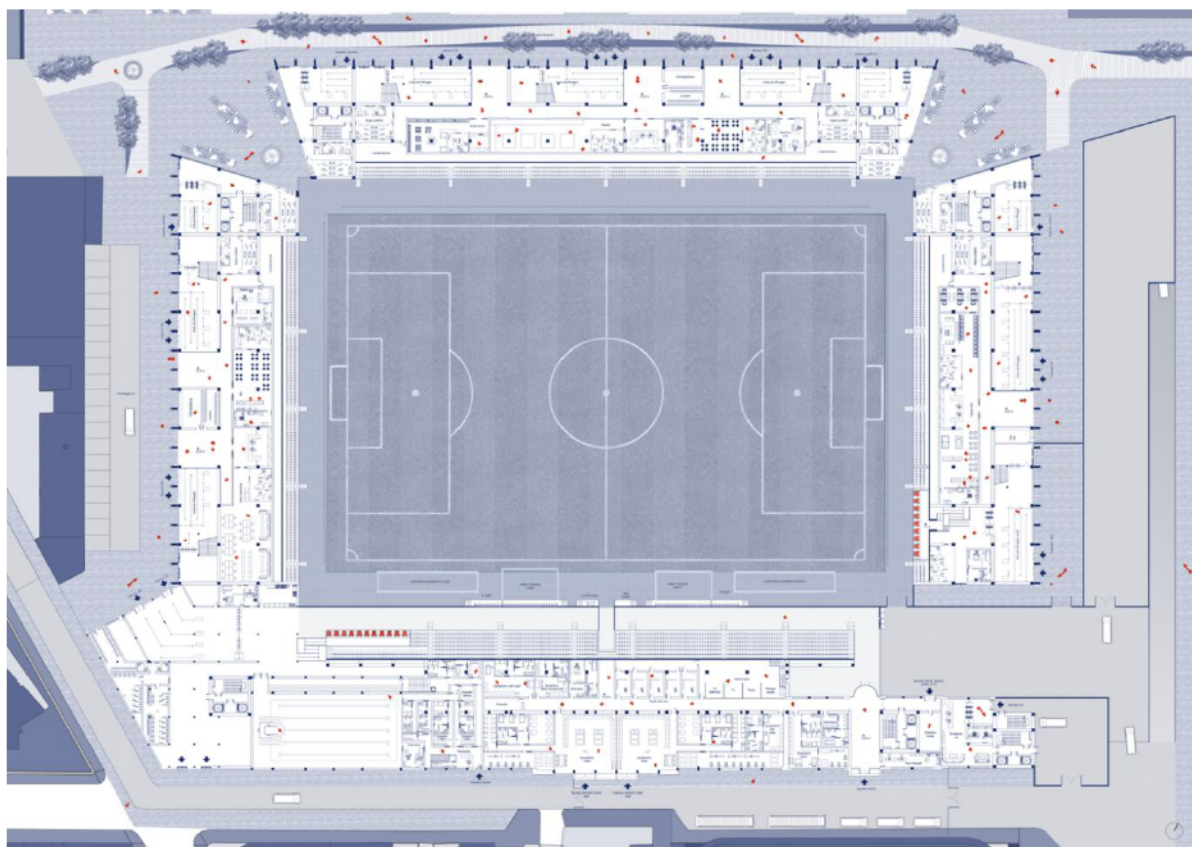


Figura 34 Piano terra. Elaborazione personale

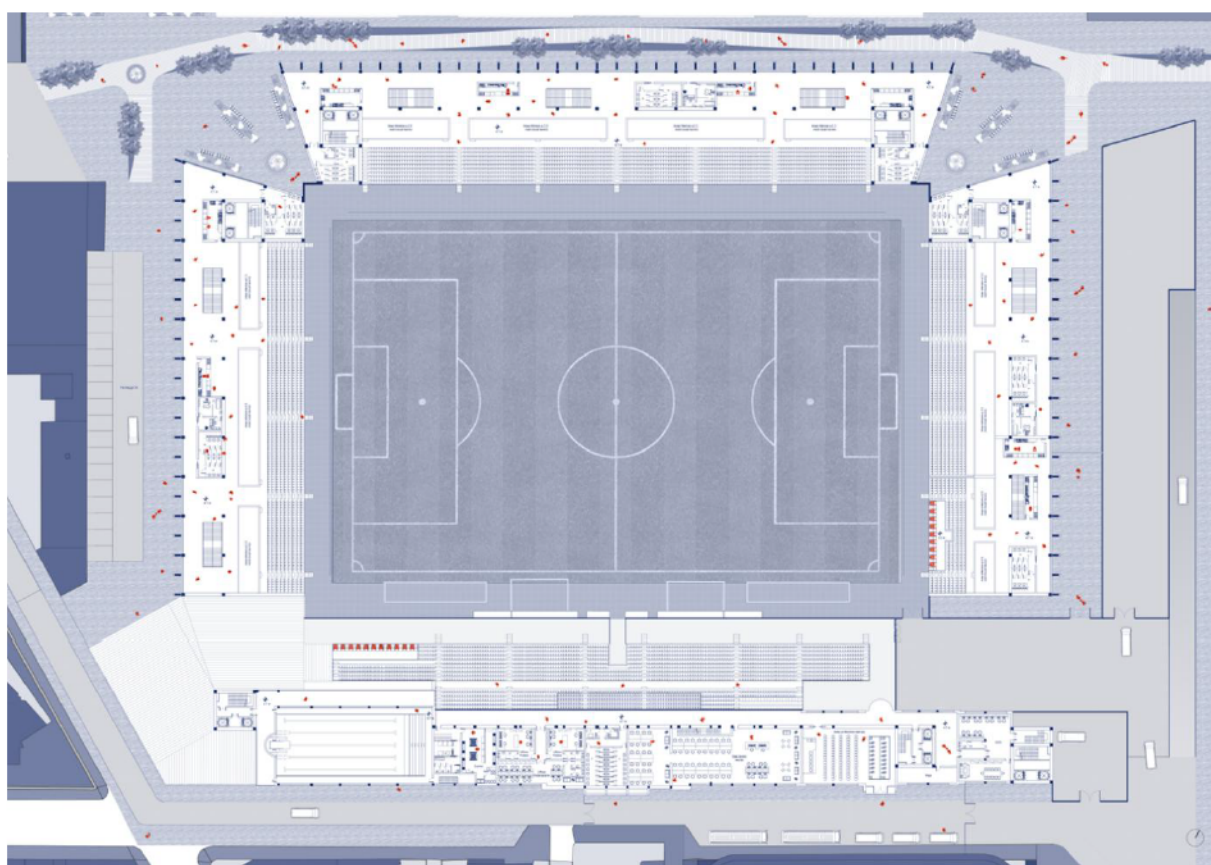


Figura 35 Piano primo. Elaborazione personale

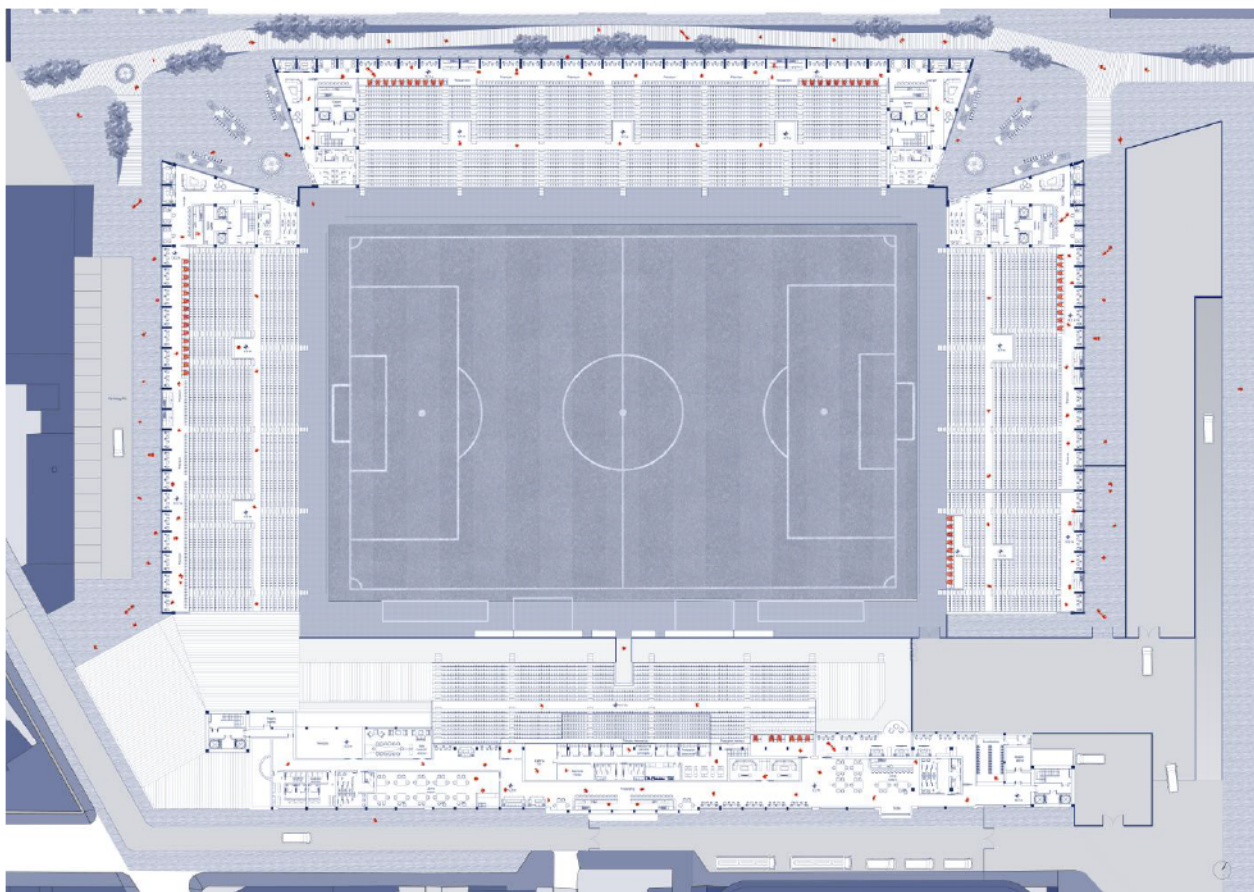


Figura 36 Piano secondo. Elaborazione personale

6.3.4.1 Funzioni tribuna Nord

La tribuna Nord prevede una capienza di 3762 posti GA e 125 posti premium. A piano terra si sviluppano le funzioni aperte al pubblico tra le quali: museo, shop calcio Como, bar, boat tour info, oltre la biglietteria, i lockers e lo spazio per i locali tecnici. Inoltre, vi è prevista l'area di prefiltraggio in corrispondenza degli accessi GA e premium. Il piano primo è la zona del concourse vero e proprio degli spettatori GA, provvisto di aree di ristoro, infermeria, wc di servizio e altre aree destinate ai locali tecnici. Il piano secondo è fondamentalmente dedicato alla zona premium: garantisce la vista sul lago ed è dotata di servizi dedicati. I posti della zona premium sono suddivisi tra posti disabili (20 disabili + 20 accompagnatori) e posti premium (85).

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	$3762 \cdot 0,8 / 250 = 12$ wc e lavabi; $3762 \cdot 0,8 / 125 = 24$ orinatoi	13 wc e lavabi; 26 orinatoi	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	$3762 \cdot 0,2 / 120 = 7$ wc e lavabi;	9 wc e lavabi	Si
Servizi igienici uomini premium §4.4.6	$105 \cdot 0,8 / 250 = 1$ wc e lavabo;	6 wc e lavabi	Si
Servizi igienici donne premium §4.4.6	$105 \cdot 0,2 / 120 = 1$ wc e lavabo;	6 wc e lavabi	Si

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	$3762 / 400 \cdot 2 = 19$	20 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 2	2 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	1	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	4	Si

Tabella 29 Dotazioni tribuna Nord

6.3.4.2 Funzioni tribuna Ovest

La tribuna Ovest prevede una capienza di 2812 posti GA e 97 posti premium. A piano terra le funzioni pubbliche sono: un'area coworking, un bar e una cartoleria e gli spazi per i locali tecnici. Previste anche le aree di prefiltraggio in corrispondenza degli ingressi e la biglietteria. Al primo piano, nella zona del concourse, si prevedono aree di ristoro, infermeria, wc di servizio e altre aree destinate ai locali tecnici. Il piano secondo è fondamentalmente dedicato alla zona premium: garantisce la vista sul lago ed è dotata di servizi dedicati. I posti della zona premium sono suddivisi tra posti disabili (15 disabili + 15 accompagnatori) e posti premium (67).

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	$2812 \cdot 0,8 / 250 = 8$ wc e lavabi; $2812 \cdot 0,8 / 125 = 16$ orinatoi	8 wc e lavabi; 16 orinatoi	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	$2812 \cdot 0,2 / 120 = 5$ wc e lavabi;	6 wc e lavabi	Si
Servizi igienici uomini premium §4.4.6	$82 \cdot 0,8 / 250 = 1$ wc e lavabo;	3 wc e lavabi	Si
Servizi igienici donne premium §4.4.6	$82 \cdot 0,2 / 125 = 1$ wc e lavabo;	3 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	$2812 / 400 \cdot 2 = 15$	15 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	1 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	1	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si

Tabella 30 Dotazioni tribuna Ovest

6.3.4.3 Funzioni tribuna Est

La tribuna Est ospita anche i tifosi ospiti, ne deriva una suddivisione in due parti della stessa. Il piano terra ospita la funzione pubblica del game club con bar integrato, la biglietteria e dei locali tecnici oltre che i servizi igienici pubblici. Per quanto riguarda il settore dei tifosi ospiti, si prevede la collocazione dei posti disabili a piano terra, così da evitare un collegamento verticale obbligatorio. In entrambi i settori sono previste l'area di prefiltraggio e le dotazioni quali infermeria, punti ristoro e i servizi igienici. L'area dei tifosi di casa ospita anche qui la zona premium, che si sviluppa nella parte superiore come nelle tribune Nord ed Ovest. La capienza dei tifosi di casa prevede 1922 posti GA e la sua zona premium 65 (di cui 10 disabili+10 accompagnatori e 45 poltrone premium). La capienza dei tifosi ospiti è di 843 posti GA, 9 disabili e 9 accompagnatori, per un totale di 861.

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	$1922 \cdot 0,8 / 250 = 7$ wc e lavabi; $1922 \cdot 0,8 / 125 = 14$ orinatoi	8 wc e lavabi; 16 orinatoi	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	$1922 \cdot 0,2 / 120 = 4$ wc e lavabi;	6 wc e lavabi	Si
Servizi igienici uomini premium §4.4.6	$55 \cdot 0,8 / 250 = 1$ wc e lavabo;	3 wc e lavabi	Si
Servizi igienici donne premium §4.4.6	$55 \cdot 0,2 / 125 = 1$ wc e lavabo;	3 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	$1922 / 400 \cdot 2 = 10$	10 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	1 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	1	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	1	Si

Tabella 31 Dotazioni tribuna Est: spettatori di casa

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	$843 \cdot 0,8 / 250 = 3$ wc e lavabi; $843 \cdot 0,8 / 125 = 6$ orinatoi	3 wc e lavabi; 6 orinatoi	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	$843 \cdot 0,2 / 80 = 3$ wc e lavabi;	3 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	$843 / 400 \cdot 2 = 5$	9 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	1 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	1	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si

Tabella 32 Dotazioni tribuna Est: spettatori ospiti

6.3.4.4 Funzioni tribuna Sud

La tribuna Sud prevede: 1953 sedute GA (in aggiunta a 11 posti disabili e 11 posti accompagnatori) con accesso da Sud-Ovest; l'area hospitality con le relative funzioni dedicate e collegata direttamente alle sedute per la tribuna d'onore/vip con 294 sedute (in aggiunta a 6 posti disabili e 6 posti accompagnatori) con accesso tramite collegamento verticale posto a Sud-Est; area tribuna stampa con 40 postazioni con scrivania e 65 posti dedicati; 10 postazioni telecronisti attrezzati con scrivanie.

Il piano terra mantiene l'ingombro della piscina e ne riprogetta le dotazioni. Le restanti aree sono oggetto di rifunzionalizzazione a servizio dello stadio così come al piano primo e al piano secondo.

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	$1964 \cdot 0,8 / 250 = 7$ wc e lavabi; $1964 \cdot 0,8 / 125 = 13$ orinatoi	7 wc e lavabi; 15 orinatoi	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	$1964 \cdot 0,2 / 120 = 4$ wc e lavabi;	5 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	$1964 / 400 \cdot 2 = 10$	11 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	2 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	1	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si

Tabella 33 Dotazioni tribuna Sud spettatori GA

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini §4.4.6	$300 \cdot 0,8 / 250 = 1$ wc e lavabi;	6 wc e lavabi;	Si
Servizi igienici donne §4.4.6	$300 \cdot 0,2 / 120 = 1$ wc e lavabi;	6 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	$300 / 400 \cdot 2 = 2$	6 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	2 wc disabili	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	3	Si
Skybox		3	

Tabella 34 Dotazioni hospitality tribuna d'onore/vip

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Spogliatoio squadra casa §4.4.3	25 posti; 10 docce; 3 WC; 3 lettini; frigo; suite ≈ 95 m²	25 posti; 11 docce + 1 DA; 2 WC + 1 WC DA; 3 lettini; 2 frigo; tavolo + 6 posti; locale criosauna; palestra; 300 m²;	Si
Spogliatoio squadra ospite §4.4.3	25 posti; 10 docce; 3 WC; 3 lettini; frigo; suite ≈ 95 m²	25 posti; 11 docce + 1 DA; 2 WC + 1 WC DA; 3 lettini; 2 frigo; tavolo + 6 posti; locale criosauna; palestra; 300 m²;	Si
Spogliatoio staff casa §4.4.3	incluso nel vano dirigenti (7 posti, 20 m²); 1 tavolo e 2 sedie	7 posti; 2 docce + 1 DA; 2 WC + 1 WC DA; 1 tavolo e 2 sedie; 1 lettino; 54 m²;	Si
Spogliatoio staff ospiti §4.4.3	incluso nel vano dirigenti (7 posti, 20 m²); 1 tavolo e 2 sedie	8 posti; 2 docce + 1 DA; 2 WC + 1 WC DA; 1 tavolo e 2 sedie; 1 lettino; 73 m²;	Si
Spogliatoio arbitri §4.4.3	6 posti; 2 docce; 1 WC; lettino e frigorifero; tavolo e 2 sedie; 20 m²;	8 posti; 5 docce + 1 DA; 2 WC + 1 WC DA; 1 lettino; 2 frigo; 1 tavolo e 2 sedie; palestra; 91 m²;	Si
Spogliatoio arbitri donne o misto §4.4.3	locale ulteriore: 2 posti; 1 doccia; 1 WC; frigorifero; tavolo e 2 sedie	4 posti; 1 doccia + 1 DA; 1 WC + 1 WC DA; 1 lettino; 1 frigo; 1 tavolo e 2 sedie; 48 m²;	Si
Infermeria giocatori e arbitri §4.4.3	≥ 9 m² con dotazione Serie A	41 m²; lettino; armadio farmaci; ossigeno; defibrillatore; WC separato	Si
Locale antidoping §4.4.3	≥ 20 m² con dotazione Serie A	34 m²; 8 posti; zona prelievi 4 posti; scrivania; lettino	Si
Flash interview §4.4.4 (intervista breve subito dopo il fischio finale)	5 postazioni 4 · 3 m	5 postazioni da 15 m²	Si
Mixed zone §4.4.4 (intervista post partita quando i giocatori vanno dallo spogliatoio al pullman)	75 persone per nuova costruzione	118 m²	Si
Sala delegati	Locale prossimo agli spogliatoi, riservata al delegato UEFA e all'osservatore arbitrale	34 m²	Si

Tabella 35 Dotazioni piano terra

La piscina esistente, collocata all'interno del corpo della tribuna Sud e riaperta al pubblico il 9 luglio 2024 al termine dei lavori di ristrutturazione³⁷, è stata conservata. Ne sono state invece rielaborate le dotazioni. Il loro dimensionamento discende da una sola grandezza, la superficie

³⁷ Cfr. La Provincia, *Como si riprende la piscina Sinigaglia dopo un anno di lavori. L'inaugurazione e l'esibizione degli atleti*, 2024, [Inaugurazione della piscina Sinigaglia, tra tuffi ed esibizioni](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

dello specchio d'acqua S. I valori appartengono a due famiglie con natura giuridica distinta: il D.M. 18 Marzo 1996 fissa i requisiti di sicurezza (come per lo stadio); le norme CONI fissano le dotazioni funzionali.

Voce	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Riferimento	Verificata
Superficie specchio d'acqua S	$L \cdot B = 25 \cdot 12 = 300 \text{ m}^2$;	300 m ² ;	-	-
Affollamento massimo in acqua	$S / 2$ (per difetto) = 150	-	D.M. 18/3/1996, art. 14	-
Assistenti bagnanti	1 se $S > 50 \text{ m}^2$; 2 se $S > 400 \text{ m}^2$	1	D.M. 18/3/1996, art. 14	Si
Posti spogliatoio complessivo (entrambi i sessi)	$S / 9$ (per eccesso) = 34 posti	36 posti	CONI 10.2.4	Si
Superficie spogliatoi comuni complessiva	Posti spogliatoio $\cdot 1,60 \text{ m}^2 = 36 \cdot 1,60 \text{ m}^2 = 57,6 \text{ m}^2$	70 m ²	CONI 10.2.4	Si
WC e lavabi utenti uomini	1 ogni 12 posti; 1 WC fruibile DA; $18 / 12 = 2$ WC	1 WC + 1 WC DA e rispettivi lavabi	CONI 10.2.5	Si
WC e lavabi utenti donne	1 ogni 12 posti; 1 WC fruibile DA; $18 / 12 = 2$ WC	1 WC + 1 WC DA e rispettivi lavabi	CONI 10.2.5	Si
Docce utenti uomini	1 ogni 3 posti; min. 4 + 4; almeno 1 fruibile DA;	3 docce + 1 doccia DA	CONI 10.2.6	Si
Docce utenti donne	1 ogni 3 posti; min. 4 + 4; almeno 1 fruibile DA;	3 docce + 1 doccia DA	CONI 10.2.6	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti	min. 2 locali;	2 locali	CONI 8.2	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti: locale 1	min. 2 utenti; $1,60 \text{ m}^2$ per posto = $3,2 \text{ m}^2$; 1 WC e 2 docce per 5-10 utenti; almeno 1 WC e 1 doccia fruibili DA	10 utenti; 20 m^2 ; 1 WC; 2 docce + 1 doccia DA	CONI 8.2-8.6-8.7	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti: locale 2	min. 2 utenti; $1,60 \text{ m}^2$ per posto = $3,2 \text{ m}^2$; 1 WC e 2 docce per 5-10 utenti; almeno 1 WC e 1 doccia fruibili DA	3 utenti; 17 m^2 ; 1 WC; 1 doccia + 1 doccia DA	CONI 8.2-8.6-8.7	Si

Voce	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Riferimento	Verificata
Locale di primo soccorso/infermeria	Min. 9 m ²	20 m ²	CONI 8.3.1	Si
Ipotesi spettatori e servizi igienici relativi (250 spettatori)	1 WC per sesso ogni 250 spettatori	1 WC uomini; 1 WC donne; 1 WC DA	D.M. art. 10	Si

Tabella 36 Dotazioni piscina: piano terra

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Cucina a servizio dell'area hospitality al piano secondo	-	113 m ² comprendente servizi igienici e spogliatoi del personale	-
Uffici polizia §4.5.3	locali idonei	2 locali da 44 m ²	Si
Ufficio federazione	-	80 m ²	-
Sala lavoro media §4.4.4	200 m ² ; 75 giornalisti e 25 fotografi	353 m ²	Si
Sala conferenza stampa §4.4.4	75 posti con podio e piattaforma	85 posti; 200 m ²	Si
Studio televisivo (pitch) §4.4.4	5 · 5 · 2,5 (h)	34 m ² e h > 2,5	Si
G.O.S. §4.5.3	centro gestione emergenze compartimentato e con accesso diretto dall'esterno (19) - G.O.S. con visibilità su spettatori e campo (19 iter);	136 m ² ; compartimentato; collegato direttamente con l'esterno	Si

Tabella 37 Dotazioni piano primo

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Studio televisivo (cabina TV) §4.4.4	5 · 5 · 2,5 (h)	42 m ² e h > 2,5	Si
Postazioni telecronisti §4.4.4	10 postazioni; scrivania ≥ 180 cm; ≥ 3 posti ciascuna; telefono, presa, luce, internet	10 postazioni con scrivanie 180 cm e 3 posti ciascuna	Si
Piattaforma camera principale §4.4.4	principale 6 · 2 m per 3 telecamere	6 · 2	Si
Tribuna stampa §4.4.4	60 posti, di cui 30 con scrivania	65 posti + 40 con scrivania	Si

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Guardaroba	-	60 m ²	-
Terrazzo	-	74 m ²	-
Spogliatoi personale maschile	-	43 m ² ;	-
Spogliatoi personale femminile	-	36 m ² ;	-

Tabella 38 Dotazioni piano secondo

6.3.5 Tornelli e vie d'esodo

Secondo quanto riportato al §4.6 sui varchi d'ingresso (tornelli) e al §4.5.5 in relazione alle vie d'esodo, in fase progettuale si garantiscono i parametri minimi come riportato nelle tabelle a seguire. Si specifica che alla base delle gradinate sono previsti dei collegamenti diretti con il terreno di gioco: brevi scalette che superano il dislivello di 1 m tra il primo gradone e il piano del campo di gioco. In corrispondenza di queste scalette il parapetto di separazione tra pubblico e campo è interrotto da elementi apribili verso il campo. Tali elementi restano chiusi e presidiati durante la partita e vengono sbloccati su comando in caso di emergenza. Questi collegamenti non vengono conteggiati nel calcolo delle larghezze d'esodo (art.8 del D.M. 18/03/1996 richiede che l'esodo della zona spettatori sia indipendente da quello della zona di attività sportiva) e vengono considerati un dispositivo aggiuntivo che permette di alleggerire il deflusso delle gradinate e di far sostare temporaneamente gli spettatori sul campo in caso di sovraffollamento o se i percorsi dimensionati non sono utilizzabili. Per le stesse motivazioni (ma per via teorica e quindi non rappresentati nelle planimetrie progettuali) si applicano elementi apribili anche in corrispondenza tra zona premium e zona GA nelle tribune Nord, Ovest ed Est-casa.

Simbolo	Descrizione
	Esodo GA
	Esodo premium
	Esodo ospiti
	Esodo tribuna d'onore/vip
	Esodo tribuna stampa/media
	Esodo secondario verso il campo

Tabella 39 Legenda esodo tribune

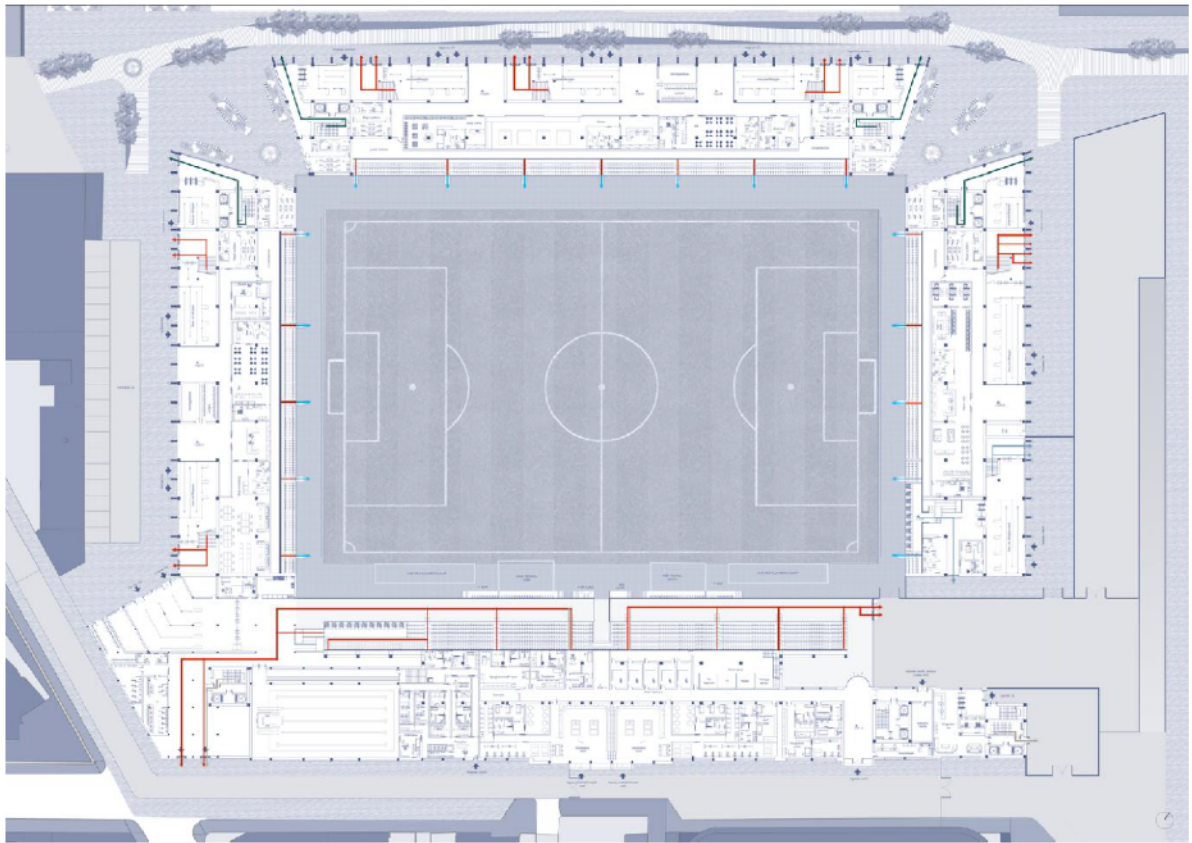


Figura 37 Esodo piano terra. Elaborazione personale

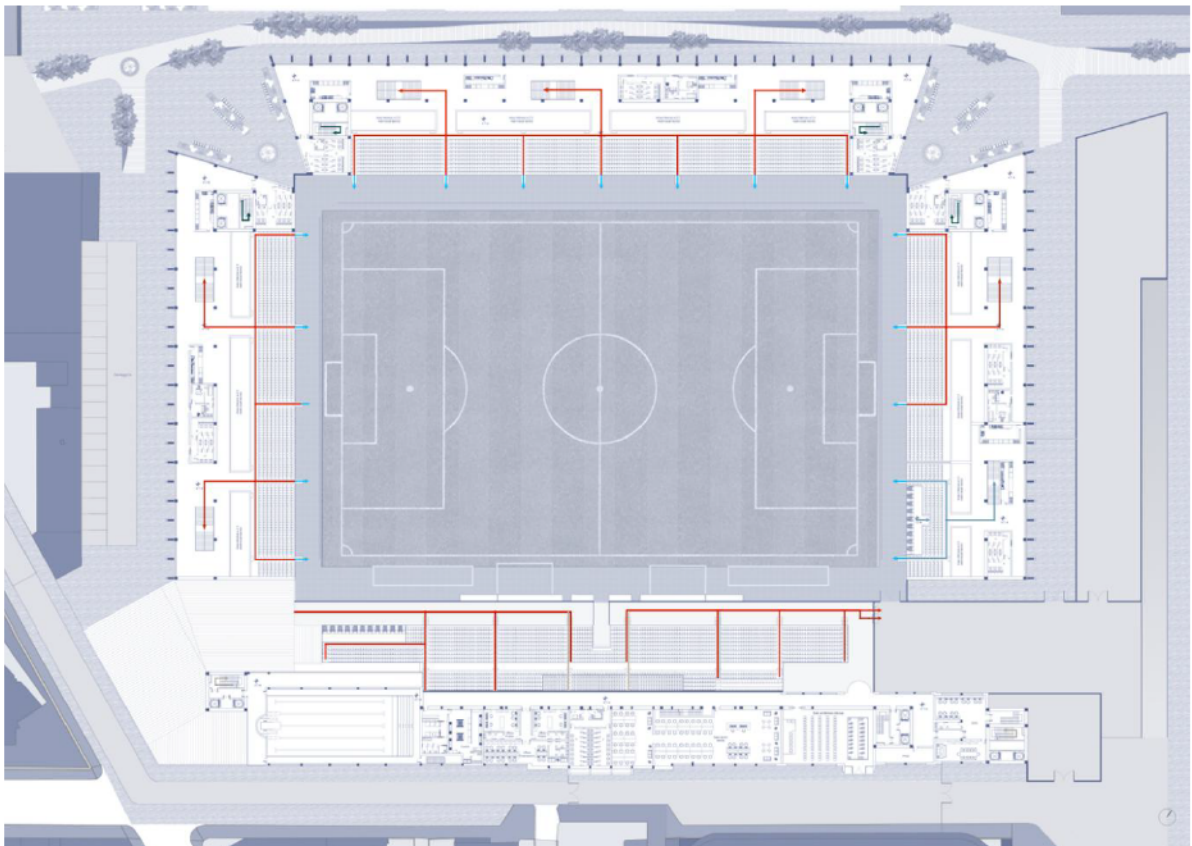


Figura 38 Esodo piano primo. Elaborazione personale

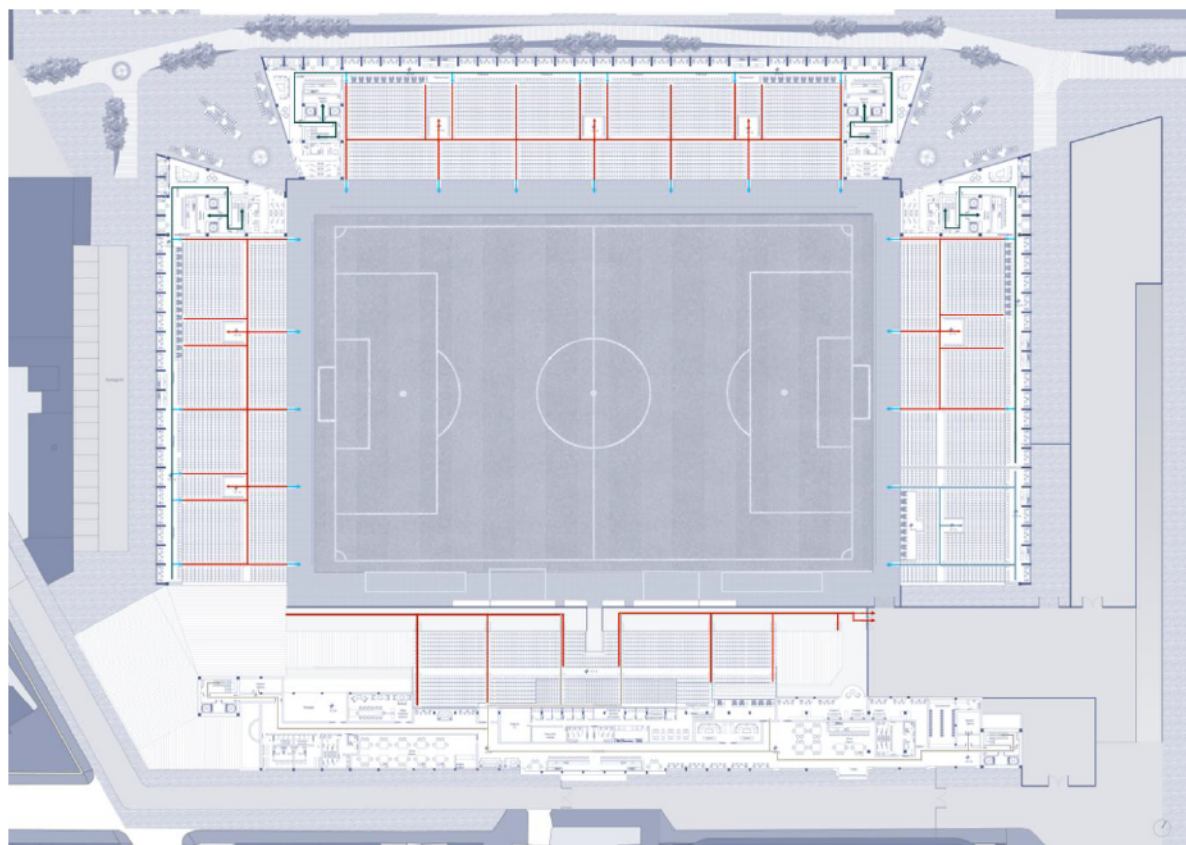


Figura 39 Esodo piano secondo. Elaborazione personale

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Nord; posti GA = 3762; §4.6	$3762 / 660 = 6$ tornelli	6 tornelli	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Nord; posti GA = 3762; §4.5.5	$3762 / 250 = 16$ moduli; $16 \cdot 0,60 \text{ m} = 9,6$ metri	18 moduli = 10,8 metri	Si
Tornelli tribuna Nord; posti premium = 125; §4.6	$125 / 660 = 1$ tornello	4 tornelli + 2 tornello disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Nord; posti premium = 125; §4.5.5	$125 / 50 = 3$ moduli; $3 \cdot 0,60 = 1,8$ metri	4 moduli = 2,4 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Nord; §4.5.5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); §4.5.5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Tabella 40 Tornelli e vie d'esodo tribuna Nord

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Ovest; posti GA = 2812; §4.6	$2812 / 660 = 5$ tornelli	5 tornelli	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Ovest; posti GA = 2812; §4.5.5	$2812 / 250 = 12$ moduli; $12 \cdot 0,60 \text{ cm} = 7,2$ metri	12 moduli = 7,2 metri	Si
Tornelli tribuna Ovest; posti premium = 97; §4.6	$97 / 660 = 1$ tornello	2 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Ovest; posti premium = 97; §4.5.5	$97 / 50 = 2$ moduli; $2 \cdot 0,60 = 1,2$ metri	2 moduli = 1,2 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Ovest; §4.5.5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); §4.5.5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Tabella 41 Tornelli e vie d'esodo tribuna Ovest

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Est-settore casa; posti GA = 1922; §4.6	$1922 / 660 = 3$ tornelli	4 tornelli	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Est-settore casa; posti GA = 1922; §4.5.5	$1922 / 250 = 8$ moduli; $8 \cdot 0,60 \text{ cm} = 4,8$ metri	8 moduli = 4,8 metri	Si
Tornelli tribuna Est-settore casa; posti premium = 65; §4.6	$65 / 660 = 1$ tornello	2 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Est-settore casa; posti premium = 65; §4.5.5	$65 / 50 = 2$ moduli; $2 \cdot 0,60 = 1,2$ metri	2 moduli = 1,2 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Est-settore casa; §4.5.5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); §4.5.5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Tabella 42 Tornelli e vie d'esodo tribuna Est-settore casa

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Est-settore ospiti; posti GA = 843; §4.6	$843 / 660 = 2$ tornelli	2 tornelli	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Est-settore ospiti; posti GA = 843; §4.5.5	$843 / 250 = 4$ moduli; $4 \cdot 0,60 \text{ m} = 2,4$ metri	4 moduli = 2,4 metri	Si
Tornelli tribuna Est-settore ospiti; posti disabili = 18; §4.6	$18 / 660 = 1$ tornello	1 tornello + 2 tornelli disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Est-settore ospiti; posti disabili = 18; §4.5.5	$18 / 50 = 1$ modulo; (minimo 2); $2 \cdot 0,60 = 1,2$ metri	3 moduli = 1,8 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Est-settore ospiti; §4.5.5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); §4.5.5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Tabella 43 Tornelli e vie d'esodo tribuna Est-settore ospiti

La via d'esodo della tribuna d'onore/vip si sviluppa in ambiente confinato, in quanto collegata direttamente all'area hospitality. Si assume pertanto la capacità di deflusso pari a 50 persone per modulo (0,60 m ogni 50 spettatori). Per i 306 spettatori ne deriva una larghezza complessiva di 4,2 m, pari a 7 moduli. La tribuna Sud costituisce tuttavia un unico settore: i posti GA e quelli della tribuna d'onore sono fisicamente separati ma appartengono al medesimo sistema d'esodo e non essendo prescritta l'indipendenza delle vie d'uscita all'interno di uno stesso settore, il sistema d'esodo della tribuna d'onore è costituito dai 4 moduli della via dedicata (che attraversa l'hospitality) e dal collegamento verso l'esodo GA, dimensionato per l'affollamento complessivo del settore (tutti i posti GA + tribuna stampa + tribuna d'onore).

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Sud; posti GA = 1975; §4.6	$1975 / 660 = 3$ tornelli	6 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Sud; posti GA + posti tribuna stampa (105) = 2080; §4.5.5	$2080 / 250 = 9$ moduli; $9 \cdot 0,60 \text{ m} = 5,4$ metri	10 moduli = 6 metri	Si
Tornelli tribuna Sud; posti tribuna d'onore/vip = 306; §4.6	$306 / 660 = 1$ tornello	2 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli vie d'esodo tribuna Sud; posti tribuna d'onore/vip = 306; §4.5.5	$306 / 50 = 7$ moduli	4 moduli = 2,4 metri	No

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Moduli vie d'esodo tribuna Sud con via d'esodo tribuna d'onore confluyente a quella GA; posti totali = 2080 + 306 = 2386; §4.5.5	$2386 / 250 = 10$ moduli; $10 \cdot 0,60 = 6$ metri	10 moduli = 6 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Sud; §4.5.5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); §4.5.5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Tabella 44 Tornelli e vie d'esodo tribuna Sud

6.3.6 Capienza totale dello stadio

Tribuna	Spettatori
Tribuna Nord GA	3762
Tribuna Nord Premium (compresi accompagnatori disabili)	105
Tribuna Nord disabili	20
Tribuna Ovest GA	2812
Tribuna Ovest Premium (compresi accompagnatori disabili)	82
Tribuna Ovest disabili	15
Tribuna Est Casa GA	1922
Tribuna Est Casa Premium (compresi accompagnatori disabili)	55
Tribuna Est Casa disabili	10
Tribuna Est Ospiti GA (compresi accompagnatori disabili)	852
Tribuna Est Ospiti GA disabili	9
Tribuna Sud GA (compresi accompagnatori disabili)	1964
Tribuna Sud GA disabili	11

Tribuna	Spettatori
Tribuna Sud VIP (compresi accompagnatori disabili)	300
Tribuna Sud Vip disabili	6
Tribuna Sud Tribuna stampa	40
Tribuna Sud Tribuna stampa sedute	65
Totale	12.030 > 12.000

Tabella 45 Capienza totale

6.3.7 Il campo di gioco: distanze minime e area di gioco

Il campo da gioco è stato dimensionato secondo i criteri esposti al §4.4.1 e al §4.4.3, in relazione alle distanze minime, alle aree di rispetto prescritte e alle aree funzionali. La tabella seguente riassume le scelte progettuali adottate.

Voce	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Dimensioni del campo; §4.4.1	105 · 68 m	105 · 68 m	Si
Campo per destinazione (fascia complanare/di rispetto); §4.4.1	1,50 m	1,50 m linee laterali e 1,50 m linee di porta	Si
Ostacoli dalle linee laterali; §4.4.1	3,00 m	Tribune Nord: 3,00 m dai cartelloni pubblicitari, 6,90 m dagli scalini, 8,50 m dal profilo della tribuna; Tribuna Sud: 7,00 m dalle panchine, 8,30 m dalla recinzione;	Si
Ostacoli dalle linee di porta; §4.4.1	3,50 m	Tribuna Ovest: 3,5 m dai cartelloni pubblicitari, 6,90 m dagli scalini, 8,50 m dal profilo della tribuna; Tribuna Est: 3,5 m dai cartelloni pubblicitari, 6,90 m dagli scalini, 8,50 m dal profilo della tribuna;	Si
Spazio operativo dietro i pannelli; §4.4.1	2,00 m metri	Tribuna Nord = 3,90 m; Tribuna Ovest e Est = 3,40 m	Si
Altezza libera sul campo; §4.4.1	21,00 m	Altezza libera su tutta la proiezione del campo	Si
Aree di riscaldamento §4.4.1	2 aree di 4 · 20 m	2 aree di 4 · 20 m	Si

Voce	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Panchine §4.4.3	21 persone; distanza da linea laterale $\geq 4,00\text{m}$; coperte; con panchina aggiuntiva per lo staff (NOIF. Norme Organizzative Interne FIGC)	2 panchine da 21 persone per gli atleti e 2 panchine da 10 persone per lo staff a distanza 7,00 m	Si
Quarto ufficiale §4.4.3	postazione con sedile e scrivania a 2,50 m, separata e coperta	postazione con scrivanie e 2 sedute	Si

Tabella 46 Distanze e funzioni campo di gioco

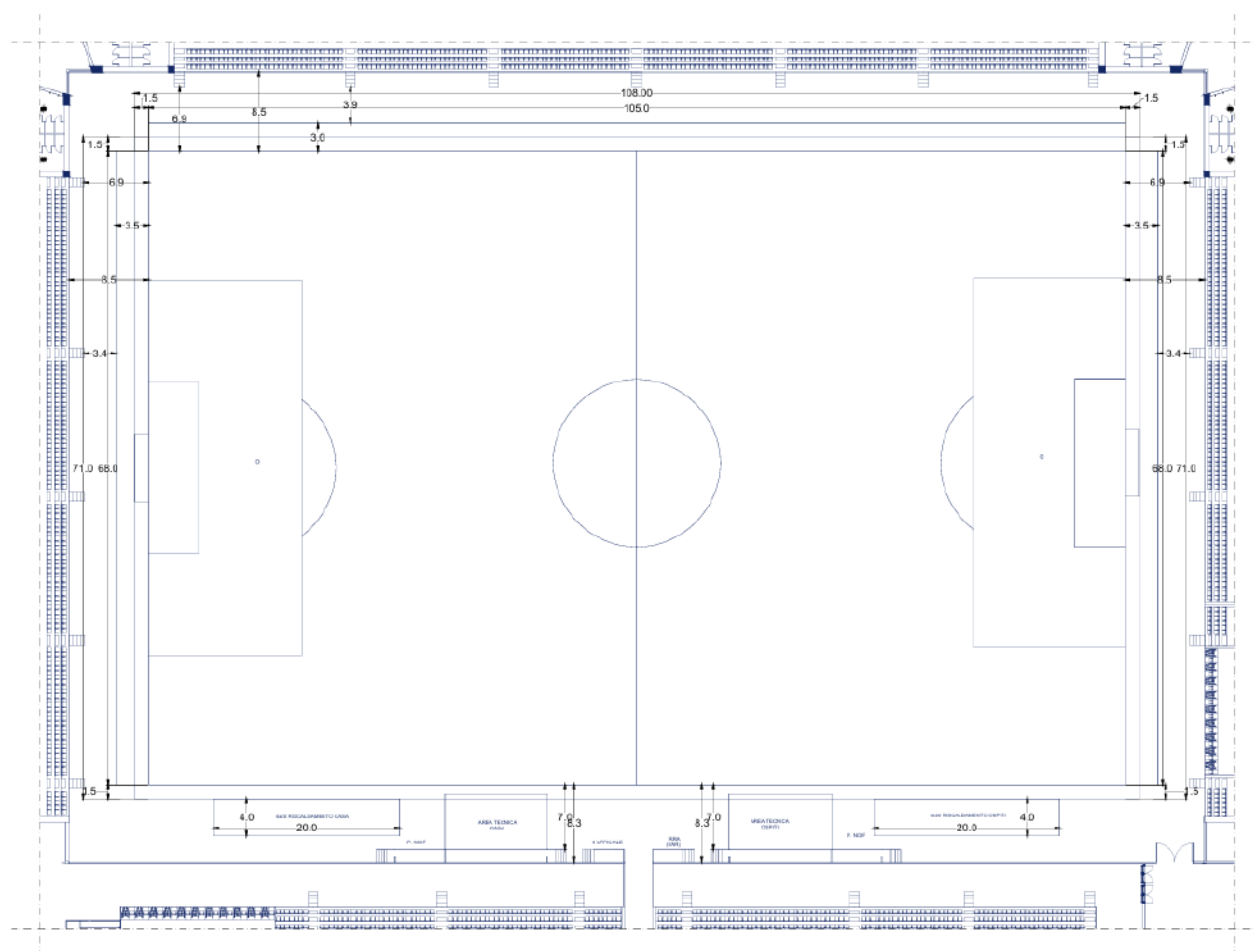


Figura 40 Distanze e funzioni campo di gioco. Elaborato personale

Si specifica che le Laws of the Game pubblicate annualmente dall'International Football Association Board (IFAB), organismo che detiene la competenza normativa delle regole del gioco del calcio, indicano al §1.14 la necessaria collocazione di una zona referee review area (RRA) nelle adiacenze del campo di gioco e un'area video operation room (VOR) vicino lo stadio o in una posizione distante³⁸.

³⁸ IFAB, *Law 1 The Field of Play*, §1.14, [Legge 1 - Il Campo di Gioco | IFAB](#), (consultato il 3/09/2026)

6.3.8 Il campo di gioco: manto erboso, riscaldamento, drenaggio e irrigazione

Come riportato all'interno della tabella al §4.4.1, i criteri sportivi indicano la composizione della superficie di gioco e l'obbligatorietà delle dotazioni del riscaldamento del manto erboso, del drenaggio e dell'irrigazione. L'art. 5.01 UEFA rimanda a *UEFA pitch quality guidelines*³⁹, le linee guida di progetto del campo di gioco. A seguito si riportano dei dimensionamenti di massima. La progettazione dei sistemi è un compito specialistico.

6.3.8.1 Manto erboso

La superficie di gioco, comprendente anche il campo per destinazione (fascia di rispetto) dev'essere in erba naturale, ibrida o sintetica come riportato nei criteri al §4.4.1. Il criterio A2 Serie A e l'articolo 5.05 UEFA assoggettano inoltre il manto a strato 100% artificiale al certificato Quality o Quality Pro della FIFA. Escludendo per precauzione il manto con erba 100% naturale in ragione del clima e della radiazione solare limitata nei periodi invernali (anche adottando un sistema di copertura ETFE) che riducono il processo di fotosintesi e dell'usura nelle zone più sollecitate ed escludendo il manto con erba 100% artificiale in funzione di un maggior comfort per gli atleti (il manto artificiale provoca maggior aderenza tra manto erboso e tacchetto trasferendo più sollecitazione a caviglia e ginocchio dell'atleta), la scelta progettuale ricade per la soluzione ibrida (erba naturale rinforzata).



Figura 41 Tipologie di manto erboso ibrido: da sinistra a destra: tappeto, cucito, fibra. Fonte: [UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.5, pag 12](#)

Il sistema ibrido a tessuto consiste nella stesura di tappeti posizionati sulla superficie: stesura veloce della superficie di gioco, riparazione rapida di aree danneggiate. Il sistema ibrido cucito consiste in singoli fili di erba artificiale, solitamente lunghi 200 mm, cuciti verticalmente nel profilo sabbioso a una profondità di 180 mm e intervalli di 200 mm: è indicato per mantenere l'aspetto del prato. Il sistema ibrido a fibra prevede fibre o elementi a rete di materiale elastico o plastico (polipropilene) orientati in modo casuale nello strato superiore del profilo: questo sistema stabilizza il profilo e aumenta la resistenza al carico (assorbimento urti)⁴⁰.

La scelta progettuale è il sistema ibrido cucito poiché i fili inseriti verticalmente nel profilo sabbioso ancorano l'apparato radicale e le zolle, garantendo la resistenza all'usura. Si scarta il sistema a tessuto, il cui vantaggio è la rapidità di ripristino e si scarta il sistema a fibre poiché la sua funzione principale è la stabilizzazione del substrato ma non ancora lo strato erboso.

³⁹ UEFA, *UEFA Pitch Quality Guidelines*, edizione 2025, [UEFA Pitch Quality Guidelines - 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA](#), (ultima consultazione: 3/09/2026)

⁴⁰ UEFA Pitch Quality Guidelines 2025, §3.4, pag. 11-12, (ultima consultazione 3/09/2026)

Nella porzione di campo compresa tra la fascia complanare ed il profilo delle tribune, in previsione dell'eventuale passaggio dei mezzi pesanti per le opere di manutenzione, è previsto l'utilizzo di una stratigrafia adatta a mantenere il continuo del manto erboso e a resistere al carico verticale dei mezzi: la soluzione adottata è la stratigrafia del catalogo tecnico Pratopratico, mostrata nella figura seguente.

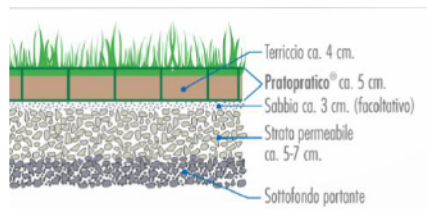


Figura 42 Stratigrafia Pratopratico. FONTE: <https://www.daliform.com/pratopratico-la-griglia-per-pavimentazioni-carrabili/>, pag.10 del catalogo nella sezione download. (ultima consultazione: 3/09/2026)



Figura 43 Componente Pratopratico. Fonte: <https://www.daliform.com/pratopratico-la-griglia-per-pavimentazioni-carrabili/>, (ultima consultazione: 3/09/2026)



Figura 45 Installazione tubi di riscaldamento. Fonte: [UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.8, pag 13](#)

A seguito si riporta un dimensionamento di massima in planimetria secondo le informative tecniche REHAU per il riscaldamento a pavimento/raffreddamento per edifici non residenziali⁴¹. Il documento, al capitolo §9, indica il sistema di riscaldamento del prato: tubi RAUTHERM 25 · 2,3 mm posati in parallelo su binario RAILFIX con la precisazione che sono la lunghezza uniforme dei circuiti di riscaldamento, il dimensionamento dei tubi distributori e il collegamento secondo il principio di Tichelmann a garantire una distribuzione uniforme della temperatura su tutto il campo da gioco.

Il principio di Tichelmann prevede che il circuito che ha il percorso di mandata più corto, ha quello di ritorno più lungo (lunghezze dei circuiti uguali), così le perdite di carico, ossia la caduta di pressione che il fluido subisce per attrito con il tubo lungo il percorso, si equivalgono, e le portate si distribuiscono da sole in maniera uniforme⁴².

Il dimensionamento di massima prevede dunque un'estensione del sistema di riscaldamento che ricopre tutto il manto erboso ibrido secondo il principio di Tichelmann: centrale termica collocata all'interno della tribuna Sud, due tubazioni principali una di mandata e una di ritorno. Un totale di 180 circuiti. Tubazioni RAUTHERM con diametro esterno di 25 mm e interno di 2,3 su binario RAILFIX a passo costante di 300 mm e profondità 280 mm.

⁴¹ REHAU, Flächenheizung/ -kühlung Nichtwohnbau, [Flächenheizung/-kühlung Nichtwohnbau](#), §9, pag. 66. (ultima consultazione 4/09/2026)

⁴² Cfr. *Ciclo di Tichelmann*, https://it.frwiki.wiki/wiki/Boucle_de_Tichelmann. (ultima consultazione 4/09/2026)

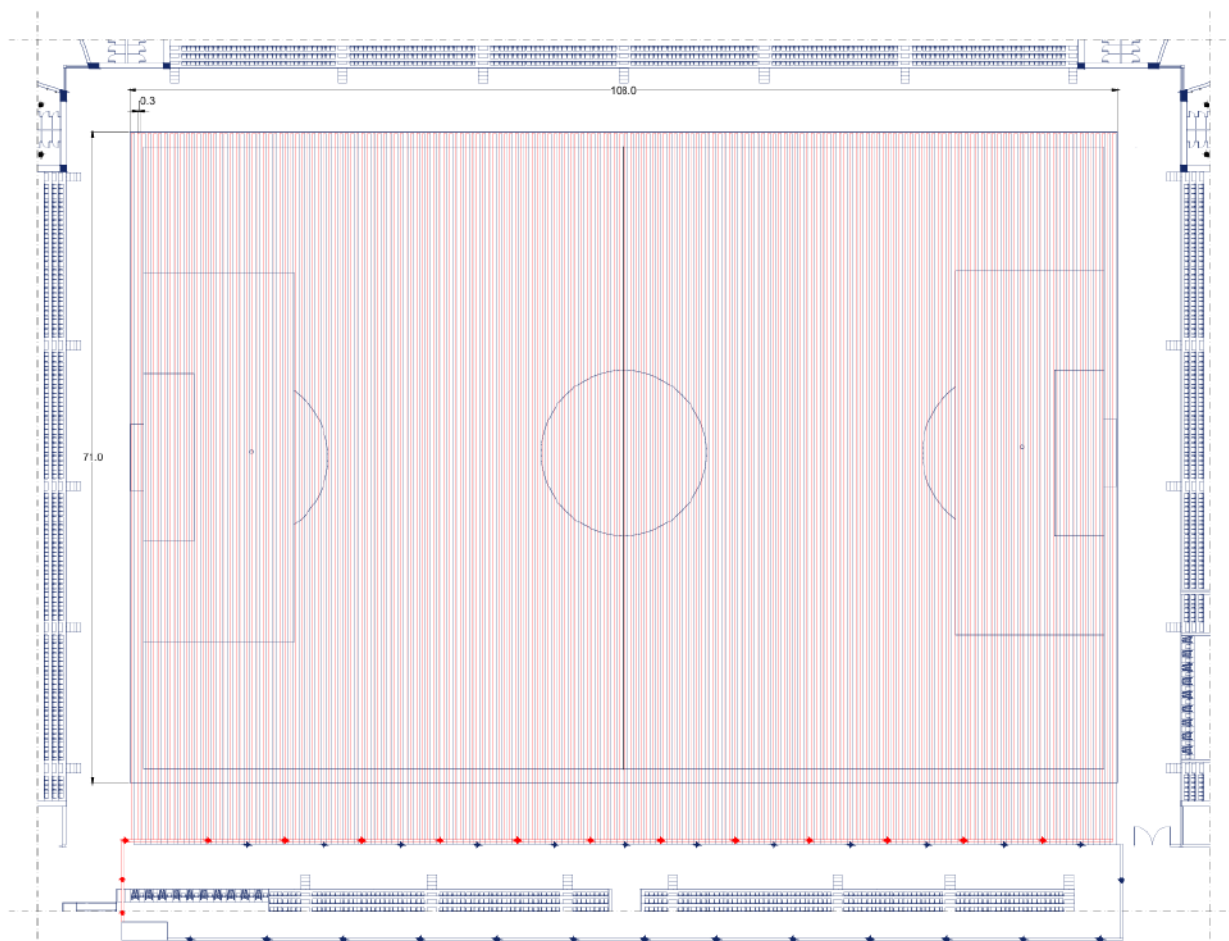


Figura 46 Schema riscaldamento campo di gioco. Elaborato personale

Simbolo	Descrizione
	Tubo di mandata
	Tubo di ritorno
	Tubi radianti

Tabella 48 Legenda schema riscaldamento

6.3.7.3 Sistema di drenaggio

Il sistema di drenaggio relativo all'area di gioco e alla sua fascia complanare, è stato dimensionato secondo le linee guida UEFA Pitch Quality Guidelines, al §3.2. La figura seguente mostra la stratigrafia del terreno.

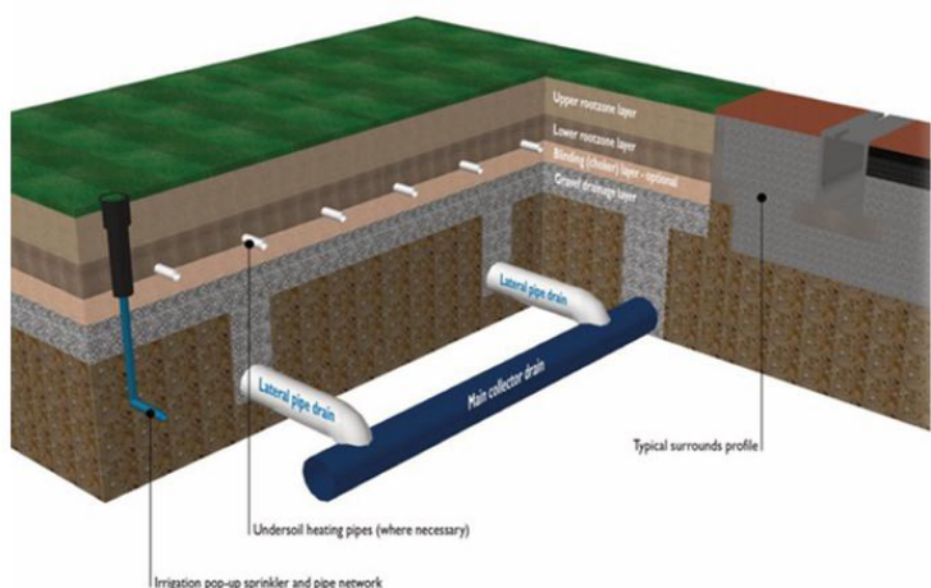


Figura 47 Progettazione stratigrafica. Fonte: [UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.2, pag 8](#)

Si prevedono, come buona pratica progettuale, dei tubi di diametro 100 mm paralleli alla linea di porta, “lateral pipe drain”, con pendenza verso i tubi perimetrali a diametro 200 mm “main collector drain”. Il sistema è collegato ad una vasca di raccolta.

Si precisa che il sistema di drenaggio dell’area tra la fascia complanare e il profilo della tribuna, in corrispondenza alla stratigrafia Pratopratico, è un sistema indipendente e dedicato.

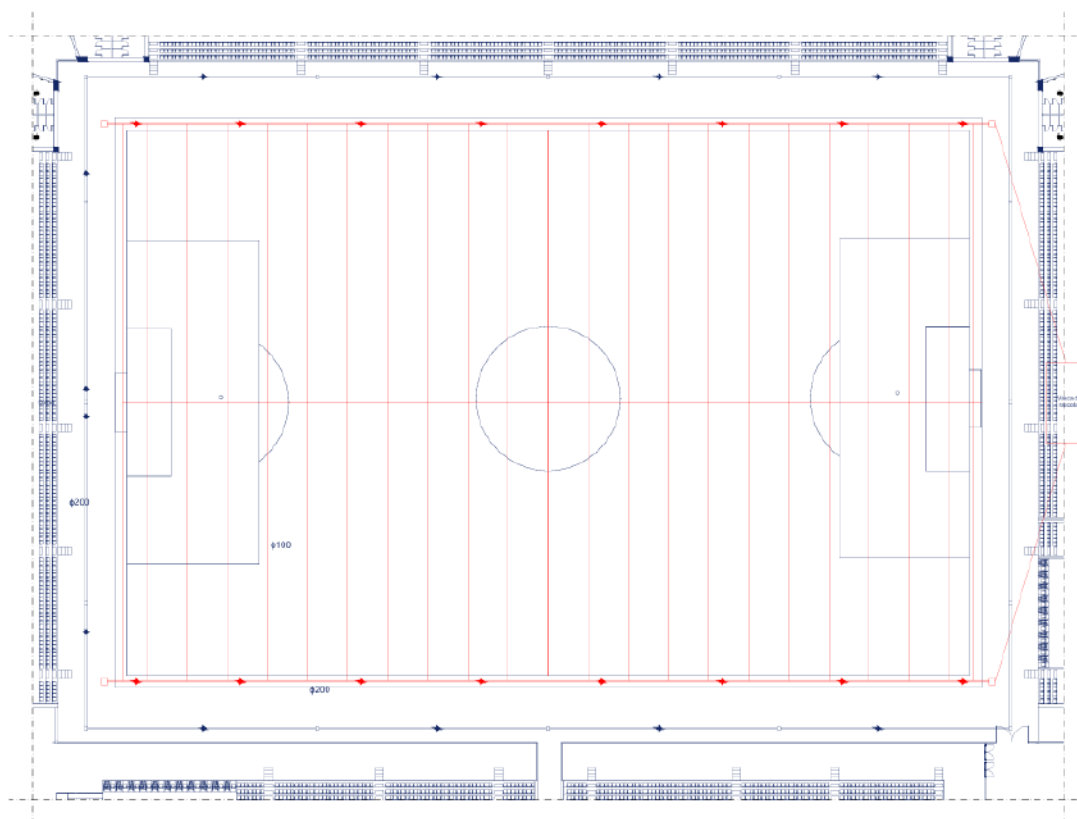


Figura 48 Schema drenaggio campo di gioco

Simbolo	Descrizione
	Drenaggio "lateral pipe drain" diametro 100 mm; pendenza verso i tubi perimetrali "main collector drain"
	Drenaggio con tubi perimetrali "main collector drain"; pendenza verso la vasca di raccolta
	Drenaggio dell'area compresa tra la fascia complanare e il profilo della tribuna, corrispondente all'area del campo in sintetico

Tabella 49 Legenda schema drenaggio

6.3.8.4 Sistema di irrigazione

Le linee guida UEFA Pitch Quality Guidelines, al §3.3, raccomandano sistemi di irrigazione a scomparsa completamente automatici sui campi che ospitano partite UEFA poiché tali sistemi sono più facili da controllare e gestire e garantiscono una distribuzione uniforme dell'acqua e tempi di irrigazione rapidi.



Figura 49 Sistema di irrigazione a scomparsa. Fonte: [UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.3, pag 9](#)

Inoltre, indicano che: un sistema adeguato può avere circa 20 irrigatori a scomparsa per campo, ma alcuni ne hanno da 24 a 35 con sovrapposizione completa tra irrigatori adiacenti; solitamente gli irrigatori, in plastica solida, hanno un piccolo diametro in superficie di circa 50 mm; gli irrigatori tendono a essere posizionati 10-15 mm sotto la superficie. Il sistema prevede dunque una pompa, un circuito di distribuzione, valvole, irrigatori.

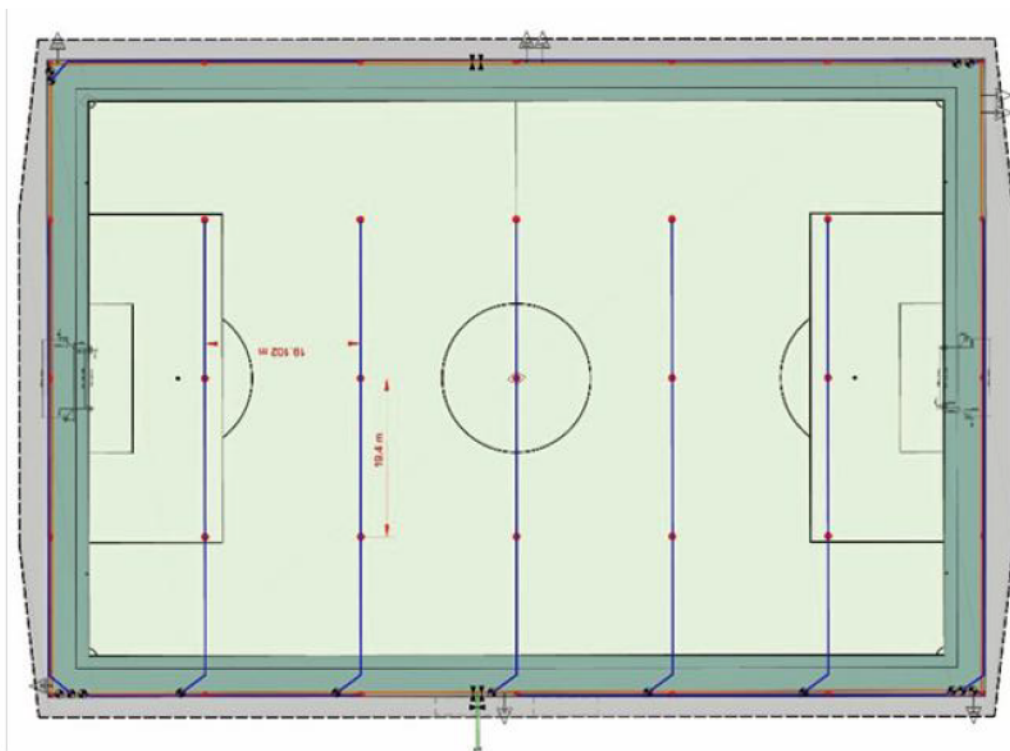


Figura 50 Esempio di un progetto di irrigazione a "blocchi" Fonte: [UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.4, pag 10](#)

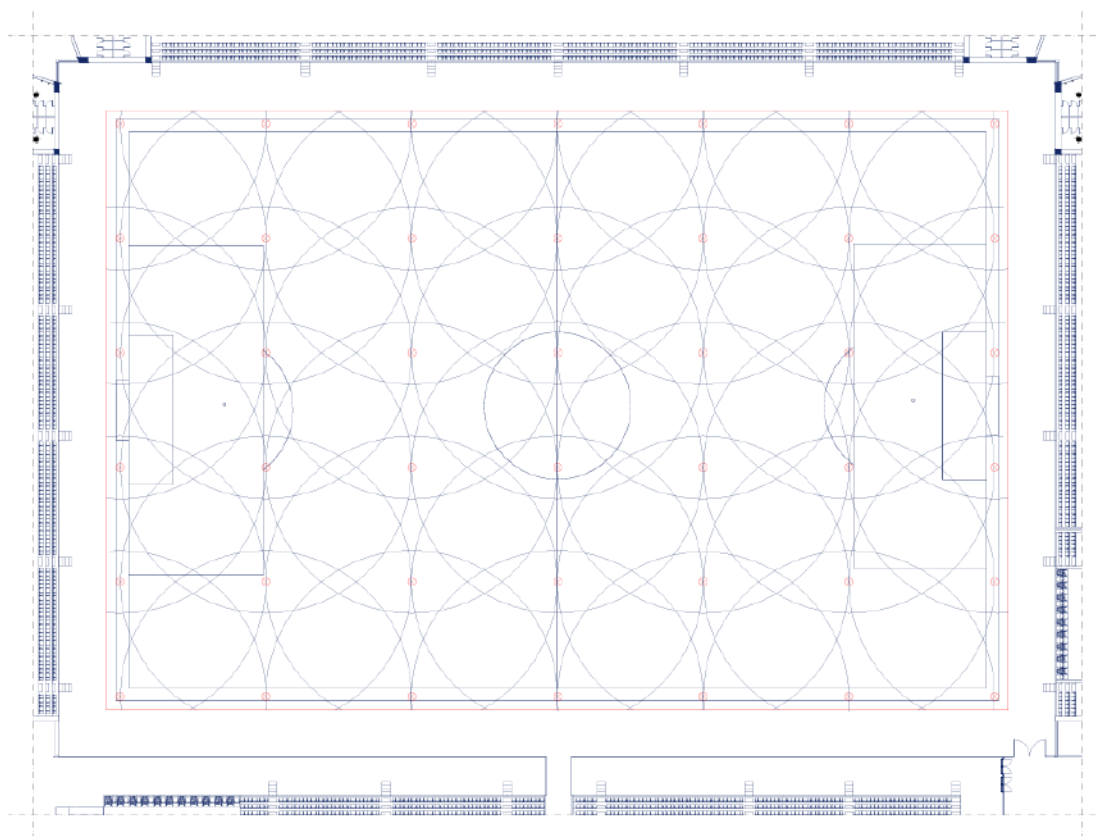


Figura 51 Schema irrigazione campo di gioco. Elaborazione personale

Simbolo	Descrizione
	Alimentatore perimetrale
	Irrigatori a distanza 15 m
	Area d'influenza

Tabella 50 Legenda irrigazione campo di gioco

6.4 Il valore C

Il profilo delle gradinate non discende da una scelta compositiva, bensì da una verifica geometrica. Fissati il punto che si deve vedere (focus) e la posizione dello spettatore, l'andamento delle alzate è conseguenza di un vincolo: garantire a ciascuna fila la visione del terreno di gioco al di sopra del capo di chi siede davanti. Il presente paragrafo definisce tale vincolo, ne espone la formulazione analitica e stabilisce l'estensione della verifica alle quattro tribune.

6.4.1 Definizione geometrica del valore C

Si consideri uno spettatore seduto e si tracci la retta che congiunge il suo occhio con il punto focale, ossia con il punto più sfavorevole del terreno di gioco che deve poter vedere. Tale retta, proseguendo verso il campo, sorvola la fila che lo precede. Il valore C è la distanza verticale fra questa retta e la sommità del capo dello spettatore seduto nella fila immediatamente antistante.

Il valore C misura, dunque, il margine di cui la visuale dispone prima di essere ostruita. Se è nullo, la linea di vista sfiora la testa di chi precede e la visione del punto focale è al limite; se è negativo, la visuale risulta ostruita e lo spettatore è costretto a spostarsi o ad alzarsi. Quanto maggiore è il valore C, tanto migliore risulta la visibilità e tanto più ripida la gradinata necessaria a garantirla: il parametro governa quindi direttamente l'inclinazione del profilo e, per conseguenza, l'altezza complessiva dell'impianto.

Come già sottolineato nel capitolo §4.4.9, la denominazione richiede una precisazione terminologica. Le Norme CONI, all'art. 9, designano tale grandezza con il simbolo d e ne indicano in 0,12 m il valore preferibile; la letteratura tecnica internazionale, e con essa la *Guide to Safety at Sports Grounds*⁴³ (Green Guide) pubblicata dalla Sports Grounds Safety Authority, la indica come valore C. Le due grandezze coincidono: nel seguito si adotta la seconda denominazione, corrente nella progettazione degli impianti sportivi, e si assume il valore preferibile indicato dalle Norme CONI, pari a 120 mm.

6.4.2 Il valore assunto

Il progetto assume $C = 120$ mm. La scelta trova riscontro in due fonti indipendenti. Le Norme CONI, all'art. 9, rimandano alla normativa vigente per la determinazione del valore minimo e indicano in 0,12 m il valore preferibile⁴⁴. La *Guide to Safety at Sports Grounds*, riconosciuta internazionalmente quale riferimento di buona pratica per la progettazione e la gestione degli impianti sportivi, colloca il valore tra 90 mm e 120 mm⁴⁵.

Il valore adottato è pertanto quello preferibile e non quello minimo. La scelta è cautelativa e coerente con la categoria dell'impianto: poiché né i criteri di Serie A né il regolamento UEFA fissano sul punto una grandezza numerica, limitandosi a prescrivere la visuale libera del campo di gioco, il valore dimensionante discende integralmente dalle Norme CONI, con il riscontro della letteratura internazionale.

6.4.3 La formulazione delle Norme CONI

Le Norme CONI riportano la relazione nella forma risolta rispetto alla distanza come riportato in fig.x : $x = (a \cdot b) / (c - d)$. X indica la distanza orizzontale fra il punto focale e l'occhio dello spettatore della fila superiore, a indica l'altezza di tale occhio sopra il piano del punto focale, b

⁴³ Sports Grounds Safety Authority, *Guide to Safety at Sports Grounds*, 6ª ed., Londra 2018

⁴⁴ Norme CONI 2008, art. 9, pag.9

⁴⁵ *Guide to Safety at Sports Grounds*, pag. 163

la distanza orizzontale fra gli occhi delle due file consecutive, ossia la pedata, c il dislivello verticale fra i medesimi occhi, ossia l'alzata, e d il margine visivo.

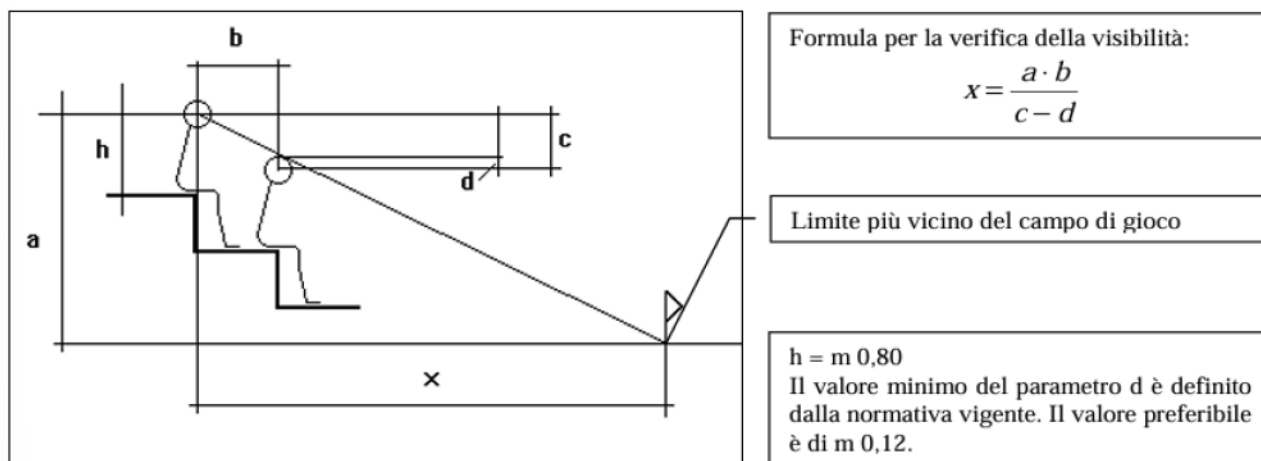


Figura 52 Geometria del valore C ; Fonte: *Norme Coni*, §9, pag.9.

6.4.4 Dalla formulazione delle Norme CONI a quella internazionale

La formulazione delle Norme CONI, risolta rispetto alla distanza, risponde alla domanda relativa alla collocazione: a quale distanza dal campo una data geometria di gradinata garantisce il margine richiesto. Nella pratica progettuale servono però le due forme inverse, risolte rispetto al margine (valore C) e rispetto all'alzata.

La prima è impiegata in verifica e restituisce il valore C conseguito da un profilo assegnato; la seconda è impiegata in progetto e restituisce l'alzata minima necessaria a garantire il margine richiesto (120).

A tal fine si adotta la notazione corrente negli impianti sportivi (Green Guide) ed il cambio di notazione è riportato nella tabella seguente.

Grandezza	Norme CONI	Green Guide	Foglio di calcolo
Distanza da P all'occhio della fila anteriore	$x - b$	D	D_{i-1}
Distanza da P all'occhio della fila posteriore	x	$D + T$	D_i
Quota dell'occhio della fila anteriore	$a - c$	R	N_{i-1}
Quota dell'occhio della fila posteriore	a	$R + N$	N_i
Pedata	b	T	T

Grandezza	Norme CONI	Green Guide	Foglio di calcolo
Alzata	c	N	alzata _i
Margine visivo	d	C	C

Tabella 51 Corrispondenza fra le notazioni

- 1) Sostituendo nella formulazione delle Norme CONI le corrispondenze sopra riportate, ossia $x = D + T$, $a = R + N$, $b = T$, $c = N$ e $d = C$, si ottiene: $D + T = (R + N) \cdot T / (N - C)$.
- 2) Moltiplicando entrambi i membri per $(N - C)$ e dividendo per $(D + T)$ si isola la differenza fra alzata e margine: $N - C = (R + N) \cdot T / (D + T)$.
- 3) Portando N al primo membro e cambiando i segni si ottiene il margine in forma esplicita: $C = N - (R + N) \cdot T / (D + T)$.
- 4) Riducendo allo stesso denominatore $(D + T)$ e sviluppando il numeratore: $C = [N \cdot (D + T) - (R + N) \cdot T] / (D + T) = (N \cdot D + N \cdot T - R \cdot T - N \cdot T) / (D + T)$.
- 5) I due termini in $N \cdot T$ si elidono, e resta: $C = (N \cdot D - R \cdot T) / (D + T)$.
- 6) Aggiungendo e sottraendo al numeratore il termine $R \cdot D$ e raccogliendo: $C = [D \cdot (N + R) - R \cdot (D + T)] / (D + T)$.
- 7) Separando infine la frazione nei due addendi si perviene alla forma espressa all'interno della Green Guide: $C = D \cdot (N + R) / (D + T) - R$.⁴⁶

⁴⁶ Sports Ground Safety Authority, *Guide to Safety at Sports Grounds*, 6^a ed., Londra 2018, pag. 163

Figure 22 Sightlines for seated spectators

This diagram should be considered in conjunction with Figure 25 Seating row depths and seat dimensions

Key:

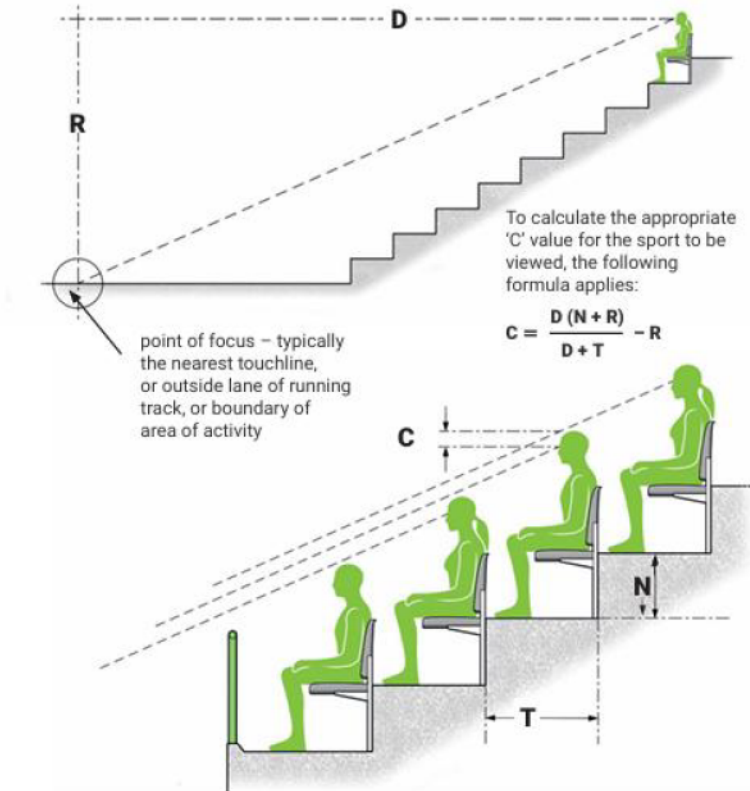
C = the 'C' value

D = the horizontal distance from the eye to the point of focus

N = the riser height

R = the vertical height to the point of focus

T = the seating row depth



Note that the 'C' value should, in most situations, range between 90–120 mm. Where values outside of this range are proposed, the designer will need to demonstrate that the viewing standards of the spectators affected have not been compromised.

Figura 53 Profilo valore C; Sports Ground Safety Authority, Guide to Safety at Sports Grounds, 6^a ed., Londra 2018, pag. 163

6.4.5 Le due formule indicizzate impiegate per il profilo delle gradinate.

La formulazione con i simboli R, N, D e T descrive la relazione fra due file contigue: R è la quota dell'occhio della fila anteriore, N l'alzata che separa le due file, D la distanza orizzontale della fila anteriore dal punto focale e T la pedata. Poiché la verifica è condotta su più file, e ciascuna dipende dalla precedente, si è ritenuto opportuno passare a una notazione indicizzata.

Indicando con i la fila in esame e con i – 1 quella immediatamente antistante si ricava la tabella seguente

Grandezza	Notazione a incrementi	Notazione indicizzata
Quota dell'occhio della fila anteriore	R	N_{i-1}

Grandezza	Notazione a incrementi	Notazione indicizzata
Quota dell'occhio della fila in esame	$R + N$	N_i
Distanza da P della fila anteriore	D	D_{i-1}
Distanza da P della fila in esame	$D + T$	D_i
Alzata della fila in esame	N	$N_i - N_{i-1}$
Pedata	T	$D_i - D_{i-1}$

Tabella 52 Notazione indicizzata

Sostituendo nella forma di verifica ricavata al paragrafo precedente si ottiene l'espressione impiegata nel foglio di calcolo per la verifica del valore C: $C_i = N_i \cdot D_{i-1} / D_i - N_{i-1}$.

La medesima relazione, risolta rispetto alla quota dell'occhio della fila in esame, fornisce la forma impiegata in fase di progetto per la determinazione dell'alzata minima.

- 1) Imponendo $C_i = C = 120$ mm, ossia il valore richiesto, e portando N_{i-1} al secondo membro: $N_i \cdot D_{i-1} / D_i = N_{i-1} + C$
- 2) Moltiplicando entrambi i membri per D_i / D_{i-1} si ricava la quota minima dell'occhio: $N_i = D_i \cdot (N_{i-1} + C) / D_{i-1}$
- 3) Poiché l'alzata è la differenza fra le quote degli occhi di due file contigue, sottraendo N_{i-1} si perviene alla forma di progetto: $alzata_{i,min} = D_i \cdot (N_{i-1} + C) / D_{i-1} - N_{i-1}$

6.4.6 Il procedimento di calcolo per la determinazione del profilo dei gradoni

Le due forme sono impiegate in successione. In fase di progetto, la forma risolta rispetto all'alzata determina fila per fila l'alzata minima necessaria a garantire il valore C richiesto: il profilo che ne discende presenta alzate tutte differenti e crescenti verso l'alto, secondo una curva continua.

Tale profilo non è realizzabile con elementi prefabbricati, che richiedono la ripetizione di pezzi identici, ed è inoltre sconsigliabile sotto il profilo della sicurezza, poiché alzate continuamente variabili aumentano il rischio di inciampo lungo le scale di smistamento. Le alzate teoriche sono pertanto arrotondate verso l'alto e raggruppate in fasce a valore costante.

In fase di verifica, la forma risolta rispetto al margine restituisce il valore C effettivamente conseguito dalle alzate adottate. Poiché ciascuna alzata adottata è maggiore o uguale alla minima richiesta nella propria fascia, il margine risultante è in ogni fila superiore a quello richiesto.

6.4.7 Un profilo unico per le quattro tribune

Le quattro tribune adottano il medesimo profilo di gradinata. Essa richiede tuttavia una giustificazione sotto il profilo della visibilità, poiché le tribune non si collocano tutte alla medesima distanza dal terreno di gioco.

Tribuna	Distanza dalla linea di campo	D _f	Condizione
Nord	8,50 m	9,30 m	più sfavorevole
Est	8,50 m	9,30 m	più sfavorevole
Ovest	8,50 m	9,30 m	più sfavorevole
Sud	13,10 m	13,90 m	più favorevole

Tabella 53 Distanza del fronte delle tribune dalla linea di campo

Il valore C migliora al crescere della distanza dal punto focale. A parità di profilo, dunque, la tribuna Sud, arretrata di 13,10 m per effetto della conservazione dell'edificio storico, consegue un valore C superiore a quello delle altre tre.

6.4.8 Il profilo delle tribune Nord, Ovest e Est

A seguito si riportano i dati e le verifiche sul valore C delle tribune Nord, Ovest e Est. Le tribune Ovest e Est presentano il medesimo numero di alzate per un totale di 26 file. La tribuna Nord presenta invece un numero totale di file pari a 24. Questa scelta è in funzione dello spazio disponibile in sito in relazione all'altezza e alla larghezza delle tribune.

6.4.8.1 I dati di ingresso: campo e distanze

La prima parte del calcolo raccoglie i dati normativi relativi al terreno di gioco e alle distanze minime, dai quali discende la posizione del fronte delle tribune e, con essa, la distanza del punto focale.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte o Nota
Lunghezza del campo fra le linee	-	105	m	Serie A A 1, UEFA 5.01
Larghezza del campo fra le linee	-	68	m	Serie A A 1, UEFA 5.01
Fascia complanare di rispetto	-	1,50	m	CONI 7.3, Serie A A1
Distanza minima ostacoli dalle linee laterali	-	3,00	m	UEFA allegato pag.32
Distanza minima ostacoli dalle linee di porta	-	3,50	m	UEFA allegato pag.32
Spazio operativo dietro i pannelli	-	2,00	m	UEFA 5.08: raccattapalle, steward, fotografi, telecamere

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte o Nota
Altezza libera sopra il campo	-	21,00	m	Serie A A2, UEFA 5.06
Separazione fra pubblico e campo	-	1,10	m	D.M. art. 6-bis, lett. c)
Area del rettangolo di gioco	-	7.140	m ²	lunghezza × larghezza fra le linee
Rettangolo libero da ostacoli, lunghezza	-	112,00	m	campo più due volte la distanza dalle porte
Rettangolo libero da ostacoli, larghezza	-	74,00	m	campo più due volte la distanza dai laterali
Distanza del fronte tribuna dalla linea di campo	-	8,50	m	scelta di progetto, superiore ai minimi
Arretramento orizzontale dell'occhio dal fronte	-	0,80	m	spessore del parapetto e arretramento della seduta
Distanza dal punto focale all'occhio della prima fila	D ₁	9,30	m	somma dei due termini precedenti

Tabella 54 Campo di gioco e distanze

6.4.8.2 I parametri della gradinata

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte o nota
Valore C richiesto	C	120	mm	Norme CONI art. 9: valore preferibile 0,12 m
Pedata, profondità di fila	T	0,80	m	minimo 0,60 m per D.M. art. 9
Altezza dell'occhio dello spettatore seduto	-	1,20	m	valore corrente 1,15–1,25 m
Quota del piano della prima fila sopra il campo	-	1,00	m	dislivello di separazione; D.M. art. 6-bis, lett. c)
Quota dell'occhio della prima fila	N ₁	2,20	m	somma dei due termini precedenti
Numero di file	n	26 (24 tribuna Nord)	-	geometria di progetto
Altezza sopra l'occhio dell'ultima fila	-	2,30	m	-
Ingombro della copertura sopra l'ultima fila	-	3,30	m	altezza del costolone alla radice sommato alla copertura
Quota del piano di gioco	-	0,00	m	riferimento altimetrico
Limite di altezza assunto	-	20,00	m	vincolo di progetto
Larghezza del modulo di seduta	-	0,47	m	seggolino adottato

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte o nota
Ingombro del seggiolino ribaltato	-	0,215	m	da scheda del prodotto ⁴⁷
Larghezza dei corridoi di smistamento	-	1,20	m	minimo per D.M. art. 9
Supplemento di pedata al piano di riposo	-	0,80	m	si somma alla pedata ordinaria

Tabella 55 Parametri assunti per il profilo

6.4.8.3 Le alzate a blocchi

Riprendendo il §6.4.6, la verifica applicata rigorosamente fila per fila restituisce un profilo a curvatura continua, nel quale l'alzata cresce progressivamente verso l'alto. Tale geometria è incompatibile con la prefabbricazione, che richiede la ripetizione di elementi identici, ed è sconsigliabile sotto il profilo della sicurezza. Il profilo è pertanto suddiviso in fasce ad alzata costante.

L'alzata adottata in ciascuna fascia è superiore a quella minima richiesta dalla fila più sfavorevole. Il rapporto fra pedata e alzata risulta pari a 2,00 nel primo blocco e a 1,60 nel secondo, in entrambi i casi superiore al minimo di 1,2 prescritto dall'art. 9 del D.M (§4.5.6).

Il terzo blocco comprende la sola fila di sommità, cui competono un'alzata di 1,00 m e una pedata di 3,20 m. Tali valori non hanno funzione di seduta ordinaria: essi definiscono il piano di sommità della tribuna, sulla quale trova collocazione la zona premium.

Blocco	Fila finale	Alzata adottata [m]	Alzata minima richiesta [m]	Esito
Blocco 1	9	0,40	0,395	verificato
Blocco 2	25 (23 tribuna Nord; 17 tribuna Sud)	0,50	0,485	verificato
Blocco 3	26 (24 tribuna Nord; 17-parte tribuna Sud)	1,00	0,489	verificato

Tabella 56 Suddivisione in blocchi ad alzata costante per le tribune Ovest, Est e Nord

6.4.8.4 Risultati e verifiche

Il confronto con il profilo teorico quantifica il costo della discretizzazione. Un profilo a curvatura continua, che garantisca esattamente 120 mm in ciascuna fila, collocherebbe l'occhio dell'ultima fila a 12,34 m anziché a 14,40 m. La suddivisione in tre fasce comporta pertanto un incremento di altezza di circa il 17%, che costituisce il prezzo della ripetibilità degli elementi prefabbricati.

⁴⁷ Ceta, *Sedute Ceta*, pag.45, [Catalogo-sedute.pdf](#) (ultima consultazione: 10/09/2026)

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte o nota
Quota dell'occhio dell'ultima fila, profilo adottato	N_n	14,40 (12,9 tribuna Nord)	m	-
Quota dell'occhio dell'ultima fila, profilo teorico	-	12,34 (11,45 tribuna Nord)	m	con valore C esatto in ciascuna fila
Profondità delle sole file (senza pianerottoli)	-	20,00 (18,40 tribuna Nord)	m	$(n - 1) \cdot T$
Profondità in pianta complessiva	-	24,00 (22,40 tribuna Nord)	m	file, piano di riposo e gradone di sommità
Alzata massima adottata	-	0,50	m	esclusa la fila di sommità
Inclinazione massima del profilo	-	32,0	°	corrispondente all'alzata di 0,50 m
Piani di riposo	-	1	-	al cambio di pendenza fra primo e secondo blocco
Pedata dei gradini delle rampe	-	0,40	m	minimo 0,23 m per D.M. art. 9
Seatway libero fra le file	-	0,585	m	pedata meno ingombro del seggiolino ribaltato

Tabella 57 Profilo risultante

Verifica	Valore	Limite	Esito	Fonte
Valore C minimo	124,8 mm	≥ 120 mm	verificato	Norme CONI art. 9
Quota di sommità della struttura	20,00 m (19,00 tribuna Nord)	$\leq 20,00$ m	verificato	vincolo di progetto
Pedata dei gradini delle rampe	0,40 m	$\geq 0,23$ m	verificato	D.M. art. 9
Seatway libero	0,585 m	$\geq 0,30$ m	verificato	buona pratica

Tabella 58 Verifiche

6.4.8.5 La verifica fila per fila

La tabella riporta lo sviluppo completo del calcolo per le ventisei file. Per ciascuna sono indicati la distanza dal punto focale, l'alzata adottata, la quota dell'occhio, l'alzata minima che la

verifica richiederebbe, il valore C conseguito e l'inclinazione locale del profilo. Si ricorda che le tribune Nord ed Est hanno un totale di 26 file, invece la tribuna Nord 24.

Fila	D _i [m]	Alzata adottata [m]	N _i [m]	Alzata minima richiesta [m]	C ottenuto [mm]	Incl. [°]	Note
1	9,30	-	2,20	-	-	-	riferimento
2	10,10	0,40	2,60	0,320	194,1	26,6	
3	10,90	0,40	3,00	0,335	179,8	26,6	
4	11,70	0,40	3,40	0,349	167,5	26,6	
5	12,50	0,40	3,80	0,361	156,8	26,6	
6	13,30	0,40	4,20	0,371	147,4	26,6	
7	14,10	0,40	4,60	0,380	139,0	26,6	
8	14,90	0,40	5,00	0,388	131,5	26,6	
9	15,70	0,40	5,40	0,395	124,8	26,6	
10	17,30	0,50	5,90	0,683	-45,7	32,0	piano di riposo
11	18,10	0,50	6,40	0,398	151,4	32,0	
12	18,90	0,50	6,90	0,408	207,9	32,0	
13	19,70	0,50	7,40	0,417	199,5	32,0	
14	20,50	0,50	7,90	0,425	191,7	32,0	
15	21,30	0,50	8,40	0,433	184,5	32,0	
16	22,10	0,50	8,90	0,440	177,8	32,0	
17	22,90	0,50	9,40	0,447	171,6	32,0	
18	23,70	0,50	9,90	0,453	165,8	32,0	
19	24,50	0,50	10,40	0,458	160,4	32,0	
20	25,30	0,50	10,90	0,464	155,3	32,0	
21	26,10	0,50	11,40	0,468	150,6	32,0	
22	26,90	0,50	11,90	0,473	146,1	32,0	
23	27,70	0,50	12,40	0,477	141,9	32,0	
24	28,50	0,50	12,90	0,482	137,9	32,0	

Fila	D _i [m]	Alzata adottata [m]	N _i [m]	Alzata minima richiesta [m]	C ottenuto [mm]	Incl. [°]	Note
25	29,30	0,50	13,40	0,485	134,1	32,0	
26	30,10	1,00	14,40	0,489	617,3: 617,3-400 =217,3	17,4	gradone di sommità

Tabella 59 Verifica del valore C fila per fila tribune Ovest, Est e Nord

6.4.8.6 Il super valore C

L'alzata adotta in corrispondenza dell'ultima fila è un valore voluto per rispettare la scelta architettonica di dedicare la zona retrostante delle tribune ai posti DA: ipotizzando che lo spettatore antistante l'ultima fila si alzi in piedi in corrispondenza di un'esultanza, lo spettatore DA non avrebbe più margine. Ecco perché il valore C dell'ultima fila risulta ampiamente verificato: $617,3 - 400 = 217,3$ mm, considerando la quota dello spettatore in piedi a 1,60 m anziché 1,20 m.

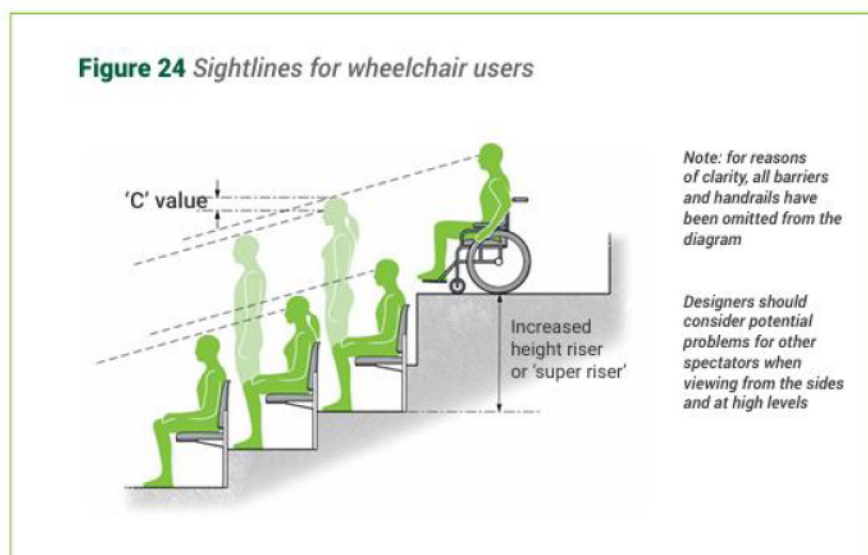


Figura 54 Super C; Sports Ground Safety Authority, Guide to Safety at Sports Grounds, 6^a ed., Londra 2018, pag. 165

6.4.8.7 Profili di progetto

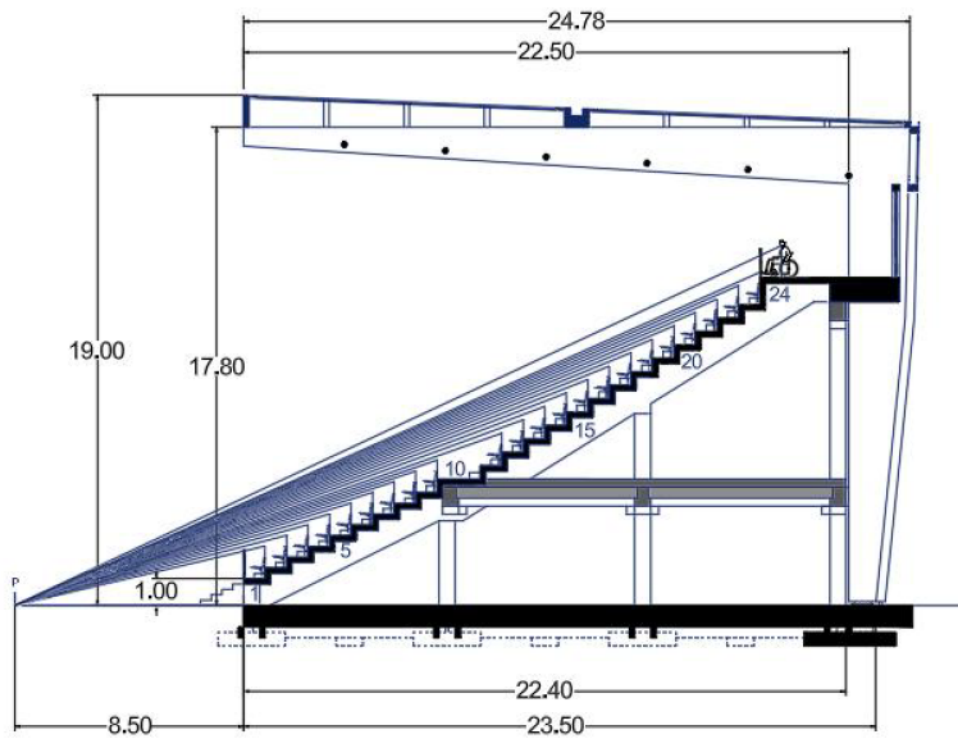


Figura 55 Profilo di progetto valore C tribune Ovest ed Est

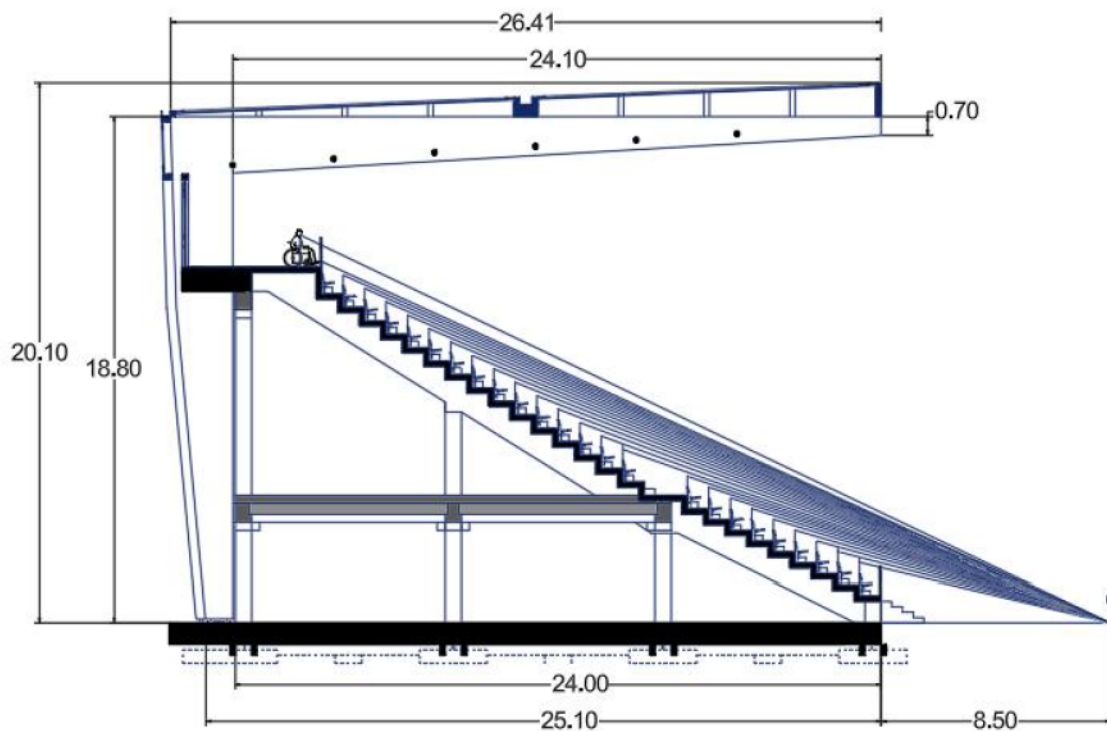


Figura 56 Profilo di progetto valore C tribuna Nord

6.4.9 Il profilo della tribuna Sud

La determinazione del profilo del valore C della tribuna Sud segue l'andamento del §6.4.8 La sostanziale differenza con le altre tre tribune è la distanza dal punto focale all'occhio della prima fila corrispondente al valore di 13,1 metri anziché 8,5. Ciò determina valori di C differenti, ma che vengono automaticamente soddisfatti poiché la distanza aumenta e il profilo della gradinata rimane inalterata.

6.4.9.1 La verifica fila per fila

La tribuna Sud ha un totale di 17 file.

Fila	D _i [m]	Alzata adottata [m]	N _i [m]	Alzata minima richiesta [m]	C ottenuto [mm]	Incl. [°]	Note
1	13,90	-	2,20	-	-	-	riferimento
2	14,70	0,40	2,60	0,254	258,5	26,6	
3	15,50	0,40	3,00	0,268	245,2	26,6	
4	16,30	0,40	3,40	0,281	233,1	26,6	
5	17,10	0,40	3,80	0,293	222,2	26,6	
6	17,90	0,40	4,20	0,303	212,3	26,6	
7	18,70	0,40	4,60	0,313	203,2	26,6	
8	19,50	0,40	5,00	0,322	194,9	26,6	
9	20,30	0,40	5,40	0,330	187,2	26,6	
10	21,90	0,50	5,90	0,555	68,9	32,0	piano di riposo
11	22,70	0,50	6,40	0,340	323,3	32,0	
12	23,50	0,50	6,90	0,350	265,1	32,0	
13	24,30	0,50	7,40	0,359	256,4	32,0	
14	25,10	0,50	7,90	0,368	248,2	32,0	
15	25,90	0,50	8,40	0,376	240,5	32,0	
16	26,70	0,50	8,90	0,383	233,3	32,0	
17	27,50	0,50	9,40	0,390	226,5	8,9	

Tabella 60 Verifica del valore C fila per fila della tribuna Sud

6.4.9.2 Profilo di progetto

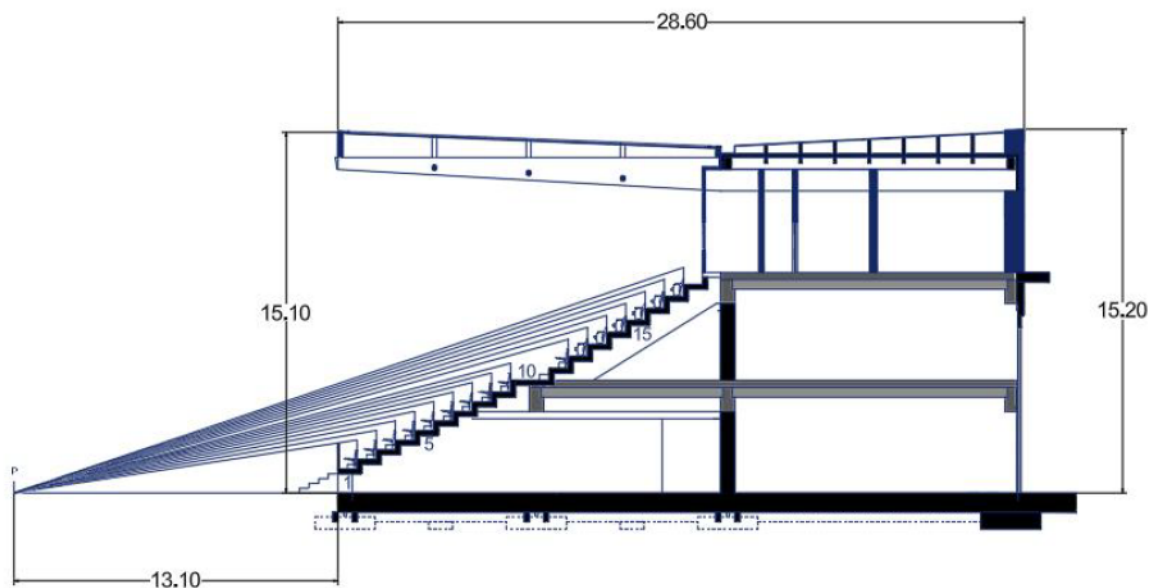


Figura 57 Profilo di progetto valore C della tribuna Sud

6.5 La tecnica del Jet Grouting

6.5.1 Introduzione

La pedonalizzazione del lungolago richiede di portare in sotterraneo il tratto di viale Puecher che lambisce lo stadio. L'opera pone un problema che ne condiziona interamente la concezione: si scava a pochi metri dal primo bacino del lago, in terreni alluvionali granulari⁴⁸ e con la falda praticamente a piano campagna, in un contesto urbano nel quale gli edifici del lungolago non tollerano cedimenti.

L'abbassamento della falda mediante pompaggio, che sarebbe la soluzione più immediata, va escluso proprio per questa ragione: la depressione della superficie piezometrica indurrebbe cedimenti sui fabbricati adiacenti. Lo scavo deve pertanto avvenire mantenendo la falda alla sua quota naturale, entro un recinto impermeabile chiuso anche sul fondo.

Il presente paragrafo espone la tecnica adottata per tale realizzazione, il jet grouting, e ne documenta il predimensionamento.

6.5.2 La tecnica e i tre sistemi di trattamento: monofluido, bifluido, trifluido

Il jet grouting è una tecnica di trattamento dei terreni che permette di realizzare nel sottosuolo elementi di terreno consolidato, di forma e dimensioni variabili, caratterizzati da buone proprietà meccaniche e da bassa permeabilità. Questa doppia attitudine ne spiega la diffusione:

⁴⁸ Comune di Como, *Documento di Piano*, Tav. 9.1, *Carta della geologia*, [DdP Tavola 09.1 Carta della geologia.pdf](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

la tecnica è impiegata per realizzare o adeguare fondazioni, opere di sostegno, gallerie e nella costruzione di opere di tenuta idraulica⁴⁹.

Il trattamento consiste nell'iniezione nel terreno di uno o più fluidi ad alta velocità. Il getto produce un fenomeno di rimaneggiamento del terreno, la sua parziale sostituzione e la permeazione, il cui risultato finale è la cementazione del materiale originario. Nell'applicazione corrente si ottengono volumetrie di forma approssimativamente cilindrica, denominate colonne consolidate, anche se esistono tecniche in grado di produrre altre geometrie.

L'esecuzione si articola in due fasi principali, mostrate in figura:

- 1) nella prima si perfora: una batteria di aste cave viene calata fino alla quota massima di trattamento tramite rotazione o rotopercussione, di norma con l'ausilio di un fluido di perforazione;
- 2) nella seconda c'è la fase di trattamento: le aste vengono estratte a velocità di risalita e di rotazione controllate mentre dagli ugelli, collocati in prossimità dell'utensile di perforazione, sono immessi i fluidi. L'estrazione può procedere in modo continuo oppure per gradini di altezza prestabilita. Questo processo genera un refluo, detto spurgo, costituito da fluido in eccesso e da una quota parte del terreno rimaneggiato, che risale in superficie attraverso l'intercapedine fra le aste e le pareti del foro.

L'esecuzione viene reiterata per ciascuna colonna: la loro adiacenza e compenetrazione, genera un corpo continuo⁵⁰.

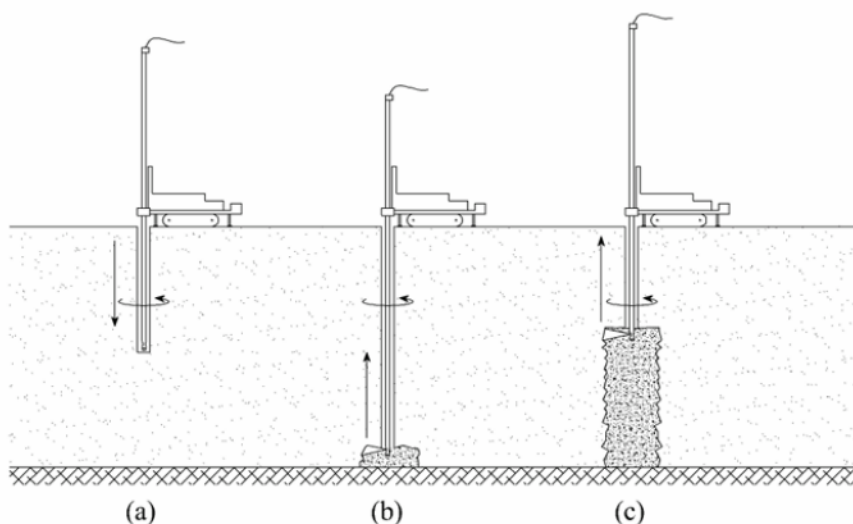


Figura 58 Schema del trattamento con jet grouting: (a) perforazione; (b) e (c) formazione della colonna. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, *Jet Grouting Raccomandazioni*, AGI, Roma 2012, pag. 3

⁴⁹ Associazione Geotecnica Italiana, *Jet Grouting Raccomandazioni*, edizione provvisoria, Edizioni AGI, Roma 2012, pag. 1

⁵⁰ Ivi, pag. 3

Attualmente i procedimenti esecutivi di trattamento possono essere classificati in tre principali sistemi di trattamento: monofluido, bifluido e trifluido, figura seguente:

- 1) nel sistema monofluido (a), in fase di trattamento, dagli ugelli laterali si inietta un unico fluido (miscela acqua-cemento) che assolve le funzioni di rimaneggiamento, permeazione e cementazione;
- 2) nel sistema bifluido (b), si inietta una miscela costituita da cemento e aria compressa: il getto è dunque circondato da un velo di aria compressa che incrementa l'efficienza idrodinamica e quindi il raggio d'azione (può anche esserci acqua al posto dell'aria);
- 3) il sistema trifluido, che incrementa ulteriormente il raggio d'azione, separa le azioni di disaggregazione e di cementazione del terreno. L'azione disagregante viene prodotta da un getto d'acqua circondato da un velo di aria compressa. L'acqua produce il rimaneggiamento e la parziale asportazione del terreno. La miscela cementizia, iniettata a una quota inferiore, si mescola col terreno rimaneggiato.⁵¹

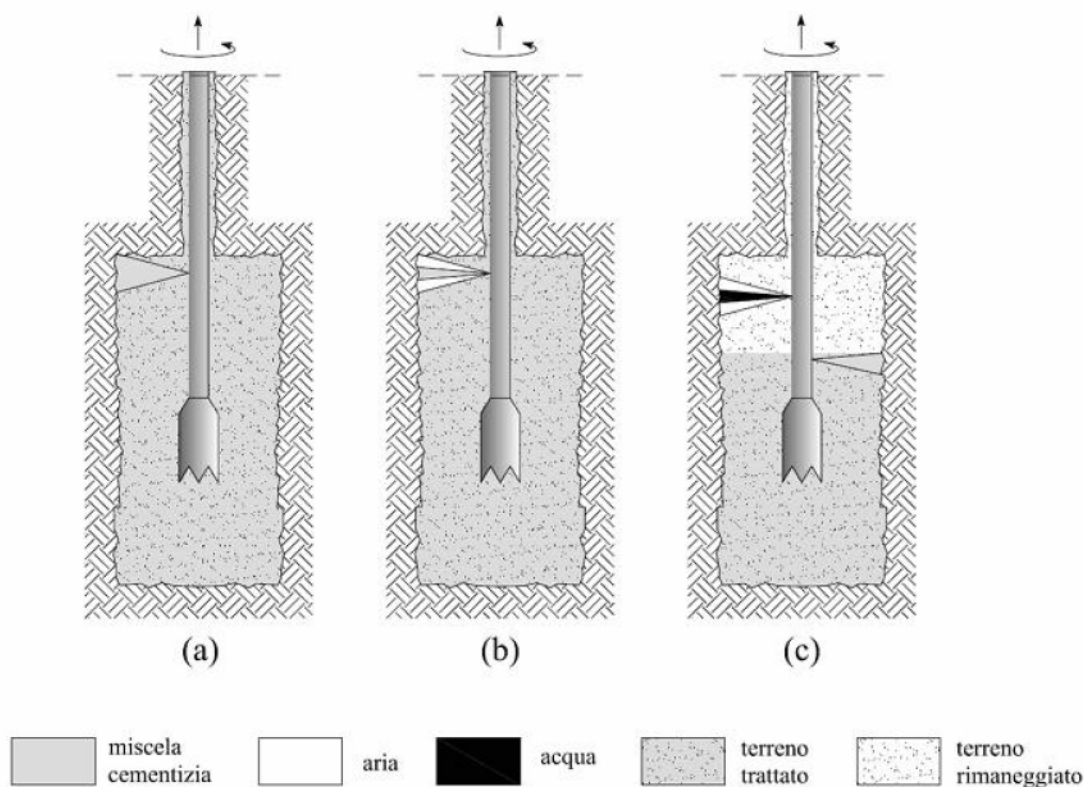


Figura 59 Sistemi di trattamento: a) monofluido; b) bifluido; c) trifluido. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, pag. 5

⁵¹ Ivi, pag. 5-6

Parametri di Trattamento	Simbolo	Unità di Misura	Sistema		
			monofluido	bifluido	trifluido
Passo di sollevamento	Δs	mm	40 ÷ 50	40 ÷ 80	40 ÷ 100
Velocità media di risalita	v_r	mm/s	4 ÷ 10	1÷8	0,5÷5
Velocità di rotazione	ω	giri/min	5 ÷ 40	3÷30	1÷40
Diametro ugelli	d	mm	2 ÷ 8.0	2 ÷ 8	2 ÷ 8
Numero ugelli	M	-	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2
Pressione miscela cementizia*	p_m	MPa	30 ÷ 55	20 ÷ 40	2 ÷ 10
Pressione aria*	p_a	MPa	NA	0.5 ÷ 2.0	0.5 ÷ 2.0
Pressione acqua*	p_w	MPa	NA	NA	20÷55
Portata miscela cementizia	Q_m	l/s	2 ÷ 10	2 ÷ 10	2.0 ÷ 5
Portata aria	Q_a	l/s	NA	200 ÷ 300	200 ÷ 300
Portata acqua	Q_w	l/s	NA	NA	0.5 ÷ 2.5
Rapporto ponderale acqua/cemento	A/C	-	0.60 ÷ 1.25	0.60 ÷ 1.25	0.40 ÷ 1.0
Nota: * Valori misurati alla perforatrice Legenda: NA = non applicabile					

Figura 60 Valori tipici dei trattamenti. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, pag. 12

6.5.3 Planimetria galleria

L'opera si sviluppa complessivamente per 483 m. L'accesso da Est avviene tramite una rampa in viale Vittorio Veneto, il tratto coperto in piano percorre via Giancarlo Peucher per 300 m e il tratto di risalita si compie in viale Massenzio Masia. In mezzeria del tratto coperto si innesta il parcheggio, riservato allo Yacht Club e alla Canottieri Lario. Il profilo longitudinale è spiegato al paragrafo §6.5.7.

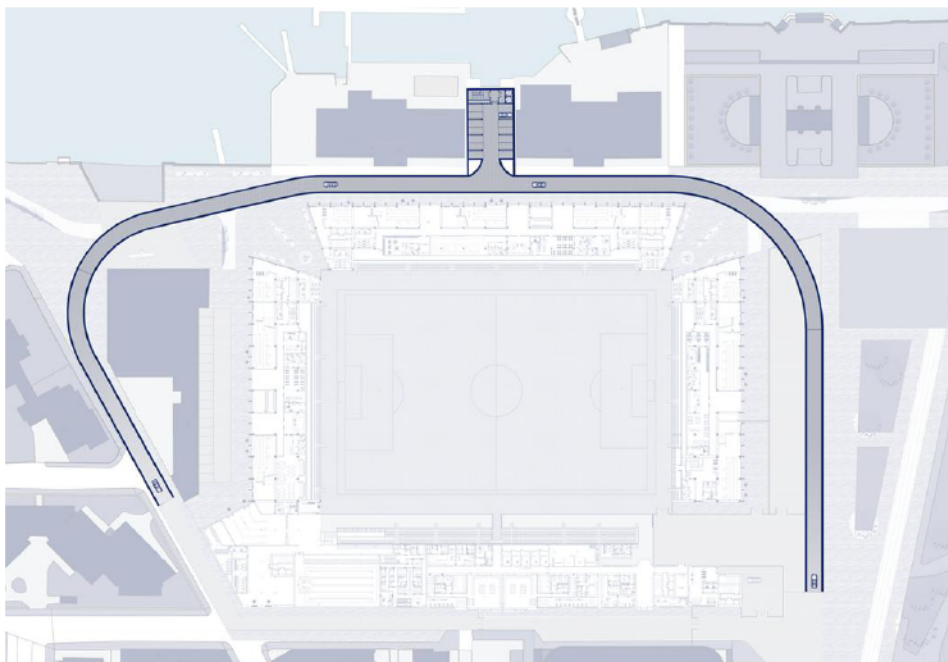


Figura 61 Planimetria galleria

6.5.4 Schema strutturale adottato

L'opera è concepita come una scatola impermeabile costituita da tre elementi strutturali: il tampone di fondo in jet grouting, che sigilla inferiormente lo scavo; i diaframmi perimetrali in calcestruzzo armato, che contengono le spinte orizzontali del terreno e dell'acqua; il solaio di copertura, che vincola i diaframmi in testa e consente la ricostruzione del piano stradale.

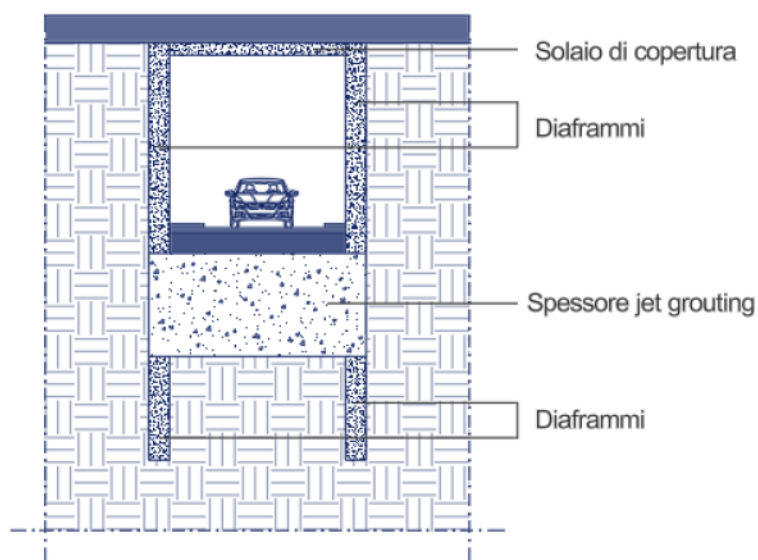


Figura 62 Schema strutturale

Lo scavo procede secondo il metodo top-down: realizzati i diaframmi e il tampone dal piano campagna, si getta il solaio di copertura e si scava al di sotto di esso, sicché la paratia risulta

vincolata in testa fin dalle prime fasi. Tale sequenza limita le deformazioni e, con esse, i cedimenti indotti sugli edifici circostanti, ed è la ragione principale per cui viene preferita allo scavo a cielo aperto.

Nel calcolo si distinguono due condizioni: la fase provvisoria, nella quale lo scavo è aperto e sopra il tampone non insiste alcun peso, e la fase di esercizio, a struttura completata. La prima è quasi sempre la più gravosa, poiché manca il peso stabilizzante della struttura definitiva.

6.5.5 I dati di ingresso

Le verifiche esposte nel seguito poggiano su un insieme di parametri preliminari. Essi riguardano la geometria generale dell'opera, le caratteristiche della falda e del terreno, le proprietà dei materiali impiegati e i coefficienti di sicurezza assunti.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Profondità di scavo dal piano campagna	H	6,90	m	ricavata dalla composizione della sezione tipo
Larghezza netta di scavo della galleria	B_gal	5,10	m	luce libera fra i paramenti interni dei diaframmi
Larghezza del parcheggio	B_par	16,00	m	lato corto della scatola
Lunghezza del parcheggio	L_par	32,00	m	lato lungo della scatola
Sviluppo disponibile per la galleria	L_gal	300	m	da portale a portale, dato di masterplan, rampe escluse
Sviluppo di ciascuna rampa di accesso	L_rampa	91,5	m	in trincea a cielo aperto, fuori dai portali, pendenza 10% (§5.5.7)
Ingombro complessivo, galleria e rampe	-	483	m	$L_{gal} + 2 \cdot L_{rampa}$
Maglia del parcheggio, campate laterali	-	5,10	m	$5,10 + 5,80 + 5,10 = 16,00$ m
Maglia del parcheggio, campata centrale	-	5,80	m	corsia di manovra
Maglia del parcheggio, interasse longitudinale	-	5,33	m	$32,00 / 6$
Lato dei pilastri del parcheggio	-	0,40	m	sezione quadrata

Tabella 61 Geometrie generali galleria e parcheggio

Trattandosi di un predimensionamento condotto in assenza di indagini geotecniche, i parametri del terreno e del soilcrete sono demandati alla campagna di indagini e al campo prova. Tuttavia il profilo di sottosuolo è desunto dalla carta geologica della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio di Como, che classifica l'area del lungolago fra i depositi alluvionali, costituiti da materiali fluviali ghiaioso-sabbiosi o comunque grossolani (come già citato nel §6.5.1) e a tale litologia corrispondono i valori adottati nel

seguito, prudenziali entro quell'ambito: angolo di resistenza al taglio di 30° , peso di volume saturo di 20 kN/m^3 , coefficiente di spinta a riposo di 0,50.

Come già citato al §3.1, il sedime dello stadio ricade in classe 3 e rientra nella sottoclasse 3.f “aree soggette ad inondazioni lacustri: aree cittadine in prossimità del lago, con falda subaffiorante e substrati in gran parte costituiti da materiale di riporto”. Dunque, si è ipotizzata una falda coincidente con il piano campagna in via cautelativa. La scelta del coefficiente di spinta a riposo in luogo di quello attivo è motivata al paragrafo relativo ai diaframmi §5.5.8. Valori e formulazioni sono stati presi in riferimento al volume Renato Lancellotta, *Geotecnica*⁵² e alle *NTC 2018*⁵³.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Peso di volume dell'acqua	γ_w	10,0	kN/m^3	9,81 arrotondato per eccesso, valore tipico
Profondità della falda dal piano campagna	h_w	0,00	m	ipotesi cautelativa: falda a piano campagna, in equilibrio con il lago
Peso di volume saturo del terreno	γ_{sat}	20,0	kN/m^3	ghiaie e sabbie limose, valore tipico; Renato Lancellotta, <i>Geotecnica</i> , Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012, pag. 18, formula 1.12
Peso di volume efficace	γ'	10,0	kN/m^3	$\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$: terreno immerso; Renato Lancellotta, <i>Geotecnica</i> , Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012, pag. 18, formula 1.13
Angolo di resistenza al taglio	φ'	30	$^\circ$	valore assunto, da confermare con prove in sito
Coefficiente di spinta attiva	K_a	0,33	-	$(1 - \sin\varphi')/(1 + \sin\varphi')$: richiede rotazione della paratia; Renato Lancellotta, <i>Geotecnica</i> , Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012, pag. 370, formula 8.21 con $\delta = 0$
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0,50	-	$1 - \sin\varphi'$: paratia rigida vincolata in testa e al piede; Renato Lancellotta, <i>Geotecnica</i> , Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012, pag. 375, formula 8.27 con $\delta = 0$
Coefficiente adottato nei calcoli	K	0,50	-	si assume K_0 per la presenza di edifici prossimi allo scavo
Sovraccarico in superficie	q	20	kPa	traffico pesante o mezzi d'opera

⁵² Renato Lancellotta, *Geotecnica*, Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012

⁵³ D.M. 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, Roma, 2018

Tabella 62 Dati falda e terreno

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Classe del calcestruzzo dei diaframmi	f_{ck}	25	MPa	-
Coefficiente di lunga durata	α_{cc}	0,85	-	NTC 2018 §4.1.2.1.1.1
Coefficiente parziale del calcestruzzo	γ_c	1,50	-	NTC 2018 §4.1.2.1.1.1
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd}	14,17	MPa	$\alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ NTC 2018 §4.1.2.1.1.1, formula 4.1.3
Momento ridotto di progetto	μ	0,25	-	$M / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$
Copriferro e mezzo diametro	c	0,08	m	Valore assunto, getto contro terreno in ambiente umido
Peso di volume del soilcrete	γ_{jg}	20,0	kN/m³	campo 19–21 kN/m³; Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, §3.6.4, pag. 21
Resistenza a compressione del soilcrete	$f_{c,jg}$	5.000	kPa	Valore ottimistico. Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, §3.6.1, fig.3.4, pag. 19
Rapporto fra trazione e compressione	f_t / f_c	0,10	-	Valore assunto (1/10)
Resistenza a trazione del soilcrete	$f_{t,jg}$	500	kPa	$f_{c,jg} \cdot 0,1$
Adesione all'interfaccia tamponeddiaframma	τ_{sk}	120	kPa	Valore assunto
Peso di volume del calcestruzzo armato	$\gamma_{c.a.}$	25,0	kN/m³	Valore assunto
Peso di volume della pavimentazione	γ_{pav}	23,0	kN/m³	Valore assunto, conglomerato bituminoso, campo 22–24 kN/m³
Peso permanente della struttura del parcheggio	g_{str}	43,9	kN/m²	ricostruito dalla sezione tipo; tab.80

Tabella 63 Materiali

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Permanenti sfavorevoli, combinazione A1	γ_{G1}	1,30	-	NTC 2018, tab. 6.2.I, verifica strutturale della paratia
Variabili sfavorevoli, combinazione A1	γ_Q	1,50	-	NTC 2018, tab. 6.2.I, sovraccarico in superficie

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Permanenti favorevoli, stato limite UPL (stato limite di sollevamento, stabilizzante=stb))	$\gamma_{G,stb}$	0,90	-	NTC 2018, tab. 6.2.III
Azioni instabilizzanti (sfavorevoli), stato limite UPL (stato limite di sollevamento, destabilizzante=dst)	$\gamma_{G,dst}$	1,10	-	NTC 2018, tab. 6.2.III, sottospinta idraulica
Permanenti favorevoli, combinazione A1	$\gamma_{G1, fav}$	1,00	-	NTC 2018, tab. 6.2.I, peso proprio del tampone
Coefficiente sulla resistenza dei pali in trazione	γ_R	1,25	-	NTC 2018, tab. 6.4.II, resistenza laterale in trazione (R3)
Coefficiente parziale sulla resistenza a trazione del soilcrete	γ_M	1,50	-	valore assunto
Coefficiente parziale sull'aderenza all'interfaccia tampone-diaframma	$\gamma_{R,int}$	1,50	-	valore assunto

Tabella 64 Coefficienti parziali

6.5.6 La sezione tipo e la profondità di scavo

La galleria è dimensionata a senso unico di marcia: la corsia è assunta di 3,50 m, larghezza che consente il superamento di un veicolo in avaria appoggiandosi alla banchina; la banchina pedonabile nella parte destra, di 1,00 m, riprende come buona pratica la prescrizione del D.Lgs. 264/2006 (All. 2, §2.3.1)⁵⁴ per le gallerie di nuova costruzione prive di corsia di emergenza.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Larghezza della corsia	-	3,50	m	senso unico di marcia
Banchina lato sinistro	-	0,60	m	-
Banchina pedonabile lato destro	-	1,00	m	D.Lgs. 264/2006, All. 2 §2.3.1, assunto come buona pratica
Larghezza netta fra i diaframmi	B_{gal}	5,10	m	luce del solaio e del tampone
Spessore del diaframma	s	0,60	m	dal dimensionamento della paratia
Ingombro complessivo in pianta	-	6,30	m	da confrontare con la sede stradale disponibile

Tabella 65 Composizione planimetria tipo

⁵⁴ D.Lgs. 5 ottobre 2006, n.264, *Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea*, 9 ottobre 2006

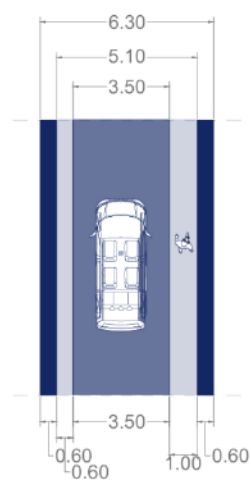


Figura 63 Planimetria tipo galleria

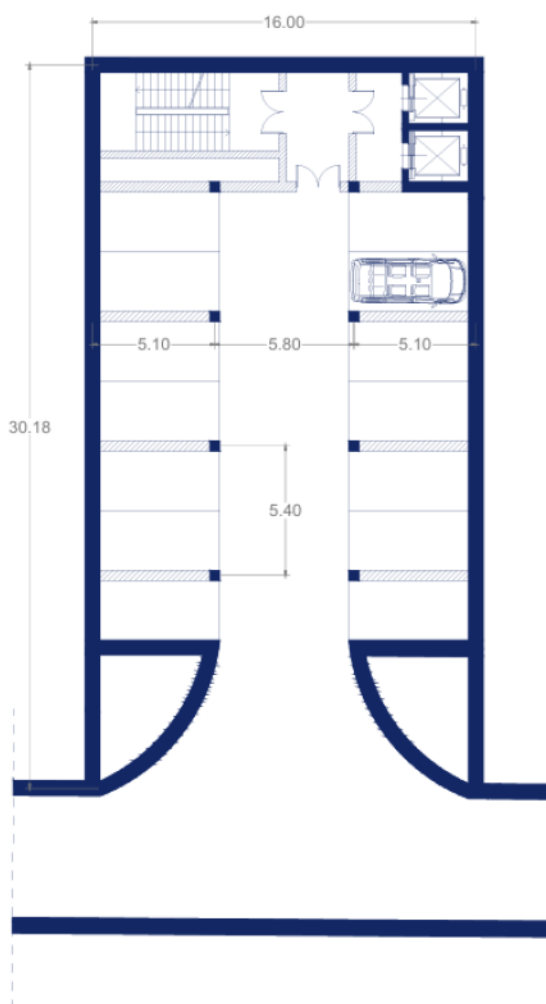


Figura 64 Planimetria parcheggio

In verticale la sezione è governata dall'altezza libera sulla carreggiata. Il D.M. 5/11/2001⁵⁵ (§4.1.2, pag. 41), la fissa in galleria a 4,80 m, elevandola a 5,00 m in presenza di intradosso piano, come nella galleria artificiale, o di apparecchi sospesi: è il caso presente, e i 5,00 m sono assunti come minimo inderogabile.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Ricoprimento sopra il solaio	-	0,80	m	pavimentazione e sottoservizi (considerando che ci sono parti alberate)
Rapporto luce/spessore del solaio	L/h	16	-	soletta piena carrabile: campo 14-18
Spessore del solaio di copertura	-	0,35	m	$B_{gal} / (L/h)$, arrotondato (5,1/16)
Altezza libera sulla carreggiata	-	5,00	m	D.M. 5/11/2001: 4,80 m in galleria, 5,00 m con intradosso piano
Pacchetto di pavimentazione	-	0,15	m	-
Spessore della platea di fondo	-	0,60	m	platea armata sopra il tampone
Quota del piano viabile	-	-6,15	m	riferita al piano campagna
Profondità di scavo	H	6,90	m	estradosso del tampone
Spessore jet grouting	-	3,00	m	-
Quota di infissione del diaframma nel terreno	-	3,00	m	-

Tabella 66 Composizione sezione verticale

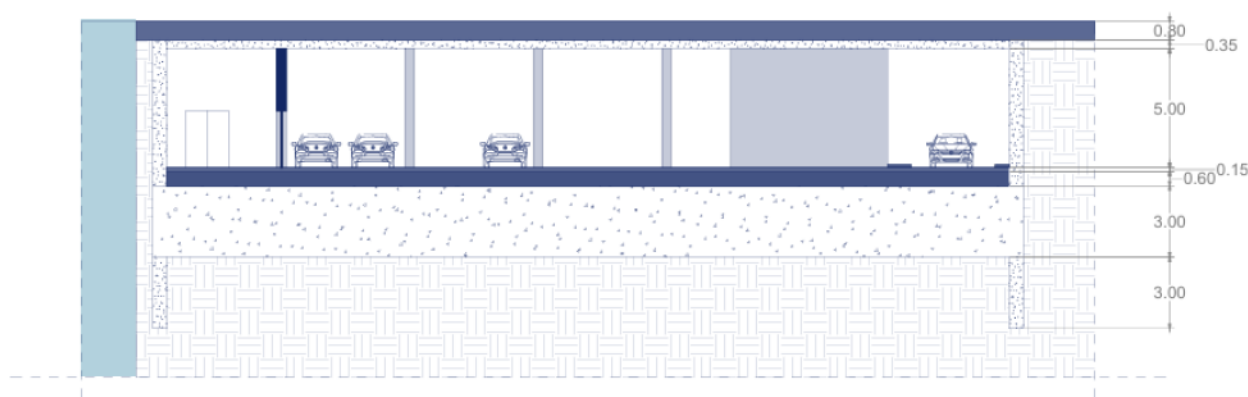


Figura 65 Sezione verticale, parcheggio e galleria

⁵⁵ D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*, [Microsoft Word - dm 11 5 01.doc](#) (ultima consultazione: 10/09/2026)

6.5.7 Il profilo longitudinale: dislivello e raggio di curvatura

Il dislivello da superare fra il piano stradale esistente e il piano viabile in galleria è di 6,15 m. I 300 m fra i due portali, fissati dal masterplan, sono interamente coperti e in piano, con la sola pendenza dello 0,5% necessaria al deflusso verso il punto di raccolta in corrispondenza dell'innesto del parcheggio. Le due rampe di accesso si sviluppano all'esterno dei portali, a cielo aperto. Il profilo longitudinale è quindi vincolato dallo spazio disponibile per le rampe lungo il lungolago e dalla lunghezza delle rampe stesse. Con la falda a piano campagna anche le rampe scavano sottofalda per quasi tutto il loro sviluppo e vanno realizzate a tenuta stagna, con diaframmi e tampone di profondità decrescente verso l'esterno (ogni metro di rampa è un metro di opera geotecnica in più).

I limiti di pendenza discendono da due fonti. Il D.M. 5/11/2001⁵⁶ (§5.3.1, pag.77) fissa la pendenza longitudinale massima in funzione del tipo di strada, con il 6% per la urbana di scorrimento, l'8% per la urbana di quartiere e il 10% per la locale. Il D.Lgs. 264/2006⁵⁷, all'Allegato 2, §2.2.2, non consente nelle gallerie nuove pendenze superiori al 5%, ammettendone il superamento soltanto dove le caratteristiche del territorio non permettano soluzioni progettuali diverse, e al §2.2.3 stabilisce che oltre il 3% siano adottate misure di sicurezza supplementari sulla base di un'analisi di rischio.

Pendenza	Sviluppo di una rampa	Ingombro complessivo	Trincea a tenuta, due rampe	Fonte /nota
5%	138 m	576 m	276 m	limite del D.Lgs. 264/2006 in galleria, §2.2.2
6%	120,5 m	541 m	241 m	limite del D.M. 5/11/2001 per il tipo D, §5.3.1
8%	101 m	502 m	202 m	limite del D.M. 5/11/2001 per il tipo E, §5.3.1
10%	91,5 m	483 m	183 m	limite del D.M. 5/11/2001 per il tipo F, §5.3.1, pendenza adottata

Tabella 67 Sviluppo delle rampe e ingombro complessivo al variare della pendenza

Il raggio minimo in planimetria discende dal confronto di due criteri, dei quali vale il più restrittivo: il criterio dinamico impone che la forza centrifuga sia equilibrata dalla pendenza trasversale e dall'aderenza; il criterio della visibilità impone che la visuale libera sul lato interno della curva non sia inferiore alla distanza necessaria all'arresto. Dai valori riportati nelle due tabelle a seguire, si deduce che il criterio dimensionante che prevale è quello della visibilità,

⁵⁶ D.M. 5 novembre 2001, §5.3.1, pag.77

⁵⁷ D.Lgs. 264/2006, §2.2.2

con un raggio R di 31,25 m. Il progetto prevede tuttavia un raggio adottato di 50 metri, valore ampiamente verificato.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Velocità di progetto	V	25	km/h	Strada urbana locale di tipo F, intervallo 25-60 km/h, limiti del D.M. 5/11/2001, tab 3.4.a, pag. 21
Pendenza trasversale in curva	q	0,05	-	D.M. 5/11/2001, § 5.2.4, pag.60
Coefficiente di aderenza trasversale	f _t	0,22	-	D.M. 5/11/2001, § 5.2.4, pag.60
Raggio minimo dinamico	R	18	m	$V^2 / [127 \cdot (q + f_t)]$, D.M. 5/11/2001, § 5.2.4, pag.59 (formula inversa)

Tabella 68 Raggio minimo in planimetria, criterio dinamico

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Velocità di progetto	V	25	km/h	Strada urbana locale di tipo F, intervallo 25-60 km/h, limiti del D.M. 5/11/2001, tab 3.4.a, pag. 21
Distanza di visibilità per l'arresto	D	25	m	D.M. 5/11/2001, § 5.1.2, pag.53
Distanza asse traiettoria-parete opaca	M	2,50	m	-
Raggio minimo per visibilità	R	31,25	m	$D^2 / (8 \cdot M)$, (geometria)

Tabella 69 Raggio minimo in planimetria, criterio della visibilità

6.5.8 I diaframmi perimetrali

I diaframmi sono verificati come trave semplicemente appoggiata di luce pari alla profondità di scavo, vincolata in testa dal solaio di copertura e al piede dal tampone di fondo. La luce è assunta cautelativamente pari all'intera profondità di scavo, 6,90 m, sebbene il vincolo di testa si trovi alla quota del solaio, circa 1,0 m sotto il piano campagna, e la luce effettiva sia dell'ordine di 5,9 m: la semplificazione sovrastima il momento e va nel senso della sicurezza.

La distribuzione delle pressioni orizzontali è di forma trapezoidale. Alla quota del piano campagna agisce la sola aliquota dovuta al sovraccarico stradale, mentre a fondo scavo si sommano la pressione idrostatica, che a falda superficiale rappresenta il contributo prevalente, e la spinta efficace del terreno.

Il coefficiente di spinta è assunto pari a quello a riposo, $K_0 = 1 - \sin\phi' = 0,50$, e non a quello attivo. La spinta attiva presuppone infatti una rotazione della paratia sufficiente a mobilitarla, rotazione che in contesto urbano con edifici prossimi allo scavo non può essere consentita: la paratia è vincolata in testa e al piede e si comporta come elemento rigido.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Profondità di scavo dal piano campagna	H	6,90	m	ricavata dalla composizione della sezione tipo
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	0,50	—	$1 - \sin\phi'$, con $\phi' = 30^\circ$, $1 - \sin\phi'$: paratia rigida vincolata in testa e al piede; Renato Lancellotta, Geotecnica, Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012, pag. 375, formula 8.27 con $\delta = 0$
Sovraccarico in superficie	q	20	kPa	traffico pesante o mezzi d'opera
Pressione a quota zero	p_0	10	kPa	$K_0 \cdot q$
Pressione idrostatica a fondo scavo	p_w	69	kPa	$\gamma_w \cdot H$
Spinta efficace del terreno a fondo scavo	p'_a	34,5	kPa	$K_0 \cdot \gamma' \cdot H$
Pressione totale a fondo scavo	p_H	113,5	kPa	somma dei contributi

Tabella 70 Pressioni orizzontali sul diaframma

Il momento flettente è determinato integrando esattamente il carico trapezoidale restituendo un valore di 374,4 kNm/m. Il procedimento consiste nel ricavare la reazione in testa per equilibrio alla rotazione, individuare l'ascissa di taglio nullo, che per un carico crescente verso il basso non cade in mezzzeria, e calcolare in quel punto il momento massimo.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Carico in testa	q_1	10,0	kPa	$K_0 \cdot q$, pressione a quota zero
Carico al piede	q_2	113,5	kPa	$(p_w + p'_a) + q_1$, pressione a fondo scavo
Incremento del trapezio	Δq	103,5	kPa	$q_2 - q_1$
Carico medio equivalente	q_{med}	61,75	kPa	$(q_1 + q_2) / 2$
Momento con carico medio	M	367,5	kNm/m	$q_{med} \cdot H^2 / 8$ — metodo semplificato
Reazione in testa	R_A	153,5	kN/m	$q_1 \cdot H/2 + \Delta q \cdot H/6$
Ascissa di taglio nullo	x	3,91	m	misurata dalla testa; non cade in mezzzeria
Momento esatto del trapezio	M	374,4	kNm/m	$R_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - \Delta q \cdot x^3/(6H)$

Tabella 71 Momento flettente

Le componenti sono amplificate separatamente secondo i coefficienti parziali della combinazione A1 delle NTC 2018, con $\gamma_{G1} = 1,3$ (sfavorevole) sulle azioni permanenti e γ_Q

= 1,5 (sfavorevole) sul sovraccarico, e la formula esatta è riapplicata alle pressioni di progetto ottenendo un valore di 498,4 kNm/m.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Carico in testa di progetto	$q_{1,d}$	15,0	kPa	$\gamma_Q \cdot K_0 \cdot q$, con $\gamma_Q = 1,5$
Carico al piede di progetto	$q_{2,d}$	149,55	kPa	$\gamma_{G1} \cdot (p_w + p'_a) + q_{1,d}$, con $\gamma_{G1} = 1,3$
Incremento del trapezio	Δq_d	134,55	kPa	$q_{2,d} - q_{1,d}$
Reazione in testa	$R_{A,d}$	206,5	kN/m	$q_{1,d} \cdot H/2 + \Delta q_d \cdot H/6$
Ascissa di taglio nullo	x_d	3,90	m	ricalcolata sulle pressioni di progetto
Momento di progetto	M_{Ed}	498,4	kNm/m	$R_{A,d} \cdot x_d - q_{1,d} \cdot x_d^2/2 - \Delta q_d \cdot x_d^3/(6H)$

Tabella 72 Momento di progetto con i coefficienti parziali (NTC 2018, combinazione A1)

Lo spessore teorico di 45,5 cm condurrebbe, fra le misure di benna commercialmente disponibili (40, 50, 60, 80, 100 e 120 cm), alla scelta dei 50 cm. Si adottano 60 cm, per tre ragioni che il calcolo a flessione non considera: il momento maggiore che si sviluppa nelle fasi provvisorie, prima che il solaio di copertura vincoli la testa della paratia; il controllo delle deformazioni per uno scavo prossimo agli edifici del lungolago; le tolleranze di verticalità su una perforazione di oltre dodici metri e l'alloggiamento della gabbia di armatura e del tubo getto.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Momento di progetto	M_{Ed}	498,4	kNm/m	dalla tabella precedente
Resistenza di progetto del calcestruzzo	f_{cd}	14,17	MPa	C25/30, $\alpha_{cc} = 0,85$, $\gamma_c = 1,5$, $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$. NTC 2018 §4.1.2.1.1.1, formula 4.1.3
Momento ridotto	μ	0,25	-	$M / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$
Altezza utile richiesta	d	37,5	cm	$\sqrt{(M_{Ed} / (b \cdot f_{cd} \cdot \mu))}$
Copriferro e mezzo diametro	c	8	cm	getto contro terreno in ambiente umido
Spessore teorico	h	45,5	cm	$d + c$
Spessore adottato	-	60	cm	misura di benna commerciale

Tabella 73 Spessore diaframma

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Profondità di scavo	H	6,90	m	-
Spessore del tampone attraversato	t	3,00	m	-
Ammorsamento sotto il tampone	m	3,00	m	prolungamento nel terreno
Lunghezza totale	L_tot	12,90	m	$H + t + m$
Infissione sotto fondo scavo	D	6,00	m	$t + m$
Rapporto D/H	-	0,87	-	usuale 0,5–0,8

Tabella 74 Altezza diaframma

6.5.9 I tamponi di fondo

Il tampone è verificato su una striscia di larghezza unitaria, separatamente per la galleria e per il parcheggio: le due opere condividono profondità di scavo, spessore del tampone e materiali, e differiscono per la sola larghezza dello scavo, dalla quale discendono esiti opposti. La sollecitazione che impegna il tampone è la differenza fra la pressione idrostatica agente sul suo intradosso e il peso proprio del soilcrete: è questa pressione netta, diretta verso l'alto, che il tampone deve equilibrare.

Le due componenti sono amplificate separatamente: la sottospinta idraulica (u) è sfavorevole e si moltiplica per 1,3, il peso proprio del tampone è favorevole e si assume con coefficiente unitario.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Profondità di scavo	H	6,90	m	-
Spessore del tampone	t	3,00	m	variabile di progetto
Pressione idrostatica alla base	u	99	kPa	$\gamma_w \cdot (H + t)$, falda a piano campagna
Peso proprio del tampone	W	60	kPa	$\gamma_{jg} \cdot t$
Pressione netta caratteristica	p_net	39	kPa	$u - W$, condizione di fase provvisoria
Pressione netta di progetto	p_net,d	68,7	kPa	$\gamma_{G1} \cdot u - \gamma_{G1,fav} \cdot W = 1,3 \cdot 99 - 1,0 \cdot 60$

Tabella 75 Pressione netta sull'intradosso del tampone della galleria e del parcheggio

6.5.10 Il tampone di fondo della galleria

La verifica a flessione assume lo schema di trave appoggiata, cautelativo rispetto a quello incastrato. Nella galleria i vincoli sono i soli diaframmi perimetrali, e la luce risulta pari all'intera larghezza netta dello scavo, 5,10 m. Non sono previsti ancoraggi di fondo.

La resistenza di progetto a trazione del soilcrete si ottiene riducendo il valore presunto (500 kPa) mediante il coefficiente parziale assunto: $f_{t,d} = 500 / 1,50 = 333,3$ kPa. La verifica è soddisfatta quando la tensione di progetto non supera tale valore, ossia quando l'utilizzo non eccede l'unità.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Luce di flessione	L	5,10	m	larghezza netta fra i diaframmi; nessun ancoraggio
Pressione netta di progetto	$p_{net,d}$	68,7	kPa	dalla tabella precedente
Momento di progetto	M_{Ed}	223,4	kNm/m	$p_{net,d} \cdot L^2 / 8$
Tensione di trazione di progetto	$\sigma_{t,Ed}$	148,9	kPa	$6 \cdot M_{Ed} / t^2$, trazione al lembo superiore
Resistenza di progetto a trazione	$f_{t,d}$	333,3	kPa	$f_{t,jg} / \gamma_M$, NTC 2018, §4.1.2.1.1.2, formula 4.1.4
Utilizzo	-	0,45	-	$1 \geq \sigma_{t,Ed} / f_{t,d}$, verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Tabella 76 Verifica a flessione del tampone della galleria

La seconda verifica riguarda lo sfilamento del tampone all'interfaccia con i diaframmi. La spinta netta agente sulla larghezza di competenza deve essere equilibrata dall'adesione che si sviluppa lungo il contatto fra soilcrete e calcestruzzo, sull'altezza pari allo spessore del tampone. Nella galleria la spinta sull'intera larghezza si ripartisce sulle due interfacce disponibili.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Adesione unitaria caratteristica	τ_{sk}	120	kPa	Valore assunto
Spinta di progetto	$F_{up,d}$	350,4	kN/m	$p_{net,d} \cdot \text{larghezza di competenza}$, 5,10 m
Resistenza caratteristica, due interfacce	R_k	720	kN/m	$n \cdot \tau_{sk} \cdot t$, con $n = 2$
Resistenza di progetto	R_d	480	kN/m	$R_k / \gamma_{R,int}$
Utilizzo	-	0,73	-	$1 \geq F_{up,d} / R_d$, verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Tabella 77 Verifica allo sfilamento all'interfaccia, galleria

6.5.11 Il tampone di fondo del parcheggio

Il parcheggio condivide con la galleria profondità di scavo, spessore del tampone e materiali: la pressione netta sull'intradosso è pertanto la stessa, 39 kPa in valore caratteristico e 68,7 kPa

in valore di progetto. Muta la sola larghezza dello scavo, che passa da 5,10 a 16,00 m, e con essa l'esito della verifica a flessione.

Assumendo, come per la galleria, che i vincoli siano i soli diaframmi perimetrali, la luce coincide con il lato corto della scatola. La tensione di progetto raggiunge in tal caso 1.465,6 kPa contro una resistenza di progetto di 333,3 kPa: il tampone del parcheggio non regge per sola flessione, con un utilizzo di 4,40. Gli ancoraggi di fondo non costituiscono dunque un'opzione migliorativa, bensì un elemento necessario.

Ove il fondo sia ancorato mediante micropali eseguiti prima dello scavo e raggruppati in corrispondenza dei pilastri, i nodi di ancoraggio si aggiungono ai diaframmi come vincoli, e la luce si riduce all'interasse fra i nodi, che vale al massimo la campata centrale della maglia, 5,80 m. L'utilizzo scende allora a 0,58, valore prossimo a quello della galleria, il che è coerente: le due luci sono quasi uguali.

Configurazione	Luce	M _{Ed}	$\sigma_{t,Ed}$	Utilizzo	Esito
Senza ancoraggi	16,00 m	2.198,4 kNm/m	1.465,6 kPa	4,40	non verificato
Con ancoraggi sui nodi	5,80 m	288,9 kNm/m	192,6 kPa	0,58	verificato

Tabella 78 Verifica a flessione del tampone del parcheggio: confronto tra le configurazioni con e senza ancoraggi

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Interfacce contribuenti	n	1	-	striscia di bordo: il solo diaframma perimetrale
Larghezza di competenza	L _{comp}	2,55	m	metà campata fino alla prima fila di ancoraggi
Spinta di progetto	F _{up,d}	175,2	kN/m	$p_{net,d} \cdot L_{comp}$
Resistenza caratteristica	R _k	360	kN/m	$n \cdot \tau_{sk} \cdot t$
Resistenza di progetto	R _d	240	kN/m	$R_k / \gamma_{R,int}$
Utilizzo	-	0,73	-	Verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Tabella 79 Verifica allo sfilamento all'interfaccia tappo-diaframma del parcheggio

6.5.12 Verifiche a Sollevamento galleria e parcheggio

Le verifiche precedenti riguardano il comportamento locale del tampone. Esiste tuttavia una condizione di equilibrio globale che le sovraordina: l'intera scatola, resa impermeabile e immersa nella falda, è soggetta a una sottospinta idraulica che tende a sollevarla. È questa verifica, condotta allo stato limite di sollevamento UPL secondo le NTC 2018 §6.2.4.2, a governare realmente il dimensionamento del tampone.

Nella condizione di esercizio concorre al peso stabilizzante anche la struttura definitiva del parcheggio. Il suo peso permanente per unità di superficie è ricostruito dalla sezione tipo, assumendo per il parcheggio lo stesso ricoprimento della galleria.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Platea di fondo	-	15,0	kN/m ²	0,60 m · 25 kN/m ³
Pavimentazione	-	3,45	kN/m ²	0,15 m · 23 kN/m ³ (conglomerato bituminoso)
Solaio di copertura	-	8,75	kN/m ²	0,35 m · 25 kN/m ³
Ricoprimento sopra il solaio	-	16,0	kN/m ²	0,80 m · 20 kN/m ³ , terreno saturo con falda a piano campagna
Pilastri, ragguagliati all'area di influenza	-	0,71	kN/m ²	0,40 · 0,40 m · 5,15 m · 25 kN/m ³ / 29,07 m
Peso permanente della struttura	g_str	43,9	kN/m ²	somma dei contributi

Tabella 80 Peso permanente della struttura in esercizio

L'esito è nettamente differenziato. La galleria, per la larghezza contenuta della sezione, dispone di un rapporto fra peso dei diaframmi e superficie soggetta a sottospinta sufficiente a garantire l'equilibrio, con un margine del 12%. Il parcheggio, di 16,00 per 32,00 m, non vi riesce in fase provvisoria: il peso proprio della scatola porta il rapporto a 0,80. A struttura completata il peso permanente riporta il rapporto a 1,16 e la scatola torna autostabile: è dunque la fase di scavo a governare, ed è essa a richiedere gli ancoraggi. La via percorribile è dunque quella degli ancoraggi del fondo in relazione alla fase provvisoria del parcheggio, come spiegato nel paragrafo successivo.

Grandezza	Parcheggio, provvisoria	Parcheggio, esercizio	Galleria, per metro, provvisoria
Area in pianta	512 m ²	512 m ²	5,10 m ² /m
Sottospinta unitaria	99 kPa	99 kPa	99 kPa
Sottospinta totale (U)	50.688 kN (512 · 99)	50.688 kN (512 · 99)	504,9 kN/m (5,1 · 99)
Peso del tampone	30.720 kN (512 · 3 · 20)	30.720 kN (512 · 3 · 20)	-
Peso dei diaframmi	18.576 kN (96 · 0,6 · 12,9 · 25), con 96 perimetro, 0,6 spessore, 12,9 lunghezza)	18.576 kN (96 · 0,6 · 12,9 · 25), con 96 perimetro, 0,6 spessore, 12,9 lunghezza)	-
Peso della struttura	-	22.481 kN (43,9 · 512)	-

Grandezza	Parcheggio, provvisoria	Parcheggio, esercizio	Galleria, per metro, provvisoria
Peso stabilizzante totale (W)	49.296 kN	71.777 kN	693 kN/m ($5,1 \cdot 3 + 2 \cdot (0,6 \cdot 12,9 \times 25)$)
Rapporto $\gamma_{G, \text{stb}} \cdot W / \gamma_{G, \text{dst}} \cdot U \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4, con $\gamma_{G, \text{stb}} = 0,9$ e $\gamma_{G, \text{dst}} = 1,1$ (6.2.III)	0,80	1,16	1,12
Esito	non verificato	verificato	verificato

Tabella 81 Verifica al sollevamento allo stato limite UPL, NTC 2018

6.5.13 Gli ancoraggi di fondo per il parcheggio

Gli ancoraggi sono realizzati mediante micropali eseguiti dal piano campagna prima dello scavo, attraverso lo spessore del tampone e ammorsati nel terreno sottostante, raggruppati in corrispondenza dei nodi dei pilastri. La sequenza esecutiva non è indifferente: proprio perché i micropali preesistono allo scavo, essi costituiscono vincoli per il tampone fin dalla fase provvisoria, ed è questa la circostanza che riduce la luce dal valore della larghezza dello scavo a quello dell'interasse dei nodi.

Il dimensionamento è condotto sul nodo più sollecitato, corrispondente al pilastro centrale, e nella condizione di fase provvisoria, nella quale la struttura definitiva non esiste e il peso stabilizzante è quello del solo tampone.

La verifica è condotta nel formato dello stato limite di sollevamento UPL delle NTC 2018 (§6.2.4.2), coerente con quello del paragrafo precedente: l'azione instabilizzante è la risultante delle pressioni idrauliche sull'intradosso del tampone, amplificata con $\gamma_{G, \text{dst}} = 1,1$ (NTC 2018, tab. 6.2.III); il peso del tampone e quello della struttura sono azioni stabilizzanti, ridotte con $\gamma_{G, \text{stb}} = 0,9$ (NTC 2018, tab. 6.2.III); la resistenza dei micropali è un valore caratteristico, da dedurre dalla relazione geotecnica, ridotto con il coefficiente $\gamma_R = 1,25$ (NTC 2018, tab. 6.4.II) per i pali in trazione.

La resistenza caratteristica del singolo palo pari a 350 kN è assunta in via prudenziale: ipotizzando una perforazione di Ø220 mm con bulbo di 6 m (valori a cui corrisponde una superficie a contatto 4,147 m²), si ottiene un'adesione unitaria malta terreno di circa 84,4 kPa (350/4,147), inferiore ai campi riportati in letteratura per micropali in terreni granulari⁵⁸

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Area di influenza del nodo	A	29,07	m ²	$(5,10/2 + 5,80/2) \cdot 32/6$
Sottospinta idraulica sull'area	U	2.877,6	kN	$u \cdot A$, con $u = 99$ kPa
Peso del tampone sull'area	W _t	1.744,0	kN	$\gamma_{jg} \cdot t \cdot A$

⁵⁸ FHWA, *Micropile Design and Construction. Reference Manual*, Washington D.C. 2005, tab. 5-3

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Fonte /nota
Peso della struttura in esercizio	W_s	1.276,3	kN	$g_{str} \cdot A$, con $g_{str} = 43,9$ kN/m ²
Tiro di progetto in fase provvisoria	T	1.595,8	kN	$\gamma_{G,dst} \cdot U - \gamma_{G,stb} \cdot W_t$: condizione dimensionante
Tiro di progetto in esercizio	T	447,1	kN	$\gamma_{G,dst} \cdot U - \gamma_{G,stb} \cdot (W_t + W_s)$
Resistenza caratteristica del singolo micropalo	R_k	350	kN	Valore assunto
Coefficiente parziale sulla resistenza	γ_R	1,25	-	NTC 2018, tab. 6.4.II, pali, resistenza laterale in trazione
Resistenza di progetto	R_d	280	kN	R_k / γ_R
Micropali necessari per nodo, fase provvisoria	-	6	-	$1.595,8 / 280 = 5,7$, arrotondato per eccesso
Micropali necessari per nodo, esercizio	-	2	-	$447,1 / 280 = 1,6$, per confronto

Tabella 82 Dimensionamento degli ancoraggi sul nodo più sollecitato

6.5.14 Quadro riassuntivo e limiti del pre-dimensionamento

Verifica	Valore	Richiesto	Esito	Riferimento
Diaframma	h teorico 45,5 cm	$45,5 \text{ cm} \leq 60 \text{ cm}$ (adottato)	verificata	h = 60 cm adottato; teorico 45,5 cm
Flessione del tampone, galleria	utilizzo 0,45	≤ 1	verificata	luce 5,10 m, senza ancoraggi, $1 \geq \sigma_{t,Ed} / f_{t,d}$, verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sfilamento all'interfaccia, galleria	utilizzo 0,73	≤ 1	verificata	due interfacce, larghezza 5,10 m, $1 \geq F_{up,d} / R_d$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Flessione del tampone, parcheggio, senza ancoraggi	utilizzo 4,40	≤ 1	non verificata	luce 16,00 m: richiede ancoraggi, $1 \geq \sigma_{t,Ed} / f_{t,d}$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Verifica	Valore	Richiesto	Esito	Riferimento
Flessione del tampone, parcheggio, con ancoraggi	utilizzo 0,58	≤ 1	verificata	luce 5,80 m, nodi di ancoraggio, richiede ancoraggi, $1 \geq \sigma_{t,Ed} / f_{t,d}$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sfilamento all'interfaccia, parcheggio	utilizzo 0,73	≤ 1	verificata	una interfaccia, competenza 2,55 m, $1 \geq F_{up,d} / R_d$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sollevamento, galleria, fase provvisoria	1,12	$\geq 1,00$	verificata	Fase provvisoria già soddisfa, $\gamma_{G,stab} \cdot W / \gamma_{G,dst} \cdot U \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4
Sollevamento, parcheggio, fase provvisoria	0,80	$\geq 1,00$	non verificata	condizione dimensionante: richiede ancoraggi, $\gamma_{G,stab} \cdot W / \gamma_{G,dst} \cdot U \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4
Sollevamento, parcheggio, esercizio	1,16	$\geq 1,00$	verificata	col peso permanente della struttura, $\gamma_{G,stab} \cdot W / \gamma_{G,dst} \cdot U \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4
Ancoraggi di fondo, fase provvisoria	6 micropali per nodo	$T = 1.596 \text{ kN}$	verificata	$R_d = 280 \text{ kN}$ per micropalo
Ancoraggi di fondo, esercizio	2 micropali per nodo	$T = 447 \text{ kN}$	verificata	non dimensionante
Flessione del tampone, galleria	utilizzo 0,45	≤ 1	verificata	luce 5,10 m, senza ancoraggi, $1 \geq \sigma_{t,Ed} / f_{t,d}$, verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Tabella 83 Sintesi delle verifiche

Il quadro restituisce una conclusione univoca: la galleria, per la larghezza contenuta della sezione, si comporta come una scatola autostabile, mentre il parcheggio richiede l'ancoraggio del fondo nella fase di scavo, tornando autostabile a struttura completata. La verifica al sollevamento, e non quella a flessione del tampone, è la condizione che governa il dimensionamento, e la fase provvisoria, e non quella di esercizio, è la condizione che governa gli ancoraggi.

7. La struttura della tribuna in c.a. prefabbricato: predimensionamento

7.1 Introduzione

La struttura che sostiene le gradinate è costituita da una successione di telai trasversali in calcestruzzo armato prefabbricato, disposti a passo costante lungo il fronte. Ciascun telaio si compone di quattro pilastri di altezza crescente verso il retro e di una trave a ginocchio, o raker, che ne collega le teste seguendo l'inclinazione del profilo delle gradinate. Sul raker si appoggiano i gradoni prefabbricati a sezione a L, che coprono in direzione longitudinale la distanza fra due telai consecutivi.

L'andamento geometrico di tale struttura non nasce da una scelta autonoma: esso discende dal profilo delle gradinate determinato al §6.4 mediante la verifica del valore C. Il profilo fissa la profondità in pianta, l'inclinazione e le quote, e la struttura si limita a materializzarlo. Il presente paragrafo ne documenta il predimensionamento, condotto per regole pratiche e verifiche di prima approssimazione, i cui esiti sono successivamente confrontati con i risultati del modello agli elementi finiti. Si specifica inoltre che il seguente capitolo riguarda le tribune Ovest ed Est in quanto la Nord e la Sud presentano geometrie differenti in relazione a lunghezza e profondità.

7.2 Geometria e maglia dei telai

Lo sviluppo del fronte e la profondità in pianta sono dati del profilo delle gradinate. L'unico parametro realmente libero è l'interasse dei telai, che coincide con la luce dei gradoni: da esso dipendono il numero di telai, il peso e la producibilità degli elementi prefabbricati, e in ultima analisi il costo della struttura.

L'interasse di 7,70 m colloca la luce dei gradoni nell'intervallo che la letteratura tecnica indica come corrente per gli elementi a L delle tribune, compreso fra sette e otto metri. Va tuttavia precisato che i cataloghi dei produttori italiani riferiscono tale intervallo a elementi realizzati su misura: i prodotti standard in calcestruzzo armato ordinario, con spessore dell'alzata di 10 cm, sono dichiarati idonei a luci non superiori a sei metri, e per luci maggiori si prescrive lo spessore di 13 cm⁵⁹. Il gradone qui adottato è pertanto assunto in calcestruzzo armato precompresso, condizione che consente di mantenere lo spessore di 10 cm su una luce di 7,70 m. L'elemento non costituisce dunque un prodotto di catalogo, ma un manufatto progettato per l'opera, la cui verifica compete al produttore in sede di progetto esecutivo di produzione.

La scelta di un interasse di 7,70 m risponde inoltre a un'esigenza di coerenza fra le due strutture sovrapposte. L'interasse dei costoloni della copertura, pari a 3,85 m, ne costituisce esattamente la metà: ogni telaio riceve pertanto la spinta di due costoloni, e la modularità delle due orditure si mantiene allineata pur essendo i passi differenti, come richiesto dalle diverse esigenze del calcestruzzo prefabbricato e del legno lamellare.

⁵⁹ Cfr. SB Prefabbricati, *Tribune*, [Tribune - SB Prefabbricati](#) (ultima consultazione 10/08/2026)

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sviluppo del fronte	L	84,70	m	planimetria strutturale, tribune Est e Ovest
Profondità in pianta (sedime)	B	24,00	m	dal profilo delle gradinate
Interasse dei telai	i	7,70	m	coincide con la luce dei gradoni
Numero di campate	-	11	-	L / i
Numero di telai	-	12	-	campate + 1
Luce dei gradoni (longitudinale)	l_g	7,70	m	pari all'interasse dei telai
Altezza dell'elemento a L	h_g	0,50	m	pari all'alzata del blocco più alto
Rapporto altezza / luce del gradone	h_g / l_g	1/15	-	snellezza dell'elemento prefabbricato

Tabella 84 Maglia strutturale della tribuna

7.3 Raker: la trave a ginocchio

La trave a ginocchio è l'elemento che dà forma alla tribuna: essa segue in sezione il profilo spezzato delle gradinate e ne trasferisce i carichi ai pilastri. Il numero di pilastri per telaio determina il numero di luci in cui la trave è suddivisa e, di conseguenza, la sua altezza. Con quattro pilastri la profondità in pianta si ripartisce in tre luci uguali.

L'altezza è stata assunta pari a 0,75 m, prossima all'estremo superiore dell'intervallo di pre-dimensionamento. La scelta è motivata dalla natura prefabbricata dell'elemento, che impone di contenere le deformazioni in fase di trasporto e montaggio.

La luce di 7,80 m discende dalla profondità in pianta: sottratti i due semilati dei pilastri estremi, i 24,00 m di sedime si ripartiscono in tre luci di 7,80 m. La coincidenza fra questa e l'interasse dei telai, pari a 7,70 m, è casuale ma rende la maglia sostanzialmente quadrata in pianta e semplifica la ripetizione degli elementi.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Numero di pilastri per telaio	n_p	4	-	anteriore, due intermedi, di monte
Numero di luci del raker	-	3	-	$n_p - 1$
Luce del raker fra i pilastri	l_r	7,80	m	planimetria strutturale
Altezza da regola pratica	$l_r / 11$	0,71	m	valore centrale dell'intervallo corrente
Altezza minima indicativa	$l_r / 12$	0,65	m	estremo inferiore dell'intervallo

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Altezza massima indicativa	$l_r / 10$	0,78	m	estremo superiore dell'intervallo
Altezza adottata	h_r	0,75	m	arrotondamento ai 5 cm superiori
Larghezza adottata	b_r	0,40	m	sezione $0,40 \cdot 0,75$ m

Tabella 85 Geometria trave a ginocchio

7.4 I pilastri

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Quota di calpestio dell'ultima fila	z_n	13,20	m	dal profilo delle gradinate
Altezza del pilastro anteriore	-	1,00	m	dal piano di fondazione all'asse del raker
Altezza del pilastro di monte (modello)	-	12,65	m	lunghezza dell'asta nel modello, da fondazione ad asse del raker

Tabella 86 Altezze dei pilastri

7.5 Analisi dei carichi

I carichi sono riferiti all'unità di superficie in pianta, coerentemente con la definizione dell'area di influenza impiegata nel seguito. Il permanente strutturale comprende il peso proprio dei gradoni e della trave a ginocchio, oltre alle finiture e ai seggiolini.

Il carico permanente strutturale è derivante dalla formula: $g_{gradone} = \gamma \cdot s \cdot \frac{P+A}{P} = 3,5 \text{ kN/m}^2$;
 $g_{raker} = \frac{(\gamma \cdot s \cdot h)}{L} = 1,25 \text{ kN/m}^2$.

La categoria C5 corrisponde alle aree suscettibili di grandi affollamenti, fra le quali le NTC indicano gli edifici per eventi pubblici e le tribune. Il carico di progetto somma il sovraccarico delle gradinate e quello dei locali sottostanti sulla medesima area di influenza in pianta: l'assunzione è cautelativa, poiché le due azioni gravano su piani distinti e la loro contemporaneità al valore caratteristico non è richiesta dalla normativa, ma consente di svolgere il predimensionamento su un unico parametro.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Permanente strutturale (gradoni e raker)	g	5,00	kN/m ²	valore assunto, campo corrente 4–6
Sovraccarico da folla, categoria C5	q_1	5,00	kN/m ²	NTC 2018, tab. 3.1.II
Sovraccarico delle funzioni sotto la tribuna	q_2	4,00	kN/m ²	NTC 2018, tab. 3.1.II, categoria C

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Carico di progetto allo SLU	q_d	20,00	kN/m ²	NTC 2018 §2.5.3, 1,3 g + 1,5 q_1 + 1,5 q_2

Tabella 87 Carichi assunti e carichi di progetto

7.6 Il pilastro più caricato

Il pilastro determinante è uno dei due intermedi, sul quale converge l'area di influenza più estesa: metà luce del raker da un lato e metà dall'altro, per l'intero interasse dei telai. Ne discende un'area rettangolare pari al prodotto dell'interasse per la luce.

$$A_{infl} = i \cdot l_r = 7,70 \cdot 7,80 = 60,06 \text{ m}^2$$

Il criterio adottato limita la tensione media di compressione a $0,45 f_{cd}$. Si tratta di una regola di predimensionamento e non di una verifica normativa: il coefficiente riduttivo tiene conto dell'eccentricità del carico, degli effetti del secondo ordine e della necessità di alloggiare l'armatura, che il calcolo a sola compressione centrata non considera.

La sezione adottata di $60 \cdot 60$ cm eccede sensibilmente il lato indicativo di 38,4 cm. Lo scarto non deriva da un sovradimensionamento arbitrario, bensì da tre circostanze che il pre-dimensionamento non contempla. La prima è la flessione: il pilastro di monte riceve dai ritegni della copertura una spinta orizzontale che il calcolo a sola compressione ignora. La seconda è la tecnologia prefabbricata, che richiede sezioni tali da ospitare i dispositivi di collegamento, gli inserti di sollevamento e le tolleranze di montaggio. La terza è la verifica sismica, che nei telai monopiano di grande altezza governa frequentemente il dimensionamento. Il modello agli elementi finiti conferma peraltro la necessità di tale sezione, restituendo alla base del pilastro più sollecitato uno sforzo normale di 1.906 kN, superiore del 58,7% a quello qui determinato: la discrepanza è discussa nel § 9.9.6

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Area di influenza in pianta	A_{infl}	60,06	m ²	$i \cdot l_r$
Sforzo normale di progetto	N_{Ed}	1.201	kN	$q_d \cdot A_{infl}$
Classe di calcestruzzo	-	C32/40	-	prefabbricato
Resistenza di progetto	f_{cd}	18,13	N/mm ²	NTC 2018 §4.1.2.1.1, $0,85 f_{ck} / 1,5$
Area di calcestruzzo richiesta	A_c	1.472	cm ²	$\approx N_{Ed} / (0,45 f_{cd})$
Lato del pilastro quadrato indicativo	-	38,4	cm	$\sqrt{A_c}$
Sezione adottata	-	$60 \cdot 60$	cm	planimetria strutturale

Tabella 88 Pre-dimensionamento del pilastro più caricato

7.7 Osservazioni conclusive

Il predimensionamento restituisce una maglia di dodici telai a passo 7,70 m, con travi a ginocchio di sezione $0,40 \cdot 0,75$ m su tre luci di 7,80 m e pilastri di sezione $60 \cdot 60$ cm. Tali dimensioni costituiscono l'ipotesi di partenza del modello di calcolo e sono da esso confermate.

Si precisa che il presente predimensionamento ha carattere di prima approssimazione. Esso non comprende il progetto delle sezioni in calcestruzzo armato secondo l'Eurocodice 2, con determinazione delle armature e verifica degli effetti del secondo ordine; non comprende la verifica dei gradoni prefabbricati, demandata al progetto esecutivo di produzione; non comprende l'analisi sismica, che per una struttura prefabbricata richiede specifica attenzione ai collegamenti fra gli elementi; e non comprende la verifica di stabilità in direzione longitudinale.

8. Il sistema di copertura: dalla mensola alla fondazione

8.1 Introduzione

Le coperture delle tribune Nord, Ovest ed Est, hanno il medesimo impianto strutturale e formale. La tribuna Sud invece, in funzione di un adeguamento del mantenimento della struttura esistente, presenta una geometria diversa, seppur derivante dalle altre 3. In premessa si afferma che si analizzerà col calcolo strutturale esclusivamente lo sbalzo massimo di 24,1 metri delle coperture corrispondenti alle tribune Ovest ed Est. La tribuna Nord presenta uno sbalzo di 22,5 metri, la tribuna Sud presenta uno sbalzo di 16 metri.

8.2 Concept architettonico e strutturale: costoloni inflessi rastremati

La geometria del costolone rappresentata nella figura seguente è al contempo sia derivante da un approccio puramente architettonico, e quindi quello di mediare l'interno e l'esterno (facciata) dello stadio attraverso una continuità visiva e dunque affermare la scansione ritmica dei costoloni sia all'interno che all'esterno, sia derivante dalla Scienza delle costruzioni. Con quest'ultima affermazione si intende che il materiale è posto in corrispondenza delle zone più sollecitate del costolone stesso: in copertura, la rastremazione avviene verso l'interno della tribuna passando da un'altezza di 2,1 metri alla radice a 0,70 metri alla punta, dove il momento flettente risulta minimo. In facciata si segue esattamente lo stesso principio, l'estradosso del

costolone segue l'andamento del momento flettente e dunque risulta costante fino all'altezza del ritegno superiore per poi diminuire fino all'attacco a terra della cerniera.

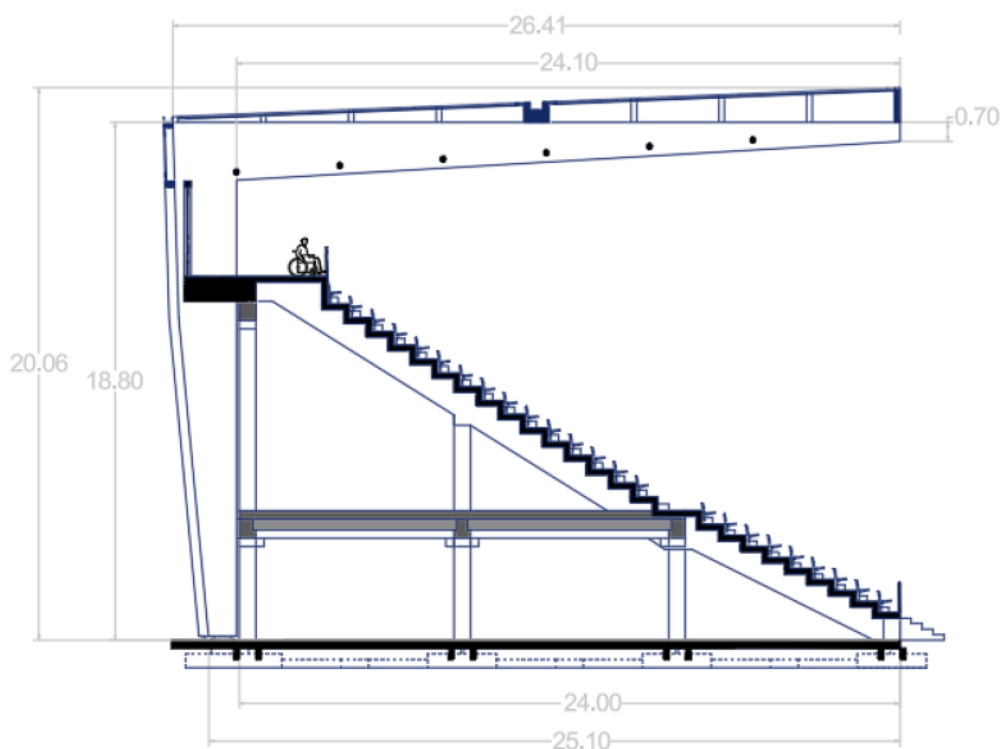


Figura 66: sezione tipo tribune Est ed Ovest

8.3 Geometria

Gli interassi dei costoloni, 3,85 metri, scandiscono un andamento più ravvicinato rispetto alla maglia di pilastri della struttura delle tribune di 7,7 metri. Ciò avviene in funzione della volontà di ridurre la sollecitazione del momento flettente agente su ogni costolone: dimezzando l'interasse, l'area di influenza del singolo costolone si dimezza e dunque il carico agente diminuisce.

I costoloni delle tribune Est ed Ovest presentano altezze di 18,8 m rispetto all'estradosso e un'altezza di 20,06 m considerando lo spessore del manto di copertura. Nella parte rastremata, in cui si passa da 2,1 m a 0,7 m, le mensole sono connesse tra di loro tramite dei profili in acciaio: questi sono i ritegni del bordo compresso contro lo svergolamento, cioè l'instabilità flesso-torsionale del costolone. Nel profilo invece verticale, vi sono delle connessioni denominate in seguito "ritegno alto" e "ritegno basso" che connettono i costoloni stessi alla struttura in calcestruzzo prefabbricato della tribuna: il momento flettente generato dallo sbalzo di 24,1 m viene trasferito a questa parte della struttura, per evitare che l'intera sollecitazione arrivi alla fondazione del costolone stesso.

8.4 Il manto della copertura

La copertura delle tribune è realizzata con manto in film ETFE monostrato, dello spessore di 0,25 mm, teso su telai perimetrali in alluminio e sostenuto da un'orditura secondaria in profili d'acciaio disposti parallelamente e perpendicolarmente ai costoloni in legno lamellare. La scelta risponde all'esigenza di massimizzare la trasmissione luminosa a beneficio della crescita del manto erboso e di contenere al minimo il carico permanente che grava sulla struttura a mensola di 24,1 m di sbalzo.

Il piano di copertura è impostato con pendenza del 5% e dislivvio verso la radice della mensola. Le acque sono raccolte in un canale di gronda arretrato e convogliate a pluviali adiacenti alle gambe dei costoloni, come mostrato nella figura di seguito.



Figura 67 Deflusso delle acque

La pendenza contenuta è assunta anche per escludere lo scivolamento del manto nevoso evitando il ricorso a dispositivi fermaneve. La neve è pertanto trattata come carico in situ, coerentemente con il coefficiente di forma unitario adottato in via cautelativa nel predimensionamento, superiore al valore $\mu_1 = 0,8$ previsto nelle NTC 2018, Tab. 3.4.II per falde di inclinazione inferiore a 30°.

Si segnala, quale limite del presente livello di approfondimento, che la documentazione tecnica di settore raccomanda per le coperture in ETFE pendenze non inferiori a 10° al fine di prevenire il ristagno di acqua e neve e la conseguente deformazione del film⁶⁰. La configurazione adottata, a pendenza inferiore, richiede in fase esecutiva la verifica del comportamento del film sotto accumulo nevoso mediante analisi non lineare specialistica a cura del fornitore del sistema, con integrazione di cavi di sostegno (opportunamente già inseriti nel progetto ogni metro circa) ed un eventuale adeguamento dello spessore del film. Il riferimento tipologico assunto è l'Allianz

⁶⁰ Architen Landrell, *ETFE Foil: A Guide to Design*, sez. "Rainwater & Drainage", [Carta ETFE: Una guida al design | Architen Landrell](#), (ultima consultazione: 10/08/2026)

Riviera di Nizza, dove un involucro ETFE monostrato è associato a una struttura di sostegno in acciaio, come mostrato nelle due figure di seguito.



Figura 68 Immagine del prototipo – Dettaglio del fissaggio visto dall'interno. Fonte: *International Journal of Structural and Construction Engineering, Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof*, (ultima consultazione 11/09/2026)



Figura 69 Immagine del prototipo – Vista dall'esterno. Fonte: *International Journal of Structural and Construction Engineering, Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof*, (ultima consultazione 11/09/2026)

8.5 Analisi dei carichi e predimensionamento strutturale del costolone

Si tratta di un predimensionamento: i valori ottenuti hanno pertanto carattere di ordine di grandezza e la conferma è demandata all'analisi completa.

8.5.1 Geometria

Riprendendo la geometria della tribuna, la copertura è costituita da costoloni in legno lamellare configurati come mensole a sbalzo di 24,1 m. La sezione è piena e rettangolare, di larghezza costante 0,40 m (pari a due blocchi di lamellare da 200 mm). L'interasse adottato è di 3,85 m, indipendente da quello dei telai in calcestruzzo pari a 7,70 m: il legno richiede passi più fitti, dell'ordine di 3-4 m, e il dimezzamento dell'interasse dei telai mantiene la corrispondenza modulare fra le due strutture.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sbalzo da coprire	L_c	24,10	m	geometria di progetto
Altezza della sezione alla radice	h_radice	2,10	m	sezione massima all'incastro
Altezza della sezione alla punta	h_punta	0,70	m	sezione minima all'estremo libero
Larghezza del costolone	b	0,40	m	due blocchi di lamellare da 200 mm
Interasse dei costoloni	i	3,85	m	indipendente dai telai in c.a. (7,70 m)

Tabella 89 Geometria della copertura

8.5.2 Materiali

Si adotta legno lamellare incollato omogeneo GL28h⁶¹, con resistenza caratteristica a flessione $f_{m,k} = 28 \text{ N/mm}^2$, resistenza a taglio $f_{v,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2$ e modulo elastico medio $E_{\text{mean}} = 12600 \text{ N/mm}^2$. Le resistenze di progetto sono determinate ai sensi del §4.4.6 delle NTC 2018 con coefficiente parziale $\gamma_M = 1,45$ e coefficiente $k_{\text{mod}} = 0,90$, corrispondente alla classe di durata del carico neve per siti a quota inferiore a 1000m. Ne derivano $f_{m,d} = 17,38 \text{ N/mm}^2$ e $f_{v,d} = 2,17 \text{ N/mm}^2$.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Resistenza caratteristica a flessione	$f_{m,k}$	28,0	N/mm ²	EN 14080
Resistenza caratteristica a taglio	$f_{v,k}$	3,5	N/mm ²	EN 14080
Modulo elastico medio	E_{mean}	12.600	N/mm ²	EN 14080
Modulo elastico 5° percentile	$E_{0,05}$	10.500	N/mm ²	EN 14080
Coefficiente parziale del materiale	γ_M	1,45	-	NTC 2018, tab. 4.4.III
Coefficiente di durata del carico	k_{mod}	0,90	-	NTC 2018, tab. 4.4.IV
Coefficiente di deformabilità viscosa	k_{def}	0,80	-	NTC 2018, tab. 4.4.V
Resistenza di progetto a flessione	$f_{m,d}$	17,38	N/mm ²	NTC 2018, §4.4.6
Resistenza di progetto a taglio	$f_{v,d}$	2,17	N/mm ²	NTC 2018, §4.4.6

Tabella 90 Materiali - caratteristiche

⁶¹ Theurl, *Legno lamellare e legno massiccio in conformità alla norma EN 14080:2013*, [merkblatt-holzindustrie-it-7-2016.pdf](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

8.5.3 Carichi e azioni sul costolone

Il carico permanente portato, comprensivo di manto e orditura secondaria, è assunto pari a $0,60 \text{ kN/m}^2$. Il carico neve è assunto pari a $1,50 \text{ kN/m}^2$, corrispondente al valore al suolo per la località, senza applicazione del coefficiente di forma: la scelta è cautelativa rispetto al valore $\mu_1=0,80$ ammesso dalle NTC 2018 per falde di inclinazione inferiore a 30° , ed è coerente con l'assetto della copertura, in cui la pendenza contenuta esclude lo scivolamento del manto nevoso.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Permanente portato (manto e orditura)	g	0,60	kN/m^2	valore assunto (campo 0,4–0,8)
Carico neve	q_n	1,50	kN/m^2	NTC 2018, §3.4, valore al suolo, $\mu = 1,0$
Peso proprio del costolone	pp	2,52	kN/m	area media $\cdot 4,5 \text{ kN/m}^3$
Permanente lineare complessivo	g_k	4,83	kN/m	$g \cdot i + \text{peso proprio}$
Neve lineare	s_k	5,78	kN/m	$q_n \cdot i$
Carico di progetto allo SLU	w_d	14,94	kN/m	NTC 2018, tab. 2.6.I ($1,3 g_k + 1,5 s_k$)

Tabella 91 Carichi e azioni sul costolone

8.5.4 Sollecitazioni alla radice

Il costolone è schematizzato come mensola incastrata alla radice e libera all'estremo, soggetta a carico uniformemente distribuito. Si tratta di uno schema isostatico e pertanto le sollecitazioni discendono dalle sole equazioni di equilibrio e non richiedono la conoscenza delle rigidità degli elementi collegati. Affinché la mensola sia in equilibrio, la sezione di radice deve infatti fornire una reazione verticale pari all'intero carico applicato e un momento pari al prodotto di tale carico per la distanza del suo baricentro.

Da tale circostanza discende una considerazione rilevante ai fini della validità del calcolo. La tribuna in calcestruzzo a cui la copertura si appoggia costituisce, al contrario, una struttura iperstatica, il cui comportamento dipende dallo schema statico adottato: la scelta di incernierare la base della gamba, la quota e il numero dei ritegni sul telaio, i rilasci di momento sono tutte assunzioni che modificano sensibilmente la distribuzione delle sollecitazioni nel telaio. Nessuna di esse influisce tuttavia sulle sollecitazioni della mensola, che appartiene alla porzione isostatica della struttura. Il confronto fra le successive configurazioni del modello agli elementi finiti conferma il dato: passando dallo schema a nodi continui a quello con i rilasci di momento, il momento alla radice del costolone rimane invariato, mentre il regime di funzionamento del raker muta radicalmente, da elemento inflesso del telaio a puntone prevalentemente compresso.

Le verifiche del costolone esposte nei paragrafi successivi risultano pertanto indipendenti dalle ipotesi di modellazione del telaio della tribuna. Il momento M_{Ed} costituisce inoltre l'azione

che il costolone trasmette integralmente alla gamba e, per suo tramite, al sistema di ritegni sul telaio in calcestruzzo, dove la sua trasmissione è invece governata dallo schema statico adottato e forma oggetto di apposita trattazione.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Momento di progetto	M_{Ed}	4.339	kNm	$M = w_d \cdot L_c^2 / 2$
Taglio di progetto	V_{Ed}	360	kN	$V = w_d \cdot L_c$

Tabella 92 Sollecitazioni alla radice

8.5.5 Verifica di resistenza

La verifica è condotta sulla sezione di radice, di dimensioni $0,40 \cdot 2,10$ m, cui corrisponde un modulo di resistenza $W = 0,294 \text{ m}^3$. Il taglio risulta ampiamente non determinante, come atteso in un elemento di grande luce. La flessione governa la resistenza.

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione (M_{Ed}/W)	14,76 N/mm ²	17,38 N/mm ²	0,85	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Taglio ($1,5 \cdot V_{Ed}/(b \cdot h)$)	0,64 N/mm ²	2,17 N/mm ²	0,30	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.9

Tabella 93 Verifica di resistenza

8.5.6 Verifica di deformazione

È questa la verifica che governa il dimensionamento dello sbalzo. La freccia è valutata in combinazione rara secondo il §2.5.3 delle NTC 2018, con carico in esercizio pari a 10,61 kN/m. La freccia calcolata a inerzia costante, riferita alla sezione di radice, vale 115 mm; essa è corretta mediante un fattore di rastremazione pari a 1,75, che tiene conto della riduzione di inerzia verso la punta, ottenendo una freccia istantanea effettiva di 202 mm. L'incremento viscoso sulla sola quota permanente, valutato ai sensi del §4.4.7, porta la freccia finale a 275 mm.

L'elemento dovrebbe essere pertanto realizzato con una controfreccia di officina di 165 mm, dimensionata sulla componente permanente della freccia finale secondo il §7.2 dell'Eurocodice 5⁶²: montato curvato verso l'alto, sotto i soli carichi permanenti il costolone assume una configurazione sostanzialmente orizzontale. La freccia netta finale residua risulta pari a 110 mm, inferiore al limite di $L/125$ pari a 193 mm previsto dal prospetto 7.2 dell'Eurocodice 5 per gli elementi a mensola.

⁶² UNI EN 1995-1-1, *Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*, Ente Italiano di Normazione, 2005

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Momento d'inerzia alla radice	I	0,309	m ⁴	$I = b \cdot h^3 / 12$
Carico in esercizio (combinazione rara)	w_SLE	10,61	kN/m	NTC 2018, §2.5.3
Freccia istantanea a sezione costante	-	115	mm	$w = q \cdot L^4 / (8 E I)$
Fattore di rastremazione	k_rastr	1,75	-	correttivo per inerzia variabile
Freccia istantanea effettiva	w_ist	202	mm	prismatica · k_rastr
Freccia finale con viscosità	w_fin	275	mm	NTC 2018, §4.4.7
Controfreccia di officina	w_c	165	mm	EC5 §7.2, su quota permanente
Freccia netta finale	w_net	110	mm	EC5 §7.2, w_fin – w_c

Tabella 94 Verifica di deformazione

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Freccia netta finale	110 mm	193 mm	0,57	VERIFICATA	EC5 prosp. 7.2

Tabella 95 Esito verifica di deformazione

8.5.7 Vento in sollevamento e ancoraggio

Il vento agente su una copertura a sbalzo produce una risultante prevalentemente diretta verso l'alto, per effetto della depressione sull'estradosso e della sovrappressione sull'intradosso. Su una struttura di peso proprio contenuto tale azione non risulta compensata dai carichi gravitazionali, e il collegamento alla struttura in calcestruzzo deve essere in grado di trattenere l'elemento anziché sostenerlo.

La verifica è condotta assumendo la configurazione più sfavorevole per l'equilibrio: il vento è amplificato con coefficiente 1,5, mentre i carichi permanenti, che in questa condizione risultano favorevoli, sono ridotti con coefficiente 0,9 secondo la tab. 2.6.I delle NTC 2018.

Assunta una depressione di 1,20 kN/m², il carico lineare netto risulta $(1,5 \cdot 1,20 \cdot 3,85) - (0,9 \cdot 4,83) = 2,58$ kN/m diretti verso l'alto, cui corrisponde alla radice = 62 kN. Il segno positivo del risultato conferma che la copertura, nella combinazione considerata, tende effettivamente a sollevarsi: il collegamento non può pertanto configurarsi come semplice appoggio, ma richiede ancoraggi di hold-down capaci di trasmettere trazione, realizzati mediante barre annegate nel getto e piastre di ripartizione sul legno.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Depressione da vento	q_w	1,20	kN/m ²	NTC 2018, §3.3.8
Carico lineare netto di sollevamento	-	2,58	kN/m	$(1,5 q_w) \cdot i - 0,9 g_k$
Reazione di sollevamento alla radice (Carico lineare netto di sollevamento x L_c)	R	62,3	kN	da trattenere con ancoraggi di hold-down

Tabella 96 Azione del vento in depressione e reazione di ancoraggio

8.5.8 Verifica di svergolamento, instabilità flessio-torsionale

Nella mensola il momento comprime il bordo inferiore del costolone, quello che si rastrema da 2,10 a 0,70 m. Il manto e la sua orditura insistono sul bordo superiore, teso, e non forniscono alcun contributo. I profili tubolari in acciaio disposti perpendicolarmente ai costoloni lungo il bordo inferiore, a interasse di 4 m, assolvono pertanto una funzione strutturale primaria di ritegno torsionale, oltre a costituire il controvento di falda della copertura.

Con tale configurazione, assumendo $E_{0,05} = 10.500 \text{ N/mm}^2$, la tensione critica (tensione di flessione in corrispondenza della quale la trave, teoricamente perfetta ed elastica, perde la configurazione piana e si instabilizza) calcolata secondo l'eq. 6.32 dell'Eurocodice 5 risulta pari a 156 N/mm^2 , cui corrisponde una snellezza relativa di 0,42 (rapporto fra resistenza del materiale e tensione critica: $\sqrt{(28/156)} = 0,42$; serve a confrontare le due soglie; se il valore è piccolo, la tensione critica è molto più alta della resistenza, quindi la trave si rompe per flessione prima di poter sbandare, e l'instabilità non è un problema; se è grande, succede il contrario e l'instabilità comanda) e quindi un coefficiente k_{crit} unitario (coefficiente che riduce la resistenza a flessione per tenere conto dell'instabilità. L'Eurocodice lo fissa pari a 1 quando la snellezza relativa non supera 0,75, cioè quando si è nel campo in cui la rottura precede lo sbandamento; sopra quella soglia k_{crit} scende progressivamente, penalizzando la resistenza): la capacità flessionale non subisce riduzione e la verifica coincide con quella condotta in piano, con utilizzo 0,85. L'interasse massimo dei ritegni compatibile con $k_{crit} = 1,00$ risulterebbe pari a 12,5 m; la spaziatura adottata di 4 m è quindi dettata dalle esigenze di controventamento, non dal requisito di stabilità. Si osserva per contro che, in assenza di ritegni, la lunghezza libera del bordo compresso sarebbe dell'ordine di 20 m e la mensola non risulterebbe verificata: la presenza dell'orditura metallica trasversale è dunque condizione necessaria al funzionamento della copertura.

Il significato pratico è questo: la verifica di instabilità, formalmente $\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$, con k_{crit} unitario si riduce alla normale verifica a flessione. Ciò non vuol dire che l'instabilità non esista, ma che i ritegni trasversali la rendono irrilevante. Ed è esattamente questa la ragione per cui i tubolari in acciaio sono strutturalmente necessari: senza di essi la lunghezza libera sarebbe di circa 20 m invece di 4, la tensione critica crollerebbe, la snellezza relativa salirebbe ben oltre 0,75 e k_{crit} scenderebbe a una frazione, rendendo la mensola non verificata.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Interasse dei ritegni del bordo compresso	l_{ef}	4,00	m	profili tubolari trasversali in acciaio
Tensione critica di svergolamento	$\sigma_{m,crit}$	156,0	N/mm ²	EC5 §6.3.3, eq. 6.32
Snellezza relativa	$\lambda_{rel,m}$	0,42	-	EC5 §6.3.3, eq. 6.30
Coefficiente di instabilità	k_{crit}	1,00	-	EC5 §6.3.3, eq. 6.34
Interasse massimo per $k_{crit} = 1,00$	$l_{ef,lim}$	12,54	m	inversione della verifica

Tabella 97 Verifica instabilità flessione-torsionale

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Svergolamento	14,76 N/mm ²	17,38 N/mm ²	0,85	VERIFICATA	EC5 §6.3.3, eq. 6.33

Tabella 98 Esito verifica di svergolamento

8.5.9 Quadro riassuntivo delle verifiche del costolone di copertura

Si precisa infine che il presente predimensionamento non include il fattore di bordo relativo alla rastremazione ($k_{m,\alpha}$) né la riduzione di inerzia conseguente alle forature di alleggerimento, la cui incidenza dovrà essere valutata in sede di verifica definitiva.

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione alla radice	14,76 N/mm ²	17,38 N/mm ²	0,85	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Taglio alla radice	0,64 N/mm ²	2,17 N/mm ²	0,30	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.9
Deformazione (freccia netta)	110 mm	193 mm	0,57	VERIFICATA	EC5 prosp. 7.2
Instabilità flessione-torsionale	14,76 N/mm ²	17,38 N/mm ²	0,85	VERIFICATA	EC5 §6.3.3

Tabella 99 Quadro riassuntivo

8.6 Pre-dimensionamento della gamba del costolone rastremata

La gamba è l'elemento in legno lamellare che prosegue il costolone al di sotto del ginocchio e ne porta le azioni al terreno. Il presente paragrafo ne documenta il dimensionamento, che è condotto per equilibrio elementare e che conduce direttamente alla definizione della sagoma adottata.

8.6.1 Geometria e azioni

La gamba ha altezza complessiva di 17,75 m dal piano di fondazione al ginocchio e larghezza costante di 0,40 m, pari a quella del costolone. Al ginocchio la sezione è continua con la radice della mensola e misura pertanto 2,10 m; alla base è ridotta a 1,00 m. Le azioni che vi pervengono sono il momento della mensola, che entra nella gamba per intero senza alcuna riduzione, e la reazione verticale, cui si somma il peso proprio dell'elemento.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Altezza della gamba (fondazione–ginocchio)	L_g	17,75	m	geometria di progetto
Altezza della sezione al ginocchio	h_top	2,10	m	continua con la radice del costolone
Altezza della sezione alla base	h_bas	1,00	m	sezione alla cerniera
Larghezza della gamba	b	0,40	m	pari a quella del costolone
Momento trasmesso dalla mensola	M_Ed	4.339	kNm	dal predim. della copertura
Reazione verticale della mensola	V_Ed	360	kN	taglio alla radice del costolone
Peso proprio della gamba	W_g	50	kN	volume medio · 4,5 kN/m³
Sforzo normale alla base	N_Ed	410	kN	equilibrio verticale alla cerniera
Altezza minima per portare M_Ed	h_req	1,94	m	inversione della verifica a flessione
Quota cui la rastremazione raggiunge h_req	z_req	15,09	m	geometria della rastremazione lineare

Tabella 100 Geometria della gamba e azioni trasmesse dalla mensola

Invertendo la verifica a flessione si ricava l'altezza minima di sezione necessaria a portare il momento della mensola: $h_{req} = \sqrt{(6 \cdot M_{Ed} / (b \cdot f_{m,d}))} = 1,94$ m. Con rastremazione lineare fra le due sezioni estreme, tale altezza è raggiunta soltanto alla quota di 15,09 m: al di sotto di essa la sezione è insufficiente a portare il momento pieno, qualunque provvedimento si adotti.

8.6.2 Schema statico e necessità dei ritegni

Assunta la cerniera alla base, la gamba isolata costituisce un meccanismo: occorre un secondo punto che la trattienga orizzontalmente. Il candidato è la tribuna, cui la gamba può essere collegata alla testa del pilastro di monte e alla quota della trave di piano. Il momento della mensola si trasforma allora in una coppia di spinte orizzontali, nulla alla base e massima dal ritegno in su, secondo la relazione $H = M_{Ed} / a$, con a braccio del ritegno rispetto alla cerniera.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Quota del ritegno alto	a_top	11,95	m	staffa contro il pilastro C4
Quota del ritegno basso	a_bas	4,05	m	quota della trave di piano
Spinta orizzontale sul ritegno	H	363	kN	$H = M_{Ed} / a_{top}$
Spinta orizzontale alla base	H_0	363	kN	uguale e contraria alla precedente
Momento alla base	M_base	0	kNm	per definizione del vincolo a cerniera

Tabella 101 Trasformazione del momento in coppia di spinte orizzontali

La fondazione riceve pertanto taglio e non momento: è questa la conseguenza fondamentale della scelta del vincolo di base, e ad essa si rimanda nel capitolo relativo alle fondazioni.

8.6.3 Perché la rastremazione continua non è praticabile

Il momento della mensola discende lungo la gamba invariato fino al primo appoggio orizzontale che incontra, e solo al di sotto di esso decresce linearmente fino ad annullarsi alla cerniera. La sezione critica non è dunque la base, ma la quota del ritegno più alto, dove il momento è ancora pieno mentre la rastremazione ha già ridotto l'altezza.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Altezza della sezione alla quota del ritegno	h(a)	1,74	m	-
Modulo di resistenza	W(a)	0,202	m ³	$W = b \cdot h^2 / 6$
Momento alla quota del ritegno	M(a)	4.339	kNm	momento pieno sopra il ritegno
Tensione di flessione	$\sigma(a)$	21,48	N/mm ²	$\sigma = M / W$
Utilizzo	-	1,24	-	NTC 2018, §4.4.8.1.6
Esito della verifica	-	-	-	NON VERIFICATO
Quota minima richiesta per il ritegno	a_min	15,09	m	non offerta dal struttura della tribuna

Tabella 102 Verifica della sezione critica alla quota del ritegno con rastremazione continua

La quota minima cui il ritegno dovrebbe essere collocato affinché la rastremazione continua risulti verificata coincide con z_{req} , ossia 15,09 m; il pilastro della tribuna non raggiunge tale quota. La geometria a rastremazione continua è pertanto scartata.

8.6.4 Le tre alternative valutate

Tre provvedimenti possibili. L'aumento della larghezza della gamba a cui la resistenza è proporzionale, comporterebbe un incremento di materiale sull'intera altezza. L'innalzamento del ritegno alla quota di 15,09 m richiederebbe un puntone che si elevi al di sopra dell'ultima fila di gradoni, con evidenti conseguenze sulla visibilità e sulla configurazione della tribuna. Il terzo provvedimento consiste nell'interrompere la rastremazione, mantenendo la sezione costante e pari a 2,10 m dal ginocchio fino al ritegno più alto e concentrando il restringimento nel solo tratto inferiore, dove il momento effettivamente decresce.

Grandezza	Valore	Unità	Nota
Aumento della larghezza della gamba	0,49	m	sezione fuori scala
Innalzamento del ritegno alla quota richiesta	15,09	m	quota non offerta dalla struttura della tribuna
Interruzione della rastremazione sopra il ritegno	2,10	m	soluzione adottata, utilizzo 0,85

Tabella 103 Provvedimenti considerati per la verifica della sezione critica

È quest'ultima la soluzione adottata: essa restituisce alla quota del ritegno un utilizzo di 0,85, coincidente con quello della radice del costolone, e la gamba cessa così di costituire il punto debole del sistema.

8.6.5 Profilo adottato e verifica sezione per sezione

Il profilo risultante è spezzato: altezza costante di 2,10 m dal ginocchio al ritegno alto, rastremazione lineare da 2,10 a 1,00 m dal ritegno alla cerniera di base. Il diagramma del momento compie il percorso speculare, costante nel tratto superiore e decrescente fino ad annullarsi alla base. La verifica è stata condotta per stazioni successive lungo l'intera altezza.

Quota z [m]	h(z) [m]	M(z) [kNm]	σ [N/mm ²]	Utilizzo
0,00	1,00	0	0,00	0,00
1,48	1,14	537	6,24	0,36
2,96	1,27	1.074	9,95	0,57
4,44	1,41	1.611	12,18	0,70
5,92	1,54	2.148	13,51	0,78
7,40	1,68	2.685	14,26	0,82
8,88	1,82	3.223	14,64	0,84
10,35	1,95	3.760	14,78	0,85

Quota z [m]	h(z) [m]	M(z) [kNm]	σ [N/mm ²]	Utilizzo
11,83	2,09	4.297	14,77	0,85
13,31–17,75	2,10	4.339	14,76	0,85

Tabella 104 Verifica a flessione lungo l'altezza della gamba a sagoma spezzata

L'utilizzo massimo risulta pari a 0,85 e la gamba risulta verificata. Si osserva che nel tratto superiore, a sezione e momento costanti, la verifica coincide esattamente con quella della radice del costolone, come è coerente con la continuità della sezione al ginocchio.

8.6.6 Instabilità fuori dal piano

I ritegni si rendono necessari, oltre che per l'equilibrio, per il contenimento dell'instabilità fuori dal piano. La gamba presenta infatti larghezza di 0,40 m a fronte di un'altezza di 17,75 m e, sollecitata a compressione dalla componente verticale, tende a inflettersi lateralmente attorno all'asse debole. La verifica è condotta separatamente per ciascuno dei tratti in cui i ritegni suddividono l'elemento, assumendo per ciascuno la propria lunghezza libera di inflessione.

Nel tratto superiore G3, dal ritegno alto al ginocchio: il tratto si estende dalla quota di 11,95m al ginocchio, per una lunghezza di 5,80 m. È il tratto soggetto al momento pieno della mensola e alla sezione massima di 2,10 m.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Lunghezza libera di inflessione	l_{ef}	5,80	m	distanza ritegno alto – ginocchio
Snellezza	λ	50,2	-	$\lambda = l_{ef} / i_y$
Snellezza relativa	λ_{rel}	0,83	-	NTC 2018, §4.4.8.2.2
Coefficiente di instabilità	k_c	0,88	-	NTC 2018, §4.4.8.2.2

Tabella 105 Parametri di instabilità del tratto superiore G3

Nel tratto intermedio G2, fra i due ritegni: compreso tra le quote di 4,05 e 11,95 m, per una lunghezza di 7,90 m. È il tratto di maggiore lunghezza libera e risulta pertanto il più sfavorevole.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Lunghezza libera di inflessione	l_{ef}	7,90	m	distanza fra i due ritegni
Snellezza	λ	68,4	-	$\lambda = l_{ef} / i_y$
Snellezza relativa	λ_{rel}	1,12	-	NTC 2018, §4.4.8.2.2

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Coefficiente di instabilità	k_c	0,66	-	NTC 2018, §4.4.8.2.2

Tabella 106 Parametri di instabilità nel tratto intermedio G2

Su tale tratto è condotta la verifica a presso-flessione con instabilità ai sensi dei §4.4.8.1.8 e §4.4.8.2.1 delle NTC 2018 nella forma: $\sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d}) + \sigma_{m,d} / f_{m,d} \leq 1$. Lo sforzo normale è assunto pari alla reazione della mensola incrementata del peso proprio della porzione di gamba sovrastante il ritegno alto; la tensione di flessione è quella prodotta dal momento pieno sulla sezione di 2,10 m, che presenta la condizione più sfavorevole del tratto.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sforzo normale nel tratto	N_{Ed}	382	kN	mensola + peso della gamba sovrastante
Tensione di compressione	$\sigma_{c,0,d}$	0,45	N/mm ²	$\sigma = N / A$
Tensione di flessione	$\sigma_{m,d}$	14,76	N/mm ²	$\sigma = M / W$, con M pieno
Resistenza a compressione di progetto	$f_{c,0,d}$	17,38	N/mm ²	NTC 2018, §4.4.6
Resistenza a flessione di progetto	$f_{m,d}$	17,38	N/mm ²	NTC 2018, §4.4.6
Primo addendo, compressione	-	0,039	-	$\sigma_{c,0,d} / (k_c \cdot f_{c,0,d})$
Secondo addendo, flessione	-	0,849	-	$\sigma_{m,d} / f_{m,d}$
Verifica a presso-flessione	-	0,889	-	NTC 2018, §4.4.8.2.1 ≤ 1
Esito della verifica	-	-	-	VERIFICATA

Tabella 107 Verifica a presso-flessione con instabilità del tratto intermedio G2

Si osserva che il contributo dello sforzo normale rappresenta meno del 5% dell'utilizzo complessivo, a fronte di un contributo della flessione pari all'85%. La gamba si comporta pertanto come elemento sostanzialmente inflesso, e il coefficiente di instabilità incide in misura limitata proprio perché riduce una resistenza a compressione ampiamente inutilizzata.

Il tratto inferiore, al di sotto del ritegno basso, non risulta determinante: il momento decresce linearmente fino ad annullarsi alla cerniera, mentre la lunghezza libera è la minore fra quelle in esame.

Il confronto fra i valori del coefficiente di instabilità nelle tre configurazioni (0,04 in assenza di ritegni, 0,66 nel tratto intermedio e 0,88 nel tratto superiore) evidenzia l'efficacia del vincolo laterale offerto dalla struttura della tribuna.

Si valuta in via preliminare, a fini di confronto, il comportamento della gamba priva di vincoli laterali intermedi, ossia libera per l'intera altezza.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Lunghezza libera di inflessione	l_{ef}	35,50	m	doppio dell'altezza (schema a mensola)
Raggio d'inerzia rispetto all'asse debole	i_y	0,115	m	$i = b / \sqrt{12}$
Snellezza	λ	307,4	-	$\lambda = l_{ef} / i_y$
Coefficiente di instabilità	k_c	0,04	-	NTC 2018, §4.4.8.2.2

Tabella 108 Parametri di instabilità in assenza di ritegni intermedi

La capacità portante risulterebbe ridotta a meno di un ventesimo di quella della sezione: la configurazione è irrealizzabile. È questa la ragione strutturale che rende indispensabile il collegamento della gamba alla struttura della tribuna in più punti lungo l'altezza.

8.6.7 Il trasferimento della spinta alla struttura della tribuna

La spinta orizzontale non si esaurisce nel ritegno: entra nel telaio in calcestruzzo armato e vi si risolve. Poiché a ciascuna campata di telaio afferiscono due costoloni, la spinta complessiva è di 726 kN, applicata alla quota di 11,95 m, cui corrisponde un momento ribaltante di 8.678 kNm. Il telaio lo risolve sulla propria larghezza, pari a 23,40 m fra gli assi dei pilastri estremi, mediante una coppia di forze verticali di 371 kN, di trazione sul pilastro di monte e di compressione su quello di valle.

Grandezza	Valore	Unità	Nota
Spinta orizzontale per costolone	363	kN	$H = M_{Ed} / a_{top}$
Costoloni afferenti a una campata di telaio	2	-	interasse telai / interasse costoloni
Spinta orizzontale per telaio	726	kN	azione che il telaio deve incassare
Momento ribaltante trasferito al telaio	8.678	kNm	spinta · quota di applicazione
Larghezza del telaio fra C1 e C4	23,40	m	braccio su cui la struttura della tribuna risolve la coppia
Coppia verticale sui pilastri estremi	371	kN	trazione a monte, compressione a valle
Carico gravitazionale sul pilastro di monte	1.201	kN	peso della tribuna afferente
Residuo sul pilastro di monte	830	kN	di compressione
Verifica di non sollevamento	verificato	-	il pilastro resta compresso

Tabella 109 Risoluzione della spinta orizzontale nel telaio in calcestruzzo

Il carico gravitazionale gravante sul pilastro di monte è superiore alla trazione indotta: ne residua una compressione di 830 kN. Il peso proprio della struttura della tribuna è dunque sufficiente a fungere da contrappeso e il pilastro non si solleva. È questa la circostanza che consente di rinunciare alle due file di pali contrapposte previste dallo schema a base incastrata, riconducendo il problema fondazionale a una questione di sola portanza.

8.6.8 Quadro riassuntivo delle verifiche

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione (profilo adottato)	14,78 N/mm ²	17,38 N/mm ²	0,85	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Presso-flessione con instabilità (G2)	14,76 N/mm ²	-	0,89	VERIFICATA	NTC §4.4.8.2.1
Non sollevamento pilastro di monte	830 kN	residuo > 0	-	VERIFICATA	equilibrio

Tabella 110 Sintesi delle verifiche della gamba

Si precisa che il presente predimensionamento non comprende la verifica dei collegamenti fra gamba e struttura della tribuna, chiamati a trasmettere le spinte sopra determinate.

8.7 Predimensionamento delle fondazioni

Si precisa preliminarmente l'ambito della trattazione. Le fondazioni sono costituite da plinti isolati collegati da travi in calcestruzzo armato. Il presente paragrafo ne documenta il dimensionamento di massima, condotto per equilibrio elementare. Ciascun telaio poggia su quattro pilastri, ma sono qui dimensionati i soli plinti della fila di monte, ossia quelli che ricevono la gamba della copertura: essi costituiscono gli elementi critici del sistema fondazionale, sia per l'entità del carico verticale sia per le azioni orizzontali che vi convergono. Le fondazioni dei pilastri C1, C2 e C3 si dimensionano con il medesimo procedimento, assumendo le rispettive aree di influenza e in assenza di azioni orizzontali, e sono rimandate alla progettazione definitiva.

8.7.1 Le azioni alla base della gamba

La gamba di ciascun costolone è vincolata al piede mediante cerniera, secondo quanto stabilito nel capitolo relativo alla struttura della copertura. La scelta ha una conseguenza determinante sul problema fondazionale: alla base non perviene alcun momento, e la fondazione non è chiamata a impedire una rotazione, bensì unicamente a trasmettere al terreno un carico verticale e a equilibrare una spinta orizzontale.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Reazione verticale della mensola (SLU)	V_c	360	kN	dal predim. della copertura
Peso proprio della gamba	W_g	50	kN	volume medio $\cdot 4,5$ kN/m ³
Sforzo normale alla cerniera (SLU)	N_{Ed}	410	kN	$V_c + W_g$
Reazione verticale in esercizio	-	305	kN	$(g_k + s_k) \cdot L_c + W_g$, neve al valore caratteristico
Momento alla cerniera	M_{Ed}	0	kNm	per definizione del vincolo
Spinta orizzontale alla cerniera	H_0	363	kN	M_c / a_{top} , uguale e contraria al ritegno alto
Sollevamento da vento sulla mensola	U_c	62	kN	dal predim. della copertura
Trazione netta alla cerniera sottovento	T_{Ed}	18	kN	$U_c - 0,9 W_g$

Tabella 111 Azioni alla cerniera di base per singola gamba

8.7.2 Le due famiglie di plinti

L'impianto fondazionale della fila di monte discende dal rapporto fra due passi differenti. I telai della struttura della tribuna sono disposti a interasse di 7,70 m, mentre i costoloni della copertura, e con essi le gambe, seguono un passo dimezzato di 3,85 m. Ne consegue che una gamba su due atterra in corrispondenza di un telaio, e la restante metà cade in posizione intermedia.

Sui plinti della prima famiglia insistono congiuntamente la gamba della copertura e il pilastro di monte del telaio, i cui assi distano fra loro novanta centimetri: un unico plinto di 2,50 m di lato è sufficiente a contenerli entrambi con i necessari franchi. Sui plinti della seconda famiglia insiste la sola gamba. Tutti i plinti sono collegati longitudinalmente da travi di fondazione, il cui ruolo non è soltanto quello di solidarizzare gli appoggi ai fini sismici, ma di completare l'equilibrio orizzontale del sistema.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sviluppo del fronte	L	84,70	m	planimetria strutturale
Interasse dei telai	i_t	7,70	m	dal pre-dim. strutturale
Interasse dei costoloni	i_c	3,85	m	dal pre-dim. della copertura
Numero di gambe	-	23	-	$L / i_c + 1$
Plinti comuni (gamba e pilastro C4)	-	12	-	in corrispondenza dei telai
Plinti di sola gamba	-	11	-	in posizione intermedia fra i telai

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Dimensioni in pianta del plinto	$B \cdot B$	$2,50 \cdot 2,50$	m	geometria di progetto
Spessore del plinto	H	1,00	m	geometria di progetto
Peso proprio del plinto	W_f	156	kN	$\text{volume} \times 25 \text{ kN/m}^3$

Tabella 112 Ripartizione dei plinti lungo il fronte

8.7.3 L'equilibrio della spinta orizzontale

Il momento della copertura non giunge al piano di fondazione, ma la spinta orizzontale sì. Ciascuna gamba spinge verso il retro con 363 kN. Il telaio in calcestruzzo, che riceve dai ritegni la coppia di due costoloni, trasmette per contro alla base dei propri pilastri una spinta di 726 kN diretta verso il fronte.

I due squilibri sono uguali e contrari, e si compensano a scala di coppia di plinti: la risultante orizzontale trasmessa al terreno è nulla e la verifica a scorrimento non si pone. Il trasferimento avviene tuttavia attraverso le travi di collegamento, che risultano pertanto sollecitate da uno sforzo assiale di 363 kN. Esse non possono dunque essere trattate come semplici cordoli di solidarizzazione, ma costituiscono elementi portanti a tutti gli effetti, da dimensionare e armare per tale azione. Il sistema di plinti e travi si comporta, sotto questo profilo, come un cordolo di fondazione discontinuo.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Spinta di una gamba	H_0	+363	kN	verso il retro
Spinta di reazione del telaio	-	-726	kN	verso il fronte, alla base del pilastro C4
Risultante sul plinto comune	-	-363	kN	squilibrio verso il fronte
Risultante sul plinto intermedio	-	+363	kN	squilibrio verso il retro
Azione assiale nella trave di collegamento	N_t	363	kN	trasferimento fra i due plinti
Risultante trasmessa al terreno	-	0	kN	a scala di coppia di plinti

Tabella 113 Equilibrio orizzontale per coppia di plinti

8.7.4 Verifica di portanza del plinto comune

I due carichi verticali, pari a 728 kN sul pilastro di monte e 305 kN sulla gamba, sono di entità diversa e applicati in punti distinti: essendo il plinto centrato sulla mezzeria degli assi, la risultante presenta un'eccentricità di 0,16 m, spostata verso il pilastro in ragione del maggior carico. Tale valore è inferiore al limite del nocciolo centrale d'inerzia, pari a un sesto del lato e dunque 0,42 m: la risultante permane entro il terzo medio e il plinto si mantiene interamente compresso su tutta la superficie di appoggio, senza parzializzazione. La verifica di portanza è

condotta sulla pressione media di contatto, ossia 190,3 kPa. Si segnala però che per effetto dell'eccentricità la distribuzione delle pressioni non è uniforme ma varia e dunque si demanda tale verifica in funzione di calcoli più approfonditi.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Carico su C4, quota di raker afferente	-	420	kN	$q_{SLE} \cdot (l_r / 2) \cdot i_t$, pilastro di estremità
Carico su C4, reazione della trave di piano	-	308	kN	$(6,25 + 4,00) \text{ kN/m}^2 \cdot (l_r / 2) \cdot i_t$
Carico complessivo del pilastro di monte	N_p	728	kN	somma dei due contributi
Reazione della gamba in esercizio	-	305	kN	una sola gamba per plinto
Peso proprio del plinto	W_f	156	kN	$B^2 \cdot H \cdot 25 \text{ kN/m}^3$
Verticale totale sul plinto	N_{tot}	1.190	kN	somma dei contributi
Superficie di appoggio	A	6,25	m ²	$B \cdot B$
Pressione media di contatto	σ	190,3	kPa	$\sigma = N_{tot} / A$
Portanza ammissibile assunta	σ_{amm}	250	kPa	valore convenzionale

Tabella 114 Verifica di portanza del plinto comune

La verifica è stata condotta, in questa fase, confrontando la pressione media di contatto in combinazione rara con un valore convenzionale di portanza ammissibile. Il procedimento appartiene al metodo delle tensioni ammissibili e non a quello degli stati limite: la verifica definitiva dovrà essere sviluppata allo stato limite ultimo secondo gli approcci e le combinazioni di coefficienti parziali previsti dal §6.4.2 delle NTC 2018, con le resistenze di calcolo desunte dalla relazione geotecnica.

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Esito	Riferimento
Portanza del terreno	190,3 kPa	250 kPa	VERIFICATA	utilizzo 0,76
Non parzializzazione	$e = 0,16 \text{ m}$	$\leq B/6 = 0,42 \text{ m}$	VERIFICATA	risultante entro il nocciolo

Tabella 115 Esito verifiche del plinto comune

8.7.5 Verifica del plinto di sola gamba

Il plinto intermedio risulta meno sollecitato di quello comune. Le sue dimensioni sono state mantenute pari a quelle del plinto comune, per ragioni di uniformità esecutiva e per garantire alle travi di collegamento un appoggio di pari rigidità: la differenza di cedimento fra elementi di dimensioni disuguali indurrebbe infatti nelle travi sollecitazioni flessionali non considerate.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Reazione della gamba in esercizio	-	305	kN	unica azione verticale applicata
Peso proprio del plinto	W_f	156	kN	$B^2 \cdot H \cdot 25 \text{ kN/m}^3$
Verticale totale sul plinto	N_{tot}	461	kN	somma dei contributi
Pressione media di contatto	σ	73,8	kPa	$\sigma = N_{tot} / A$
Utilizzo	-	0,30	-	rispetto a 250 kPa

Tabella 116 Verifica di portanza del plinto intermedio

8.7.6 Eventuale ricorso alle fondazioni profonde

La relazione geotecnica può imporre il ricorso a fondazioni profonde indipendentemente dalla verifica di portanza, in ragione della natura dei terreni di riva lago. In tale eventualità i pali assolvono la sola funzione di trasmettere il carico verticale in profondità, senza che ne muti lo schema statico.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Pali sotto il plinto comune	-	4	-	ipotesi di progetto
Carico per palo, plinto comune	-	297	kN	$N_{tot} / 4$
Pali sotto il plinto intermedio	-	2	-	ipotesi di progetto
Carico per palo, plinto intermedio	-	231	kN	$N_{tot} / 2$
Resistenza assunta a compressione	R_c	1.500	kN	valore convenzionale, da relazione geotecnica
Utilizzo massimo	-	0,20	-	-
Pali complessivi sulla fila di monte	-	70	-	$4 \cdot 12 + 2 \cdot 11$

Tabella 117 Ipotesi pali di fondazione

8.7.7 Osservazioni conclusive fondazioni

Il predimensionamento restituisce, lungo la fila di monte, ventitré plinti di $2,50 \cdot 2,50 \cdot 1,00$ m collegati da travi di fondazione: dodici comuni alla gamba della copertura e al pilastro di monte, verificati a portanza con utilizzo pari a 0,76, e undici di sola gamba, con utilizzo pari a 0,30. Le travi di collegamento sono sollecitate da uno sforzo assiale di 363 kN, derivante dal trasferimento della spinta della copertura fra plinti contigui.

Si precisa che il presente predimensionamento non comprende il progetto delle sezioni in calcestruzzo armato dei plinti e delle travi di collegamento; non comprende la verifica di capacità portante allo stato limite ultimo secondo il capitolo 6 delle NTC 2018, né la valutazione dei cedimenti, entrambe subordinate alla caratterizzazione geotecnica del sito; non comprende il dettaglio dell'ancoraggio della cerniera di base; e non comprende le verifiche in condizioni sismiche.

9. Il modello agli elementi finiti e le verifiche a valle dell'analisi

Il predimensionamento esposto nei paragrafi precedenti è stato condotto per schemi elementari, assumendo il costolone come mensola isostatica e la gamba come elemento vincolato da cerniera e ritegni. Tale impostazione consente di ricavare le sezioni con calcoli verificabili a mano, ma non descrive né la deformabilità del nodo di ginocchio, né l'interazione fra la struttura in legno e la struttura della tribuna prefabbricata, né la ripartizione effettiva delle azioni fra i due ritegni. Per queste ragioni le sezioni predimensionate sono state verificate mediante un modello agli elementi finiti, realizzato con SAP2000.

9.1 Impostazione del modello

Il modello riproduce il telaio trasversale tipo della tribuna, comprensivo della struttura prefabbricata, della trave di piano delle funzioni sottostanti, della gamba in legno lamellare, dei due ritegni orizzontali e del costolone a sbalzo. Gli elementi sono modellati come aste (frame), con sezioni non prismatiche in corrispondenza degli elementi rastremati.

9.2 Materiali

Il calcestruzzo C32/40 prefabbricato è impiegato per gradoni a L e travi a ginocchio, i pilastri, i plinti e le travi di collegamento. Il C25/30 gettato in opera per i getti di completamento e solidarizzazione fra elementi prefabbricati. L'acciaio S275 per controventi di falda, scarpe metalliche e piastre dei nodi. Per il legno lamellare SAP2000 non prevede una classe dedicata: si adotta pertanto il tipo Other, assumendo $E_{0,mean} = 12.600 \text{ N/mm}^2$ per le analisi di deformazione ed $E_{0,05} = 10.500 \text{ N/mm}^2$ per le verifiche di instabilità.

Nome in SAP	Type / Symmetry	E [N/mm ²]	ν	γ [kN/m ³]	ρ [kg/m ³]	Resistenze caratteristiche	Riferimento
C32-40-PREF	Concrete / Isotropic	33.346	0,20	25,0	2.548	$f_{ck} 32, f_{cm} 40$ N/mm ²	NTC 2018 §11.2.10.1
C25-30-INSITU	Concrete / Isotropic	31.476	0,20	25,0	2.548	$f_{ck} 25, f_{cm} 33$ N/mm ²	NTC 2018 §11.2.10.1

Nome in SAP	Type / Symmetry	E [N/mm ²]	ν	γ [kN/m ³]	ρ [kg/m ³]	Resistenze caratteristiche	Riferimento
B450C	Rebar / Uniaxial	210.000	0,30	78,5	8.002	f_{yk} 450 N/mm ²	NTC 2018 §11.3.2.1
GL28h	Other / Isotropic	12.600	0,35	4,5	459	$f_{m,k}$ 28, $f_{v,k}$ 3,5, $f_{c,0,k}$ 28, $f_{t,0,k}$ 22,3 N/mm ²	UNI EN 14080
S275	Steel / Isotropic	210.000	0,30	78,5	8.002	f_{yk} 275, f_{tk} 430 N/mm ²	NTC 2018 §11.3.4

Tabella 118 Materiali definiti nel modello

9.3 Sezioni

Le sezioni sono distinte fra prismatiche, non prismatiche del costolone e tratti della gamba.

I valori di area, momento d'inerzia e modulo di resistenza discendono dalla geometria della sezione rettangolare ($A = b \cdot h$; $I = b \cdot h^3/12$; $W = b \cdot h^2/6$) e non da prescrizioni normative. L'altezza del raker deriva dal predimensionamento (luce/11) arrotondata ai 5 cm superiori.

Nome in SAP	Tipo SAP/elemento rappresentato	Materiale	b [m]	h [m]	A [m ²]	I33 [m ⁴]	I22 [m ⁴]	W33 [m ³]
PIL-TRIBUNA	Rectangular/pilastro della tribuna	C32-40-PREF	0,60	0,60	0,360	0,01080	0,01080	0,0360
RAKER	Rectangular/trave a ginocchio	C32-40-PREF	0,40	0,75	0,300	0,01406	0,00400	0,0375
COST-RADICE	Rectangular/costolone, sezione al ginocchio	GL28h	0,40	2,10	0,840	0,30870	0,01120	0,2940
COST-PUNTA	Rectangular/costolone, sezione in punta	GL28h	0,40	0,70	0,280	0,01143	0,00373	0,0327
GAMBA-ALTA	Rectangular/gamba, tratto superiore	GL28h	0,40	2,10	0,840	0,30870	0,01120	0,2940
GAMBA-BASE	Rectangular/gamba, sezione alla cerniera	GL28h	0,40	1,00	0,400	0,03333	0,00533	0,0667

Nome in SAP	Tipo SAP/elemento rappresentato	Materiale	b [m]	h [m]	A [m²]	I33 [m⁴]	I22 [m⁴]	W33 [m³]
TRAVE-LONG (non più inserito poiché il telaio è piano)	Rectangular/ collegamento fra le gambe	GL28h	0,20	0,60	0,120	0,00360	0,00040	0,0120
TRAVE-PIANO	Rectangular/ solaio delle funzioni	C32-40-PREF	0,40	0,70	0,280	0,01143	0,00373	0,0327
RITEGNO	Rectangular/ collegamento gamba-pilastro	S275	0,30	0,30	0,090	0,00068	0,00068	0,0045

Tabella 119 Sezioni prismatiche

Il costolone è definito come sezione non prismatica variabile fra le due sezioni di estremità, con legge di variazione cubica del momento d'inerzia principale: l'altezza varia linearmente e l'inerzia, che ne dipende con il cubo, è dichiarata di conseguenza.

Campo SAP	Valore	Nota
Nome	COSTOLONE	nome assegnato all'asta dello sbalzo
Start Section	COST-RADICE	estremità di incastro (nodo K, ginocchio)
End Section	COST-PUNTA	estremità libera (nodo T, punta)
Length Type	Variable	-
Length	1	lunghezza relativa: un solo segmento su tutta l'asta
EI33 Variation	Cubic	l'altezza varia linearmente, l'inerzia con il cubo
EI22 Variation	Linear	b costante: $I22 = h \cdot b^3/12$ varia linearmente con h
EA Variation	Linear	$A = b \cdot h$ varia linearmente

Tabella 120 Sezione non prismatica del costolone

La gamba è suddivisa in tre aste, corrispondenti ai tratti individuati dai due ritegni. La rastremazione interessa i soli tratti inferiori, dove il momento decresce fino ad annullarsi alla cerniera; il tratto superiore, a momento costante, è prismatico.

Sezione	Asta	h iniziale [m]	h finale [m]	Quota da [m]	Quota a [m]	EI33
GAMBA-S1	G1	1,000	1,373	0,00	4,05	Cubic
GAMBA-S2	G2	1,373	2,100	4,05	11,95	Cubic

Sezione	Asta	h iniziale [m]	h finale [m]	Quota da [m]	Quota a [m]	EI33
GAMBA-ALTA	G3	2,100	2,100	11,95	17,75	prismatica

Tabella 121 Tratti della gamba e relative sezioni

9.4 Parametri geometrici e nodi del telaio tipo

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Profondità in pianta della gradinata	B_sed	24,00	m	dal profilo delle gradinate
Sviluppo del fronte	L	84,70	m	dal profilo delle gradinate
Distanza del fronte dalla linea di campo	-	8,50	m	collocazione rispetto al terreno di gioco
Numero di file	n	26	-	dal profilo delle gradinate
Pedata	T	0,80	m	dal profilo delle gradinate
Altezza dell'occhio da seduto	h_occ	1,20	m	da quota occhio a quota calpestio
Quota del piano della prima fila	z_1	1,00	m	dal profilo delle gradinate
Interasse dei telai	i_tel	7,70	m	passo in direzione Y
Numero di pilastri per telaio	n_pil	4	-	geometria di progetto
Luce del raker fra i pilastri	l_r	7,80	m	pari a $B_{sed} / (n_{pil} - 1)$
Altezza della sezione del raker	h_r	0,75	m	da SAP, Sezioni
Spessore del gradone a L in appoggio	s_L	0,10	m	input di progetto
Quota di estradosso della fondazione	z_fond	0,00	m	quota delle basi dei pilastri
Abbassamento dell'asse del raker	d_r	0,475	m	pari a $s_L + h_r/2$
Sbalzo della copertura	L_c	24,10	m	geometria di progetto
Altezza del costolone alla radice	h_rad	2,10	m	geometria di progetto
Altezza del costolone alla punta	h_pun	0,70	m	geometria di progetto
Larghezza del costolone	b_c	0,40	m	geometria di progetto
Interasse dei costoloni	i_c	3,85	m	passo in direzione Y
Quota di sommità della copertura	z_top	18,80	m	filo superiore del costolone
Arretramento della gamba oltre il sedime	a_g	0,60	m	da rilievo CAD
Ascissa della gamba e della radice	X_g	24,60	m	origine X = fronte della tribuna

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Ascissa della punta del costolone	X _p	0,00	m	a filo della faccia esterna di C1
Quota dell'asse alla radice (ginocchio)	z _K	17,75	m	z _{top} – h _{rad} /2
Quota dell'asse alla punta	z _T	18,45	m	z _{top} – h _{pun} /2

Tabella 122 Parametri geometrici del telaio tipo

Le coordinate dei nodi sono ricavate dal disegno CAD del telaio tipo, nel piano XZ. L'origine delle ascisse coincide con la faccia esterna del pilastro anteriore e le quote sono riferite al piano di gioco. Alcuni nodi risultano coincidenti in un unico joint, in corrispondenza degli attacchi dei ritegni e della trave di piano.

ID nodo	X [m]	Z [m]	Vincolo	Descrizione
C1B	0,30	0,00	incastro	base del pilastro anteriore
C1T	0,30	0,0587	-	testa di C1 sull'asse del raker; coincide con RB1
C2B	8,10	0,00	incastro	base del pilastro C2
C2T	8,10	3,7674	-	testa di C2, sul pianerottolo intermedio
C3B	15,90	0,00	incastro	base del pilastro C3
C3T	15,90	8,3998	-	testa di C3, sulla rampa del blocco 2
C4B	23,70	0,00	incastro	base del pilastro di monte
C4T	23,70	12,65	-	testa di C4: il raker vi appoggia
RB1	0,30	0,0587	-	nodo unico con C1T: inizio della polilinea del raker
RT1	7,7174	3,7674	-	fine rampa blocco 1, inizio pianerottolo intermedio
RB2	8,4882	3,7674	-	fine pianerottolo, inizio rampa blocco 2
RT2	22,7004	12,65	-	inizio del pianerottolo di sommità
RB3	24,00	12,65	-	bordo posteriore del pianerottolo di sommità
GB	24,60	0,00	cerniera	base della gamba: il momento non arriva in fondazione
LB	24,60	4,05	-	gamba alla quota del ritegno basso; nodo unico con RTBD
LT	24,60	11,95	-	gamba alla quota del ritegno alto; nodo unico con RTAD
K	24,60	17,75	-	ginocchio: radice del costolone e testa della gamba
T	0,00	18,45	-	punta libera del costolone

ID nodo	X [m]	Z [m]	Vincolo	Descrizione
TR-R	8,9404	4,05	-	trave di piano: attacco sull'asse del raker
TR-R2	15,90	4,05	-	trave di piano in appoggio sul pilastro C3
TR-R3	23,70	4,05	-	trave di piano su C4; nodo unico con RTBS
RTAS	23,70	11,95	-	ritegno alto, lato pilastro: sull'asse di C4
RTAD	24,60	11,95	-	ritegno alto, lato gamba; nodo unico con LT
RTBS	23,70	4,05	-	ritegno basso, lato pilastro; nodo unico con TR-R3
RTBD	24,60	4,05	-	ritegno basso, lato gamba; nodo unico con LB

Tabella 123 Nodi del telaio tipo (piano XZ, Y=0)

9.5 Aste e rilasci

Il modello si compone di ventitré aste su ventuno joint. I pilastri C3 e C4 sono suddivisi in corrispondenza degli attacchi della trave di piano e dei ritegni; il raker è articolato in otto tratti che seguono il profilo spezzato delle rampe e dei pianerottoli; la gamba è divisa nei tre tratti già descritti.

Asta	Nodo I	Nodo J	Sezione	Materiale	Rilasci	L [m]
P1	C1B	C1T	PIL-struttura	C32-40-PREF	M33 su End	0,059
P2	C2B	C2T	PIL-struttura	C32-40-PREF	M33 su End	3,767
P3a	C3B	TR-R2	PIL-struttura	C32-40-PREF	nessuno	4,050
P3b	TR-R2	C3T	PIL-struttura	C32-40-PREF	M33 su End	4,350
P4a	C4B	TR-R3	PIL-struttura	C32-40-PREF	nessuno	4,050
P4b	TR-R3	RTAS	PIL-struttura	C32-40-PREF	nessuno	7,900
P4c	RTAS	C4T	PIL-struttura	C32-40-PREF	M33 su End	0,700
R1	C1T	RT1	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	8,293
R2	RT1	C2T	RAKER	C32-40-PREF	M33 su End	0,383
R3	C2T	RB2	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	0,388
R4	RB2	TR-R	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	0,533
R5	TR-R	C3T	RAKER	C32-40-PREF	M33 su End	8,207

Asta	Nodo I	Nodo J	Sezione	Materiale	Rilasci	L [m]
R6	C3T	RT2	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	8,019
R7a	RT2	C4T	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	1,000
R7b	C4T	RB3	RAKER	C32-40-PREF	nessuno	0,300
TRV1	TR-R	TR-R2	TRAVE-PIANO	C32-40-PREF	M33 su Start e End	6,960
TRV2	TR-R2	TR-R3	TRAVE-PIANO	C32-40-PREF	M33 su Start e End	7,800
G1	GB	LB	GAMBA-S1	GL28h	nessuno	4,050
G2	LB	LT	GAMBA-S2	GL28h	nessuno	7,900
G3	LT	K	GAMBA-ALTA	GL28h	nessuno	5,800
TIE-B	RTBD	RTBS	RITEGNO	S275	M33 su Start e End	0,900
TIE-T	RTAD	RTAS	RITEGNO	S275	M33 su Start e End	0,900
CS	K	T	COSTOLONE	GL28h	nessuno	24,610

Tabella 124 Aste del modello e rilasci assegnati

La base della gamba è vincolata con cerniera, coerentemente con quanto assunto nel predimensionamento. Alla struttura della tribuna sono assegnati rilasci di momento che rappresentano la tecnologia prefabbricata: le teste dei pilastri, su cui il raker semplicemente posa; i giunti del raker in corrispondenza dei pilastri intermedi, essendo l'elemento realizzato in un pezzo per campata; le travi di piano, appoggiate a entrambi gli estremi. Anche i due ritegni sono rilasciati alle estremità, in modo da trasmettere il solo sforzo assiale.

Tale assetto non è un dettaglio di modellazione, ma la rappresentazione di una scelta costruttiva: il confronto con la configurazione a nodi continui mostra che il regime del raker muta radicalmente, passando da elemento inflesso del telaio a puntone prevalentemente compresso, mentre il momento alla radice del costolone rimane invariato, a conferma della natura isostatica della mensola.

Grandezza	Nodi continui	Configurazione definitiva	Commento
Momento alla radice del costolone	4.496 kNm	4496 kNm	invariato
Momento alla base della gamba	0 kNm	0 kNm	la cerniera non è toccata dai rilasci
Regime del raker	flessione del telaio	puntone compresso	mutamento radicale

Tabella 125 Confronto tra le configurazioni di modellazione

Nella configurazione definitiva la spinta della copertura percorre il raker come sforzo assiale. Lo sforzo non è costante lungo l'elemento ma cresce discendendo, poiché ciascun tratto di gradinata vi aggiunge la propria componente parallela all'asse, e subisce riduzioni brusche in corrispondenza dei pilastri, che ne assorbono una quota attraverso la componente assiale della propria reazione. Il valore massimo trasmesso attraverso un giunto fra conci prefabbricati si registra all'attacco dell'asta R6 sulla testa del pilastro C3 e vale 802 kN in combinazione SLU-2: esso costituisce il dato di progetto del collegamento. Si osserva che il raker risulta governato dalla combinazione con neve dominante e non da quella con folla dominante, pur essendo la folla il carico variabile più gravoso sulle gradinate. La circostanza conferma che lo sforzo assiale nell'elemento non discende principalmente dal carico gravitazionale delle gradinate, bensì dalla spinta trasmessa dalla copertura attraverso i ritegni. Il modello restituisce inoltre la ripartizione effettiva della spinta fra i due ritegni, che il predimensionamento non poteva determinare essendo il sistema una volta iperstatico in direzione orizzontale: in combinazione SLU-2-NEVE il ritegno alto risulta compresso con 613 kN e quello basso teso con 697 kN. I due contributi formano la coppia che equilibra il momento della mensola, il cui valore, ottenuto come somma dei prodotti per i rispettivi bracci, risulta pari a 4.502 kNm. La condizione di trazione del ritegno basso richiede un ancoraggio meccanico e non un semplice contrasto.

9.6 Casi di carico

Nome	Type	Self Weight Multiplier	Descrizione
DEAD	Dead	1	peso proprio di raker, pilastri, costoloni e gambe, calcolato dal programma
G2TRIBUNA	Super Dead	0	gradoni a L prefabbricati, finiture, seggiolini, parapetti
G2COP	Super Dead	0	manto di copertura, arcarecci, impianti appesi
QFOLLA	Live	0	folla sulle gradinate, categoria C5
G2SOLAIO	Super Dead	0	permanente del solaio delle funzioni: alveolare, cappa, finiture
QSOTTO	Live	0	sovraccarico dei locali sotto la tribuna, sulla trave di piano
NEVE	Snow	0	neve sulla copertura
VENTOUP	Wind	0	depressione: vento che solleva la copertura
VENTODN	Wind	0	sovrappressione: vento che preme sulla copertura
VENTOX	Wind	0	vento orizzontale su gambe, pilastri e fronte

Tabella 126 Load pattern definiti nel modello

Il carico neve è determinato ai sensi del §3.4 delle NTC 2018. Come appartiene alla Zona I Alpina e il piano campagna dello stadio è posto a quota 201 m s.l.m., appena al di sopra della soglia di 200 m: si applica pertanto la formulazione prevista per le quote superiori. Inoltre, è stato adottato il valore di 1,50 kN/m², superiore del 25% a quello calcolato e coincidente con quello assunto nel predimensionamento. La scelta è cautelativa ed è inoltre coerente con l'assetto della copertura, la cui pendenza contenuta esclude lo scivolamento del manto nevoso e rende plausibili configurazioni di accumulo locale superiori al valore uniforme.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Altitudine del sito	a_s	201	m	quota del piano campagna
Valore di riferimento al suolo (Zona I Alpina)	q_sk	1,496	kN/m ²	NTC 2018, §3.4.2
Coefficiente di forma	μ_1	0,80	-	NTC 2018, §3.4.3, falda fino a 30°
Coefficiente di esposizione	C_E	1,00	-	NTC 2018, §3.4.4, esposizione normale
Coefficiente termico	C_t	1,00	-	NTC 2018, §3.4.5
Carico neve calcolato	q_s	1,197	kN/m ²	$q_s = \mu_1 \cdot C_E \cdot C_t \cdot q_{sk}$ NTC 2018 § 3.4.1
Carico neve adottato nel modello	q_s,ad	1,500	kN/m ²	assunto cautelativamente

Tabella 127 Determinazione dell'azione della neve (NTC 2018, §3.4)

Per il calcolo delle azioni del vento, si indica che il valore assunto in via cautelativa nel pre-dimensionamento risulta confermato dal calcolo esteso.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Velocità base di riferimento	v_b,0	25,0	m/s	NTC 2018 tab. 3.3.I, Zona 1
Altitudine di riferimento della zona	a_0	1.000	m	NTC 2018 tab. 3.3.I, Zona 1
Coefficiente k_a	k_a	0,40	-	NTC 2018 tab. 3.3.I, Zona 1
Altitudine del sito	a_s	201	m	quota del piano campagna
Velocità base	v_b	25,0	m/s	NTC 2018 §3.3.1
Coefficiente di ritorno	c_r	1,00	-	NTC 2018 §3.3.2, T_R = 50 anni
Velocità di riferimento	v_r	25,0	m/s	NTC 2018 §3.3.2

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Pressione cinetica di riferimento	q_r	0,391	kN/m ²	NTC 2018 §3.3.6, $q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$
Categoria di esposizione	-	III	-	NTC 2018 fig. 3.3.2
Coefficiente di rugosità	k_r	0,20	-	NTC 2018 tab. 3.3.II, categoria III
Lunghezza di rugosità	z_0	0,10	m	NTC 2018 tab. 3.3.II, categoria III
Altezza minima	z_{min}	5,00	m	NTC 2018 tab. 3.3.II, categoria III
Quota di riferimento	z	18,80	m	sommità della copertura
Coefficiente di topografia	c_t	1,00	-	NTC 2018 §3.3.7, assenza di rilievi
Coefficiente di esposizione	c_e	2,563	-	NTC 2018 §3.3.7
Coefficiente dinamico	c_d	1,00	-	NTC 2018 §3.3.9
Coefficiente netto in sollevamento	$c_{p,up}$	-1,20	-	EN 1991-1-4 tab. 7.6, tettoia isolata
Coefficiente netto in pressione	$c_{p,dn}$	0,60	-	EN 1991-1-4 tab. 7.6
Pressione in sollevamento	p_{up}	1,201	kN/m ²	NTC 2018 §3.3.4, $p = q_p \cdot c_p$
Pressione verso il basso	p_{dn}	0,601	kN/m ²	NTC 2018 §3.3.4
Valore usato nel pre-dimensionamento	-	1,200	kN/m ²	confronto interno

Tabella 128 Determinazione delle azioni del vento (NTC 2018, §3.3)

Aste	Pattern	Valore [kN/m]	Direzione in SAP	Derivazione
R1 ... R8 (raker)	G2TRIBUNA	31,000	Gravity (Projected)	permanente della struttura della tribuna, al netto del peso proprio del raker, per l'interasse dei telai
R1 ... R8 (raker)	QFOLLA	38,500	Gravity (Projected)	q_k cat. C5 = 5,00 kN/m ² · 7,70 m, NTC 2018 tab. 3.1.II
CS (costolone)	G2COP	2,310	Gravity (Projected)	manto 0,60 kN/m ² · 3,85 m
CS (costolone)	NEVE	5,775	Gravity (Projected)	$q_{s,ad}$ 1,50 kN/m ² · 3,85 m
CS (costolone)	VENTOUP	-4,625	Gravity, valore negativo	p_{up} · 3,85 m, in sollevamento
CS (costolone)	VENTODN	2,313	Gravity (Projected)	p_{dn} · 3,85 m
G1 G2 G3 (gamba)	VENTOX	0,521	X globale	$q_p \cdot c_{f1,3}$ (elemento prismatico isolato) · larghezza della gamba

Aste	Pattern	Valore [kN/m]	Direzione in SAP	Derivazione
TRV1 TRV2 (trave di piano)	G2SOLAIO	48,125	Gravity	(alveolare 4 + massetto e finiture 2,25 kN/m ²) · 7,70 m
TRV1 TRV2 (trave di piano)	QSOTTO	30,800	Gravity	4,00 kN/m ² · 7,70 m, NTC 2018 tab. 3.1.II

Tabella 129 Carichi distribuiti assegnati alle aste

9.7 Combinazione delle azioni

Azione variabile	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Categoria C, ambienti suscettibili di affollamento	0,70	0,70	0,60
Neve a quota fino a 1.000 m s.l.m.	0,50	0,20	0,00
Vento	0,60	0,20	0,00

Tabella 130 Coefficienti di combinazione ψ (NTC 2018 tab. 2.5.I)

Azione	EQU sfav.	EQU fav.	A1 (STR) sfav.	A1 (STR) fav.	A2 (GEO) sfav.
Permanenti strutturali G1	1,10	0,90	1,30	1,00	1,00
Permanenti non strutturali G2	1,50	0,80	1,50	0,80	1,30
Variabili Q	1,50	0,00	1,50	0,00	1,30

Tabella 131 Coefficienti parziali γ (NTC 2018 tab. 2.6.I)

Ciascuna azione variabile deve essere assunta a turno come dominante, poiché non è noto a priori quale di esse produca l'effetto più sfavorevole su ciascun elemento. Essendo tre le azioni variabili presenti (folla, neve e vento) e agendo il vento nei due versi opposti, ne discendono quattro combinazioni allo stato limite ultimo, cui si aggiungono le due combinazioni rare di esercizio. I coefficienti delle azioni non dominanti derivano dal prodotto $\gamma_Q \cdot \psi_0$: $1,5 \times 0,7 = 1,05$ per la folla, $1,5 \times 0,5 = 0,75$ per la neve, $1,5 \times 0,6 = 0,90$ per il vento. In SLU-3 i carichi permanenti sono assunti con i coefficienti favorevoli, mentre folla e neve sono omesse in quanto stabilizzanti.

Nome	G1	G2	QFOLLA	NEVE	VENTOUP	VENTODN	k_mod
SLU-1 folla dominante	1,30	1,50	1,50	0,75	-	0,90	0,90
SLU-2 neve dominante	1,30	1,50	1,05	1,50	-	0,90	0,90

Nome	G1	G2	QFOLLA	NEVE	VENTOUP	VENTODN	k_mod
SLU-3 vento in sollevamento	0,90	0,80	-	-	1,50	-	0,90
SLU-4 vento in pressione	1,30	1,50	1,05	0,75	-	1,50	0,90
SLE rara, neve dominante	1,00	1,00	1,00	1,00	-	0,60	-
SLE rara, folla dominante	1,00	1,00	1,00	0,50	-	0,60	-

Tabella 132 Combinazioni definite nel modello (NTC 2018 §2.5.3)

In una combinazione che contiene azioni di durata diversa si adotta il k_{mod} dell'azione di durata più breve fra quelle presenti. È il coefficiente che tiene conto di due fatti tipici del legno e che nessun altro materiale strutturale presenta in questa forma: la resistenza dipende da quanto a lungo il carico agisce e da quanto è umido l'ambiente (classe di servizio).

Classe di durata del carico	k_{mod} (lamellare)	Azioni che vi appartengono
Permanente	0,60	peso proprio e permanenti portati
Lunga durata	0,70	carichi variabili di magazzini e depositi
Media durata	0,80	carichi variabili degli edifici, quindi la folla
Breve durata	0,90	neve a quota inferiore a 1.000 m, vento medio
Istantanea	1,10	picco di vento e azioni eccezionali

Tabella 133 Scelta del coefficiente k_{mod} (NTC 2018 §4.4.IV, classe di servizio 2)

Ciascuna combinazione risponde a una domanda distinta. La combinazione con folla dominante è quella che dimensiona la struttura della tribuna: la folla, pari a 5,00 kN/m² di categoria C5, costituisce il carico variabile più gravoso sulle gradinate e governa il raker, i pilastri del telaio e, a valle, la portanza della fondazione; sulla copertura essa non produce alcun effetto. La combinazione con neve dominante è per contro quella che dimensiona la copertura, essendo la neve l'unica azione variabile gravitazionale agente sullo sbalzo: da essa discendono il momento alla radice del costolone, l'azione trasmessa alla gamba e la spinta sui ritegni, e ad essa competono infatti tutte le verifiche degli elementi in legno.

La combinazione con vento in sollevamento non dimensiona sezioni, ma verifica l'equilibrio: i carichi permanenti sono ridotti perché favorevoli, folla e neve sono omesse in quanto stabilizzanti, e permane il solo vento amplificato. Essa restituisce la trazione negli ancoraggi alla radice, la verifica di non sollevamento del pilastro di monte e il segno delle azioni nei ritegni, ed è l'unica combinazione in cui le azioni invertono il proprio verso. La combinazione con vento in pressione rappresenta infine la condizione gravitazionale complessiva più severa, sommando la pressione del vento a tutte le altre azioni; essa risulta determinante per la gamba

e per la struttura della tribuna, mentre sulla copertura rimane meno gravosa della combinazione con neve, essendo la pressione del vento pari a $0,60 \text{ kN/m}^2$ contro $1,50 \text{ kN/m}^2$ di neve. La combinazione rara di esercizio, infine, non costituisce verifica di resistenza: da essa si leggono la freccia della punta e gli spostamenti che entrano nella determinazione della controfreccia.

9.8 Combinazioni non impiegate

Le combinazioni non impiegate sono state valutate e ritenute non determinanti.

La combinazione dei soli carichi permanenti, cui compete il coefficiente k_{mod} ridotto a $0,60$ e quindi una resistenza a flessione di progetto pari a $11,59 \text{ N/mm}^2$, restituisce per il costolone un utilizzo dell'ordine di $0,42$, inferiore allo $0,85$ della combinazione con neve dominante. La circostanza discende dal rapporto fra carico permanente e carico variabile proprio di una copertura leggera: tale combinazione diviene critica soltanto quando i permanenti superano circa i due terzi del carico totale, condizione lontana da quella in esame, in cui al permanente portato di $0,60 \text{ kN/m}^2$ si contrappone un carico neve di $1,50 \text{ kN/m}^2$.

Gli effetti della viscosità sono stati considerati direttamente nel calcolo della freccia finale mediante il coefficiente k_{def} , secondo il §2.2.3 dell'Eurocodice 5, senza necessità di definire una combinazione quasi permanente distinta nel modello; le verifiche di fessurazione degli elementi prefabbricati in calcestruzzo, cui la medesima combinazione sarebbe destinata, appartengono al progetto esecutivo di produzione.

Le verifiche in combinazione frequente, pertinenti agli stati limite reversibili e in particolare al comportamento dinamico della copertura, esulano dal livello di approfondimento del presente lavoro e sono richiamate fra gli sviluppi necessari.

9.9 La catena strutturale: verifiche a valle dell'analisi

Il sistema di copertura non si esaurisce nella mensola a sbalzo: esso costituisce una catena strutturale continua, che dal manto discende al costolone, al nodo di ginocchio, alla gamba, ai ritegni sulla struttura della tribuna e infine alla fondazione. Le verifiche che seguono ne percorrono tale percorso nell'ordine in cui l'azione si trasmette.

Tutte le sollecitazioni sono lette nella configurazione definitiva del modello, quella con i rilasci di momento sia sui nodi della struttura prefabbricata sia alle estremità dei due ritegni. Il pilastro della struttura della tribuna costituisce l'unico elemento che appartiene alla catena solo in parte, essendo la sua verifica governata dalla folla e non dalla neve: esso rappresenta il punto in cui la catena della copertura si innesta in quella della tribuna, e la sua verifica serve ad accertare che tale innesto non ne costituisca l'anello debole.

9.9.1 Dal manto al costolone: la sezione di radice

La combinazione che governa il costolone risulta SLU-2 (neve dominante). Le sollecitazioni lette nel modello sono confrontate nel seguito con quelle del predimensionamento. Lo scarto contenuto conferma la validità dello schema a mensola isostatica adottato nel pre-

dimensionamento; la maggiore severità del modello è imputabile alla valutazione puntuale del peso proprio dell'elemento rastremato, che il calcolo manuale approssima con l'area media della sezione.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Combinazione di riferimento	-	SLU-2 (neve dominante)	-	neve dominante
Momento alla radice letto nel modello	M_Ed	4.496	kNm	output SAP2000 (SLU-2)
Taglio alla radice letto nel modello	V_Ed	379	kN	output SAP2000 (SLU-2)
Sforzo normale nel costolone	N_Ed	10	kN	output SAP2000 (SLU-2), trascurabile
Momento del pre-dimensionamento	M_pd	4.339	kNm	mensola: $w \cdot L_c^2 / 2$
Scarto fra modello e pre-dimensionamento	-	+3,6	%	-

Tabella 134 Sollecitazioni alla radice del costolone e confronto con il pre-dimensionamento

La verifica a flessione è condotta nella forma $\sigma_{m,d} / (k_{m,a} \cdot k_{crit} \cdot f_{m,d}) \leq 1$; il limite riportato in tabella è pertanto la resistenza già ridotta dai due coefficienti.

L'utilizzo a flessione passa da 0,85 del predimensionamento a 0,92: l'incremento deriva dal maggiore momento e dall'introduzione del coefficiente di rastremazione, che il calcolo manuale non contemplava. La sezione predimensionata risulta confermata.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Coefficiente di durata del carico	k_mod	0,90	-	NTC 2018 tab. 4.4.IV, classe breve, servizio 2
Coefficiente parziale del materiale	γ_M	1,45	-	NTC 2018 tab. 4.4.III
Resistenza a flessione di progetto	f_m,d	17,38	N/mm ²	NTC 2018 §4.4.6
Resistenza a taglio di progetto	f_v,d	2,17	N/mm ²	NTC 2018 §4.4.6
Resistenza a compressione ortogonale	f_c,90,d	1,55	N/mm ²	NTC 2018 §4.4.6, f_c,90,k 2,5 N/mm ²
Area della sezione di radice	A	0,840	m ²	$A = b \cdot h = 0,4 \times 2,1$
Modulo di resistenza	W	0,294	m ³	$W = b \cdot h^2 / 6$
Tensione di flessione	$\sigma_{m,d}$	15,29	N/mm ²	$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W$
Tensione tangenziale	τ_d	0,68	N/mm ²	$\tau_d = 1,5 \cdot V_{Ed} / A$
Pendenza del bordo rastremato	tan α	0,058	-	il bordo inclinato è l'intradosso, lembo compresso

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Coefficiente di rastremazione	$k_{m,\alpha}$	0,955	-	EN 1995-1-1 §6.4.2
Coefficiente di svergolamento	k_{crit}	1,00	-	EN 1995-1-1 §6.3.3, eq. 6.34

Tabella 135 Resistenza di progetto e coefficienti

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione	15,29 N/mm ²	16,60 N/mm ²	0,92	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Taglio	0,68 N/mm ²	2,17 N/mm ²	0,31	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.9

Tabella 136 Esito delle verifiche del costolone

9.9.2 Oltre il ginocchio: il tratto di gamba sopra il ritegno alto

Il tratto compreso fra il ritegno alto e il ginocchio, lungo 5,80 m, è soggetto al momento pieno della mensola e alla sezione costante di 2,10 m. La verifica è condotta a presso-flessione con instabilità, poiché alla flessione si somma lo sforzo normale trasmesso dalla copertura.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sforzo normale al ritegno alto (da SAP)	N_{Ed}	408	kN	output del modello (SLU-2)
Momento al ritegno alto (da SAP)	M_{Ed}	4.496	kNm	output del modello (SLU-2)
Taglio al ritegno alto (da SAP)	V_{Ed}	0	kN	output del modello (SLU-2)
Tensione di compressione	$\sigma_{c,0,d}$	0,49	N/mm ²	$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A$
Tensione di flessione	$\sigma_{m,d}$	15,29	N/mm ²	$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W$
Resistenza a compressione di progetto	$f_{c,0,d}$	17,38	N/mm ²	NTC 2018 §4.4.6
Modulo elastico al 5° percentile	$E_{0,05}$	10.500	N/mm ²	UNI EN 14080
Lunghezza libera nel piano	$L_{cr,y}$	5,80	m	geometria del tratto
Lunghezza libera fuori dal piano	$L_{cr,z}$	5,80	m	geometria del tratto
Snellezza nel piano	λ_y	9,57	-	$\lambda = L_{cr} / i$, con $i = h/\sqrt{12}$
Snellezza fuori dal piano	λ_z	50,23	-	riferita all'asse debole
Snellezza relativa massima	λ_{rel}	0,826	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2
Coefficiente di imperfezione	β_c	0,10	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2, lamellare
Coefficiente k	k	0,867	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2
Coefficiente di instabilità	k_c	0,883	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2

Tabella 137 Verifica a pressoflessione con instabilità, tratto sopra il ritegno

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Presso-flessione	-	≤ 1	0,91	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.8 e §4.4.8.2.1

Tabella 138 Esito della verifica, tratto sopra il ritegno

9.9.3 Il tratto tra i due ritegni

Il tratto compreso fra le quote di 4,05 e 11,95 m, lungo 7,90 m, è il più esteso fra quelli individuati dai ritegni e presenta pertanto la maggiore lunghezza libera di inflessione. Il momento cresce salendo lungo il tratto mentre la sezione si allarga da 1,37 a 2,10 m: la sezione critica risulta quella superiore, dove il momento raggiunge il valore massimo.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sforzo normale sotto il ritegno alto (da SAP)	N_Ed	408	kN	output del modello (SLU-2)
Momento sotto il ritegno alto (da SAP)	M_Ed	4.496	kNm	output del modello (SLU-2)
Quota del ritegno basso	-	4,05	m	geometria di progetto
Quota del ritegno alto	-	11,95	m	geometria di progetto
Lunghezza libera del tratto	L_cr	7,90	m	distanza fra le quote dei due ritegni
Altezza della sezione al ritegno alto	h	2,10	m	sezione critica del tratto
Tensione di compressione	$\sigma_{c,0,d}$	0,49	N/mm ²	$\sigma_{c,0,d} = N_{Ed} / A$
Tensione di flessione	$\sigma_{m,d}$	15,29	N/mm ²	$\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W$
Snellezza fuori dal piano	λ_z	68,42	-	referita all'asse debole
Snellezza relativa	λ_{rel}	1,125	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2
Coefficiente k	k	1,174	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2
Coefficiente di instabilità	k_c	0,663	-	NTC 2018 §4.4.8.2.2

Tabella 139 Verifica a pressoflessione con instabilità, tratto tra i due ritegni

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Presso-flessione	-	≤ 1	0,92	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.8 e §4.4.8.2.1

Tabella 140 Esito della verifica, tratto tra i due ritegni

9.9.4 Il trasferimento attraverso il nodo di ginocchio

Il collegamento fra il costolone e la gamba è realizzato mediante spinotti disposti su due corone concentriche, con piastre in acciaio inserite a doppia lama. Il nodo è chiamato a trasmettere l'intero momento della mensola e la sua rigidezza rotazionale incide direttamente sulla freccia della punta.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Massa volumica media del lamellare	ρ_m	460	kg/m ³	UNI EN 14080
Diametro degli spinotti	d	30	mm	scelta di progetto
Spinotti sulla corona esterna	n_e	52	-	raggio 0,90 m
Spinotti sulla corona interna	n_i	36	-	raggio 0,60 m
Piani di taglio per spinotto	n_p	2	-	piastre a doppia lama
Fattore per unione acciaio-legno	-	2	-	EN 1995-1-1 §7.1
Rigidezza del singolo connettore	K_{ser}	25.737	N/mm	EN 1995-1-1 prosp. 7.1, $\rho_m^{1,5} \cdot d / 23$
Rigidezza rotazionale del nodo	k_{rot}	2.835.203	kNm/rad	$K_{ser} \cdot n_p \cdot \Sigma (n_i \cdot r_i^2)$
Momento in esercizio (SLE rara, da SAP)	M_{SLE}	3082	kNm	output del modello (SLE-Rara, neve dominante)
Rotazione del nodo	θ	$1,087 \cdot 10^{-3}$	rad	$\theta = M_{SLE} / k_{rot}$
Freccia aggiuntiva in punta	δ_{nodo}	26,2	mm	$\theta \times$ sbalzo della mensola

Tabella 141 Geometria del nodo e rigidezza rotazionale

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Resistenza a rifollamento del legno	$f_{h,k}$	26,40	N/mm ²	EN 1995-1-1, 0,082 (1-0,01d) ρ_k
Momento di snervamento dello spinotto	$M_{y,Rk}$	831.183	Nmm	EN 1995-1-1, $0,3 f_u d^{2,6} f_u 400$ N/mm ²
Resistenza per singolo piano di taglio	$F_{v,Rk}$	59,02	kN	EN 1995-1-1 §8.2.3, eq. 8.13
Resistenza caratteristica su due piani	$F_{v,Rk}$	118,03	kN	due piani di taglio
Resistenza di progetto del connettore	$F_{v,Rd}$	81,71	kN	$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot F_{v,Rk} / \gamma_M$
Forza sul connettore più sollecitato	F_{Ed}	73,46	kN	corona esterna, ipotesi di piastra rigida

Tabella 142 Resistenza dei connettori e verifica

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Connettori del nodo	73,46 kN	81,71 kN	0,90	VERIFICATA	EN 1995-1-1 §8.2.3

Tabella 143 Esito della verifica dei connettori

L'ipotesi di piastra rigida comporta che la forza su ciascuno spinotto cresca proporzionalmente al raggio: il connettore più sollecitato è pertanto quello della corona esterna.

9.9.5 L'effetto di ritorno sulla punta: la deformazione

La freccia è la verifica che presenta lo scarto più significativo fra calcolo manuale e modello. Alla deformazione flessionale dell'asta si somma il contributo della rotazione del nodo di ginocchio determinata al paragrafo precedente, che il predimensionamento assumeva implicitamente nulla.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Freccia letta in SAP (SLE rara)	δ_{SAP}	400	mm	componente verticale U3 della punta, output del modello (SLE Rara, neve dominante)
Freccia aggiuntiva da rotazione del nodo	δ_{nodo}	26,2	mm	dal paragrafo 9.9.4
Freccia istantanea totale	δ_{ist}	426,2	mm	somma dei due contributi
Coefficiente di viscosità	k_{def}	0,80	-	NTC 2018 tab. 4.4.V, lamellare, classe 2
Quota permanente del carico	ψ	0,403	-	aliquota soggetta a viscosità
Freccia finale con viscosità	δ_{fin}	563,6	mm	EN 1995-1-1 §2.2.3(5)
Controfreccia di officina	δ_c	396,0	mm	Assunta di progetto
Freccia netta finale	$\delta_{net,fin}$	167,6	mm	EN 1995-1-1 §7.2, $\delta_{fin} - \delta_c$
Limite per elemento a mensola	δ_{lim}	192,8	mm	EN 1995-1-1 prosp. 7.2, L/125

Tabella 144 Sviluppo del calcolo della freccia a valle dell'analisi

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Freccia netta finale	167,6 mm	192,8 mm	0,87	VERIFICATA	EN 1995-1-1 prosp. 7.2

Tabella 145 Esito della verifica di deformazione

La freccia istantanea risulta superiore a quella stimata nel predimensionamento e la controfreccia di officina sale conseguentemente a 396 mm. La verifica rimane soddisfatta, ma con utilizzo pari a 0,87 anziché 0,57: la deformazione si conferma la condizione che governa il

dimensionamento dello sbalzo, e il margine effettivamente disponibile è più ridotto di quanto il calcolo manuale indicasse.

La controfreccia di officina è assunta pari a 396 mm, corrispondenti a $L/61$. Tale valore eccede quello che deriverebbe dalla sola compensazione della quota permanente della freccia, ed è stato adottato per conservare un margine adeguato sulla freccia netta: sotto i soli carichi permanenti, viscosità inclusa, la punta permane circa 87 mm al di sopra dell'orizzontale, scostamento inferiore a $L/275$ e privo di conseguenze funzionali su uno sbalzo di tale estensione. Con tale assunzione la verifica risulta soddisfatta con utilizzo pari a 0,87: la deformazione si conferma la condizione che governa il dimensionamento dello sbalzo.

9.9.6 La struttura della tribuna: il pilastro più caricato

Il pilastro più sollecitato risulta il C3, alla base, nella combinazione con folla dominante. Il confronto con il pre-dimensionamento evidenzia uno scarto più ampio di quello riscontrato per la copertura.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sforzo normale nel pilastro più caricato	N_{Ed}	1.906	kN	base del pilastro C3, output del modello (SLU-1)
Sforzo normale del pre-dimensionamento	N_{pd}	1.201	kN	area di influenza delle sole gradinate
Scarto fra modello e pre-dimensionamento	-	+58,7	%	-
Lato del pilastro adottato	-	0,60	m	sezione 0,60 · 0,60 m
Tensione media di compressione	σ_c	5,29	N/mm ²	$\sigma_c = N_{Ed} / A$
Limite indicativo di predimensionamento	$0,45 f_{cd}$	8,16	N/mm ²	valore convenzionale
Utilizzo	-	0,65	-	-

Tabella 146 Verifica del pilastro più caricato della sezione della tribuna

Lo scarto del 58% non costituisce un errore: il predimensionamento considerava la sola area di influenza delle gradinate, mentre il modello somma a essa il solaio delle funzioni, la reazione della copertura e il peso proprio degli elementi. Il pilastro 60 · 60 regge, ma risulta più sollecitato di quanto il calcolo manuale lasciasse prevedere. Si sottolinea che il confronto con $0,45 f_{cd}$ ha valore di solo predimensionamento: la verifica definitiva richiede il progetto della sezione secondo l'Eurocodice 2, comprensivo degli effetti del secondo ordine e dell'instabilità.

9.9.7 Il comportamento dinamico

Il comportamento dinamico dell'opera pone due problemi distinti, che riguardano parti diverse della struttura, rispondono a cause diverse e si confrontano con soglie diverse.

Il primo problema riguarda le gradinate ed è posto dall'azione sincronizzata della folla. Quando gli spettatori saltano o battono i piedi a ritmo lo fanno tipicamente entro un intervallo compreso fra 1,5 e 2,8 Hz, e la struttura può entrare in risonanza non soltanto sulla frequenza fondamentale del movimento ma anche sulle sue prime armoniche. La soglia raccomandata di 6 Hz⁶³ colloca la struttura oltre la seconda armonica, dove il contenuto energetico dell'eccitazione è ormai trascurabile. Si tratta di una raccomandazione di linea guida, formulata dall'Institution of Structural Engineers, che né le NTC 2018 né gli Eurocodici stabiliscono esplicitamente.

Il secondo problema riguarda la copertura ed è posto dal vento. Nessuno vi cammina sopra e il criterio dei 6 Hz non le si applica: il tema è qui l'amplificazione della risposta strutturale alle raffiche, di cui rende conto il coefficiente dinamico c_d . Il §3.3.9 delle NTC 2018 non fissa alcuna soglia di frequenza, ma consente di assumere cautelativamente c_d unitario nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti gli 80 m di altezza e i capannoni industriali, rinviando negli altri casi ad analisi specifiche o a dati di comprovata affidabilità.

Nel presente lavoro il coefficiente dinamico è stato assunto pari all'unità. Una copertura a mensola di 24,10 m di sbalzo, con manto in film di ETFE e conseguente carico permanente contenuto, non rientra tuttavia fra le tipologie ricorrenti cui il §3.3.9 delle NTC 2018 riferisce tale assunzione: essa ha pertanto carattere provvisorio. La frequenza propria fondamentale di 0,93 Hz, restituita dall'analisi modale, conferma la spiccata flessibilità della struttura. Le indicazioni operative per la determinazione di c_d sono fornite dalla Circolare n.7 del 21 gennaio 2019⁶⁴ al §C.3.3.9 e, in forma estesa, dalle Istruzioni CNR-DT 207 R1/2018⁶⁵; la loro applicazione, unitamente alla valutazione della risposta dinamica alle raffiche, costituisce uno sviluppo necessario in sede di progettazione definitiva.

Elemento	Modo considerato	f_1 [Hz]	Soglia	Origine del criterio
Gradinate	flessione verticale del gradone	7,16	≥ 6 Hz	<i>Dynamic Characterisation and Finite Element Updating of a RC Stadium Grandstand,</i>
Copertura	oscillazione verticale della punta	0,93	non applicabile	NTC 2018 §3.3.9, nessuna soglia di frequenza: c_d unitario ammesso per le sole tipologie ricorrenti

⁶³ Santos, F., Cismaşiu, C., Cismaşiu, I., Bedon, C., *Dynamic Characterisation and Finite Element Updating of a RC Stadium Grandstand*, in "Buildings", vol. 8, n. 10, 2018, art. 141, [Dynamic Characterisation and Finite Element Updating of a RC Stadium Grandstand](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

⁶⁴ Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*

⁶⁵ CNR-DT 207 R1/2018, *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*, Consiglio Nazionale delle Ricerche

Tabella 147 Frequenze proprie e soglie di riferimento

Le due frequenze sono state determinate con procedimenti diversi, e la ragione discende dalla natura del modello. Il telaio adottato è piano: l'analisi modale ne restituisce pertanto i soli modi contenuti nel proprio piano. Il modo fondamentale della copertura, consistente nell'oscillazione verticale della punta dello sbalzo, appartiene a tale insieme, e il valore di 0,93 Hz è quindi un risultato diretto del modello. Il modo di flessione del gradone si sviluppa per contro in direzione longitudinale, ortogonale al piano del telaio, e non è rappresentato nel modello: la relativa frequenza è stata determinata per via analitica, mediante la formulazione della trave semplicemente appoggiata.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Luce del gradone	L	7,70	m	interasse dei telai
Sezione a L: pedata e alzata	$P \cdot s; h_g \cdot s$	$0,80 \cdot 0,10;$ $0,50 \cdot 0,10$	m	geometria di progetto
Area della sezione	A	0,1200	m ²	somma dei due rettangoli
Ordinata del baricentro	$\bar{y}$	0,1333	m	dall'intradosso della pedata
Momento d'inerzia	I	$2,267 \cdot 10^{-3}$	m ⁴	Huygens-Steiner (rispetto al baricentro)
Peso proprio	g	3,00	kN/m	$A \cdot 25,0 \text{ kN/m}^3$
Sovraccarico da folla	q	5,00	kN/m	categoria C5, NTC 2018 tab. 3.1.II
Carico complessivo	q_tot	8,00	kN/m	g + q
Modulo elastico	E_cm	33.346	N/mm ²	C32/40 prefabbricato
Rigidezza flessionale	EI	75.595	kNm ²	$E_{cm} \cdot I$
Freccia in mezzzeria	δ	4,84	mm	$5 q L^4 / 384 E I$
Frequenza propria	f ₁	7,16	Hz	$(1 / 2\pi) \cdot \sqrt{(g / \delta)}$
Soglia raccomandata	f_lim	6,00	Hz	IStructE,

Tabella 148 Calcolo frequenza propria

Occorre precisare che il valore così ottenuto è la frequenza propria del singolo gradone, mentre la raccomandazione dell'Institution of Structural Engineers si riferisce al comportamento globale della tribuna, comprensivo del telaio, dei pilastri e delle fondazioni, la cui frequenza è in generale inferiore a quella del singolo elemento. La sua determinazione richiederebbe un modello tridimensionale ed esula pertanto dal livello di approfondimento del presente lavoro; il confronto qui riportato ha valore di controllo preliminare.

9.9.8 L'arrivo in fondazione

L'ultima lettura riguarda le azioni che il modello restituisce alla base della gamba, e costituisce la verifica della scelta di vincolo assunta fin dal predimensionamento.

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Momento alla base della gamba	M_base	0	kNm	output del modello, conseguenza della cerniera
Reazione verticale alla base (SLE rara)	N_base	252	kN	output del modello, (SLE Rara, folla dominante)
Reazione orizzontale alla base (SLE rara)	H_base	32	kN	output del modello, (SLE Rara, folla dominante)

Tabella 149 Azioni alla base della gamba

Alla base della gamba il modello restituisce due sole reazioni, verticale e orizzontale, e momento nullo: la scelta della cerniera si traduce in una fondazione chiamata a trasmettere carico verticale e taglio, non a reagire a momento. La reazione orizzontale residua di 32 kN è di un ordine di grandezza inferiore alle spinte nei ritegni, poiché questi ultimi equilibrano fra loro la quasi totalità della coppia trasmessa dalla copertura.

9.9.9 Quadro riassuntivo delle verifiche

Verifica	Risultato	Esito	Nota
Costolone, flessione e taglio	0,92	VERIFICATA	SLU-2, neve dominante
Gamba, tratto sopra il ritegno alto	0,91	VERIFICATA	presso-flessione con instabilità
Gamba, tratto fra i due ritegni	0,92	VERIFICATA	tratto libero più lungo
Nodo di ginocchio, connettori	0,90	VERIFICATA	88 spinotti Ø30 su due corone
Freccia della punta	167,6 mm	VERIFICATA	limite 192,8 mm; controfreccia 396 mm
Pilastro della struttura della tribuna, compressione	0,65	VERIFICATA	N = 1.906 kN, +58% sul predim.
Gradinate, frequenza propria	7,16 Hz	VERIFICATA	soglia raccomandata 6 Hz
Copertura, frequenza propria	0,93 Hz	DA APPROFONDIRE	c_d unitario provvisorio: da determinare
Fondazione della gamba	M = 0	VERIFICATA	cerniera: nessun momento in fondazione

Tabella 150 Sintesi delle verifiche

9.9.10 Osservazioni conclusive

Il modello conferma le sezioni ricavate per via manuale, con utilizzi compresi fra 0,65 e 0,92, e ne circoscrive il margine residuo. Percorrendo la catena strutturale nell'ordine seguito dalle verifiche, tre anelli richiedono in sede di progettazione definitiva approfondimenti che esulano dal presente livello.

Il primo riguarda il nodo di ginocchio, la cui deformabilità incide direttamente sulla freccia: la rigidezza rotazionale è stimata a partire dal modulo di scorrimento del prospetto 7.1 dell'Eurocodice 5, valore convenzionale che andrebbe confermato sperimentalmente, e l'ipotesi di piastra rigida nella ripartizione delle forze fra i connettori andrebbe verificata con un modello di dettaglio del collegamento.

Il secondo riguarda il pilastro della tribuna, per il quale il confronto con il limite convenzionale $0,45 f_{cd}$ costituisce un controllo di predimensionamento e non una verifica: il progetto della sezione secondo l'Eurocodice 2, con effetti del secondo ordine, resta da sviluppare.

Il terzo riguarda il comportamento dinamico della copertura. Il coefficiente dinamico del vento è stato assunto unitario, assunzione che il §3.3.9 delle NTC 2018 riserva alle costruzioni di tipologia ricorrente e che una mensola di 24,10 m con manto leggero non soddisfa; la frequenza propria fondamentale di 0,93 Hz ne conferma la flessibilità. La determinazione di c_d secondo le Istruzioni CNR-DT 207 R1/2018, con l'analisi della risposta alle raffiche, costituisce pertanto uno sviluppo necessario. Restano inoltre da sviluppare l'analisi sismica dell'insieme e la verifica di stabilità longitudinale.

10. Conclusioni

Il lavoro consente di rispondere alla domanda iniziale: uno stadio contemporaneo può restare sul lungolago. La sua permanenza, anziché un ostacolo, può diventare lo strumento con cui la città recupera le proprie connessioni, alla scala urbana come a quella di quartiere. L'approccio va oltre il caso specifico e può essere esteso ad altri stadi storici italiani inseriti in contesti urbani consolidati: la riqualificazione in sito resta un'alternativa concreta alla delocalizzazione, a patto che lo stadio sia pensato come parte della città e non come un recinto chiuso su sé stesso.

La progettazione è stata indotta dai vincoli: il sedime ha fissato l'impronta dell'impianto, la sovrapposizione delle norme le dotazioni funzionali, la visibilità il profilo delle gradinate. La libertà è ricaduta, dunque, in relazione alla scelta dei materiali, al ritmo della struttura, alla porosità dell'impianto che ha determinato la connessione tra interno ed esterno.

Sul piano strutturale, la scelta più significativa è stata trattare tribuna e copertura come un unico sistema, in cui il calcestruzzo trattiene il momento dello sbalzo in legno. Il confronto con il modello agli elementi finiti ha mostrato che, per sbalzi di tale entità, il limite non è la resistenza ma la deformabilità che ha richiesto una controfreccia di 396 mm.

La conferma dei risultati strutturali con valore di predimensionamento necessitano di quella che è una progettazione definitiva, a partire dall'analisi sismica e quella dinamica, dalle verifiche dei collegamenti e dalla caratterizzazione geotecnica del terreno.

Bibliografia

- Associazione Geotecnica Italiana, *Jet Grouting Raccomandazioni*, edizione provvisoria, Edizioni AGI, Roma 2012
- Allegri D., *Costruire lo stadio. Progetto contemporaneo e innovazione tecnologica*, in E. Faroldi, D. Allegri, P. Chierici, M.P. Vettori, *Progettare uno stadio. Architettura costruzione gestione*, Santarcangelo di Romagna, 2^a ed., Maggioli Editore, 2022
- Coppa A. *Stadi e strutture per lo sport*, collana "Le sfide dell'architettura", Milano, n.7, RCS MediaGroup, 2018
- FHWA, *Micropile Design and Construction. Reference Manual*, Washington D.C. 2005
- Fulham Football Club, *Craven Cottage Riverside Stand Planning Application*, 2017, [Craven-Cottage-Riverside-Stand-Planning-Summary-November-2017.pdf](#) (ultima consultazione 24/08/2026)
- Lancellotta R., *Geotecnica*, Zanichelli Editore, quarta edizione, 2012
- Solinas S., *Stadi d'Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi*, Roma, Bonanno Editore, 2008
- Sports Grounds Safety Authority, *Guide to Safety at Sports Grounds*, 6^a ed., Londra 2018

Articoli

- Escoffier A., Albrecht A., Consigny F., *Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof*, *International Journal of Structural and Construction Engineering*, World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 8, n. 3, 2014, pp. 299–303, [Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof](#) (ultima consultazione:11/09/2026)
- Santos, F., Cismaşiu, C., Cismaşiu, I., Bedon, C., *Dynamic Characterisation and Finite Element Updating of a RC Stadium Grandstand*, in "Buildings", vol. 8, n. 10, 2018, art. 141, [Dynamic Characterisation and Finite Element Updating of a RC Stadium Grandstand](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

Cartografia, normativa e regolamenti tecnici

Cartografia Comune di Como

- Comune di Como, Tav. 16.1, *Cartografia ricognitiva degli ambiti assoggettati a specifica tutela paesaggistica*, [Tavola-16-1.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 1.2, *Carta dei beni storico-artistico-monumentali e/o archeologici oggetto di tutela*, [PdR Tavola 1.2 Carta beni storico artistico monumentali oggetto di tutela.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano delle regole*, Tav. 6, *Carta della classificazione del tessuto urbano consolidato*, [PdR Tavola 6 Carta classificazione tessuto urbano consolidato.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano dei Servizi*, Tav. 1.1, *Carta della distribuzione delle attrezzature pubbliche e di uso pubblico o collettivo esistenti: le categorie I, II e III*, [PdS Tavola 1.1.1 Carta distribuzione attrezzature pubbliche e uso pubblico comune esistenti categorie I II III.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Documento di Piano*, *Ambito Viale Innocenzo XI*, [Scheda_VialeInnocenzoXI](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 16.2, *Carta del vincolo idrogeologico*, [PdR Tavola 16.2 Carta del vincolo idrogeologico.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 10.1, *Carta della fattibilità geologica*, [PdR Tavola 10.1 Carta fattibilità geologica.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)
- Comune di Como, *Piano delle Regole*, Tav. 8.bis, *Carta del dissesto con legenda uniformata PAI*, [PdR Tavola 8.bis Carta dissesto con legenda uniformata PAI.pdf](#) (ultima consultazione 20/08/2026)

- Comune di Como, *Documento di Piano*, Tav. 9.1, *Carta della geologia*, [DdP Tavola 09.1 Carta della geologia.pdf](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

Normative e regolamenti tecnici applicati

- D.M. 18 marzo 1996, *Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi*, e successive modificazioni; testo coordinato a cura del Ministero dell'interno, Dipartimento dei Vigili del Fuoco, Direzione centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica, Marzo 2026, [DM 18/03/96](#) (ultima consultazione: 14/09/2026)
- D.M. 17 gennaio 2018, *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, Roma, 2018
- UEFA, *UEFA Stadium Infrastructure Regulations*, edizione 2025, in vigore dal 1/06/2025, [UEFA Stadium Infrastructure Regulations • Lettore • Documents UEFA](#) (ultima consultazione 14/09/2026)
- UEFA, *Regulations of the UEFA Champions League*, edizione 2026/2027, in vigore dal 29/06/2026, [Article 1 Scope of application • Regulations of the UEFA Champions League • Lettore • Documents UEFA](#) (ultima consultazione 10/09/2026)
- FIGC, *Sistema delle Licenze Nazionali 2026/2027*, *Criteri Infrastrutturali Serie A*, allegato A), <https://www.figc.it/media/257613/all-al-cu-145-all-a-criteri-infrastrutturali-2025-2026-serie-a.pdf> (ultima consultazione 14/09/2026)
- CONI, *Norme CONI per l'impiantistica sportiva*, https://cis.coni.it/quadro_normativo.pdf, (ultima consultazione: 14/09/2026)
- FIGC-AIA, Associazione Italiana Arbitri, *Il regolamento del Giuoco del Calcio e Decisioni Ufficiali*, ed.2026, [reg_2026.pdf](#) (ultima consultazione: 14/09/2026)
- UNI 9217, *Impianti sportivi e ricreativi. Tribune. Caratteristiche e prescrizioni generali*. Ente Italiano di Normazione, 1994 ritirata [UNI 9217 - UNI - Ente Italiano di Normazione](#) (ultima consultazione 10/08/2026)
- UEFA, *UEFA Pitch Quality Guidelines*, edizione 2025, [UEFA Pitch Quality Guidelines - 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA](#), (ultima consultazione: 3/09/2026)
- D.Lgs. 5 ottobre 2006, n.264, *Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea*, 9 ottobre 2006
- D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, *Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*, [Microsoft Word - dm_11_5_01.doc](#) (ultima consultazione: 10/09/2026)
- UNI EN 1995-1-1, *Eurocodice 5, Progettazione delle strutture di legno, Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici*, Ente Italiano di Normazione, 2005
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7, *Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*
- CNR-DT 207 R1/2018, *Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni*, Consiglio Nazionale delle Ricerche
- UNI EN 1991-1-4:2010, *Eurocodice 1, Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento*, Ente Italiano di Normazione, 2010.

Sitografia

- Archdaily, [Gli architetti Zaha Hadid inaugurano il primo stadio di calcio tutto in legno a Stroud. Regno Unito | ArchDaily](#) (ultima consultazione: 11/09/2026)
- Archello, [ALLIANZ RIVIERA STADIUM | Wilmotte & Associés Architectes | Archello](#) (ultima consultazione: 11/09/2026)
- BauNetz, [Allianz Riviera in Nizza | Gebäudetechnik | Freizeit/Sport | BauNetz Wissen](#), (ultima consultazione: 11/09/2026)

- Calcio Finanza, "Il Sinigaglia di Como verso il via libera per la Champions: capienza da quasi 11mila posti", 2026, [Il Sinigaglia di Como verso il via libera per ospitare la Champions](#) (ultima consultazione: 29/08/2026)
- De Simone D., "Como-Napoli: tutte le indicazioni per i tifosi ospiti", [Como-Napoli: tutte le indicazioni per i tifosi ospiti](#) - (Ultima consultazione: 26/08/2026)
- Fulham FC, [Fulham FC - Fulham v Tottenham Hotspur](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)
- IFAB, Law 1 The Field of Play, [Legge 1 - Il Campo di Gioco | IFAB](#), (ultima consultazione: 3/09/2026)
- La Provincia, Como si riprende la piscina Sinigaglia dopo un anno di lavori. L'inaugurazione e l'esibizione degli atleti, 2024, [Inaugurazione della piscina Sinigaglia, tra tuffi ed esibizioni](#) (ultima consultazione: 10/09/2026)
- La Provincia, "La viabilità quando gioca il Como: divieti diversi in base all'orario", [Como, la viabilità quando gioca il Como](#) (ultima consultazione: 26/08/2026)
- Levrini E., "La costruzione dello stadio", [La costruzione dello Stadio - Il Museo del Como](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)
- Old Como, [Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)
- Tram e Treni, [Rete Tranviaria Como - Tram e Treni](#) (ultima consultazione: 24/08/2026)
- Ciclo di Tichelmann, https://it.firwiki.wiki/wiki/Boucle_de_Tichelmann. (ultima consultazione 4/09/2026)
- Architekten Landrell, ETFE Foil: A Guide to Design, [Carta ETFE: Una guida al design | Architekten Landrell](#), (ultima consultazione: 10/08/2026)
-

Sitografia (documentazione tecnica di prodotto)

- REHAU, Flächenheizung/ -kühlung Nichtwohnbau, [Flächenheizung/-kühlung Nichtwohnbau](#) (ultima consultazione 4/09/2026)
- Daliform Group, Pratopratico. La griglia salvaerba, <https://www.daliform.com/pratopratico-la-griglia-per-pavimentazioni-carrabili/>, (ultima consultazione 10/09/2026)
- Ceta, Sedute Ceta, [Catalogo-sedute.pdf](#) (ultima consultazione: 10/09/2026)
- SB Prefabbricati, Tribune, [Tribune - SB Prefabbricati](#) (ultima consultazione 10/08/2026)
- Theurl, Legno lamellare e legno massiccio in conformità alla norma EN 14080:2013, [merkblatt-holzindustrie-it-7-2016.pdf](#) (ultima consultazione 10/09/2026)

Fonti archivistiche

Gli elaborati delle planimetrie del piano terra, del primo piano e del secondo piano, sono state fornite direttamente dal Comune di Como

Indice delle figure

Figura 1: Planimetria schematica. Fonte: Fulham FC, Fulham FC - Fulham v Tottenham Hotspur (ultima consultazione 24/08/2026).....	16
Figura 2: Concept architettonico iniziale della passeggiata sulla Riverside a sinistra; Planimetria piano terra Riverside a destra. Fonte: Fulham Football Club, Craven Cottage Riverside Stand Planning Application, 2017, pag. 8-10, Craven-Cottage-Riverside-Stand-Planning-Summary-November-2017.pdf (ultima consultazione: 24/08/2026)	18

Figura 3: Sezione delle tribune in alto; Vista prospettica in basso. Fonte: Alessandro Coppa, Stadi e strutture per lo sport, collana “Le sfide dell’architettura”, Milano, n.7, RCS MediaGroup, 2018, pag. 12-13 e 20	19
Figura 4: Schema copertura. Fonte: BauNetz, Allianz Riviera in Nizza Gebäudetechnik Freizeit/Sport BauNetz Wissen, (ultima consultazione 11/09/2026)	20
Figura 5: Vista della copertura. Fonte: Archello, ALLIANZ RIVIERA STADIUM Wilmotte & Associés Architectes Archello (ultima consultazione 11/09/2026)	21
Figura 6: Scansione ritmica. Fonte: Archdaily, Gli architetti Zaha Hadid inaugurano il primo stadio di calcio tutto in legno a Stroud, Regno Unito ArchDaily (ultima consultazione 11/09/2026)	21
Figura 7 Dettaglio copertura. Fonte: Archdaily, Gli architetti Zaha Hadid inaugurano il primo stadio di calcio tutto in legno a Stroud, Regno Unito ArchDaily (ultima consultazione 11/09/2026)	22
Figura 8: Campo Garibaldi nei primi anni del ‘900. Fonte: Old Como, Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo (ultima consultazione: 24/08/2026)	23
Figura 9: Lo stadio di Como negli anni Trenta. Fonte: Sandro Solinas, Stadi d’Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi, Roma, Bonanno Editore, 2008, pag. 106	23
Figura 10: Lavori sulla facciata. Fonte: Old Como, Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo (ultima consultazione: 24/08/2026)	24
Figura 11: Facciata in stile classico dell’arch. Giovanni Greppi a sinistra; Facciata razionalista dell’ing. Gianni Mantero a destra. Fonte: Old Como, Lo stadio Sinigaglia - Oldcomo (ultima consultazione: 24/08/2026)	24
Figura 12: Stato antecedente all’intervento della tribuna Ovest. Fonte: Sandro Solinas, Stadi d’Italia. La storia del calcio italiano attraverso i suoi templi, Roma, Bonanno Editore, 2008, pag. 107	25
Figura 13: Intervento estate 2026, nuova tribuna Ovest. Fotografia personale	26
Figura 14: Rete tranviaria dismessa nel 1952. Fonte: Rete Tranviaria Como - Tram e Treni Ultima consultazione:24/08/2026	47
Figura 15 Concept strategico urbano. Elaborazione personale	48
Figura 16 Masterplan di progetto. Scala 2000. Elaborazione personale	50
Figura 17 Arrivo dei tifosi ospiti. Stato attuale e di progetto invariato: l’area a Ovest è la stazione di Grandate. Elaborazione personale	51
Figura 18 Arrivo dei tifosi di casa. Stato di progetto con rete tranviaria. Elaborazione personale	52
Figura 19 Divieto di sosta e circolazione attuali delle aree nei pressi dello stadio. Elaborazione personale	53
Figura 20 Divieto di sosta e circolazione di progetto delle aree nei pressi dello stadio. Elaborazione personale	53
Figura 21 Stato attuale. Elaborazione personale	54
Figura 22 Stato di fatto_Piano terra. Fonte: Comune di Como	55
Figura 23 Stato di fatto_Piano primo. Fonte Comune di Como	55
Figura 24 Stato di fatto_Piano secondo. Fonte: Comune di Como	56
Figura 25 Concept passeggiata sul lago: ad Ovest Villa Olmo e ad Est viale Geno. In rosso il tratto pedonalizzato. Elaborazione personale	57
Figura 26 Concept stadio e intervento urbano nelle zone limitrofe. Elaborazione personale	58
Figura 27 Piano terra: demolizioni, rifunzionalizzazione, mantenimento facciata Sud	59
Figura 28 Piano primo: demolizioni, rifunzionalizzazione, mantenimento facciata Sud	59
Figura 29 Piano secondo: demolizioni, rifunzionalizzazione, mantenimento facciata Sud	59
Figura 30 Masterplan di progetto. Scala 500. Elaborazione personale	60
Figura 31 Ingressi e aree piano terra. Elaborazione personale	62
Figura 32 Aree piano primo. Elaborazione personale	62
Figura 33 Aree piano secondo. Elaborazione personale	63
Figura 34 Piano terra. Elaborazione personale	64
Figura 35 Piano primo. Elaborazione personale	64
Figura 36 Piano secondo. Elaborazione personale	65
Figura 37 Esodo piano terra. Elaborazione personale	73
Figura 38 Esodo piano primo. Elaborazione personale	73
Figura 39 Esodo piano secondo. Elaborazione personale	74
Figura 40 Distanze e funzioni campo di gioco. Elaborato personale	79
Figura 41 Tipologie di manto erboso ibrido: da sinistra a destra: tappeto, cucito, fibra. Fonte: UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.5, pag 12	80

Figura 42 Stratigrafia Pratopratico. FONTE: https://www.daliform.com/pratopratico-la-griglia-per-pavimentazioni-carrabili/ , pag.10 del catalogo nella sezione download. (ultima consultazione: 3/09/2026).....	81
Figura 43 Componente Pratopratico. Fonte: https://www.daliform.com/pratopratico-la-griglia-per-pavimentazioni-carrabili/ , (ultima consultazione: 3/09/2026).....	81
Figura 44 Aree a manto ibrido e aree a sistema pratopratico. Elaborato personale.....	82
Figura 45 Istallazione tubi di riscaldamento. Fonte: UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.8, pag 13	83
Figura 46 Schema riscaldamento campo di gioco. Elaborato personale.....	84
Figura 47 Progettazione stratigrafica. Fonte: UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.2, pag 8.....	85
Figura 48 Schema drenaggio campo di gioco.....	86
Figura 49 Sistema di irrigazione a scomparsa. Fonte: UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.3, pag 9	86
Figura 50 Esempio di un progetto di irrigazione a “blocchi” Fonte: UEFA Pitch Quality Guidelines – 2025 Edition • Visualizzatore • Documents UEFA, fig.4, pag 10	87
Figura 51 Schema irrigazione campo di gioco. Elaborazione personale	88
Figura 52 Geometria del valore C; Fonte: Norme Coni, §9, pag.9.....	90
Figura 53 Profilo valore C; Sports Ground Safety Authority, Guide to Safety at Sports Grounds, 6 ^a ed., Londra 2018, pag. 163	92
Figura 54 Super C; Sports Ground Safety Authority, Guide to Safety at Sports Grounds, 6 ^a ed., Londra 2018, pag. 165.....	99
Figura 55 Profilo di progetto valore C tribune Ovest ed Est	100
Figura 56 Profilo di progetto valore C tribuna Nord	100
Figura 57 Profilo di progetto valore C della tribuna Sud	102
Figura 58 Schema del trattamento con jet grouting: (a) perforazione; (b) e (c) formazione della colonna. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, pag. 3	103
Figura 59 Sistemi di trattamento: a) monofluido; b) bifluido; c) trifluido. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, pag. 5.....	104
Figura 60 Valori tipici dei trattamenti. Fonte: Associazione Geotecnica Italiana, Jet Grouting Raccomandazioni, AGI, Roma 2012, pag. 12.....	105
Figura 61 Planimetria galleria	106
Figura 62 Schema strutturale.....	106
Figura 63 Planimetria tipo galleria	111
Figura 64 Planimetria parcheggio.....	111
Figura 65 Sezione verticale, parcheggio e galleria.....	112
Figura 66: sezione tipo tribune Est ed Ovest.....	129
Figura 67 Deflusso delle acque	130
Figura 68 Immagine del prototipo – Dettaglio del fissaggio visto dall’interno. Fonte: International Journal of Structural and Construction Engineering, Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof, (ultima consultazione 11/09/2026).....	131
Figura 69 Immagine del prototipo – Vista dall’esterno. Fonte: Fonte: International Journal of Structural and Construction Engineering, Nice Stadium: Design of a Flat Single Layer ETFE Roof, (ultima consultazione 11/09/2026).....	131

Indice delle tabelle

Tabella 1 Documenti di riferimento.....	29
Tabella 2 Terreno di gioco, distanze minime e dotazioni di contorno	32
Tabella 3 Porte, aree di riscaldamento e pannelli	32
Tabella 4 Capienza, sedute, settori, strutture	33
Tabella 5 Ambienti per squadre e ufficiali di gara.....	34

Tabella 6 Ambienti e postazioni per i media	35
Tabella 7 Ambienti per autorità e ospitalità	36
Tabella 8 Servizi e dotazioni per ciascun settore	36
Tabella 9 Impianti e ambienti per la sicurezza.....	37
Tabella 10 Illuminazione di gara: confronto e valori dimensionanti.....	38
Tabella 11 Visibilità, confronto e valore dimensionante.....	39
Tabella 12 Catena dei riferimenti normativi per la verifica di visibilità	39
Tabella 13 Determinazione posti	40
Tabella 14 Soglia di capienza e prescrizioni attivate	41
Tabella 15 Sistemi di separazione ammessi.....	41
Tabella 16 Dimensionamento esodo	42
Tabella 17 Geometria dei gradoni e dei percorsi	42
Tabella 18 Aree di sicurezza e sistema dei varchi.....	43
Tabella 19 Accessibilità per i mezzi di soccorso.....	43
Tabella 20 Servizi igienici e pronto soccorso	44
Tabella 21 Impianti di sicurezza	44
Tabella 22 Requisiti strutturali e di reazione al fuoco.....	45
Tabella 23 Impianti e locali per le gestioni delle emergenze	46
Tabella 24 Confronto tra le prescrizioni del decreto e i criteri sportivi	46
Tabella 25 Legenda Concept strategico	49
Tabella 26 Confronto tra le previsioni del Piano e il progetto	49
Tabella 27 Demolizione, rifunionalizzazione e mantenimento facciata tribuna Sud	60
Tabella 28 Legenda ingressi e aree	61
Tabella 29 Dotazioni tribuna Nord	66
Tabella 30 Dotazioni tribuna Ovest	66
Tabella 31 Dotazioni tribuna Est: spettatori di casa.....	67
Tabella 32 Dotazioni tribuna Est: spettatori ospiti.....	67
Tabella 33 Dotazioni tribuna Sud spettatori GA.....	68
Tabella 34 Dotazioni hospitality tribuna d'onore/vip	68
Tabella 35 Dotazioni piano terra.....	69
Tabella 36 Dotazioni piscina: piano terra	71
Tabella 37 Dotazioni piano primo.....	71
Tabella 38 Dotazioni piano secondo	72
Tabella 39 Legenda esodo tribune	72
Tabella 40 Tornelli e vie d'esodo tribuna Nord.....	74
Tabella 41 Tornelli e vie d'esodo tribuna Ovest	75
Tabella 42 Tornelli e vie d'esodo tribuna Est-settore casa.....	75
Tabella 43 Tornelli e vie d'esodo tribuna Est-settore ospiti.....	76
Tabella 44 Tornelli e vie d'esodo tribuna Sud	77
Tabella 45 Capienza totale.....	78
Tabella 46 Distanze e funzioni campo di gioco	79
Tabella 47 Legenda aree a manto ibrido e a sistema pratopratico.....	82
Tabella 48 Legenda schema riscaldamento.....	84
Tabella 49 Legenda schema drenaggio	86
Tabella 50 Legenda irrigazione campo di gioco	88
Tabella 51 Corrispondenza fra le notazioni	91
Tabella 52 Notazione indicizzata	93
Tabella 53 Distanza del fronte delle tribune dalla linea di campo	94
Tabella 54 Campo di gioco e distanze	95
Tabella 55 Parametri assunti per il profilo	96
Tabella 56 Suddivisione in blocchi ad alzata costante per le tribune Ovest, Est e Nord.....	96
Tabella 57 Profilo risultante.....	97
Tabella 58 Verifiche	97

Tabella 59 Verifica del valore C fila per fila tribune Ovest, Est e Nord	99
Tabella 60 Verifica del valore C fila per fila della tribuna Sud.....	101
Tabella 61 Geometrie generali galleria e parcheggio	107
Tabella 62 Dati falda e terreno	109
Tabella 63 Materiali.....	109
Tabella 64 Coefficienti parziali	110
Tabella 65 Composizione planimetria tipo.....	110
Tabella 66 Composizione sezione verticale.....	112
Tabella 67 Sviluppo delle rampe e ingombro complessivo al variare della pendenza.....	113
Tabella 68 Raggio minimo in planimetria, criterio dinamico	114
Tabella 69 Raggio minimo in planimetria, criterio della visibilità	114
Tabella 70 Pressioni orizzontali sul diaframma.....	115
Tabella 71 Momento flettente.....	115
Tabella 72 Momento di progetto con i coefficienti parziali (NTC 2018, combinazione A1)	116
Tabella 73 Spessore diaframma.....	116
Tabella 74 Altezza diaframma.....	117
Tabella 75 Pressione netta sull'intradosso del tampone della galleria e del parcheggio.....	117
Tabella 76 Verifica a flessione del tampone della galleria.....	118
Tabella 77 Verifica allo sfilamento all'interfaccia, galleria	118
Tabella 78 Verifica a flessione del tampone del parcheggio: confronto tra le configurazioni con e senza ancoraggi	119
Tabella 79 Verifica allo sfilamento all'interfaccia tappo-diaframma del parcheggio	119
Tabella 80 Peso permanente della struttura in esercizio	120
Tabella 81 Verifica al sollevamento allo stato limite UPL, NTC 2018.....	121
Tabella 82 Dimensionamento degli ancoraggi sul nodo più sollecitato.....	122
Tabella 83 Sintesi delle verifiche.....	123
Tabella 84 Maglia strutturale della tribuna.....	125
Tabella 85 Geometria trave a ginocchio	126
Tabella 86 Altezze dei pilastri	126
Tabella 87 Carichi assunti e carichi di progetto.....	127
Tabella 88 Pre-dimensionamento del pilastro più caricato	127
Tabella 89 Geometria della copertura.....	132
Tabella 90 Materiali - caratteristiche	132
Tabella 91 Carichi e azioni sul costolone	133
Tabella 92 Sollecitazioni alla radice.....	134
Tabella 93 Verifica di resistenza	134
Tabella 94 Verifica di deformazione.....	135
Tabella 95 Esito verifica di deformazione	135
Tabella 96 Azione del vento in depressione e reazione di ancoraggio.....	136
Tabella 97 Verifica instabilità flesso-torsionale.....	137
Tabella 98 Esito verifica di svergolamento.....	137
Tabella 99 Quadro riassuntivo.....	137
Tabella 100 Geometria della gamba e azioni trasmesse dalla mensola	138
Tabella 101 Trasformazione del momento in coppia di spinte orizzontali	139
Tabella 102 Verifica della sezione critica alla quota del ritegno con rastremazione continua	139
Tabella 103 Provvedimenti considerati per la verifica della sezione critica	140
Tabella 104 Verifica a flessione lungo l'altezza della gamba a sagoma spezzata.....	141
Tabella 105 Parametri di instabilità del tratto superiore G3	141
Tabella 106 Parametri di instabilità nel tratto intermedio G2.....	142
Tabella 107 Verifica a presso-flessione con instabilità del tratto intermedio G2.....	142
Tabella 108 Parametri di instabilità in assenza di ritegni intermedi	143
Tabella 109 Risoluzione della spinta orizzontale nel telaio in calcestruzzo	144
Tabella 110 Sintesi delle verifiche della gamba	144

Tabella 111 Azioni alla cerniera di base per singola gamba.....	145
Tabella 112 Ripartizione dei plinti lungo il fronte	146
Tabella 113 Equilibrio orizzontale per coppia di plinti.....	146
Tabella 114 Verifica di portanza del plinto comune.....	147
Tabella 115 Esito verifiche del plinto comune.....	147
Tabella 116 Verifica di portanza del plinto intermedio	148
Tabella 117 Ipotesi pali di fondazione	148
Tabella 118 Materiali definiti nel modello.....	150
Tabella 119 Sezioni prismatiche	151
Tabella 120 Sezione non prismatica del costolone	151
Tabella 121 Tratti della gamba e relative sezioni.....	152
Tabella 122 Parametri geometrici del telaio tipo	153
Tabella 123 Nodi del telaio tipo (piano XZ, Y=0).....	154
Tabella 124 Aste del modello e rilasci assegnati.....	155
Tabella 125 Confronto tra le configurazioni di modellazione.....	155
Tabella 126 Load pattern definiti nel modello	156
Tabella 127 Determinazione dell'azione della neve (NTC 2018, §3.4).....	157
Tabella 128 Determinazione delle azioni del vento (NTC 2018, §3.3).....	158
Tabella 129 Carichi distribuiti assegnati alle aste	159
Tabella 130 Coefficienti di combinazione ψ (NTC 2018 tab. 2.5.I)	159
Tabella 131 Coefficienti parziali γ (NTC 2018 tab. 2.6.I)	159
Tabella 132 Combinazioni definite nel modello (NTC 2018 §2.5.3).....	160
Tabella 133 Scelta del coefficiente k_{mod} (NTC 2018 §4.4.IV, classe di servizio 2)	160
Tabella 134 Sollecitazioni alla radice del costolone e confronto con il pre-dimensionamento.....	162
Tabella 135 Resistenza di progetto e coefficienti	163
Tabella 136 Esito delle verifiche del costolone	163
Tabella 137 Verifica a pressoflessione con instabilità, tratto sopra il ritegno	164
Tabella 138 Esito della verifica, tratto sopra il ritegno	164
Tabella 139 Verifica a pressoflessione con instabilità, tratto tra i due ritegni.....	164
Tabella 140 Esito della verifica, tratto tra i due ritegni.....	164
Tabella 141 Geometria del nodo e rigidezza rotazionale	165
Tabella 142 Resistenza dei connettori e verifica	165
Tabella 143 Esito della verifica dei connettori.....	166
Tabella 144 Sviluppo del calcolo della freccia a valle dell'analisi	166
Tabella 145 Esito della verifica di deformazione.....	166
Tabella 146 Verifica del pilastro più caricato della sezione della tribuna	167
Tabella 147 Frequenze proprie e soglie di riferimento	169
Tabella 148 Calcolo frequenza propria	169
Tabella 149 Azioni alla base della gamba.....	170
Tabella 150 Sintesi delle verifiche.....	170

Ringraziamenti

Ringrazio l'aleatorietà degli eventi e dei processi dei flussi di pensiero decisionali, personali e relazionali, per avermi portato fino a qui.

Ringrazio il professor Morandotti per avermi guidato e sostenuto durante la progettazione della tesi, per il rapporto familiare dell'approccio con gli studenti, per l'empatia delle discussioni, per le lezioni.

Ringrazio tutti i professori per aver plasmato, in parte, il mio modo di processare i pensieri. Li ringrazio anche per tutte quelle competenze che mi hanno trasmesso. Ne farò buon uso.

Ringrazio i miei compagni di corso per le sfumature che mi hanno lasciato. Luca in primis per le similarità mentali che ci hanno da subito avvicinati; Adele, per aver toccato le mie corde più introspettive; Laura e Beatrice, per tutti i progetti, per tutte le risate, per le persone buone che sono; Francesca e il suo modo di fare che la contraddistingue e per i progetti fatti insieme; Andrea, per la sua spontaneità, per tutte le risate fatte; Paul per la sua genuinità; Martina per la sua pacatezza.

Ringrazio i miei Amici da una vita: Stefano, Alex, Cristian, Daniele, Filippo, Lorenzo, Matteo, Marzio, Michael. Per aver portato allegria ogni volta che siamo stati insieme. Fate parte della mia famiglia. Da sempre e per sempre.

Ringrazio la mia famiglia per avermi sostenuto in tutta la mia vita, per avermi dato l'opportunità di fare ciò che volevo, per aver sempre più innalzato la mia autostima. Ringrazio mia madre per il suo amore incondizionato e per avermi trasmesso la sua sensibilità, mio padre e mio fratello per avermi trasmesso lo spirito di sacrificio, le mie due sorelle per la profondità d'animo che le contraddistingue. Ringrazio i miei nipotini per ricordarmi la semplicità d'essere.

Ringrazio tutte le persone trasversali che hanno fatto parte della mia vita.

Infine, ringrazio me stesso. Per la tua curiosità per tutto ciò che ti circonda. Per la tua empatia. Perché non hai mai mollato nei momenti più difficili imparando a prenderne il lato positivo. Perché hai imparato a gestire le emozioni. Perché sei cresciuto a livello di persona. Perché hai sempre saputo ciò che volevi, sin da bambino, e ce l'hai fatta. Ringrazio il tuo lato sensibile, quello armonico, quello caotico.

Al tuo infinito potenziale.

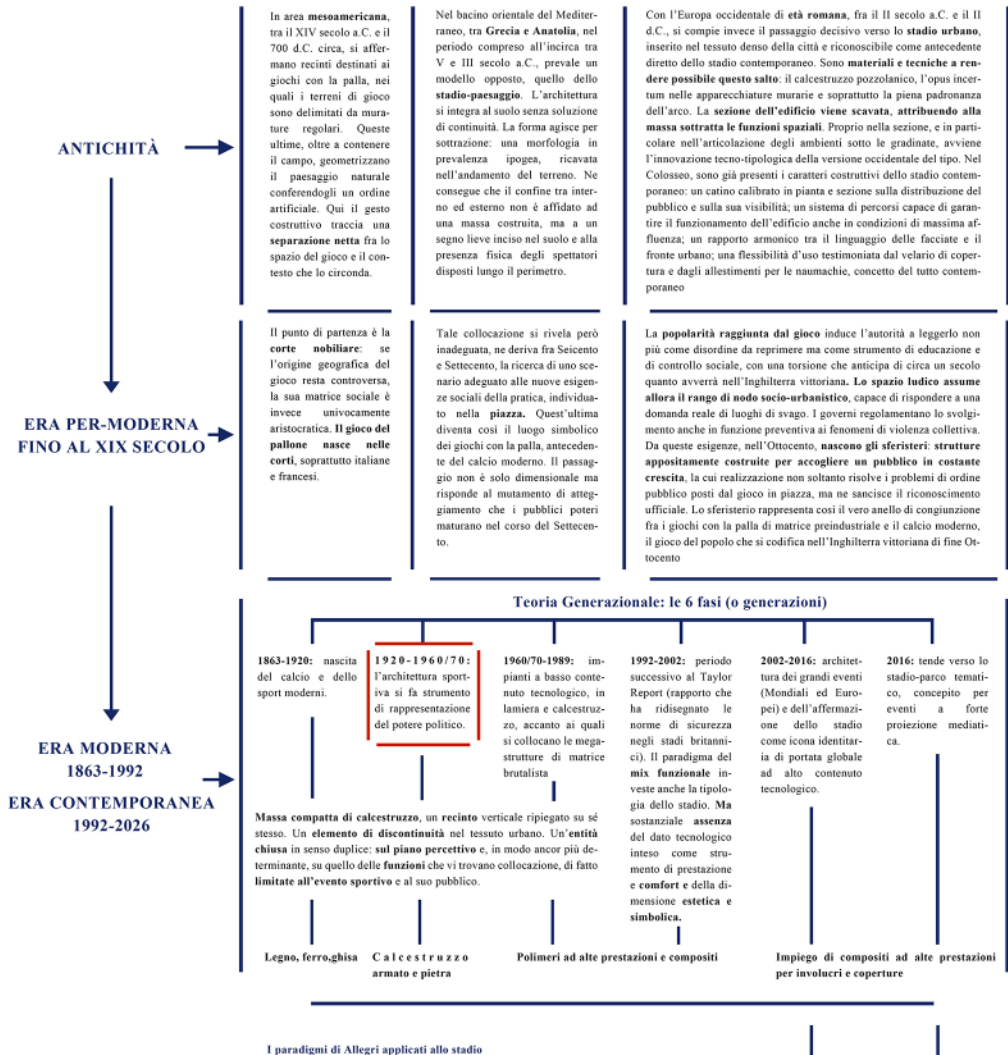
Ora c'è un'altra vita, ci sono altre emozioni.

L'EVOLUZIONE STORICA DEGLI STADI

Dal punto di vista tipologico, la configurazione dello stadio contemporaneo conserva similarità con i modelli dell'antichità: tribune gradonate, spazi serventi ricavati sotto di esse e il vuoto centrale del terreno di gioco. Questa triade, che duemila anni di storia costruttiva non hanno sostanzialmente modificato, costituisce una configurazione spaziale stabile che struttura in modo duraturo nel tempo il rapporto tra l'uomo e il proprio ambiente costruito.

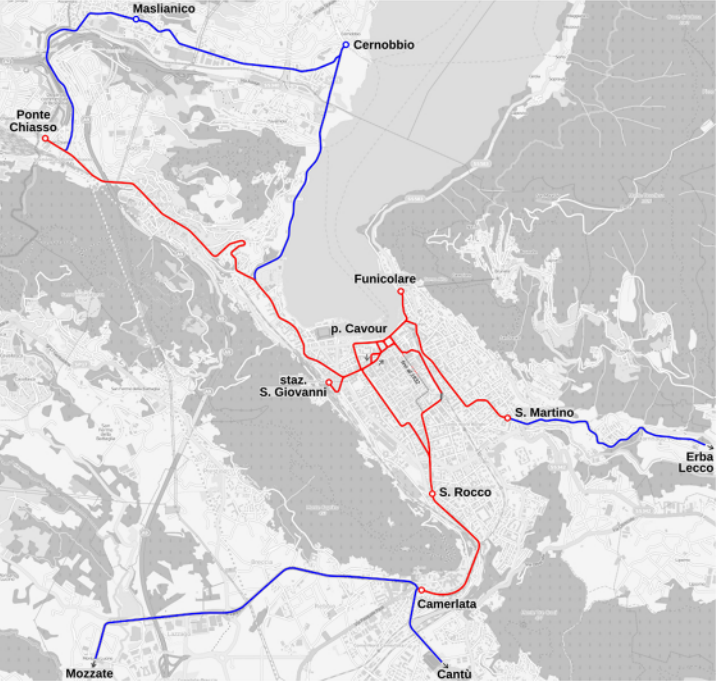
Su questa permanenza si possono innestare tre direttrici: il valore simbolico che i luoghi dello sport hanno storicamente assunto in rapporto agli assetti culturali e politici; la persistenza di un impianto morfo-tipologico che varia nei materiali e nelle prestazioni ma non nei suoi elementi costitutivi; la funzione identitaria dello sport come pratica sociale. Quello che la teoria evolutiva evidenzia è l'intreccio tra due piani: l'innovazione tecnologica e funzionale e il modo in cui l'edificio-stadio ridefinisce nel tempo la propria relazione con il paesaggio fisico

Su queste basi si identificano 4 ere evolutive



IL PROGETTO URBANO: CONCEPT E MASTERPLAN

L'intervento a scala urbana nasce da un obiettivo di riequilibrio della mobilità: alleggerire il traffico veicolare sul lung lago, garantire l'efficienza degli spostamenti nelle giornate di gara e rafforzare il trasporto pubblico dell'intera città. Esso prevede a tal fine il ripristino della rete tranviaria dismessa negli anni Cinquanta. La linea risponde così a una duplice esigenza: assorbire i flussi concentrati generati dall'impianto sportivo e servire, negli altri giorni, la mobilità ordinaria della città.



Mappa rete tranviaria dismessa nel 1952

I collegamenti principali sono le tre stazioni dei tram di progetto:
1) Stazione del tram principale in corrispondenza dell'attuale area dell'ex scalo merci, nei pressi della stazione dei treni Como San Giovanni (ad Ovest rispetto al centro urbano);
2) Stazione del tram in corrispondenza dello stadio (a Nord rispetto al centro urbano);
3) Stazione del tram in corrispondenza di Piazza Giacomo Matteotti, nei pressi dell'altra stazione dei treni Como Lago (ad Est rispetto al centro urbano).



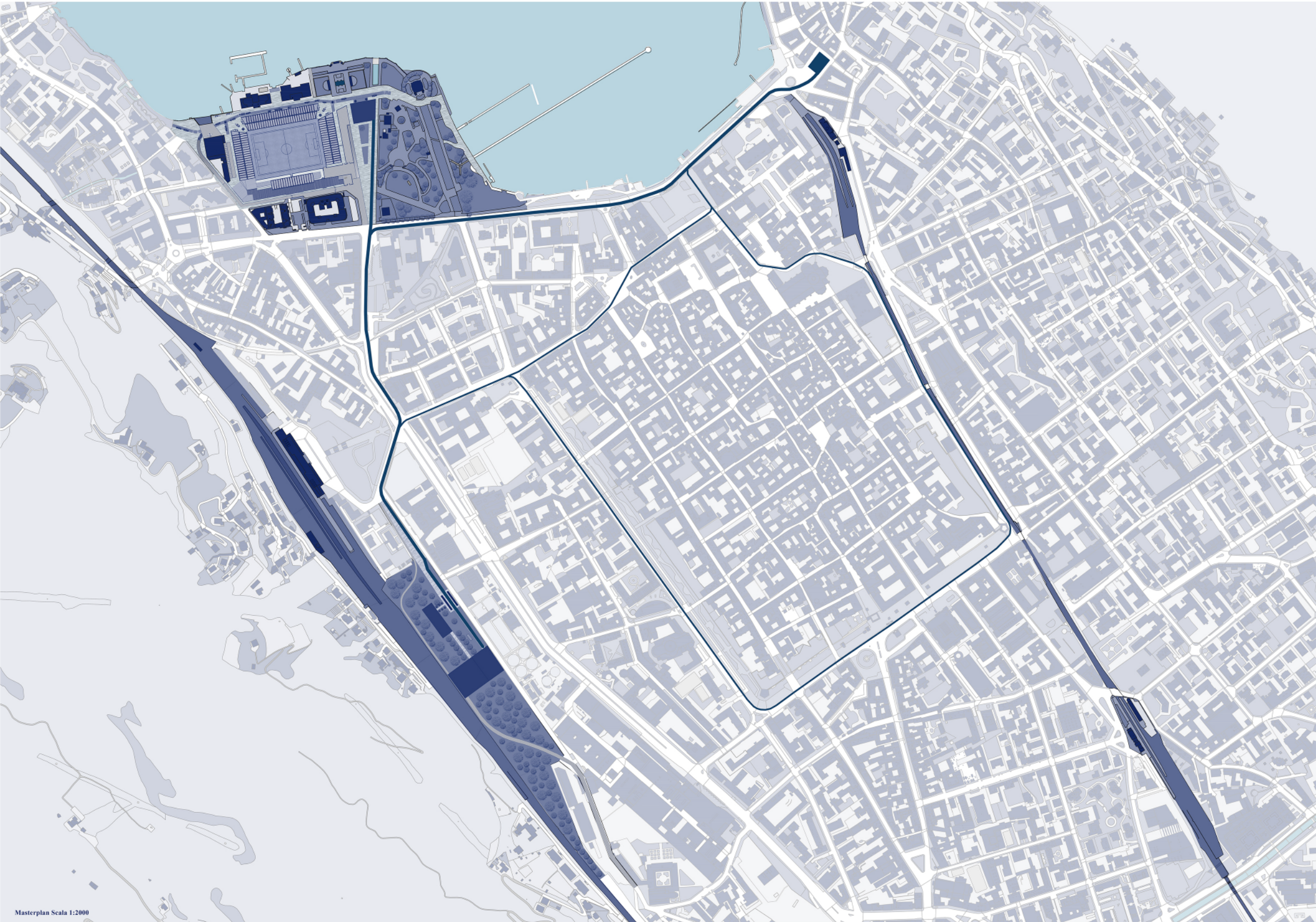
Concept strategico urbano

L'area ex scalo merci		
Il regime dell'area destinata al nuovo autosilo e alla stazione dei tram ricade in un ambito strategico di riqualificazione urbana disciplinato dal Documento di Piano e sottoggettato a pianificazione attuativa.		
La relativa scheda "Ambito Vale Innocenza XI - Insediamento territoriale" individua l'area come comparto 1b e assegna come destinazioni i servizi pubblici e di interesse pubblico o generale e, in questa parte, funzioni terziario-ottentive: l'autosilo e la stazione dei tram rientrano pertanto nella destinazione principale prevista dal piano.		
Elemento	Previsione del Piano	Progetto di tesi
Superficie del comparto 1b	38.084 m²	invariata
Destinazione d'uso	servizi pubblici e di interesse pubblico	confermata
Ruolo dell'area	nodo di scambio	confermato
Sono di interscambio	parcheggio interrato da 700 posti	autosilo
Addezione verso il centro	stazione delle autostrade extraurbane	capolinea della linea tranviaria

Confronto previsione piano e progetto dell'area ex scalo merci

Simbolo	Descrizione
	Stadio di progetto
	Stazioni ferroviarie esistenti
	Autosilo di progetto
	Stazioni tranviarie di progetto
	Flussi di traffico principali in entrata verso l'autosilo
	Linea ferroviaria esistente
	Linea tranviaria di progetto principale
	Linea tranviaria di progetto secondaria: distribuzione in città
	Area soggetta ad intervento urbano: ex scalo merci

Legenda concept



Masterplan Scala 1:2000

Progetto per lo Stadio Giuseppe Sinigaglia in Como: tra integrazione urbana e rinnovamento edilizio

IL PROGETTO ARCHITETTONICO DELLO STADIO

CIRCOLAZIONE

Per ragioni di sicurezza il progetto mantiene invariate le modalità di arrivo dei tifosi ospiti, che restano quelle attualmente in uso: i pullman della tifoseria ospite arrivano nel parcheggio fuori dalla città in corrispondenza della stazione di Grandate, da qui raggiungono lo stadio scortati e accedono direttamente al settore loro riservato, in viale Vittorio Veneto.



Arrivo tifosi ospiti

Diversa è la soluzione adottata per i tifosi di casa, per i quali il progetto prevede: sosta nell'autostrada dell'ex scala merci e trasferimento in tram fino alla fermata prossima all'impianto. Stesso schema per la fermata verso Como Lago.

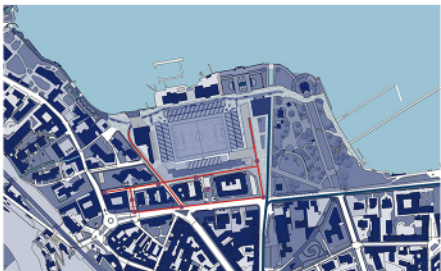


Arrivo tifosi di casa

Nel progetto rimane necessaria parte della limitazione per poter garantire l'accesso in totale sicurezza delle squadre, degli arbitri e dello staff nella tribuna Sud e degli spettatori ospiti nella tribuna Est. Gli accessi ai posti auto privati quali residenziali, dello Yacht Club e dei Canottieri Lario saranno comunque accessibili fino a tre ore prima della partita.



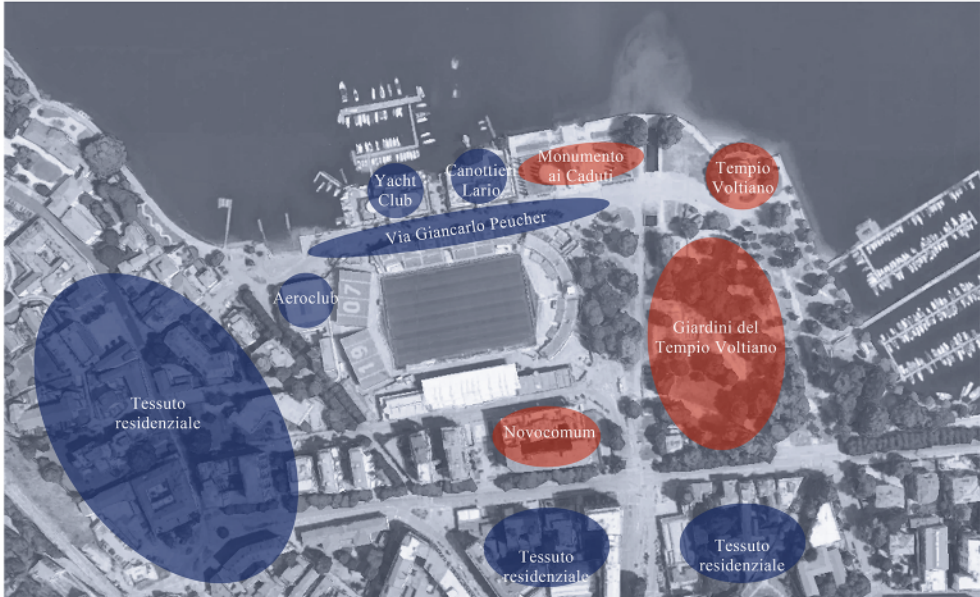
Sosta e circolazione attuale



Sosta e circolazione di progetto

STATO DI FATTO

Lo Stadio Giuseppe Sinigaglia occupa una delle posizioni più delicate di Como. Affacciato sul bacino del lago, si colloca in un intorno con valore insieme paesaggistico e monumentale: il Tempio Voltiano e i suoi giardini, il Monumento ai Caduti e il Novocomun di Giuseppe Terragni. A questi si affiancano le sedi storiche della vita sportiva sul lago, la Canottieri Lario, lo Yacht Club, l'Aeroclub e sul fronte opposto un tessuto residenziale consolidato. Inoltre, la mobilità dolce viene interrotta proprio in corrispondenza di via Giancarlo Peucher, attualmente carrabile. L'area su cui l'impianto insiste è il risultato di adattamenti successivi. Non vi sono margini di espansione e ogni scelta progettuale deve misurarsi con questa condizione. Attualmente il sedime dello stadio è costituito da volumetrie distinte: la tribuna Sud ospita la tribuna d'onore, la piscina recentemente oggetto di restauro, una palestra inutilizzata, gli spogliatoi e tutte le funzioni di supporto allo stadio, la tribuna Nord ospita i distinti, la Ovest la Curva Como; la Est gli spettatori ospiti.



Stato attuale



Monumento ai caduti



Monumento ai caduti



Tempio Voltiano



Yacht Club Como



Giardini Tempio Voltiano



Canottieri Lario



Tribuna Nord



Viale Giancarlo Peucher



Viale Massenzio Masia



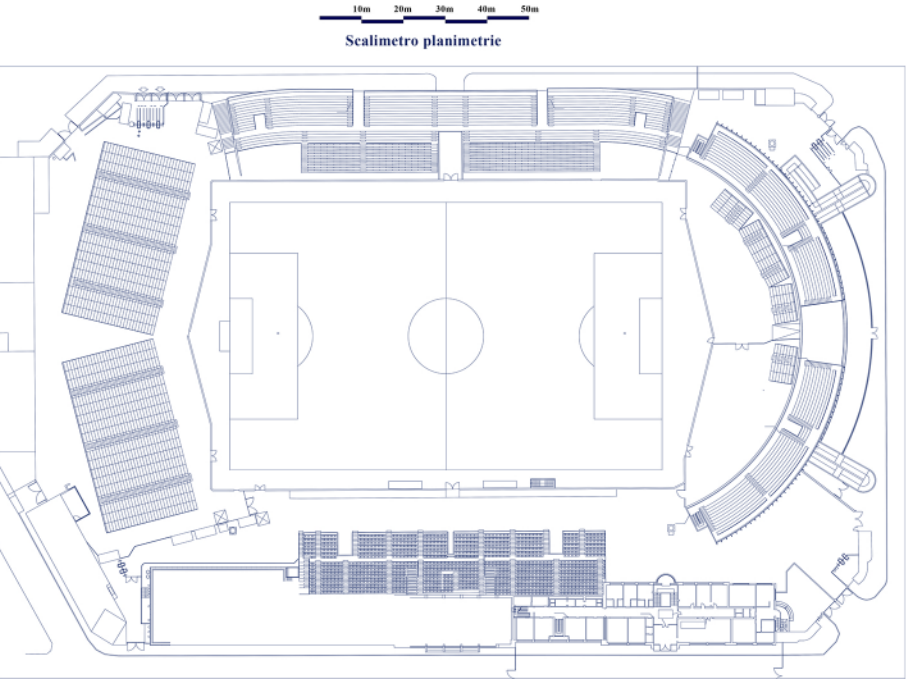
Tribuna Sud e Novocomun



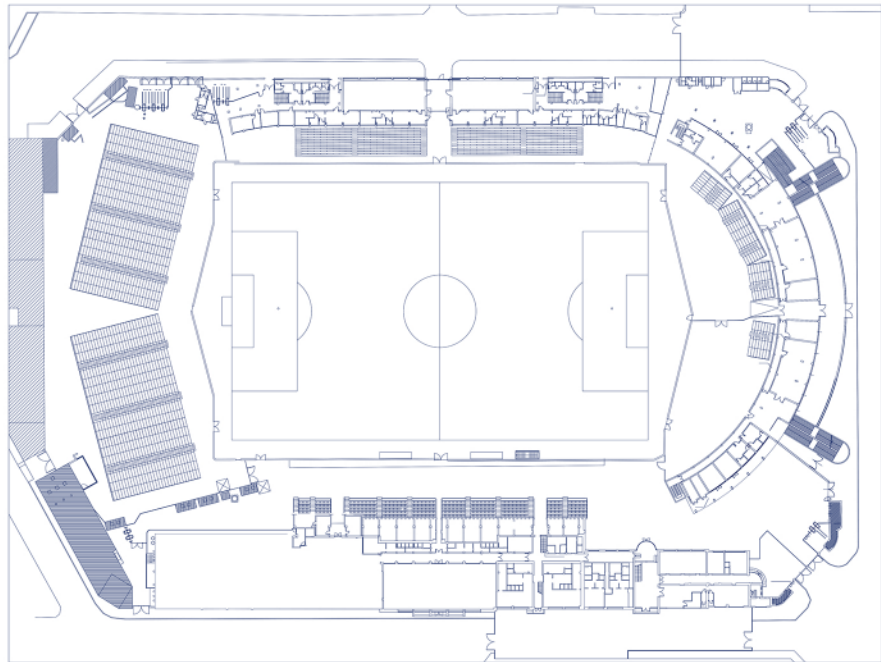
Piscina (tribuna Sud)



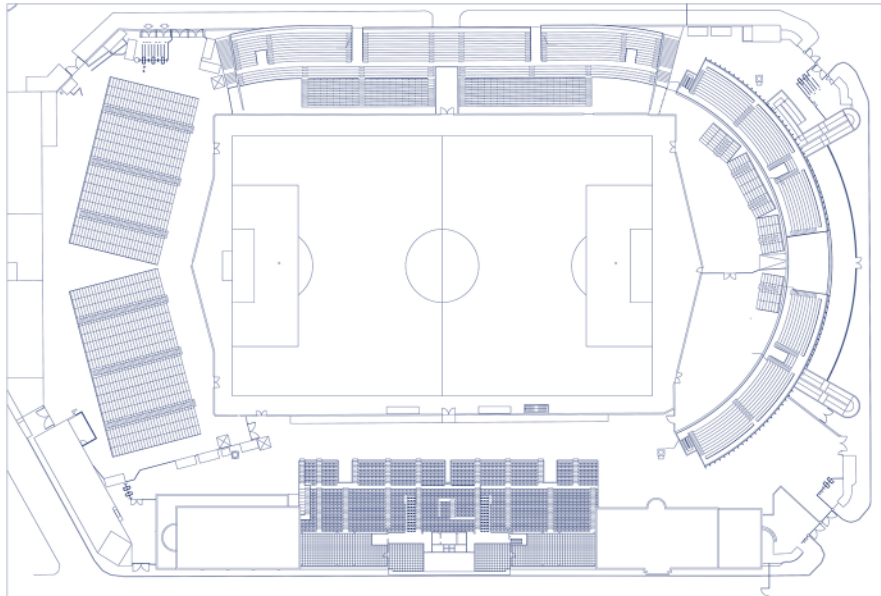
Tribuna Sud



Stato di fatto piano terra



Stato di fatto piano primo



Stato di fatto piano secondo

IL PROGETTO ARCHITETTONICO DELLO STADIO

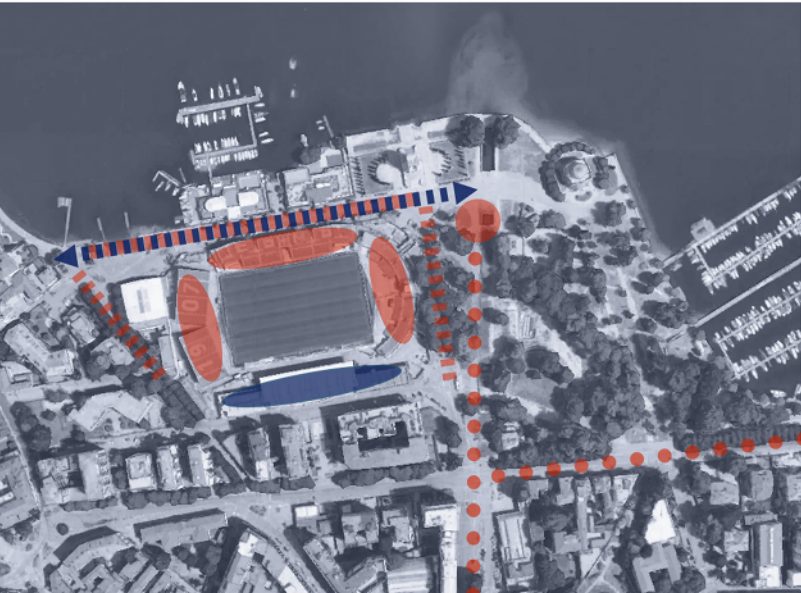
CONCEPT

Il progetto prevede l'interramento del tratto di viale Giancarlo Pescher nel sottosuolo, così da restituire alla quota zero un percorso interamente pedonale. La scelta risponde a un obiettivo di scala urbana: ricomporre la continuità della passeggiata a lago, oggi interrotta dal traffico, fra viale Geno nella parte Est e Villa Olmo a Ovest. L'escavazione dell'opera, in prossimità della falda e del bacino lacustre, richiede il consolidamento preventivo dei terreni mediante jet grouting.



Concept passeggiata sul lago: ad Ovest Villa Olmo e ad Est viale Geno. In rosso il tratto pedonalizzato

Il concept dello stadio e nelle aree immediatamente adiacenti prevede la demolizione delle tribune Nord, Ovest ed Est e la parziale demolizione della tribuna Sud. Quest'ultima conserva in particolare modo la facciata, di valore storico-artistico, e la zona della piscina recentemente oggetto di ristrutturazione. Si prevede inoltre la rifunzionalizzazione interna delle altre zone assieme alla demolizione dell'attuale sedine della tribuna in funzione di conformità alla regola del valore C. Nel disegno vi è la realizzazione della rete tranviaria e la sua fermata a servizio dell'impianto dello stadio. Inoltre, in relazione alla pedonalizzazione di viale Giancarlo Pescher citata poco fa, vi è la previsione della galleria con metodo jet grouting.

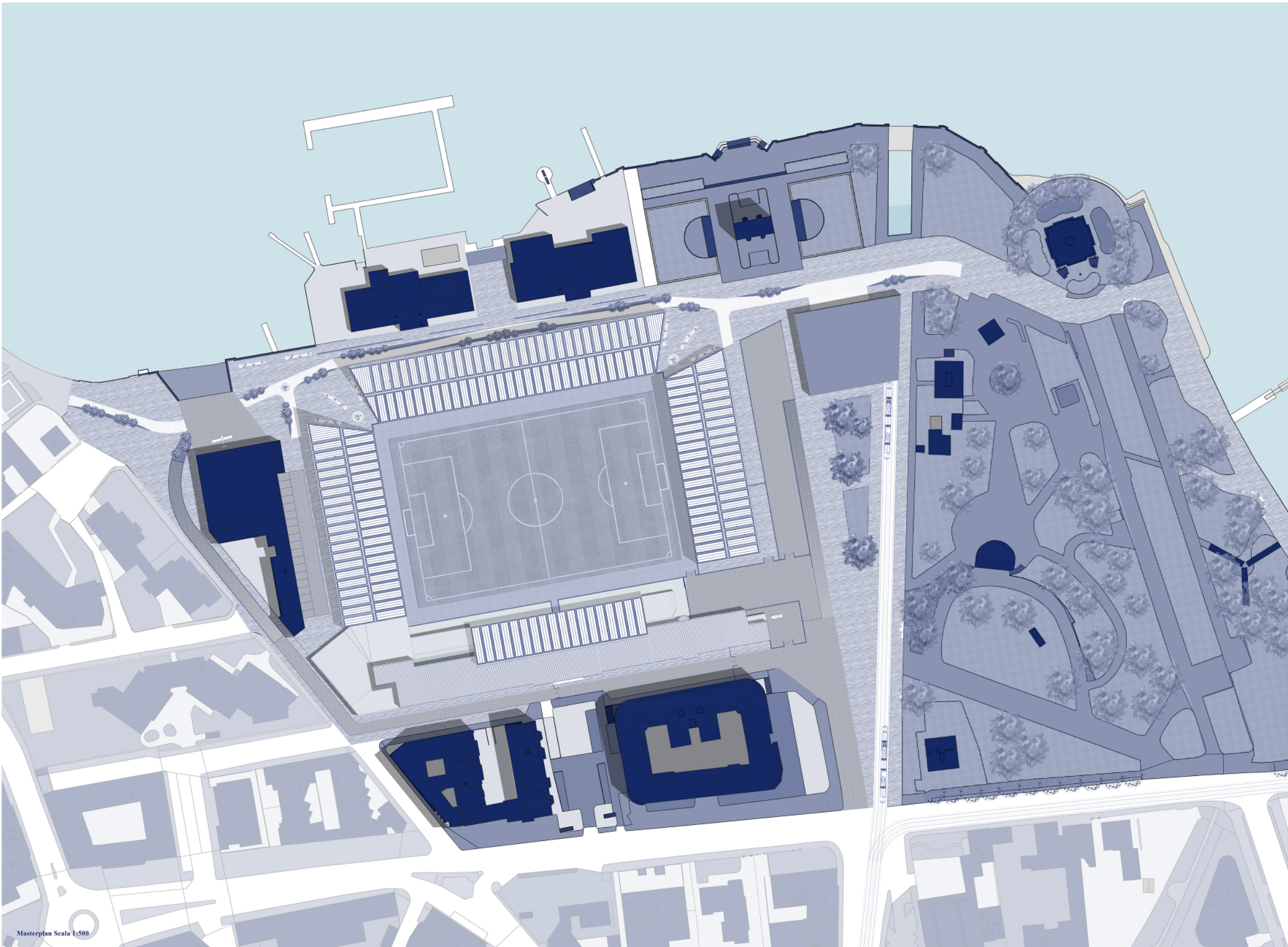


Concept stadio e intervento urbano nell'area limitrofa

Simbolo	Descrizione
	Nuova via pedonale
	Linea galleria
	Stazione tram
	Linea tranviaria
	Demolizione tribune: Nord, Ovest, est
	Demolizione parziale e rinnovamento tribuna Sud

Legenda concept

Progetto per lo Stadio Giuseppe Sinigaglia in Como: tra integrazione urbana e rinnovamento edilizio



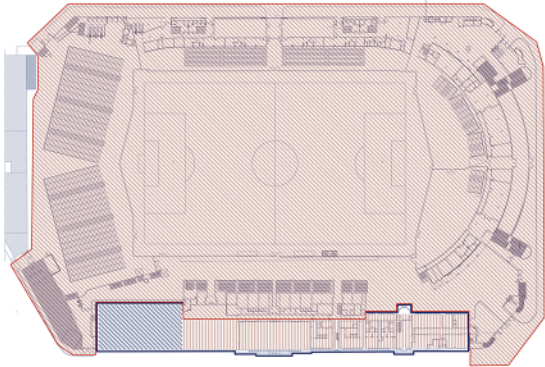
Masterplan Scala 1:500

IL PROGETTO ARCHITETTONICO DELLO STADIO

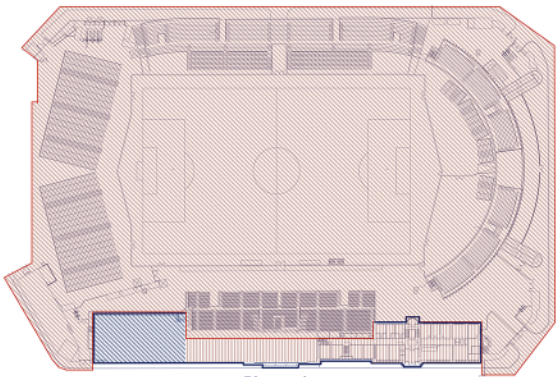
DEMOLIZIONE, RIFUNZIONALIZZAZIONE, MANTENIMENTO FACCIA TA TRIBUNA SUD

Simbolo	Descrizione
	Demolizione
	Rifunzionalizzazione
	Area piscina
	Perimetro area mantenuta

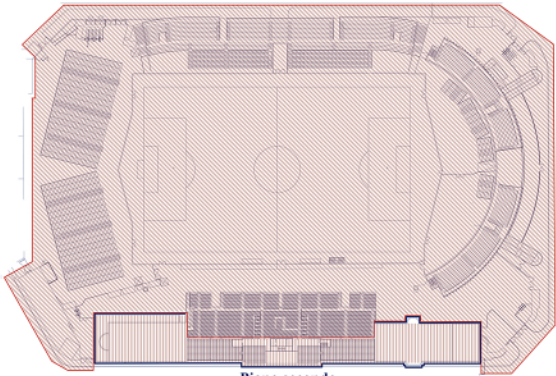
Legenda



Piano terra



Piano primo



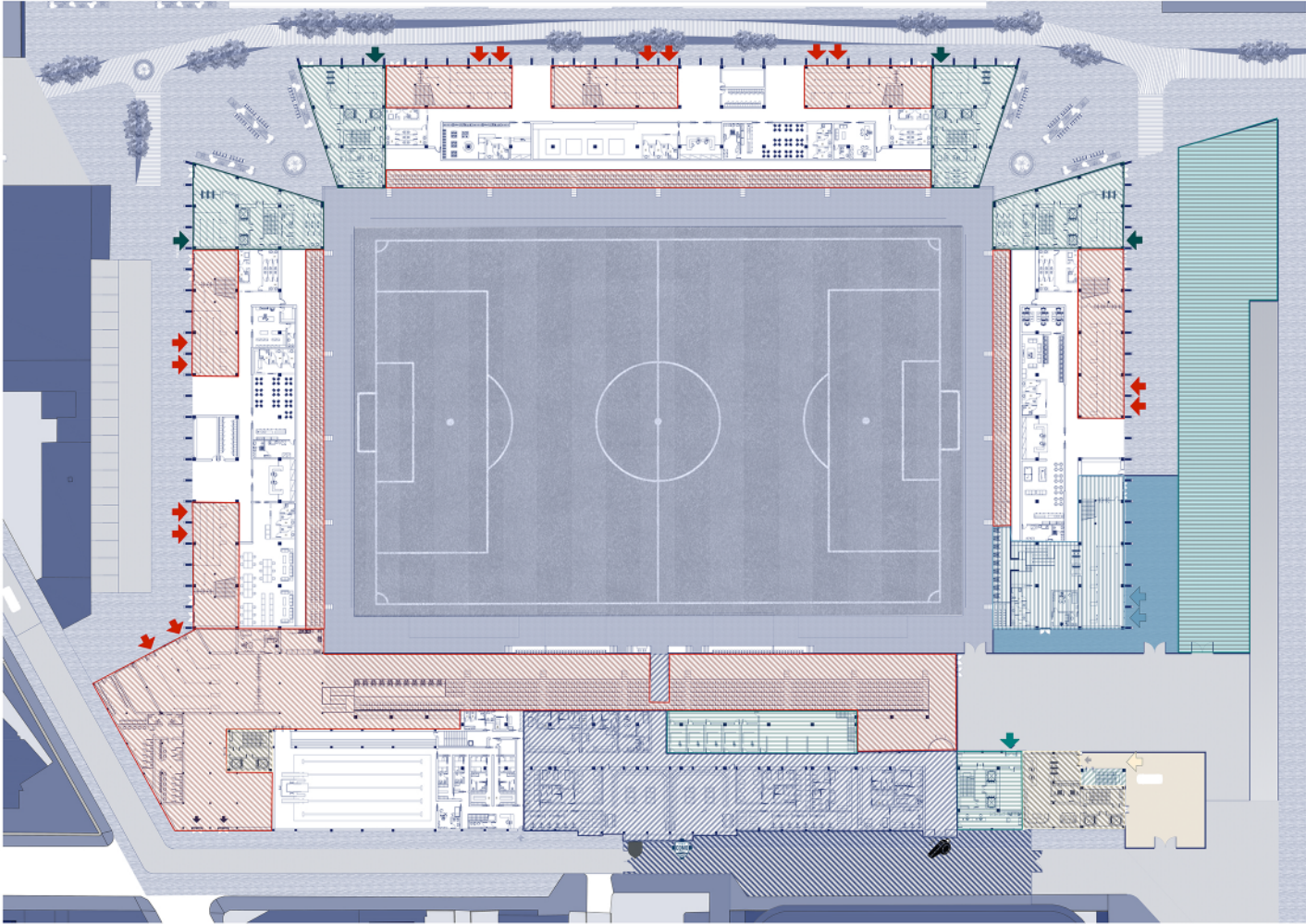
Piano secondo

AREE FUNZIONALI

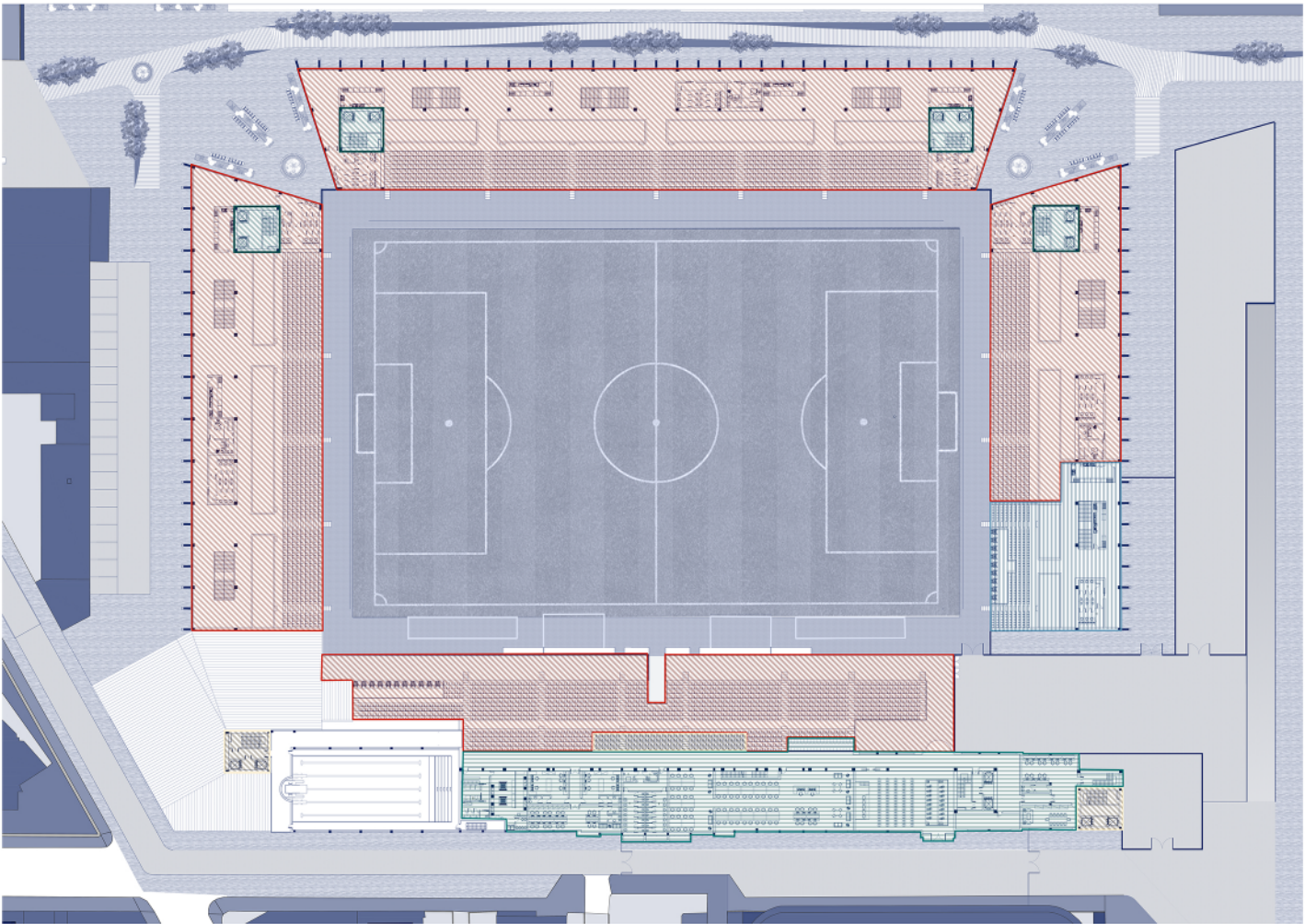
Le tribune dispongono di vari accessi per le diverse categorie di spettatori: le tribune Nord e Ovest, sono provviste di ingressi GA e premium; la tribuna Est di ingressi GA, premium e spettatori ospiti; la tribuna Sud prevede gli ingressi della squadra di casa e di quella ospite, dello staff, degli arbitri, dei dirigenti, dei vip, dei media e della tribuna stampa. Il settore ospiti nella tribuna Est prevede un'area recintata per garantire la massima sicurezza pre, durante e post-parita. La tribuna Sud prevede un'area riservata a funzione di parcheggio per le squadre e gli arbitri, inoltre un'altra area riservata è garantita per l'ingresso dei dirigenti e dei vip. L'area del TV compound di 1000 m² a servizio dei media è garantita nella parte Ovest dello stadio.

Simbolo	Descrizione	Simbolo	Descrizione
	Ingresso GA		Area ingresso riservato dirigenti e vip
	Aree GA		Ingresso media, stampa, polizia, GOS
	Ingresso premium		Aree media, stampa, GOS; (TV compound area Est 1000 m²)
	Aree premium (queste aree possono essere aperte al pubblico durante le giornate non di gara)		Ingresso calciatori Como e staff
	Ingresso ospiti		Ingresso calciatori ospiti e staff
	Aree ospiti		Ingresso arbitri
	Area ingresso riservato ospiti		Area parcheggio squadre e arbitri
	Ingresso dirigenti e vip		Aree calciatori, arbitri, staff
	Aree dirigenti e vip		Aree pubblico

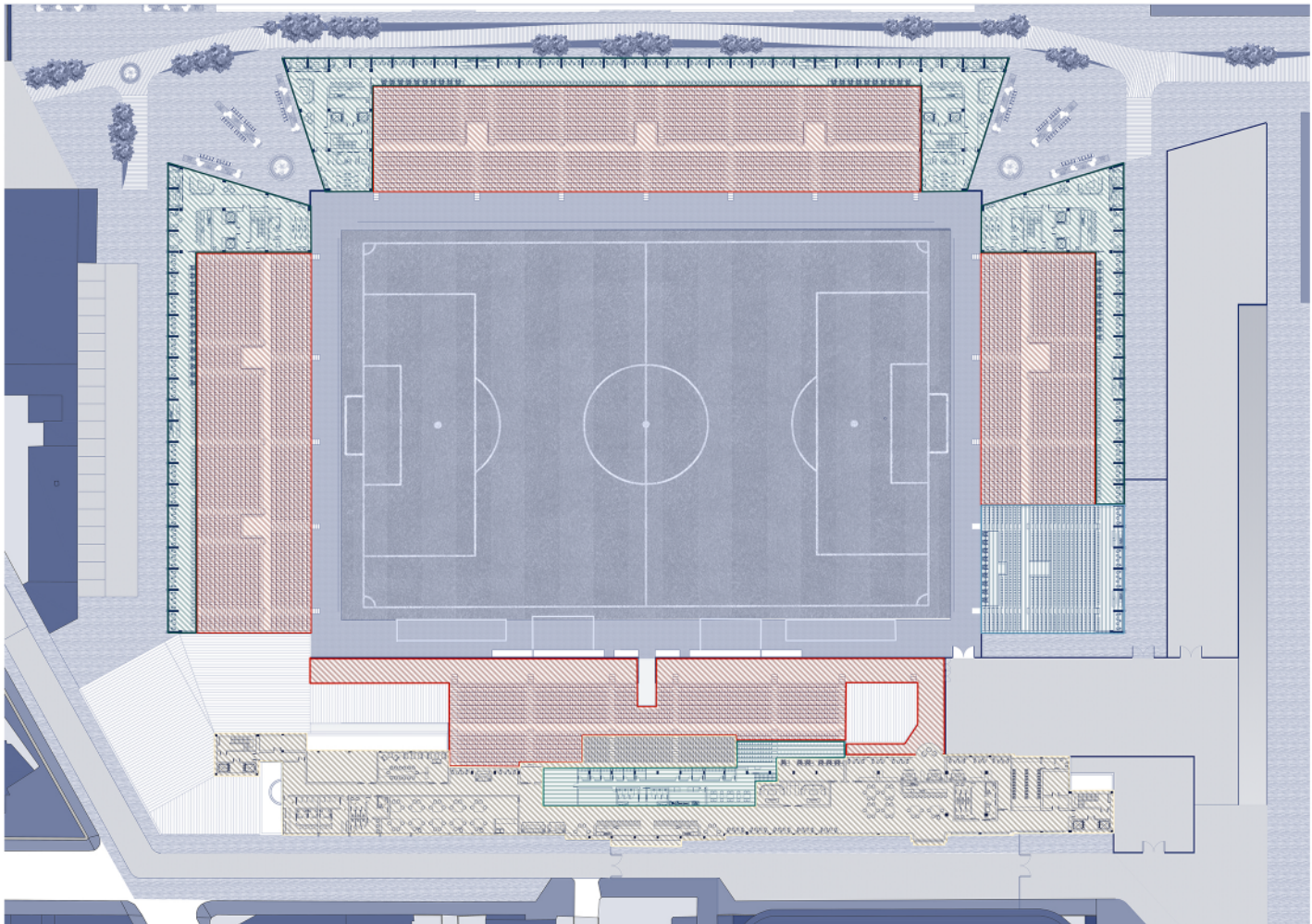
Legenda aree funzionali



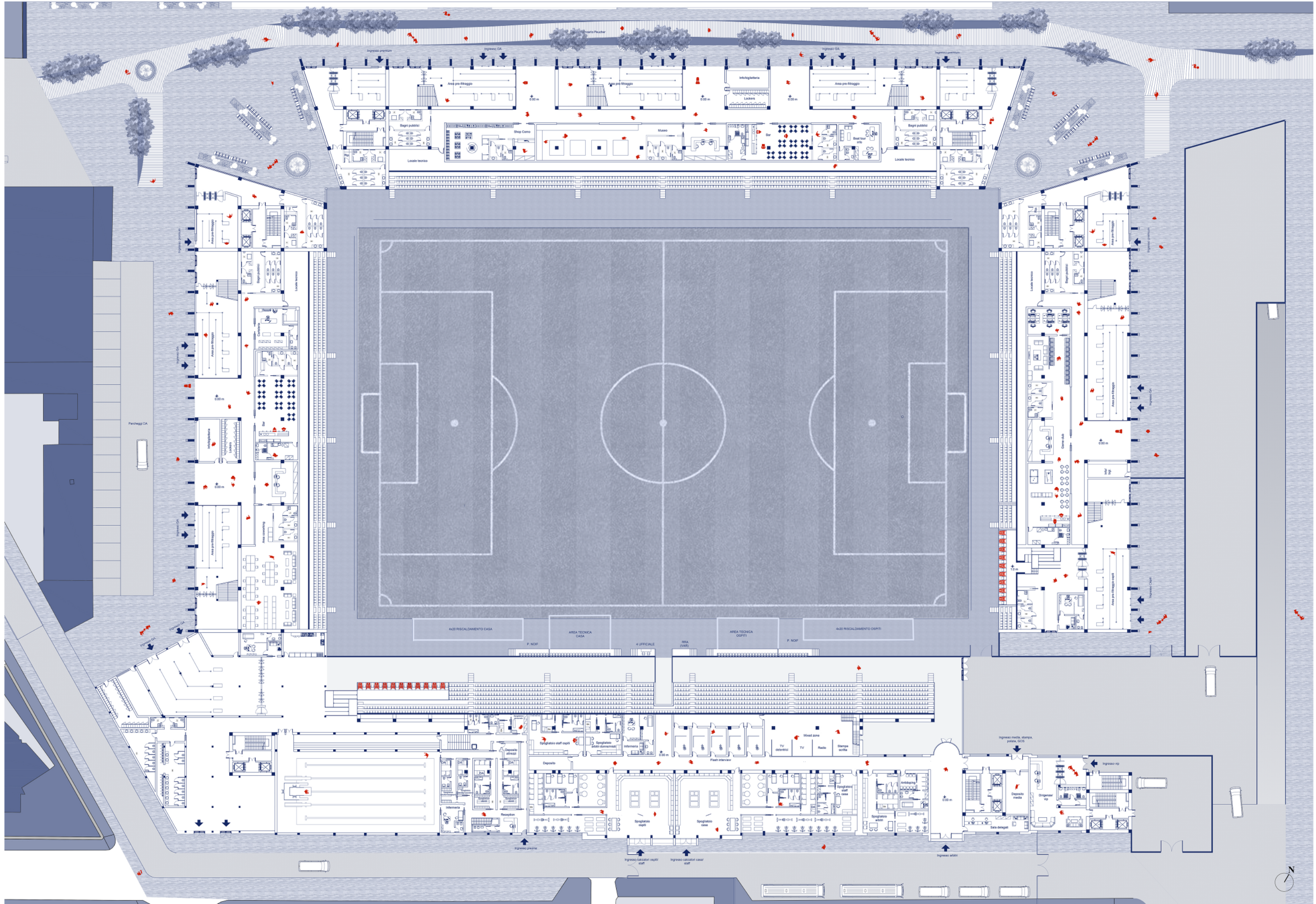
Ingressi e aree funzionali piano terra

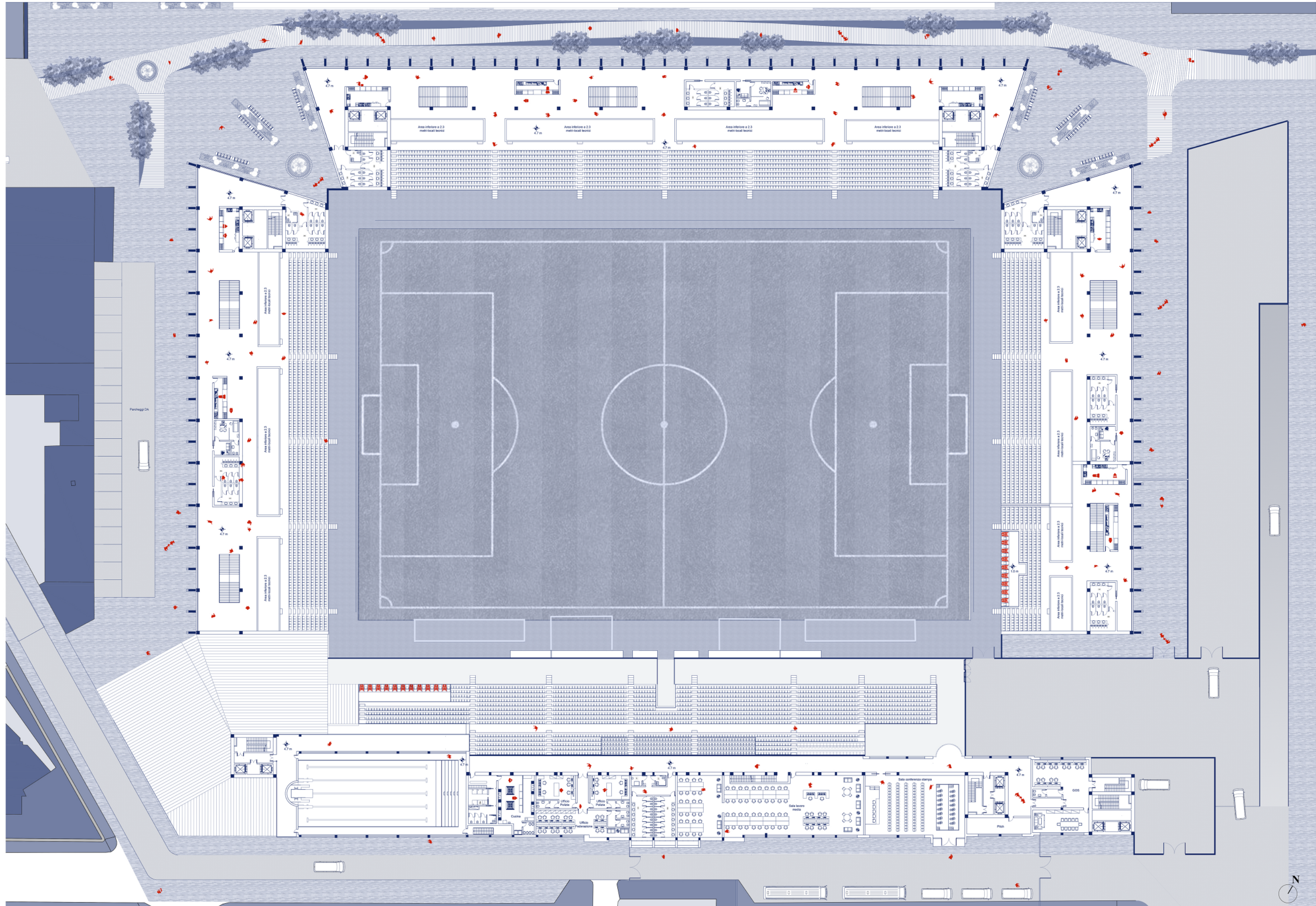


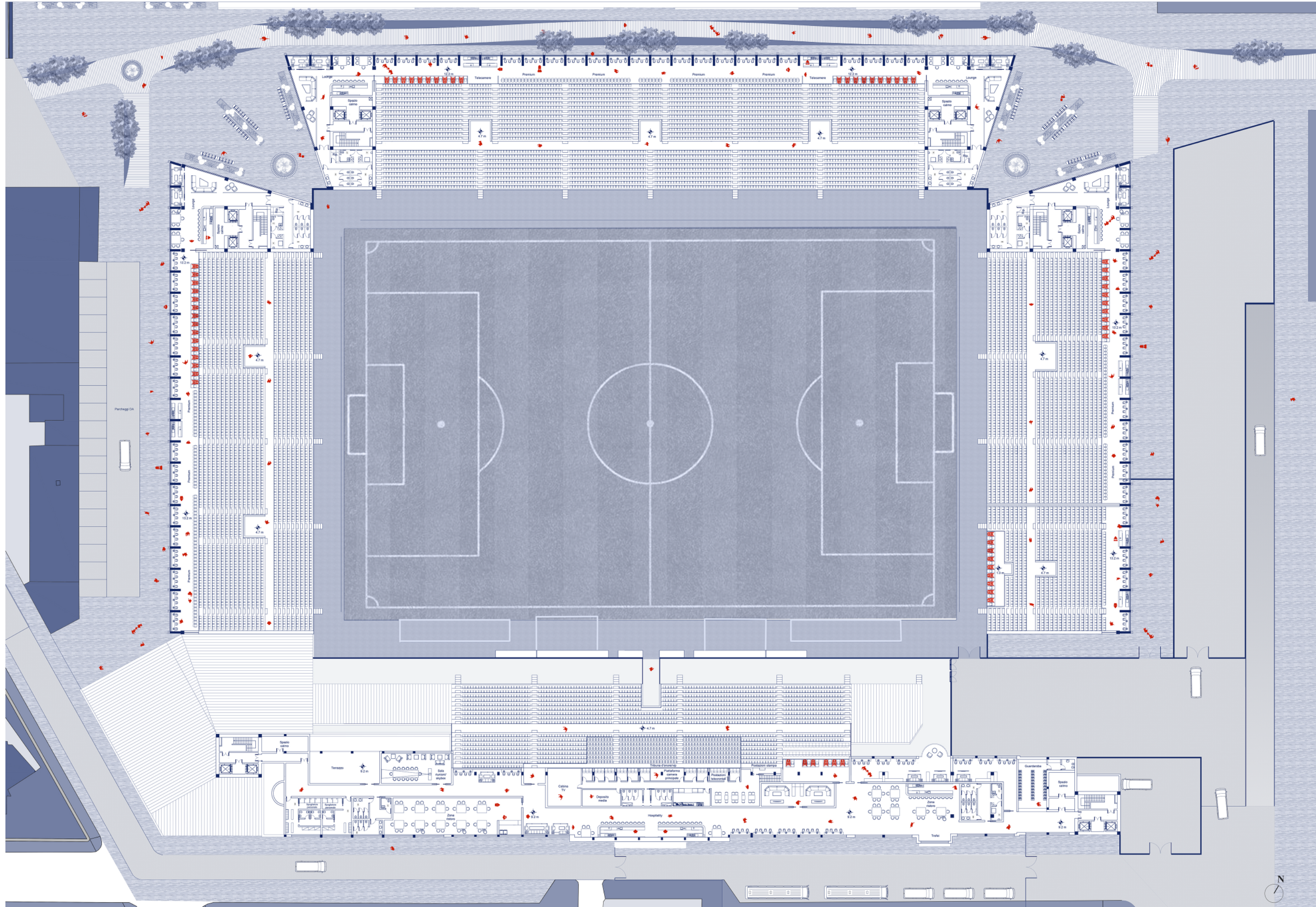
Ingressi e aree funzionali piano primo

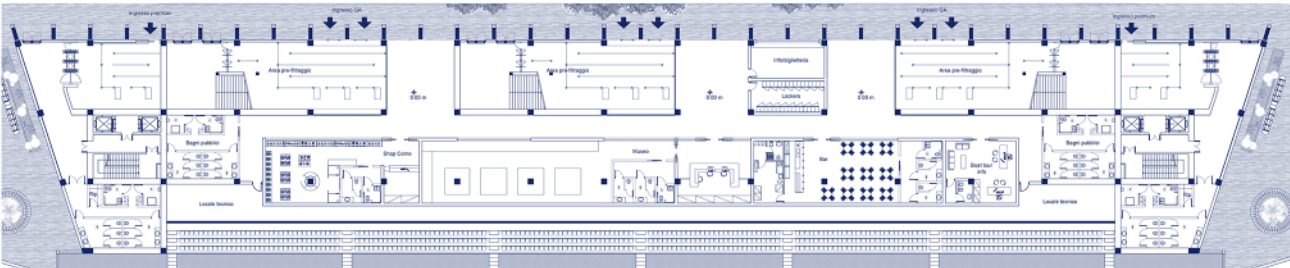


Ingressi e aree funzionali piano secondo

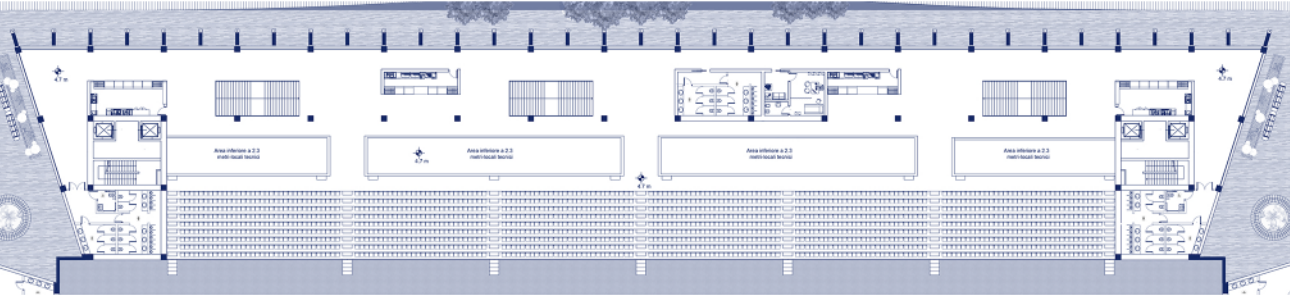




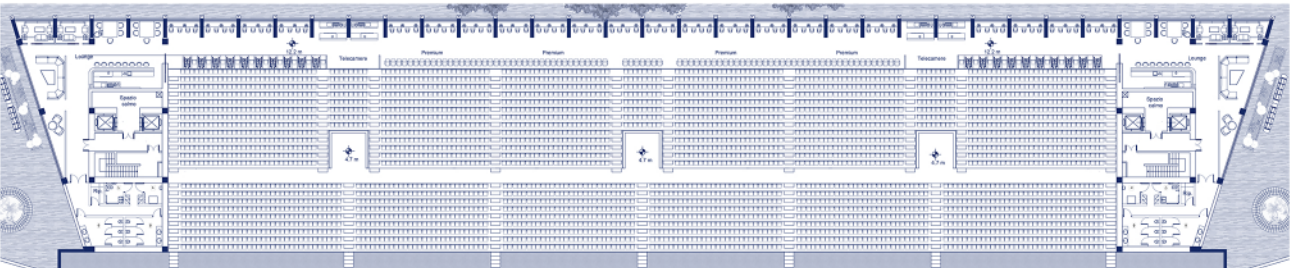




Tribuna Nord piano terra

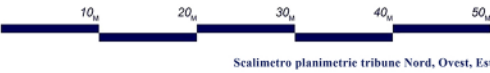


Tribuna Nord piano primo



Tribuna Nord piano secondo

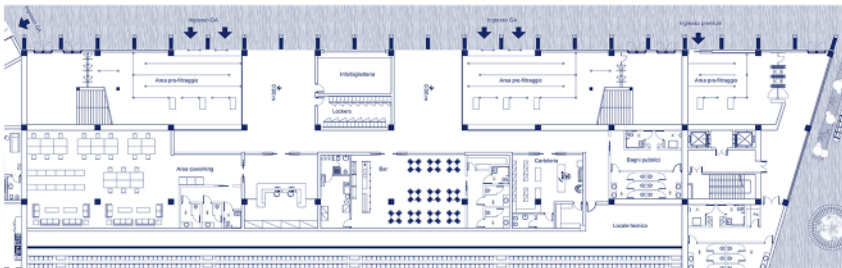
La tribuna Nord prevede una capienza di 3762 posti GA e 125 posti premium. A piano terra si sviluppano le funzioni aperte al pubblico tra le quali: museo, shop calcio Como, bar, tour info, oltre la biglietteria, i locker e lo spazio per i locali tecnici. Inoltre, vi è prevista l'area di preffilaggio in corrispondenza degli accessi GA e premium. Il piano primo è la zona del concorso vero e proprio degli spettatori GA, provvisto di aree di ristoro, infermeria, wc di servizio e altre aree destinate ai locali tecnici. Il piano secondo è fondamentalmente dedicato alla zona premium: garantisce la vista sul lago ed è dotato di servizi dedicati. I posti della zona premium sono suddivisi tra posti disabili (20 disabili + 20 accompagnatori) e posti premium (85).



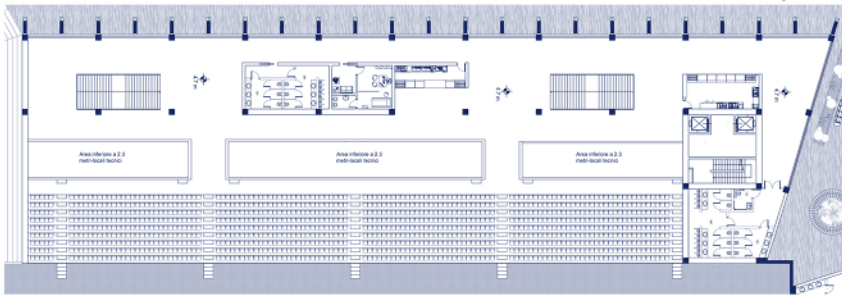
Scalimetro planimetrie tribune Nord, Ovest, Est

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata	Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	3762 - 0,8 / 250 = 12 wc e lavabi; 3762 - 0,8 / 125 = 24 urinatori	33 wc e lavabi; 26 urinatori	Si	Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	3762 / 400 - 2 = 19	20 posti disabili	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	3762 - 0,2 / 120 = 7 wc e lavabi; 9 wc e lavabi	9 wc e lavabi	Si	Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 2	2 wc disabili	Si
Servizi igienici uomini premium §4.4.6	305 - 0,8 / 250 = 1 wc e lavabo; 6 wc e lavabi	6 wc e lavabi	Si	Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	3	Si
Servizi igienici donne premium §4.4.6	305 - 0,2 / 120 = 1 wc e lavabo; 6 wc e lavabi	6 wc e lavabi	Si	Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	4	Si

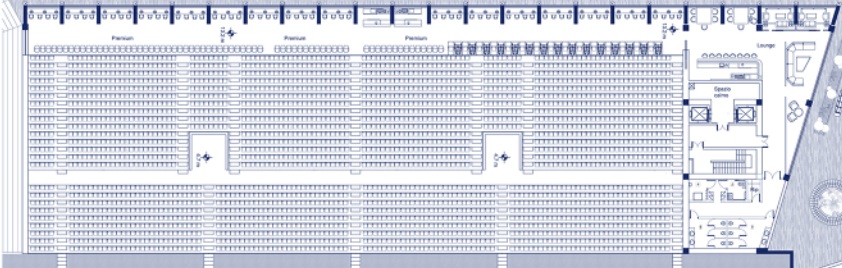
Dotazioni tribuna Nord



Tribuna Ovest piano terra



Tribuna Ovest piano primo

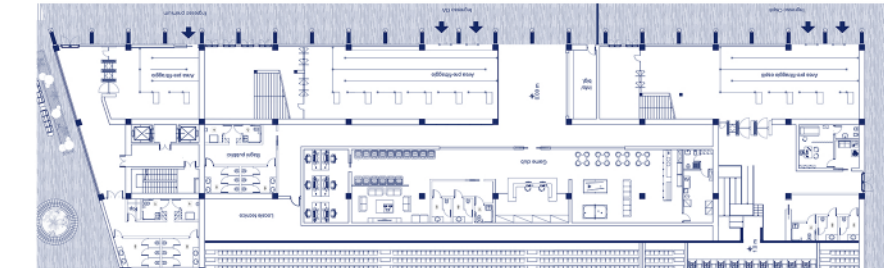


Tribuna Ovest piano secondo

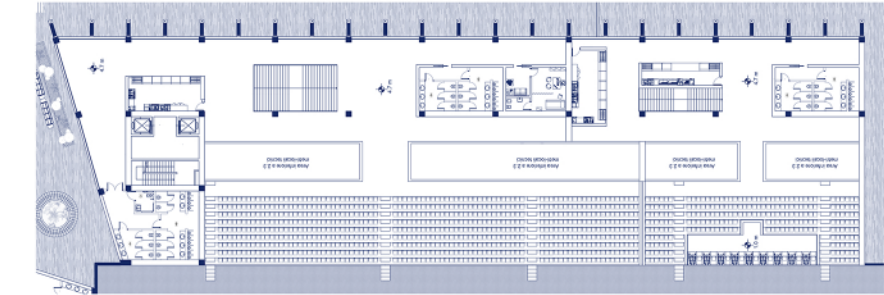
La tribuna Ovest prevede una capienza di 2812 posti GA e 97 posti premium. A piano terra le funzioni pubbliche sono: un'area coworking, un bar e una cantolteria e gli spazi per i locali tecnici. Prevede anche le aree di preffilaggio in corrispondenza degli ingressi e la biglietteria. Al piano primo, nella zona del concorso, si prevedono aree di ristoro, infermeria, wc di servizio e altre aree destinate ai locali tecnici. Il piano secondo è fondamentalmente dedicato alla zona premium: garantisce la vista sul lago ed è dotato di servizi dedicati. I posti della zona premium sono suddivisi tra posti disabili (15 disabili + 15 accompagnatori) e posti premium (67).

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata	Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	2812 - 0,8 / 250 = 8 wc e lavabi; 2812 - 0,8 / 125 = 16 urinatori	8 wc e lavabi; 16 urinatori	Si	Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	2812 / 400 - 2 = 15	15 posti disabili	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	2812 - 0,2 / 120 = 5 wc e lavabi; 6 wc e lavabi	6 wc e lavabi	Si	Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	3 wc disabili	Si
Servizi igienici uomini premium §4.4.6	82 - 0,8 / 250 = 1 wc e lavabo; 3 wc e lavabi	3 wc e lavabi	Si	Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	3	Si
Servizi igienici donne premium §4.4.6	82 - 0,2 / 125 = 1 wc e lavabo; 3 wc e lavabi	3 wc e lavabi	Si	Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si

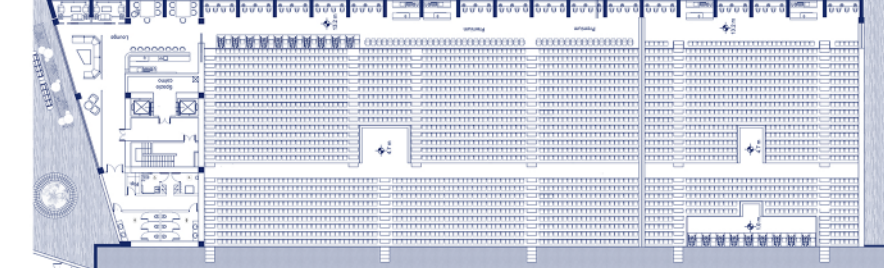
Dotazioni tribuna Ovest



Tribuna Est piano terra



Tribuna Est piano primo



Tribuna Est piano secondo

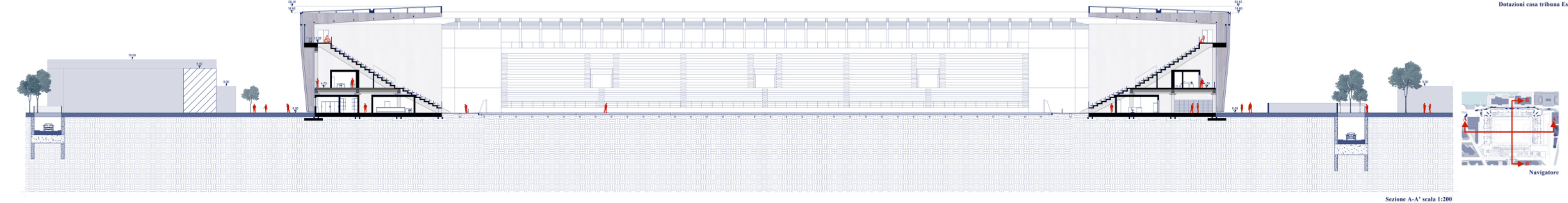
La tribuna Est ospita anche i tifosi ospiti, ne deriva una suddivisione in due parti della stessa. Il piano terra ospita la funzione pubblica del game club con bar integrato, la biglietteria e dei locali tecnici oltre che i servizi igienici pubblici. Per quanto riguarda il settore dei tifosi ospiti, si prevede la collocazione dei posti disabili a piano terra, così da evitare un collegamento verticale obbligatorio. In entrambi i settori sono previste l'area di preffilaggio e le dotazioni quali infermeria, punti ristoro e i servizi igienici. L'area dei tifosi di casa ospiti anche qui la zona premium, che si sviluppa nella parte superiore come nelle tribune Nord ed Ovest. La capienza dei tifosi di casa prevede 1922 posti GA e la sua zona premium 65 (68 - cui 10 disabili+10 accompagnatori e 45 poltrone premium). La capienza dei tifosi ospiti è di 828 posti GA, 9 disabili e 9 accompagnatori, per un totale di 846.

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata	Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	843 - 0,8 / 250 = 3 wc e lavabi; 843 - 0,8 / 125 = 6 urinatori	3 wc e lavabi; 6 urinatori	Si	Servizi igienici uomini GA §4.4.6	1922 - 0,8 / 250 = 7 wc e lavabi; 1922 - 0,8 / 125 = 14 urinatori	8 wc e lavabi; 16 urinatori	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	843 - 0,2 / 120 = 3 wc e lavabi; 3 wc e lavabi	3 wc e lavabi	Si	Servizi igienici donne GA §4.4.6	1922 - 0,2 / 120 = 4 wc e lavabi; 6 wc e lavabi	6 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	843 / 400 - 2 = 5	9 posti disabili	Si	Servizi igienici uomini premium §4.4.6	55 - 0,8 / 250 = 1 wc e lavabo; 3 wc e lavabi	3 wc e lavabi	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	3 wc disabili	Si	Servizi igienici donne premium §4.4.6	55 - 0,2 / 125 = 1 wc e lavabo; 3 wc e lavabi	3 wc e lavabi	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	3	Si	Posti per spettatori disabili (disposti nel premium) §4.4.2	1922 / 400 - 2 = 10	10 posti disabili	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si	Servizi igienici per disabili (disposti nel premium) §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	3 wc disabili	Si

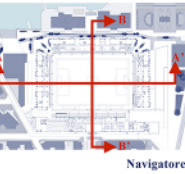
Dotazioni ospiti tribuna Est

Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	3	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	3	Si

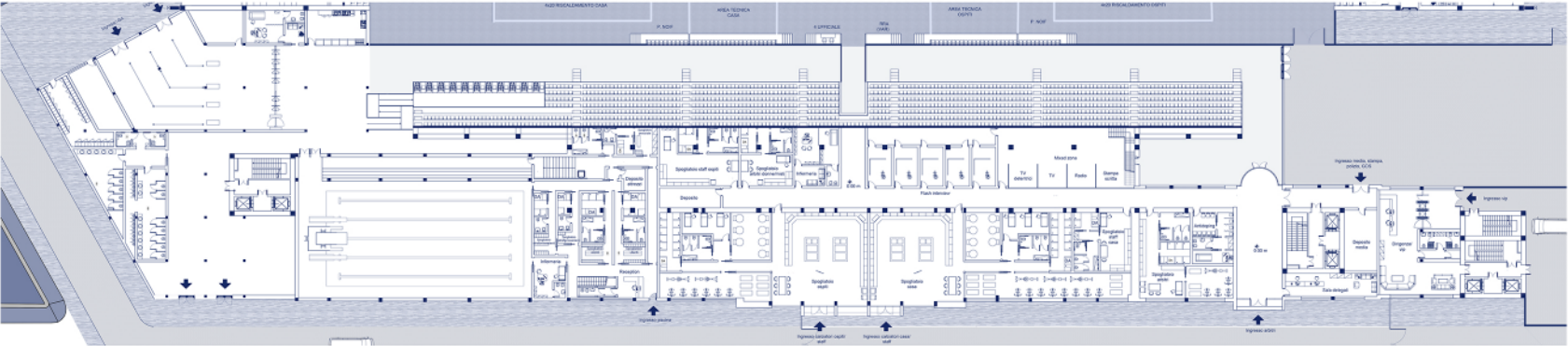
Dotazioni casa tribuna Est



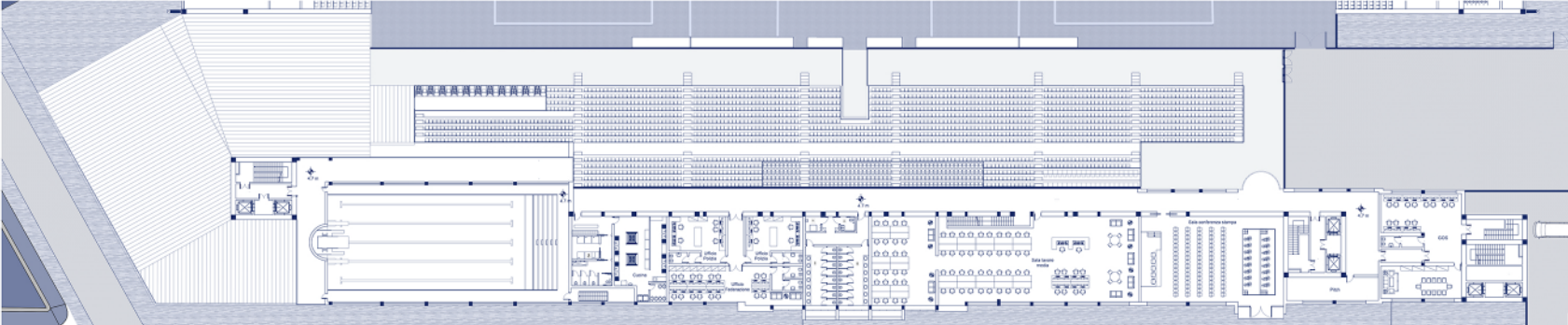
Sezione A-A' scala 1:200



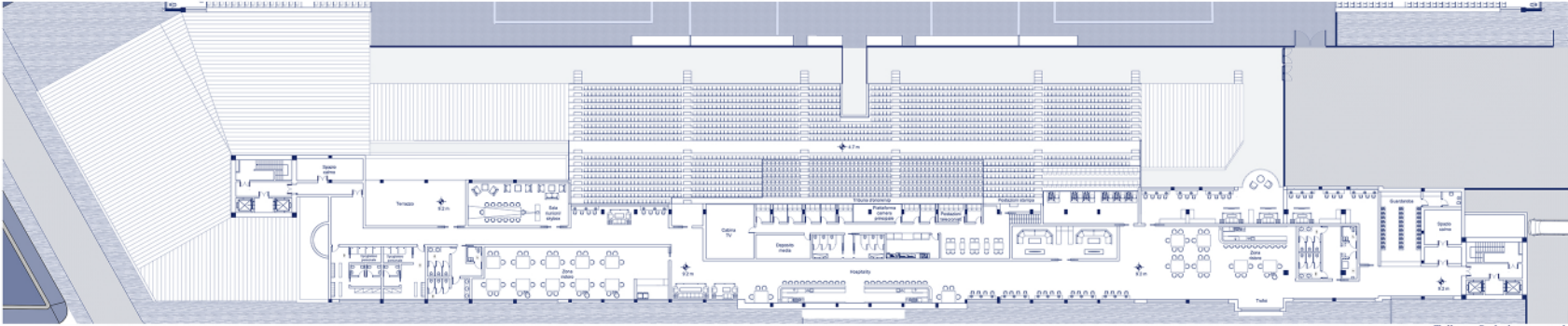
Navigator



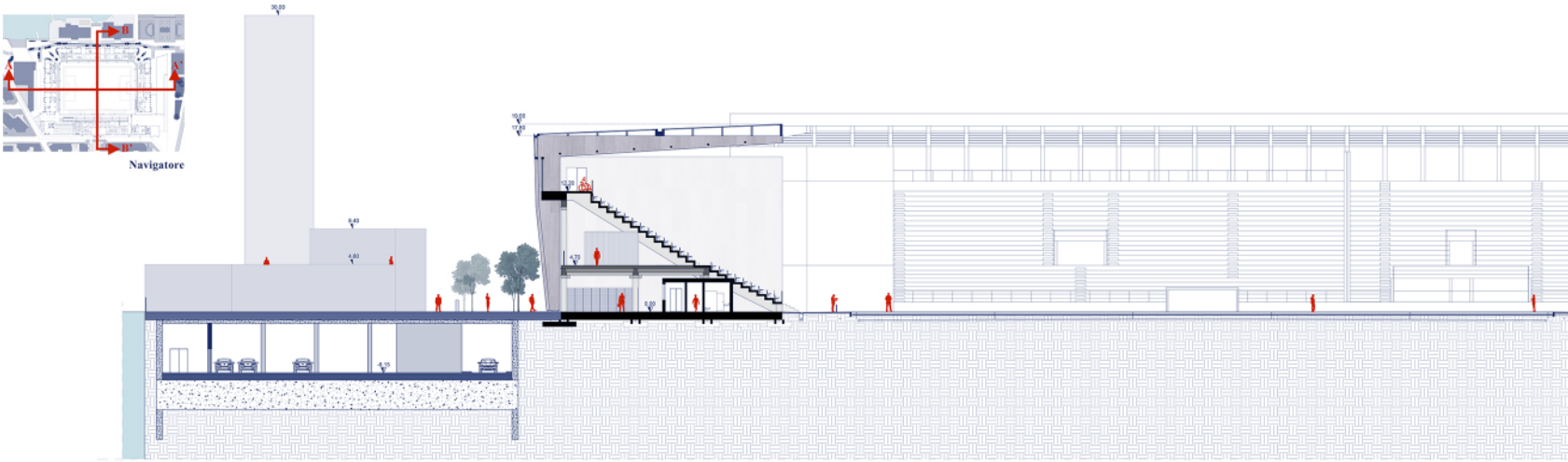
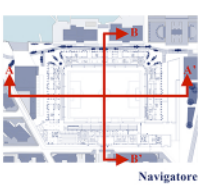
Tribuna Sud piano terra



Tribuna Sud piano primo



Tribuna Sud piano secondo



Sezione B-B' scala 1:200

La tribuna Sud prevede: 1955 sedute GA (in aggiunta a 11 posti disabili e 11 posti accompagnatori) con accesso da Sud-Ovest, l'area hospitality con le relative funzioni dedicate e collegata direttamente alle sedute per la tribuna d'onore/vip con 294 sedute (in aggiunta a 6 posti disabili e 6 posti accompagnatori) con accesso tramite collegamento verticale posto a Sud-Est; area tribuna stampa con 40 postazioni con scrivania e 65 posti dedicati; 10 postazioni televisori attrezzati con scrivanie.

Il piano terra mantiene l'ingombro della piscina e ne ripropone le dotazioni. Le restanti aree sono oggetto di rifunzionalizzazione a servizio dello stadio così come al piano primo e al piano secondo.

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini GA §4.4.6	1964 - 0,8 / 250 = 7 wc e lavabi;	7 wc e lavabi;	Si
Servizi igienici donne GA §4.4.6	1964 - 0,8 / 125 = 13 orinatoi	15 orinatoi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	1964 / 400 = 2 - 10	11 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	2 wc disabili	Si
Primo soccorso spettatori §4.4.6	1 per settore	3	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	2	Si

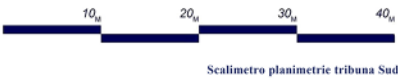
Dotazioni spettatori GA tribuna Sud

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Servizi igienici uomini §4.4.6	300 - 0,8 / 250 = 1 wc e lavabi;	6 wc e lavabi;	Si
Servizi igienici donne §4.4.6	300 - 0,2 / 120 = 1 wc e lavabi;	6 wc e lavabi	Si
Posti per spettatori disabili §4.4.2	300 / 400 = 2 = 2	6 posti disabili	Si
Servizi igienici per disabili §4.4.6	1 wc ogni 15 posti disabili = 1	2 wc disabili	Si
Punti ristoro §4.4.6	1 per settore	3	Si
Skybox		3	

Dotazioni hospitality-tribuna d'onore/vip tribuna Sud

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Cucina a servizio dell'area hospitality al piano secondo	-	113 m ² comprendente servizi igienici e spogliatoi del personale	-
Uffici polizia §4.5.3	locali idonei	2 locali da 44 m ²	Si
Ufficio federazione	-	80 m ²	-
Sala lavoro media §4.4.4	200 m ² ; 75 giornalisti e 25 fotografi	353 m ²	Si
Sala conferenza stampa §4.4.4	75 posti con podio e piattaforma	83 posti; 200 m ²	Si
Studio televisivo (giri) §4.4.4	5 - 5,5 (2,5 ft)	34 m ² e h > 2,5	Si
G.O.S. §4.5.3	centro gestione emergenze (compartimentato e con accesso diretto dall'esterno (19) - G.O.S. con visibilità su operatori e campo (19' inc))	136 m ² ; (compartimentato; riservato al delegato UEFA e all'osservatore arbitrale)	Si

Dotazioni piano primo tribuna Sud



Scala planimetrica Tribuna Sud

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Spogliatoio squadra casa §4.4.3	25 posti; 10 docce; 3 WC; 3 lettini; figio; suite = 95 m ²	25 posti; 11 docce = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 3 lettini; 2 figio; lavabo = 6 posti; locale orinatoi; palestra; 300 m ² .	Si
Spogliatoio squadra ospite §4.4.3	25 posti; 10 docce; 3 WC; 3 lettini; figio; suite = 95 m ²	25 posti; 11 docce = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 3 lettini; 2 figio; lavabo = 6 posti; locale orinatoi; palestra; 300 m ² .	Si
Spogliatoio staff casa §4.4.3	incluso nel vano dirigenti (7 posti, 20 m ²); 1 tavolo e 2 sedie	7 posti; 2 docce = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 1 tavolo e 2 sedie; 3 lettini; 54 m ² .	Si
Spogliatoio staff ospiti §4.4.3	incluso nel vano dirigenti (7 posti, 20 m ²); 1 tavolo e 2 sedie	8 posti; 2 docce = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 1 lettino; 2 figio; 3 lavabo e 2 sedie; 3 lettini; 73 m ² .	Si
Spogliatoio atleti §4.4.3	6 posti; 2 docce; 1 WC; lettino e frigorifero; tavolo e 2 sedie; 20 m ² ;	9 posti; 5 docce = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 1 lettino; 2 figio; 3 lavabo e 2 sedie; palestra; 91 m ² .	Si
Spogliatoio atleti donne o mino §4.4.3	locale ulteriore: 2 posti; 1 doccia; 1 WC; frigorifero; tavolo e 2 sedie	4 posti; 1 doccia = 1 DA; 2 WC = 1 WC DA; 1 lettino; 1 figio; 3 lavabo e 2 sedie; 48 m ² .	Si
Infermeria giocatori e atleti §4.4.3	≥ 9 m ² con dotazione Serie A	41 m ² ; lettino; armadio farmaci; esigenze defibrillatore; WC separato	Si
Locale antidoping §4.4.3	≥ 20 m ² con dotazione Serie A	34 m ² ; 8 posti; zona prelievi 4 posti; scrivania; lettino	Si
Flash interview §4.4.4	5 postazioni 4 - 3 m	5 postazioni da 15 m ²	Si
Mixed zone §4.4.4	(intervista breve subito dopo il fischio finale)	75 persone per nuova costruzione	Si
Sala delegati	Locale prossimo agli spogliatoi; riservato al delegato UEFA e all'osservatore arbitrale	34 m ²	Si

Dotazioni piano terra tribuna Sud

Locale e riferimento	Dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Studio televisivo (cabina TV) §4.4.4	5 - 5,5 (2,5 ft)	42 m ² e h > 2,5	Si
Postazioni televisori §4.4.4	10 postazioni; scrivania ≥ 180 cm; ≥ 3 posti ciascuno; telefono; presa, luce, internet	10 postazioni con scrivanie 180 cm e 3 posti ciascuna	Si
Piattaforma camera principale §4.4.4	principale 6 x 2 m per 3 telecamere	6 x 2	Si
Tribuna stampa §4.4.4	60 posti, di cui 30 con scrivania	65 posti + 40 con scrivania	Si
Guardiola	-	60 m ²	-
Tenaceo	-	74 m ²	-
Spogliatoi personale maschile	-	43 m ² ;	-
Spogliatoi personale femminile	-	36 m ² ;	-

Dotazioni piano secondo tribuna Sud

La piscina esistente, collocata all'interno del corpo della tribuna Sud e riaperta al pubblico il 9 luglio 2024 al termine dei lavori di ristrutturazione, è stata conservata. Ne sono state invece rielaborate le dotazioni. Il loro dimensionamento discende da una sola grandezza, la superficie dello specchio d'acqua S. I valori appartengono a due famiglie con natura giuridica distinta: il D.M. 18 Marzo 1996 (fino a requisiti di sicurezza come per lo stadio); le norme CONI fissano le dotazioni funzionali.

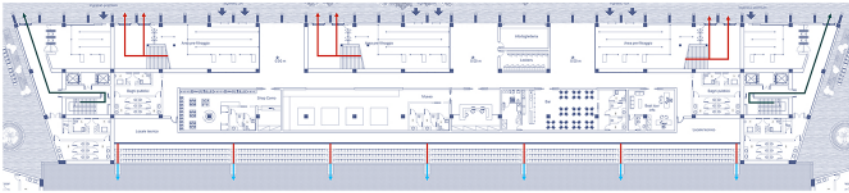
Voce	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Riferimento	Verificata
Superficie specchio d'acqua S	L = B = 25 - 12 = 300 m ² ;			
Affollamento massimo in acqua	S/2 (per difetto) = 150		D.M. 18/3/1996, art. 14	
Assistenti bagnanti	1 se S > 50 m ² ; 2 se S > 400 m ²	1	D.M. 18/3/1996, art. 14	Si
Posti spogliatoio complessivo (contrambì i scesi)	S/9 (per eccesso) ~ 34 posti	36 posti	CONI 10.2.4	Si
Superficie spogliatoi comuni complessiva	Posti spogliatoio: 1,60 m ² - 36 = 1,60 m ² ~ 57,6 m ²	70 m ²	CONI 10.2.4	Si
WC e lavabi utenti uomini	1 ogni 12 posti; 1 WC fruibile DA; 18 / 12 = 2 WC	3 WC + 1 WC DA e 3 spogliatoi lavabi	CONI 10.2.5	Si
WC e lavabi utenti donne	1 ogni 12 posti; 1 WC fruibile DA; 18 / 12 = 2 WC	3 WC + 1 WC DA e 3 spogliatoi lavabi	CONI 10.2.5	Si
Docce utenti uomini	1 ogni 3 posti; min. 4 + 4; almeno 1 fruibile DA;	3 docce + 1 doccia DA	CONI 10.2.6	Si
Docce utenti donne	1 ogni 3 posti; min. 4 + 4; almeno 1 fruibile DA;	3 docce + 1 doccia DA	CONI 10.2.6	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti	min. 2 locali;	2 locali	CONI 8.2	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti: locale 1	min. 2 utenti; 1,60 m ² per posto ~ 3,2 m ² ; 1 WC e 2 docce per 5-10 utenti; almeno 1 WC e 1 doccia fruibili DA	10 utenti; 20 m ² ; 1 WC; 2 docce + 1 doccia DA	CONI 8.2-8.6-4.7	Si
Spogliatoi istruttori / assistenti bagnanti: locale 2	min. 2 utenti; 1,60 m ² per posto ~ 3,2 m ² ; 1 WC e 2 docce per 5-10 utenti; almeno 1 WC e 1 doccia fruibili DA	3 utenti; 17 m ² ; 1 WC; 1 doccia + 1 doccia DA	CONI 8.2-8.6-4.7	Si
Locale di primo soccorso/infermeria	Min. 9 m ²	20 m ²	CONI 8.3.1	Si
Ispresori spettatori e servizi igienici relativi (250 spettatori)	1 WC per senso ogni 250 spettatori	3 WC uomini; 1 WC donne; 1 WC DA	D.M. art. 10	Si

Dotazioni piscina piano terra tribuna Sud

Tribuna	Spettatori
Tribuna Nord GA	3762
Tribuna Nord Premium (compresi accompagnatori disabili)	105
Tribuna Nord disabili	20
Tribuna Ovest GA	2812
Tribuna Ovest Premium (compresi accompagnatori disabili)	82
Tribuna Ovest disabili	15
Tribuna Est Casa GA	1922
Tribuna Est Casa Premium (compresi accompagnatori disabili)	55
Tribuna Est Casa disabili	10
Tribuna Est Ospiti GA (compresi accompagnatori disabili)	852
Tribuna Est Ospiti disabili	9
Tribuna Sud GA (compresi accompagnatori disabili)	1964
Tribuna Sud GA disabili	11
Tribuna Sud Vip GA (compresi accompagnatori disabili)	300
Tribuna Sud Vip disabili	6
Tribuna Sud Tribuna stampa	40
Tribuna Sud Tribuna stampa sedute	65
Totale	12.030 > 12.000

Capienza totale stadio

Si specifica che alla base delle gradinate sono previsti dei collegamenti diretti con il terreno di gioco: brevi scalette che superano il dislivello di 1 m tra il primo gradone e il piano del campo di gioco. In corrispondenza di queste scalette il parapetto di separazione tra pubblico e campo è interrotto da elementi apribili verso il campo. Tali elementi restano chiusi e presidiati durante la partita e vengono sbloccati su comando in caso di emergenza. Questi collegamenti non vengono conteggiati nel calcolo delle larghezze d'esodo (art.8 del D.M. 18/03/1996 richiede che l'esodo della zona spettatori sia indipendente da quello della zona di attività sportiva) e vengono considerati un dispositivo aggiuntivo che permette di alleggerire il deflusso delle gradinate e di far sostare temporaneamente gli spettatori sul campo in caso di sovraffollamento o se i percorsi dimensionati non sono utilizzabili. Per le stesse motivazioni (ma per via teorica e quindi non rappresentati nelle planimetrie progettuali) si applicano elementi apribili anche in corrispondenza tra zona premium e zona GA nelle tribune Nord, Ovest ed Est-casa.



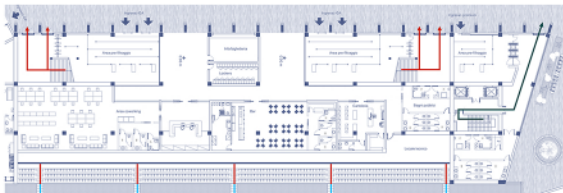
Esodo piano terra tribuna Nord



Esodo piano primo tribuna Nord



Esodo piano secondo tribuna Nord



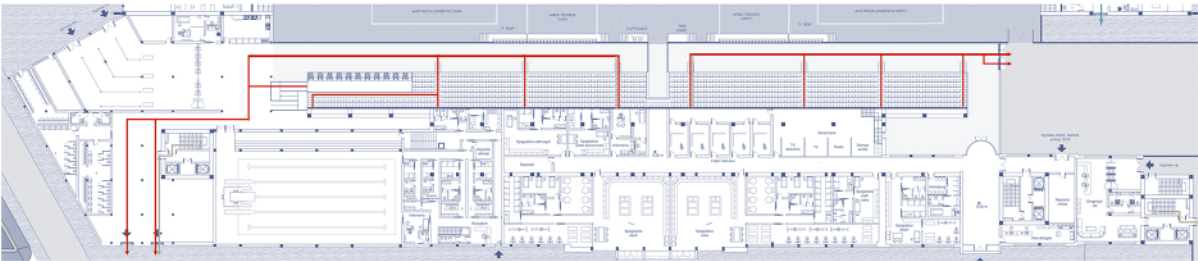
Esodo piano terra tribuna Ovest



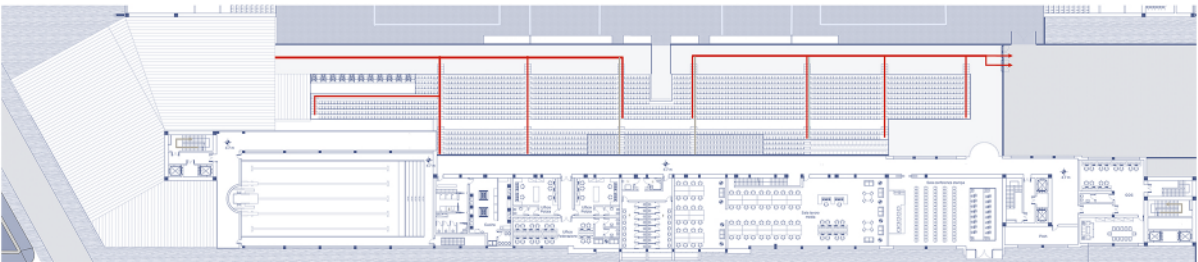
Esodo piano primo tribuna Ovest



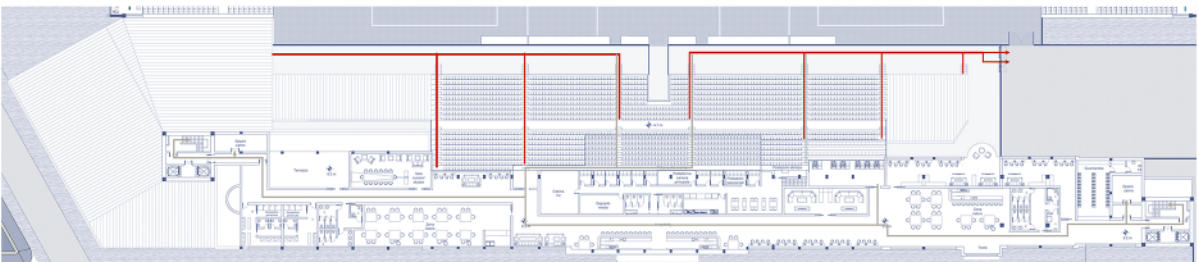
Esodo piano secondo tribuna Ovest



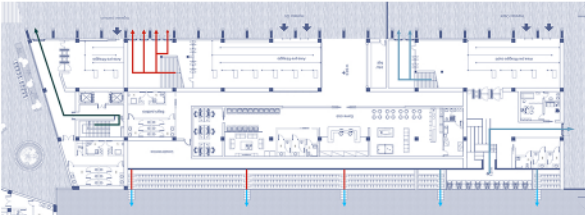
Esodo piano terra tribuna Sud



Esodo piano primo tribuna Sud



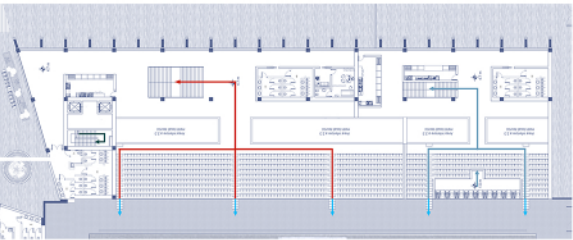
Esodo piano secondo tribuna Sud



Esodo piano terra tribuna Est



Esodo piano secondo tribuna Est



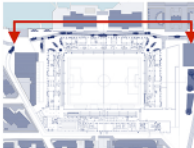
Esodo piano primo tribuna Est



Scalimetro planimetriche tribune



Prospetto tribuna Nord scala 1:200



Navigator

La via d'esodo della tribuna d'onore/vip si sviluppa in ambiente confinato, in quanto collegata direttamente all'area hospitality. Si assume pertanto la capacità di deflusso pari a 50 persone per modulo (0,60 m ogni 50 spettatori). Per i 306 spettatori ne deriva una larghezza complessiva di 4,2 m, pari a 7 moduli. La tribuna Sud costituisce tuttavia un unico settore: i posti GA e quelli della tribuna d'onore sono fisicamente separati ma appartengono al medesimo sistema d'esodo e non essendo prescritta l'indipendenza delle vie d'uscita all'interno di uno stesso settore, il sistema d'esodo della tribuna d'onore è costituito dai 4 moduli della via dedicata (che attraversa l'hospitality) e dal collegamento verso l'esodo GA, dimensionato per l'affollamento complessivo del settore (tutti i posti GA + tribuna stampa + tribuna d'onore).

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Sud, posti GA = 1975; \$4,6	1975 / 660 = 3 tornelli	6 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli via d'esodo tribuna Sud, posti GA + posti tribuna stampa (105) = 2080; \$4,5,5	2080 / 250 = 9 moduli; 9 - 0,60 cm = 5,4 metri	10 moduli = 6 metri	Si
Tornelli tribuna Sud, posti tribuna d'onore/vip = 306; \$4,6	306 / 660 = 1 tornello	2 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli via d'esodo tribuna Sud, posti tribuna d'onore/vip = 306; \$4,5,5	306 / 50 = 7 moduli	4 moduli = 2,4 metri	No
Moduli via d'esodo tribuna Sud con via d'esodo tribuna d'onore confluyente a quella GA, posti usuali = 2080 = 306 + 2386; \$4,5,5	2386 / 250 = 10 moduli; 10 - 0,60 cm = 6 metri	10 moduli = 6 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Sud; \$4,5,5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); \$4,5,5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Esodo e tornelli tribuna Sud

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Est-settore ospiti, posti GA = 843; \$4,6	843 / 660 = 2 tornelli	2 tornelli	Si
Moduli via d'esodo tribuna Est-settore ospiti, posti GA = 846; \$4,5,5	843 / 250 = 4 moduli; 4 - 0,60 cm = 2,4 metri	9 moduli = 2,4 metri	Si
Tornelli tribuna Est-settore ospiti, posti disabili = 18; \$4,6	18 / 660 = 1 tornello	1 tornello = 2 tornelli disabili	Si
Moduli via d'esodo tribuna Est-settore ospiti, posti disabili = 18; \$4,5,5	18 / 50 = 1 modulo; (minimo 2) 2 - 0,60 = 1,2 metri	3 moduli = 1,8 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Est-settore ospiti; \$4,5,5	1,20 metri	1,28 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); \$4,5,5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Esodo e tornelli tribuna Est-ospiti

Voce e riferimento	Calcolo e valore dotazione minima	Dotazione progettuale	Verificata
Tornelli tribuna Est-settore casa, posti GA = 1922; \$4,6	1922 / 660 = 3 tornelli	4 tornelli	Si
Moduli via d'esodo tribuna Est-settore casa, posti GA = 1922; \$4,5,5	1922 / 250 = 8 moduli; 8 - 0,60 cm = 4,8 metri	8 moduli = 4,8 metri	Si
Tornelli tribuna Est-settore casa, posti premium = 65; \$4,6	65 / 660 = 1 tornello	2 tornelli + 1 tornello disabili	Si
Moduli via d'esodo tribuna Est-settore casa, posti premium = 65; \$4,5,5	65 / 50 = 2 moduli; 2 - 0,60 = 1,2 metri	2 moduli = 1,2 metri	Si
Larghezza minima di ogni uscita e via d'uscita per entrambi i settori della tribuna Est-settore casa; \$4,5,5	1,20 metri	1,20 metri minima	Si
Vie di uscita di larghezza complessiva pari a quella delle uscite dallo spazio spettatori (via d'esodo a larghezza continua); \$4,5,5	-	Garantita per ogni via d'uscita	Si

Esodo e tornelli tribuna Est-casa

DISTANZE E AREE DI GIOCO

Distanze e funzioni campo da gioco



I criteri sportivi indicano la **composizione della superficie di gioco** e l'**obbligatorietà delle dotazioni del riscaldamento del manto erboso, del drenaggio e dell'irrigazione**. L'art. 5.01 UEFA rimanda a UEFA pitch quality guidelines, le linee guida di progetto del campo di gioco.



Nella porzione di campo compresa tra la fascia complanare ed il profilo delle tribune, in previsione dell'eventuale passaggio dei mezzi pesanti per le opere di manutenzione, è previsto l'utilizzo di una stratigrafia adatta a mantenere il continuo del manto erboso e a resistere al carico verticale dei mezzi: la soluzione adottata è la **stratigrafia del catalogo tecnico Pratopratico**.



Le linee guida UEFA Pitch Quality Guidelines, al §3.5 indicano che:

3) I sistemi di riscaldamento sotterraneo devono essere installati sotto l'intera area del manto erboso naturale;



Simbolo	Descrizione
	Tubo di mandata
	Tubo di ritorno
	Tubi radianti

Legenda riscaldamento

Schema irrigazione campo di gioco

Irrigatore

Legenda irrigazione



Schema drenaggio campo di gioco

Legenda drenaggio



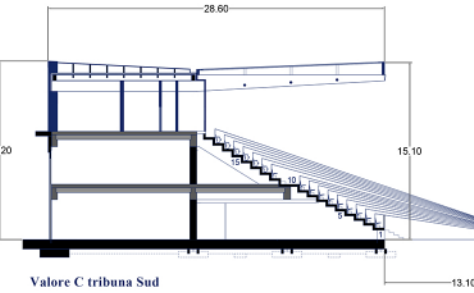
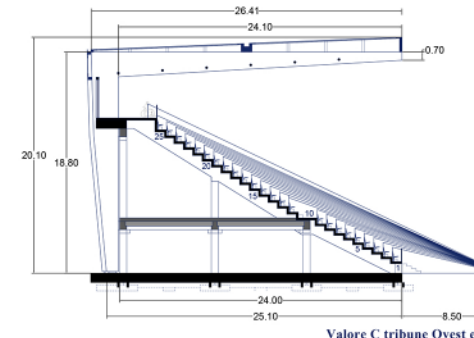
Irrigatore

Legenda irrigazione



Si considera uno spettatore seduto e si traccia la retta che congiunge il suo occhio con il punto focale, ossià con il punto più sfavorevole del terreno di gioco che deve poter vedere. Tale retta, proseguendo verso il campo, sorvola la fila che lo precede. Il valore C è la distanza verticale fra questa retta e la sommità del capo dello spettatore seduto nella immediatamente antistante. Il valore C misura, dunque, il margine di cui la visuale dispone prima di essere ostruita. Se è nullo, la linea di vista sfiora la testa di chi precede e la visione del punto focale è al limite, se è negativo, la visuale risulta ostruita e lo spettatore è costretto a spostarsi o alzarsi. Quanto maggiore è il valore C , tanto migliore risulta la visibilità e tanto più rapida la gradinata necessaria a garantirla: il parametro governa quindi direttamente l'inclinazione del profilo e, per conseguenza, l'altezza complessiva dell'impianto.

Il progetto assume $C = 120$ mm. La scelta trova riscontro in due fonti indipendenti. Le Norme CONI, all'art. 9, rimandano alla normativa vigente per la determinazione del valore minimo e indicano in 0,12 m il valore preferibile. La Guide to Safety at Sports Grounds, riconosciuta internazionalmente quale riferimento di buona pratica per la progettazione e la gestione degli impianti sportivi, colloca il valore tra 90 mm e 120 mm. Il valore adottato è pertanto quello preferibile e non quello minimo. La scelta è cautelativa e coerente con la categoria dell'impianto: poiché né i criteri di Serie A né il regolamento UEFA fissano sul



La formulazione delle Norme COVIs, risolta rispetto alla distanza, risponde alla domanda relativa alla collocazione: a quale distanza dal campo una data geometria di gradinata garantisce il margine richiesto. Nella pratica progettuale servono però le due forme inverse, risolte rispetto al margine (valore C) e rispetto all'alzata. La prima è impiegata in verifica e restituisce il valore C conseguito da un profilo assegnato; la seconda è impiegata in progetto e restituisce l'alzata minima necessaria a garantire il margine richiesto (120).

Cambio di notazione CONI-GREEN GUIDE

Formule indicizzate per la progettazione

La formulazione Green Guide descrive la relazione fra due file contigue: R è la quota dell'occhio della fila inferiore, N l'alzata che separa le due file, D la distanza orizzontale della fila anteriore dal punto focale e T la distanza verticale della verifica all'occhio più file, e ciascuna dipende dalla precedente, si è ritenuto opportuno passare a una notazione indicizzata.

Sostituendo nella forma di verifica della Green Guide, si ottiene l'espressione indicizzata del foglio di calcolo per la verifica del valore C_i : $C_i = N_i \cdot D_i \cdot J_i / D_i - N_i$. La medesima relazione, risolta rispetto alla quota dell'occhio della fila inferiore, fornisce la formula impiegata in fase di progetto per la determinazione dell'alzata minima: $alzata_{i,min} = D_i \cdot (N_i + C_i) / D_i - N_i$.

Le due forme sono impiegate in successione. In fase di progetto, la forma rispetto all'alzata determina fila per fila l'alzata minima necessaria a garantire il valore C richiesto: il profilo che ne discende presenta alzate tutte differenti e crescenti verso l'alto, secondo una curva continua. Tale profilo non è realizzabile con elementi prefabbricati, ed è inoltre sconsigliabile sotto il profilo della sicurezza, poiché alzate continuamente variabili aumentano il rischio di inciampio lungo le scale di smistamento.

Le alzate teoriche sono pertanto arrotondate verso l'alto e raggruppate in fasce a valore costante. In fase di verifica, la forma risolta rispetto al margine restituisce il valore C effettivamente conseguito dalle alzate adottate. Poiché ciascuna alzata adottata è maggiore o uguale alla minima richiesta nella propria fascia, il margine risultante è in ogni fila superiore a quello richiesto.

Nonostante l'adozione di un profilo unico per le quattro tribune, si specifica che la distanza maggiore della tribuna Sud rispetto alle altre, favorisce il valore C. La distanza dal punto di focalizzazione al profilo della tribuna Sud è 13,10 m, mentre per le altre tribune è 8,50.

A fianco si riportano i dati delle tribune Nord, Ovest e Est. Le tribune Ovest e Est presentano il medesimo numero di alzate per un totale di 26 file. La tribuna Nord presenta invece un numero totale di file pari a 24. Questa scelta è in funzione dello spazio disponibile in sito in relazione all'altezza e alla larghezza delle tribune.



Formulazione Coni

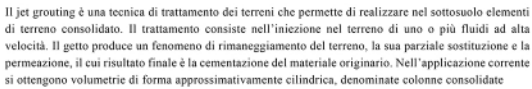
Formulazione indicizzata

Alzate adottateDati tribune Nord, Ovest ed E

Verifica valore C tribune Nord, Ovest, Est

Verifica valore C tribuna Sud

L'alzata adottata in corrispondenza dell'ultima fila è un valore voluto rispettare la scelta architettonica di dedicare la zona retrostante da tribune ai posti DA: ipotizzando che lo spettatore antistante l'ultima si alzi in piedi in corrispondenza di un'esultanza, lo spettatore DA avrebbe più margine. Ecco perché il valore C dell'ultima fila risulterebbe verificato: $617,3 - 400 = 217,3$ cm, considerando la quota dello spettatore in piedi a 1,60 m anziché 1,20 m.



- 1) Prima fase si perfora: una batteria di aste cave viene calata fino alla quota massima di trattamento tramite rotazione o rotopercolazione, di norma con l'ausilio di un fluido di perforazione;
- 2) nella seconda c'è la fase di trattamento: le aste vengono estratte a velocità di risalita e di rotazione controllate mentre dagli ugelli, collocati in prossimità dell'utensile di perforazione, sono immessi i fluidi.

L'esecuzione viene reiterata per ciascuna colonna: la loro adiacenza e compenetrazione, genera un corpo continuo.

L'opera si sviluppa complessivamente per 483 m. L'accesso da Est avviene tramite una rampa in viale Vittorio Veneto, il tratto coperto in piano percorre via Giancarlo Peucher per 300 m e il tratto di risalita si compie in viale Massenzio Masia. In mezz'ora del tratto coperto si innesta il parcheggio, riservato allo Yacht Club e alla Canottieri Lario.

L'opera è concepita come scatola impermeabile costituita da tre elementi strutturali: il **tampone di fondo in jet grouting**, che sigilla inferiormente lo scavo; i **diaframmi perimetrali in calcestruzzo armato**, che contengono le spinte orizzontali del terreno e dell'acqua; il **soalzo di copertura**, che vincola i diaframmi in testa e consente la ricostruzione del piano stradale. Realizzati i diaframmi e il tampone dal piano campagna, si getta il soalzo di copertura e si scava al di sotto di esso, sicché la paratia risulta vincolata in testa fin dalle prime falde. Tale sequenza limita le deformazioni e, con esse, i cedimenti indotti sugli edifici circostanti, ed è la ragione principale per cui viene preferita allo scavo a cielo aperto.



Verifica	Valore	Richiesto	Esito	Riferimento
Diaframma	h teorico 45,5 cm	45,5 cm $\leq$ 60 cm (adottato)	verificata	h = 60 cm adottata; teorico 45,5 cm
Flessione del tampono, galleria	utilizzo 0,45	≤ 1	verificata	hce 5,10 m, senza ancoraggi, $1 \geq \sigma_{Ed}/f_{td}$, verificata, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sfilamento all'interfaccia, galleria	utilizzo 0,73	≤ 1	verificata	due interfacce, larghezza 5,10 m, $1 \geq F_{up,d}/R_{d,1}$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Flessione del tampono, parcheggio, senza ancoraggi	utilizzo 4,40	≤ 1	non verificata	hce 16,00 m: richiede ancoraggi, $1 \geq$ σ_{Ed}/f_{td} , NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1

Verifica	Valore	Richiesto	Esito	Riferimento
Flessione dei tamponi, parcheggio, con ancoraggi	utilizzo 0,58	≤ 1	verificata	luce 5,80 m, modi di ancoraggio, richieste ancoraggi, $1 \geq \sigma_{\text{Ed}}/f_{\text{td}}$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sfilamento all'interfaccia, parcheggio	utilizzo 0,73	≤ 1	verificata	una interfaccia, compimento 2.55 m, $1 \geq F_{\text{apd}}/R_{\text{d}}$, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1
Sollevamento, galleria, fase provvisoria	1,12	$\geq 1,00$	verificata	Fase provvisoria già soddisfatta, $\gamma_{\text{G,stab-W}}/ \gamma_{\text{G,stab-U}} \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4
Sollevamento, parcheggio, fase provvisoria	0,80	$\geq 1,00$	non verificata	condizione dimensionante: richieste ancoraggi, $\gamma_{\text{G,stab-W}}/ \gamma_{\text{G,stab-U}} \geq 1$, NTC 2018 §6.2.4.2, formula 6.2.4

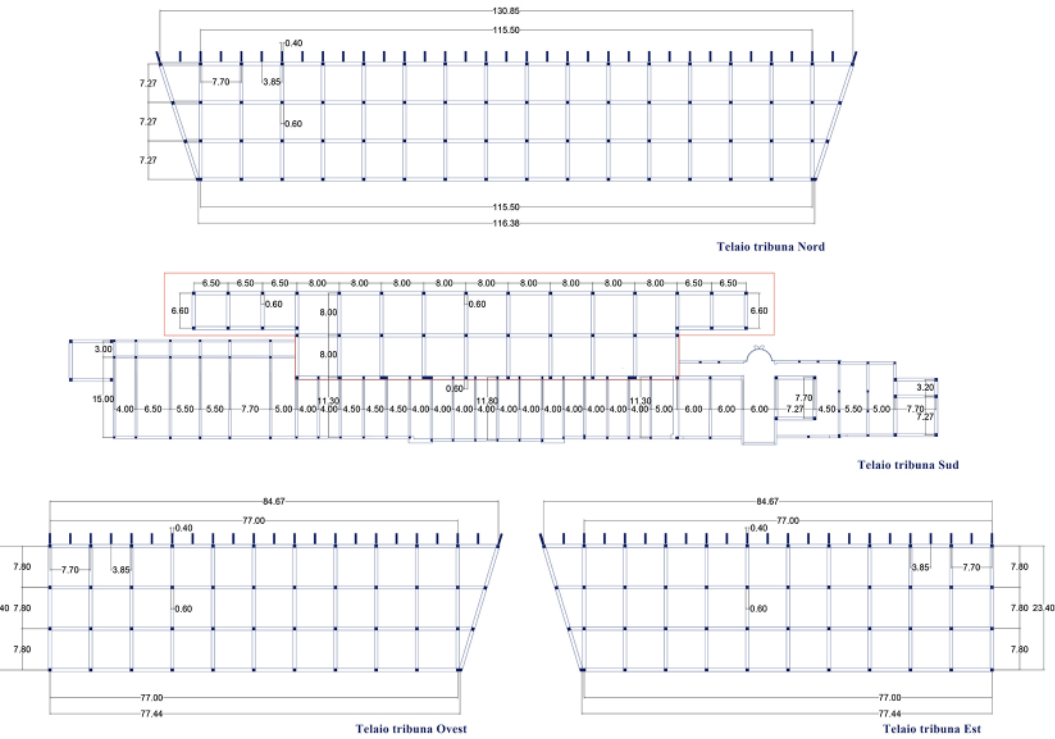
Verifica	Valore	Richiesto	Esito	Riferimento
Sollevamento, parcheggio, esercizio	1,16	$\geq 1,00$	verificata	col peso permanente della struttura, $\gamma_{G+th} W / \gamma_{G+th} U \geq 1$, NTC 2018, §6.2.4.2, formula 6.2.4
Ancoreggi di fondo, fase provvisoria	6 micropali per nodo	$T = 1.596 \text{ kN}$	verificata	R. 4 = 280 kN per micropalo
Ancoreggi di fondo, esercizio	2 micropali per nodo	$T = 447 \text{ kN}$	verificata	non dimensionante
Flessione del tampono, galleria	utilizzo 0,45	≤ 1	verificata	luce $\leq 10 \text{ m}$, senza ancoraggi, $1 \geq \alpha_{eff} T / G_d$, verificato, NTC 2018, §6.2.4.1, formula 6.2.1



Prospetto tribuna Est scala 1:200

PREDIMENSIONAMENTO STRUTTURALE DELLA TRIBUNA

TELAI



La struttura che sostiene le gradinate è costituita da una successione di telai trasversali in calcestruzzo armato prefabbricato, disposti a passo costante lungo il fronte. Ciascun telaio si compone di quattro pilastri di altezza crescente verso il retro e di una trave a ginocchio, o raker, che ne collega le teste seguendo l'inclinazione del profilo delle gradinate. Sul raker si appoggiano i gradoni prefabbricati a sezione a L, che coprono in direzione longitudinale la distanza fra due telai consecutivi. L'andamento geometrico di tale struttura non nasce da una scelta autonoma: esso discende dal profilo delle gradinate determinato mediante la verifica del valore C. Il profilo fissa la profondità in pianta, l'inclinazione e le quote, e la struttura si limita a materializzarlo.

ANALISI DEI CARICHI

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Permanente strutturale (gradoni e raker)	g	5,00	kN/m²	valore assunto, campo corretto 4-6
Sovaccarico da folla, categoria C5	$q_{1,1}$	5,00	kN/m²	NTC 2018, tab. 3.1.II
Sovaccarico delle funzioni sotto la tribuna	$q_{1,2}$	4,00	kN/m²	NTC 2018, tab. 3.1.III, categoria C
Carico di progetto allo SLU	q_d	20,00	kN/m²	NTC 2018 §2.5.3, 1.3 g + 1.5 q _{1,1} + 1.5 q _{1,2}

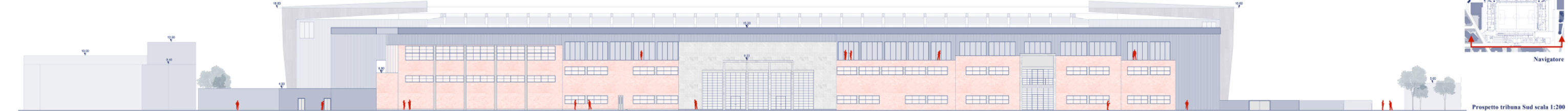
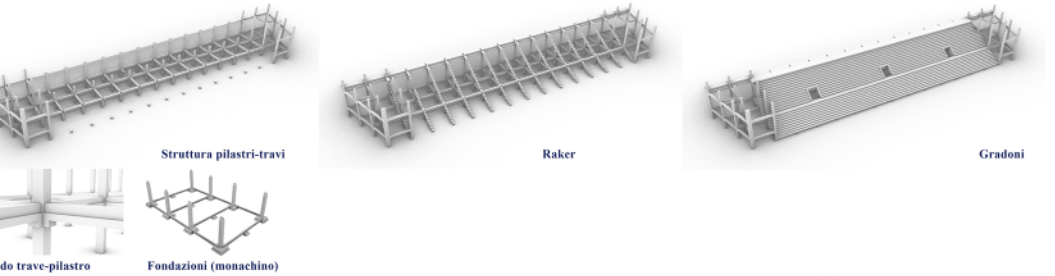
Carichi assunti e carichi di progetto

IL PILASTRO PIÙ CARICATO

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Area di influenza in pianta	A_{infl}	60,06	m²	i · L _x
Sforzo normale di progetto	N_{Ed}	1.201	kN	$q_d \cdot A_{infl}$
Classe di calcestruzzo	-	C32/40	-	prefabbricato
Resistenza di progetto	f_{cd}	18,33	N/mm²	NTC 2018 §4.1.2.1.1, 0,85 f _{ck} / 1,5
Area di calcestruzzo richiesta	A_{cs}	1.472	cm²	$= N_{Ed} / (0,85 f_{cd})$
Lato del pilastro quadrato indicativo	-	38,4	cm	$\sqrt{A_{cs}}$
Sezione adottata	-	60 · 60	cm	planimetria strutturale

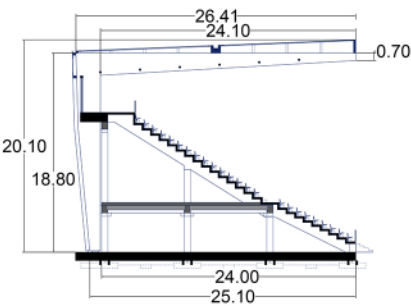
Predimensionamento del pilastro più carico-tribuna Ovest

La sezione adottata di 60 × 60 cm eccede sensibilmente il lato indicativo di 38,4 cm. Lo scarto non deriva da un sovradimensionamento arbitrario, bensì da tre circostanze che il pre-dimensionamento non contempla. La prima è la **flessione**: il pilastro di monte riceve dai ritegni della copertura una spinta orizzontale che il calcolo a sola compressione ignora. La seconda è la **tecnologia prefabbricata**, che richiede sezioni tali da ospitare i dispositivi di collegamento, gli inserti di sollevamento e le tolleranze di montaggio. La terza è la **verifica sismica**, che nei telai monopiano di grande altezza governa frequentemente il dimensionamento.



Progetto per lo Stadio Giuseppe Sinigaglia in Como: tra integrazione urbana e rinnovamento edilizio

PREDIMENSIONAMENTO DELLA COPERTURA

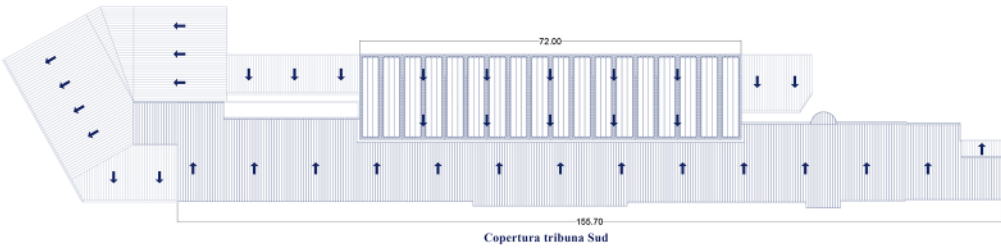
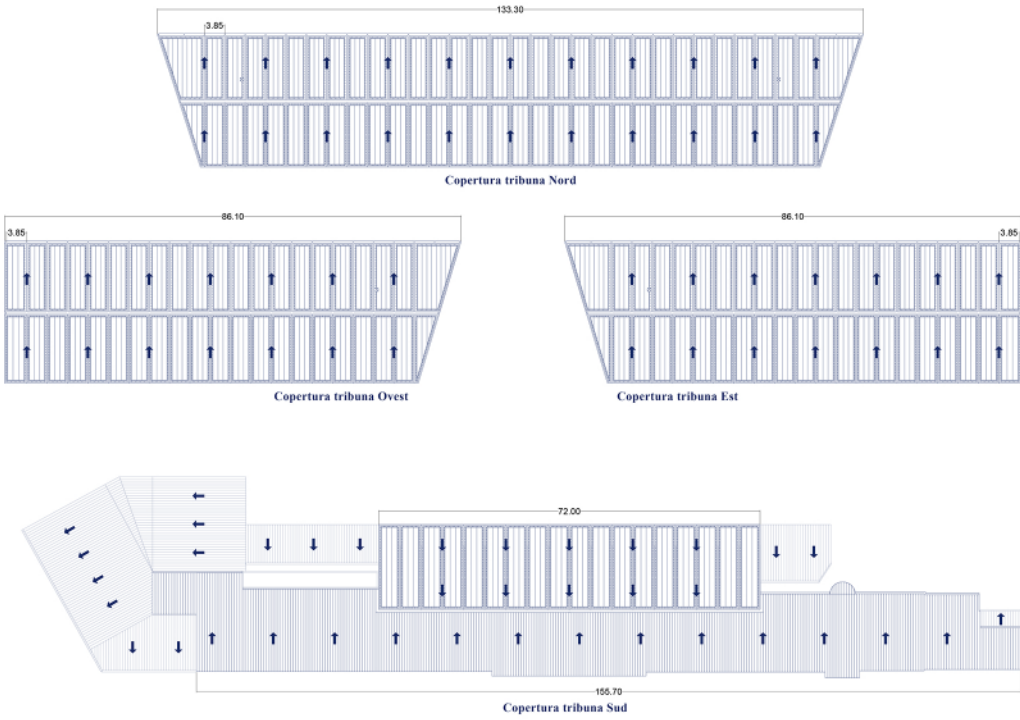


IL MANTO DI COPERTURA

La copertura delle tribune è realizzata con manto in film ETFE monostrato, dello spessore di 0,25 mm, teso su telai perimetrali in alluminio e sostenuto da un'orditura secondaria in profili d'acciaio disposti parallelamente e perpendicolarmente ai costoloni in legno lamellare. La scelta risponde all'esigenza di massimizzare la trasmissione luminosa a beneficio della crescita del manto erboso e di contenere al minimo il carico permanente che grava sulla struttura a mensola di 24,1 m di sbalzo. Il piano di copertura è impostato con pendenza del 5% e displuvio verso la radice della mensola. Le acque sono raccolte in un canale di gronda arretrato e convogliate a pluviali adiacenti alle gambe dei costoloni. Si segnala, quale limite del presente livello di approfondimento, che la documentazione tecnica di settore raccomanda per le coperture in ETFE pendenze non inferiori a 10° al fine di prevenire il ristagno di acqua e neve e la conseguente deformazione del film. La configurazione adottata, a pendenza inferiore, richiede in fase esecutiva la verifica del comportamento del film sotto accumulo nevoso mediante analisi non lineare specialistica a cura del fornitore del sistema, con integrazione di cavi di sostegno (opportunamente già inseriti nel progetto ogni metro circa) ed un eventuale adeguamento dello spessore del film. Il riferimento tipologico assunto è l'Allianz Riviera di Nizza, dove un involucro ETFE monostrato è associato a una struttura di sostegno in acciaio.



Prototipo copertura ETFE Allianz Riviera di Nizza



CONCEPT ARCHITETTONICO E STRUTTURALE

La geometria del costolone è al contempo sia derivante da un approccio puramente architettonico, e quindi quello di mediare l'interno e l'esterno (facciata) dello stadio attraverso una continuità visiva e dunque affermare la scansione ritmica dei costoloni sia all'interno che all'esterno, sia derivante dalla Scienza delle costruzioni. Con quest'ultima affermazione si intende che il materiale è posto in corrispondenza delle zone più sollecitate del costolone stesso: in copertura, la rastremazione avviene verso l'interno della tribuna passando da un'altezza di 2,1 metri alla radice a 0,70 metri alla punta, dove il momento flettente risulta minimo. In facciata si segue esattamente lo stesso principio, l'estradosso del costolone segue l'andamento del momento flettente e dunque risulta costante fino all'altezza del ritagno superiore per poi diminuire fino all'attacco a terra della cerniera.

GEOMETRIA

Gli interessi dei costoloni, 3,85 metri, scandiscono un andamento più ravvicinato rispetto alla maglia di pilastri della struttura delle tribune di 7,7 metri. Ciò avviene in funzione della volontà di ridurre la sollecitazione del momento flettente agente su ogni costolone: dimezzando l'interasse, l'area di influenza del singolo costolone si dimezza e dunque il carico agente diminuisce. Nella parte rastremata, in cui si passa da 2,1 m a 0,7 m, le mensole sono concesse tra di loro tramite dei profili in acciaio: questi sono i ritegni del bordo compresso contro lo svergolamento, cioè l'instabilità flessione-torsionale del costolone. Nel profilo invece verticale, vi sono delle connessioni denominate in seguito "ritegno alto" e "ritegno basso" che connettono i costoloni stessi alla struttura in calcestruzzo prefabbricato della tribuna: il momento flettente generato dallo sbalzo di 24,1 m viene trasferito a questa parte della struttura, per evitare che l'intera sollecitazione arrivi alla fondazione del costolone stesso.

PREDIMENSIONAMENTO COSTOLONE DI COPERTURA

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Sbalzo da coprire	L_c	24,10	m	geometria di progetto
Altezza della sezione alla radice	h_{radice}	2,10	m	sezione massima all'incastro
Altezza della sezione alla punta	h_{punta}	0,70	m	sezione minima all'estremo libero
Larghezza del costolone	b	0,40	m	due blocchi di lamellare da 200 mm
Interasse dei costoloni	i	3,85	m	indipendente dai telai in c.a. (7,70 m)

Geometria

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Permanente portato (manto e orditura)	g	0,60	kN/m²	valore assunto (campo 0,4-0,8)
Carico neve	q_s	1,50	kN/m²	NTC 2018, §3.4, valore al suolo, $\mu = 1,0$
Peso proprio del costolone	pp	2,52	kN/m	area media × 4,5 kN/m²
Permanente lineare complessivo	g_k	4,83	kN/m	$g = i + \text{peso proprio}$
Neve lineare	s_k	5,78	kN/m	$q_s \times i$
Carico di progetto allo SLU	w_d	14,94	kN/m	NTC 2018, tab. 2.6 (1,3 g, k + 1,5 s, k)

Carichi e azioni sul costolone

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione alla radice	14,76 N/mm²	17,38 N/mm²	0,85	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Taglio alla radice	0,64 N/mm²	2,17 N/mm²	0,30	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.9
Deformazione (freccia metà)	110 mm	193 mm	0,57	VERIFICATA	ECS prosp. 7.2
Instabilità flessione-torsionale	14,76 N/mm²	17,38 N/mm²	0,85	VERIFICATA	ECS §6.3.3

Verifiche costolone

PREDIMENSIONAMENTO GAMBA DEL COSTOLONE RASTREMATA

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Utilizzo	Esito	Riferimento
Flessione (profilo adorno)	14,76 N/mm²	17,38 N/mm²	0,85	VERIFICATA	NTC §4.4.8.1.6
Presso-flessione con instabilità (G2)	14,76 N/mm²	-	0,89	VERIFICATA	NTC §4.4.8.2.1
Non sollevamento pilastro di monte	830 kN	residuo > 0	-	VERIFICATA	equilibrio

Verifiche gamba

PREDIMENSIONAMENTO FONDAZIONI

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Carico su C4, quota di raker afferente	-	420	kN	$q_{SLE} \cdot (l_r / 2) \cdot L$, pilastro di estremità
Carico su C4, reazione della trave di piano	-	308	kN	$(1,00 + 4,00) \text{ kN/m}^2 \cdot (l_r / 2)$
Carico complessivo del pilastro di monte	N_p	728	kN	somma dei due contributi
Reazione della gamba in esercizio	-	305	kN	una sola gamba per pilastro
Peso proprio del pilastro	W_p	156	kN	$B' \cdot H \cdot 25 \text{ kN/m}^3$
Verticale totale sul pilastro	N_{tot}	1.190	kN	somma dei contributi
Superficie di appoggio	A	6,25	m²	$B \cdot B$
Pressione media di contatto	σ	190,3	kPa	$\sigma = N_{tot} / A$
Portanza ammissibile assunta	σ_{amm}	250	kPa	valore convenzionale

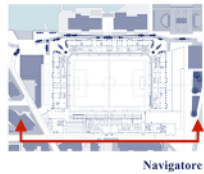
Verifica portanza pilastro comune

Verifica	Valore di calcolo	Limite	Esito	Riferimento
Portanza del terreno	190,3 kPa	250 kPa	VERIFICATA	utilizzo 0,76
Non partializzazione	$e = 0,16 \text{ m}$	$\leq B/6 = 0,42 \text{ m}$	VERIFICATA	risultante entro il nocciolo

Verifiche pilastro comune

Grandezza	Simbolo	Valore	Unità	Riferimento
Reazione della gamba in esercizio	-	305	kN	unica azione verticale applicata
Peso proprio del pilastro	W_p	156	kN	$B' \cdot H \cdot 25 \text{ kN/m}^3$
Verticale totale sul pilastro	N_{tot}	461	kN	somma dei contributi
Pressione media di contatto	σ	73,8	kPa	$\sigma = N_{tot} / A$
Utilizzo	-	0,30	-	rispetto a 250 kPa

Verifiche pilastro intermedio (costolone singolo)



Prospetto tribuna Sud scala 1:200

