

# Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

Classe di laurea LM-24: Ingegneria dei Sistemi Edilizi

Tesi di Laurea di II livello

## **L'analisi dei flussi degli spettatori con simulazioni numeriche nelle diverse configurazioni d'utilizzo dello stadio San Paolo di Napoli**



Relatori:

Prof. Roberto Vancetti

Prof. Fabio Manzone

Ing. Emiliano Cereda

Candidato:

Francesco Gallo

Anno Accademico 2019-2020

# Sommario

Abstract .....	1
1. Premessa .....	2
2. Lo Stadio San Paolo di Napoli: la storia .....	3
3. Lo Stadio San Paolo di Napoli: verifiche dello stato attuale .....	6
3.1 D.M. 18 Marzo 1996.....	6
3.2 Circolare M.I. 18 Luglio 2018 .....	17
4. L'analisi dei flussi degli spettatori nelle diverse configurazioni dello stadio .....	21
4.1 Modellazione dello stadio San Paolo di Napoli.....	21
4.1.1 Software di simulazione .....	21
4.1.2 Creazione del modello per l'evento sportivo .....	21
4.1.3 Creazione del modello per l'evento di pubblico spettacolo .....	25
4.1.4 Definizione degli utenti e delle regole comportamentali .....	26
4.1.5 Creazione dei servizi per i rispettivi modelli.....	28
4.1.6 Elenco delle simulazioni .....	29
4.1.7 Metodo di valutazione delle simulazioni.....	30
4.2 Impianto Sportivo.....	31
4.2.1 Uscita ordinaria-Stadio 2019 .....	32
4.2.2 Uscita ordinaria-Stadio 2018 .....	36
4.2.3 Confronto tra le due simulazioni per l'uscita in condizioni ordinarie .....	39
4.2.4 Intervallo .....	43
4.3 Manifestazione Pubblica .....	49
4.3.1 Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva.....	51
4.3.2 Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva.....	53
4.3.3 Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva.....	56
4.3.4 Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva.....	59
4.3.5 Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva.....	61

4.3.6	Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva.....	64
4.3.7	Uscita in caso di emergenza utilizzando 7 uscite per curva.....	66
4.3.8	Uscita in caso di emergenza utilizzando 4 uscite per curva.....	69
5.	Valutazione dei risultati delle simulazioni.....	72
6.	Conclusioni.....	74
7.	Bibliografia e Sitografia .....	76

## Abstract

L'analisi dei flussi degli spettatori presenti in uno stadio rappresenta un aspetto fondamentale per lo svolgimento di un evento in sicurezza. Tali flussi sono valutati per individuare le zone più critiche presenti nella struttura, ossia quelle caratterizzate da un'elevata densità di persone che potrebbe portare ad incidenti od a fenomeni di panico. L'analisi dei flussi degli spettatori ha una validità anche organizzativa e gestionale infatti può essere utilizzata anche da parte del gestore dell'impianto per valutare la miglior collocazione di stands e cartelli pubblicitari. Il presente lavoro di tesi ha l'obiettivo di valutare la flessibilità dello Stadio San Paolo di Napoli in termini di utilizzo della struttura in due configurazioni, sia di un evento sportivo sia di una manifestazione pubblica. Dal punto di vista normativo gli impianti sportivi che possono ospitare anche manifestazioni pubbliche sono soggetti al D.M. 18 Marzo 1996 ed alla Circolare del M.I. del 18 Luglio 2018: pertanto, inizialmente è stata svolta la verifica dello stato attuale dello stadio rispetto alle norme citate. La prima configurazione analizzata riguarda il movimento degli spettatori presenti in uno specifico settore dello stadio, la Curva B, durante una partita di calcio. L'analisi è stata effettuata sulla conformazione della struttura antecedente e posteriore ai lavori di ristrutturazione e adeguamento funzionale, svolti nell'estate del 2019: le simulazioni numeriche riguardano un singolo settore dello stadio in quanto ogni settore è indipendente e separato dagli altri ed entrambe le curve sono simili per conformazione e per numero di tifosi. Nella seconda configurazione invece è stato valutato il flusso degli spettatori presenti durante un concerto, analizzando il loro movimento nel settore parterre in fase di uscita e in presenza dei servizi principali. Le simulazioni svolte hanno permesso di dimostrare la validità delle soluzioni progettuali già presenti e la fattibilità di quelle proposte, per un utilizzo dello stadio in sicurezza in occasione dei diversi eventi.

The analysis of the spectator flow in a stadium is an essential topic for the execution of events in safety. These flows are evaluated to identify the critical zones in the construction, in which there is an high level of density of people that could create incidents or phenomena of panic. The analysis of spectator flow is an organisational and management item indeed the manager of the construction can use it to find the best place to collocate stands and advertising poster. The aim of this thesis is evaluating the use flexibility of the "San Paolo" football Stadium in Naples during a football match and during a concert. Sports complex which is possible to turn it into a concert hall, have to follow the "D.M. 18 Marzo 1996" and "Circolare del M.I. 18.07.18": for this reason initially, the current shape of the stadium is evaluated according to this two regulations. The first configuration is on the moviment of the spectators in the "Curva B" during a football match. The analysis is about the different shape of the stadium before and after the refurbishment of summer 2019. The numerical simulations are on one sector of the stadium considering each sector is independet and separated from the others and the sectors "Curva B" and "Curva A" have the same shape and the same number of spectators. In the second configuration is evaluated the spectator flow in a concert in the sector parterre with stands during the egress. The numerical simulations can show the validity of the real design solutions and the feasibility of the proposed alternative solutions for the execution of events in safety.

## 1. Premessa

L'obiettivo della tesi è valutare la flessibilità d'utilizzo di un impianto sportivo aperto al pubblico analizzando i flussi degli utenti. Questa valutazione permette di individuare le possibili zone critiche nella quali si possono presentare fenomeni di schiacciamento della folla per l'elevata densità di individui ma anche quelle con elevato afflusso sfruttabili in modo tale da massimizzare la redditività per il gestore. Si sottolinea come il non garantire una condizione di *safety* agli utenti possa sfociare in fenomeni di panico e successiva perdita di capacità di scelta razionale. L'individuazione di aree con una maggiore probabilità di accadimento di incidenti richiede la definizione di un metodo per determinare quali simulazioni svolgere e come valutarle utilizzando i differenti *output*, valutando quindi se basti o no soddisfare le condizioni richieste da una normativa di tipo prescrittivo.

Un impianto sportivo si presta perfettamente a questa valutazione poiché presenta elevati valori di affollamento e considerando la sua possibile duplice configurazione, permette di analizzare il flusso degli spettatori sia durante un evento sportivo e sia durante una manifestazione pubblica. La scelta dello stadio San Paolo di Napoli presenta entrambe queste caratteristiche ed inoltre permette di attuare un duplice confronto con la conformazione antecedente ai lavori di riqualificazione dell'estate 2019. L'utilizzo di uno stadio come oggetto di studio permette inoltre la valutazione dei servizi presenti nell'impianto con la finalità di dare agli spettatori la possibilità di usufruirne in sicurezza ed in tempi soddisfacenti.

## 2. Lo Stadio San Paolo di Napoli: la storia

Lo stadio San Paolo è situato a Fuorigrotta, un quartiere della periferia occidentale di Napoli; di proprietà del comune di Napoli, è la sede degli incontri interni della Società Sportiva Calcio Napoli.



Figura 1: Localizzazione dello stadio San Paolo, fonte [11];

Lo stadio San Paolo è il quarto stadio italiano per capienza con 54.726 spettatori, dopo lo stadio Giuseppe Meazza di Milano (75.923), lo stadio Olimpico di Roma (70.634) e lo stadio San Nicola di Bari (58.270).

Lo stadio inaugurato nel 6 dicembre 1959 e progettato dall'architetto Carlo Cocchia rappresenta un esempio di architettura brutalista con l'utilizzo del cemento a vista. Il progetto iniziale con 90.000 spettatori in piedi si presenta con una forma ovale, due anelli di spalti e la pista di atletica tra la zona di attività sportiva e la zona spettatori.



Figura 2: Stadio San Paolo anni '80, fonte [8];

L'impianto subì una profonda ristrutturazione con il campionato del mondo del 1990, per il quale venne progettata la copertura metallica e la tribuna stampa, ancora presenti nello stadio odierno, l'installazione dei seggiolini in tutti i settori e la costruzione di un parcheggio multipiano sotterraneo. Nello stesso periodo fu progettato e realizzato il terzo anello, collegato alla struttura di sostegno della copertura.



**Figura 3: Copertura metallica e terzo anello dello stadio San Paolo, fonte [15];**

Nonostante le successive ristrutturazioni, l'impianto presentò un notevole decadimento strutturale e funzionale alla fine degli anni 90' con la revoca dell'agibilità dell'impianto nel 2001.

Con la chiusura del terzo anello, dichiarato inagibile per la propagazione di sollecitazioni tramite i piloni metallici verso gli edifici circostanti ed ulteriori lavori di ammodernamento e riqualificazione per rispettare le richieste della UEFA per la partecipazione alle coppe europee, lo stadio ritornò agibile nel 2008 con una capienza ridotta a 60.240 posti. La conformazione dello stadio rimase la stessa fino all'estate del 2019.



**Figura 4: Stadio San Paolo nel 2015, fonte [8];**

Il 5 marzo 2016 Napoli è stata scelta come città ospitante della XXX Universiade. Nell'estate 2019 si sono svolti i lavori di ristrutturazione e adeguamento funzionale ed impiantistico dello stadio San Paolo scelto come sede della cerimonia di inaugurazione e chiusura dell'evento. I lavori compresero il rifacimento della pista d'atletica, l'installazione di due maxischermi all'altezza della tribuna e dei distinti, la sostituzione e ricollocamento dei seggiolini e l'ammodernamento dei servizi, degli spogliatoi e dell'impianto di illuminazione. La nuova collocazione dei seggiolini con una maggior distanza tra le sedute, come richiesto dalla normativa e le loro diverse dimensioni hanno ridotto la capienza a 54.726 spettatori. Il restyling ha elevato l'impianto ad elevati standard di sicurezza e fruibilità mai raggiunti nei progetti precedenti.

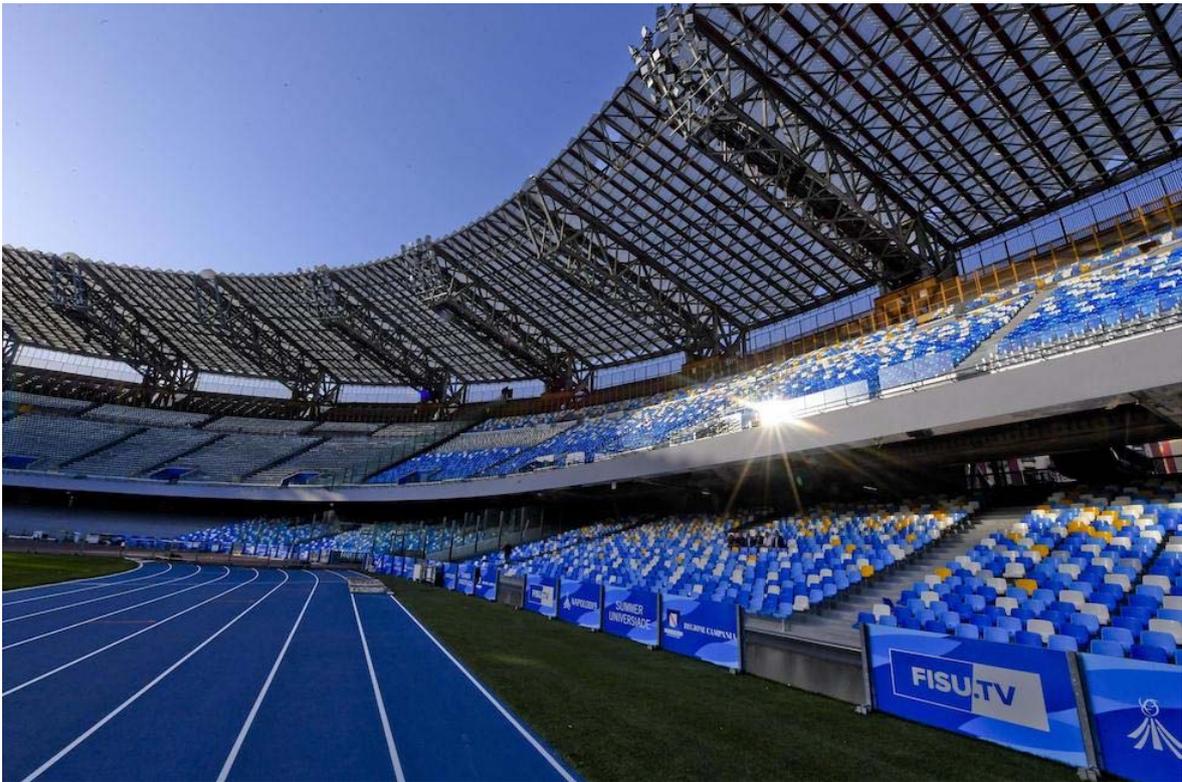


Figura 5: Lo stadio San Paolo dopo i lavori per le XXX Universiadi, fonte [13];

### **3. Lo Stadio San Paolo di Napoli: verifiche dello stato attuale**

L'analisi effettuata riguarda la verifica dello stato attuale dello stadio San Paolo di Napoli rispetto alle normative vigenti. Lo stato di fatto in cui si presenta l'impianto, è valutato inizialmente rispetto ai criteri imposti dal D.M. 18 marzo 1996 "Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi" con le modifiche e le integrazioni introdotte dal D.M. 6 giugno 2005. Successivamente si analizza la Circolare del Ministero dell'Interno del 18 luglio 2018 relativa alla direttiva sui modelli organizzativi e procedurali per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche.

#### **3.1 D.M. 18 Marzo 1996**

Lo Stadio San Paolo rientra nell'attività n° 65 "Locali di spettacolo e di intrattenimento in genere, impianti sportivi e centri sportivi, palestre, sia a carattere pubblico che privato, con capienza superiore a 100 persone" e quindi nelle attività soggette al controllo di prevenzione incendi. Esso è classificato con la categoria C poiché presenta "oltre 200 persone". Sono individuati i diversi requisiti richiesti dagli articoli del D.M. e si valuta la loro corrispondenza con lo stato di fatto.

Secondo l'**Art.1- Campo di applicazione**, lo stadio è soggetto alle presenti disposizioni in quanto è un impianto sportivo esistente nel quale si svolgono manifestazioni temporanee e/o attività sportive regolate dal C.O.N.I e dalla Federazione Italiana Giuoco Calcio. Lo Stadio San Paolo è definito come "impianto sportivo all'aperto" dove lo spazio di attività è scoperto e quello riservato agli spettatori coperto da una copertura in lega metallica posta su tutti i settori.

Nell'**Art.5** è definita l'**area di servizio annessa** all'impianto. Questa è l'area di pertinenza dell'impianto recintata per controllarne gli accessi. L'area è richiesta per tutti gli impianti con capienza superiore a 2.000 spettatori. Il posizionamento di una recinzione all'esterno del perimetro dell'impianto sportivo con la predisposizione di adeguati servizi, permette di effettuare una prima verifica del possesso di un regolare titolo di accesso allo stadio, indirizzando lo spettatore dal varco di accesso al settore assegnato.

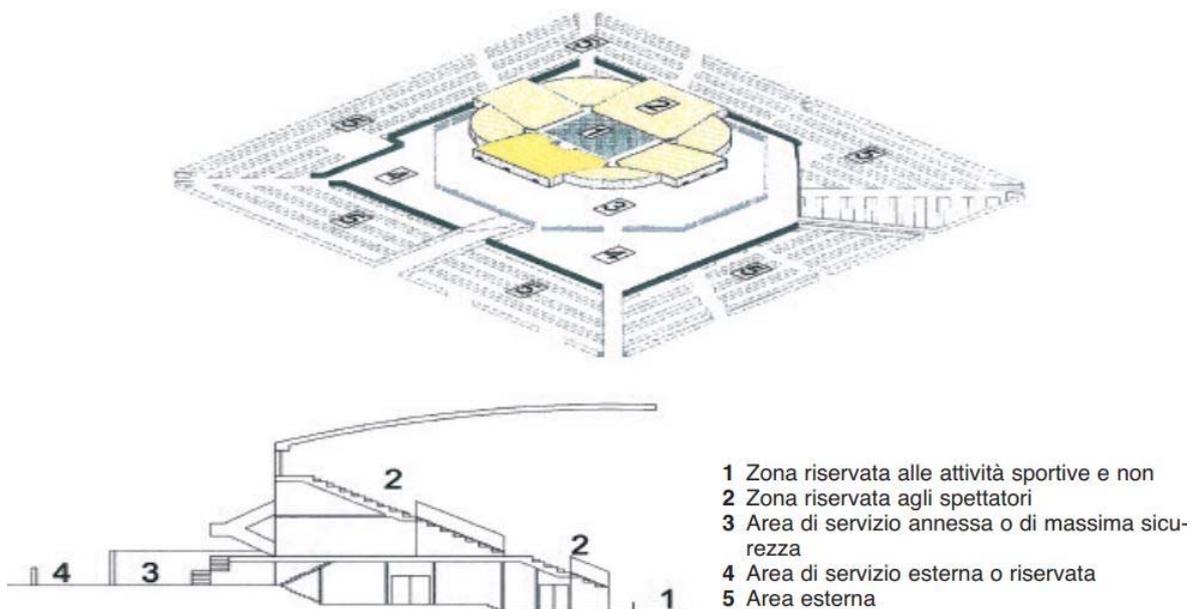


Figura 6: schema delle aree che compongono uno stadio, fonte [6];

Per ciascun settore dello stadio è prevista un'indipendente area di servizio con funzione di prefiltraggio. L'area si presenta per lo più piana con lievi pendenze, rispettando quindi la pendenza non superiore a 12% in corrispondenza delle uscite dall'impianto. La distanza tra la recinzione esterna ed il perimetro dello stadio non è mai inferiore a 6 m. L'area deve essere costituita da spazi scoperti delimitati e deve creare una superficie tale da garantire una densità di affollamento di 2 persone/m<sup>2</sup>.

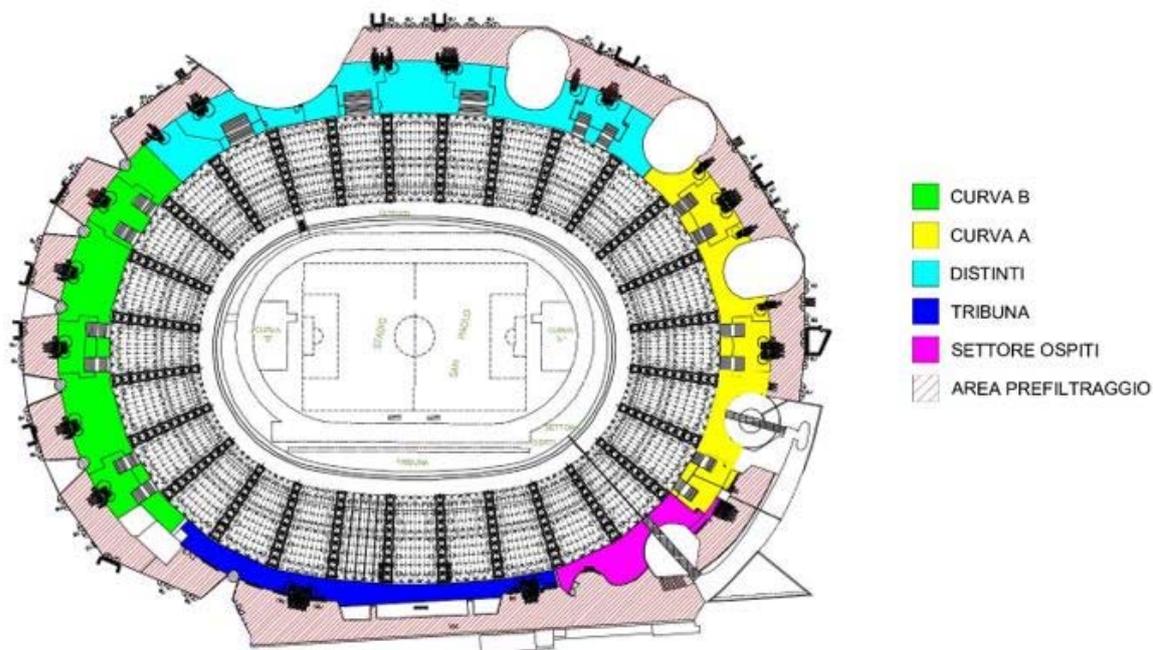


Figura 7: Aree di servizio annessa e di prefiltraggio dello Stadio San Paolo;

Nella figura precedente sono individuate le differenti aree di servizio annesse indipendenti per ciascun settore dello stadio. Ad ogni area di servizio annessa è collegata

un'area di prefiltraggio. Dai files di progetto si è ricavato che in nessun settore è garantita una densità di affollamento di 2 persone/m<sup>2</sup> rendendo così l'area di servizio annessa non un luogo sicuro poiché non è in grado di contenere il massimo affollamento ipotizzabile per l'esodo in emergenza. Successivamente sono riportati i valori di superficie ricavati dai files di progetto e confrontati con i valori minimi.

**Tabella 1: Confronto tra la superficie richiesta per l'area di servizio e lo stato di fatto**

Settore	Capienza	Superficie minima [m <sup>2</sup> ]	Superficie stato di fatto [m <sup>2</sup> ]
Curva A	12.107	6.053	2.805
Curva B	13.059	6.529	4.010
Tribuna	10.090	5.045	1.530
Settore Ospiti	3.511	1.755	935
Distinti	15.959	7.979	4.275

La delimitazione dell'area di servizio annessa rispetta i requisiti indicati dalla norma UNI 10121 EN e deve possedere varchi di larghezza equivalente a quella delle uscite finali. Nella tabella successiva sono confrontati i moduli di uscita dalla delimitazione dell'area di servizio con i moduli di uscita dall'impianto. Ogni modulo rappresenta un varco di 60 cm, atto per il passaggio di una persona.

**Tabella 2: confronto tra il numero di moduli di uscita**

Settore	Moduli di uscita finali	Moduli di uscita dalla delimitazione
Curva A	100	61
Curva B	109	84
Distinti	168	121
Settore Ospiti	/	26
Tribuna	/	63

Si nota come i settori indicati, possiedano il numero di moduli di uscita dell'impianto maggiori rispetto a quello delle uscite dalla delimitazione e la mancanza di dati certi sui moduli dell'uscita dalla delimitazione dell'area del settore ospiti e della tribuna, non permettano una loro verifica. Si sottolinea però che la necessità di prevedere varchi di larghezza pari a quella della corrispondente uscita dall'impianto abbia rilevanza, ai fini dell'esodo, unicamente nei casi in cui la recinzione sia posta a ridosso dell'impianto, con la finalità di non rallentare l'uscita degli spettatori; situazione non presente in questo caso.

L'Art.6 indica la modalità per ricavare la **capienza** dello spazio riservato agli spettatori, la quale è data dalla somma dei posti a sedere per un totale di 54.726 spettatori, come indicato nei files di progetto. Deve essere garantita per ogni spettatore la visibilità dell'area destinata all'attività sportiva, conformemente alla norma UNI 9217; per questo motivo nell'anello inferiore non tutti i gradoni sono utilizzati per il collocamento dei

seggolini. Si specifica inoltre, che lo spazio di attività sportiva deve essere collegato agli spogliatoi ed all'esterno dell'area di servizio dell'impianto con percorsi separati da quelli degli spettatori.

Il decreto richiede inoltre che la delimitazione tra lo spazio riservato agli spettatori e l'attività sportiva debba avere almeno 2 varchi di larghezza minima di 2,40 m per ogni settore e muniti di serramenti che in caso di necessità possano essere aperti su disposizione dell'autorità di pubblica sicurezza verso la zona di attività sportiva. In tale delimitazione dello Stadio San Paolo è presente un fossato, è necessario quindi l'utilizzo di passerelle metalliche per ogni settore.

Nell'**Art.6-bis** sono indicati i **sistemi di separazione tra zona spettatori e zona attività sportiva** che deve essere conforme ai regolamenti del C.O.N.I e della Federazione Italiana Giuoco Calcio. Nello stadio San Paolo è realizzata la soluzione b) ossia un fossato con pareti e fondo a superficie piana, di profondità non minore di 2,50 m rispetto al piano di calpestio del pubblico e larghezza non minore di 2,50 m. Il fossato è protetto verso la zona spettatori e verso lo spazio di attività sportiva da idonei parapetti aventi altezza non minore di 1,10 m.

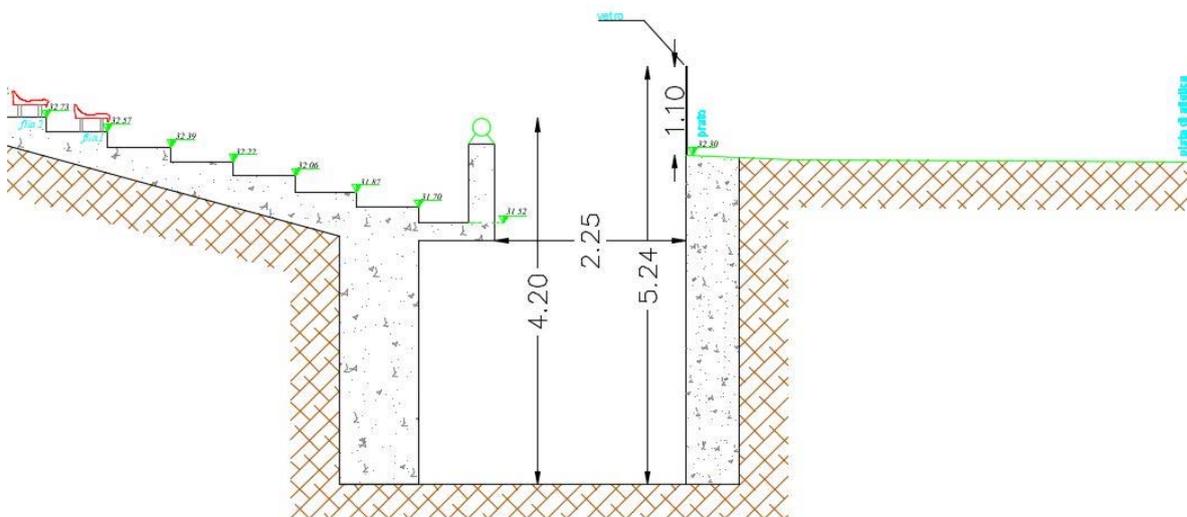


Figura 8: Sistema di separazione tra zona spettatori e zona di attività sportiva

Nell'**Art.7** sono indicate le caratteristiche che devono avere i diversi **settori**. Nello stadio San Paolo sono presenti 6 settori:

- Curva A;
- Curva B;
- Distinti;
- Tribuna Nisida;
- Tribuna Posillipo (include la Tribuna Stampa);
- Settore ospiti.



Figura 9: Settori dello Stadio San Paolo, fonte [14];

Gli spettatori ospiti possiedono un settore a loro dedicato, con ingressi, vie di uscita ed aree di parcheggio indipendenti e separate. Il D.M. richiede una capienza non superiore a 10.000 spettatori per ogni settore. La capienza massima non è superata in nessun settore come indicato nella tabella sottostante. Ogni settore possiede sistemi di separazione idonei ad impedire che i sostenitori delle due compagini in gara vengano a contatto tra loro e che gli spettatori si spostino da un settore all'altro. Sono collocati elementi di separazione in materiale incombustibile e di caratteristiche conformi alla norma UNI 1012-2. Ogni settore possiede almeno 2 uscite, servizi e sistemi di vie di uscita indipendenti. Nella tabella successiva è indicata la rispettiva capienza di ogni settore.

Tabella 3: Capienza dei settori dello stadio

Settore	Capienza	Settore	Capienza
Curva A inferiore	4.623	Curva A superiore	7.484
Curva B inferiore	5.015	Curva B superiore	8.044
Distinti inferiore	6.384	Distinti superiore	9.575
Tribuna Nisida inferiore	944	Tribuna Nisida superiore	2.105
Tribuna Posillipo inferiore	2.460	Tribuna Posillipo superiore	4.581
Settore ospiti inferiore	1.029	Settore ospiti superiore	2.482

Nell'Art.8 è valutato il sistema di vie di uscita per la zona riservata agli spettatori. Questa zona è indicata come quella costituita dallo spazio riservato al pubblico per assistere alla manifestazione sportiva. L'impianto richiede almeno 2 uscite poiché il sistema di vie di uscita della zona spettatori deve essere indipendente da quello della zona di attività sportiva. La larghezza di ogni uscita e via di uscita deve essere non inferiore a 2 moduli (1,20 m) e la **larghezza complessiva delle uscite** deve essere dimensionata per una capacità di deflusso non superiore a 250 (1,20 m ogni 500 persone). Nella tabella seguente si riporta il valore dei moduli richiesti ricavati dalla capacità di deflusso massima

per ogni settore. Se il numero di moduli presenti è pari o maggiore a quello dei moduli di richiesti allora significa che la larghezza delle uscite è sufficiente rispetto all'affollamento previsto.

Tabella 4: Larghezza complessiva delle uscite dalla zona spettatori

Settore	Capienza	Moduli richiesti	Moduli presenti
Curva A (superiore)	7.484	30	62
Curva B (superiore)	8.044	33	67
Distinti (superiore)	9.575	39	84
Settore Ospiti (sup.)	2.482	10	20
Tribuna (superiore)	6.686	27	60

Per ricavare i moduli presenti delle uscite dalla zona spettatori superiore, è stata considerata la larghezza delle scale di collegamento tra la zona spettatori e l'area di servizio annessa. Per la zona inferiore invece corrispondono alla distanza tra i piloni metallici della copertura che poggiano sull'area di servizio annessa. Si nota per tutti i settori sia ampiamente rispettato il numero minimo di moduli richiesti per le uscite dalla zona spettatori.



Figura 10: Scale di collegamento tra la zona spettatori e l'area di servizio annessa, fonte [16];



Figura 11: Percorsi livello inferiore Curva B;

Con i lavori di ristrutturazione e adeguamento funzionale ed impiantistico svolti nell'estate del 2019, i settori predisposti per portatori di handicap sono la curva A, la curva B, la Tribuna Family (Tribuna Nisida inferiore) ed il settore ospiti. In questi settori gli spazi riservati sono situati nel livello inferiore così da non richiedere la predisposizione di spazi calmi. Nella tribuna family sono incluse 44 postazioni riservate a disabili ed accompagnatori, 38 nella tribuna ospiti e 28 in entrambe le curve per un totale di 138 postazioni.

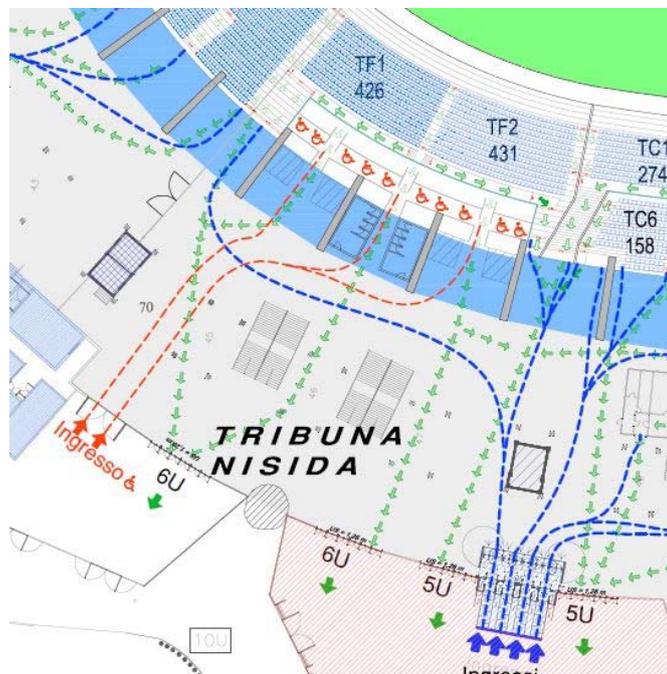


Figura 12: postazione per disabili nella Tribuna Family;

Nell'Art.8-bis sono spiegati i concetti di "area di massima sicurezza" ed "area riservata". La prima comprende l'impianto sportivo e l'area di servizio annessa, ove sono collocati i varchi di accesso all'impianto; la seconda invece, coincide con l'area di servizio esterna ed

all'interno della quale è consentito esclusivamente l'accesso agli aventi diritto. Entrambe le aree sono delimitate attraverso elementi di separazioni fissi o mobili, in materiale incombustibile e conformi alla norma UNI 10121-2.

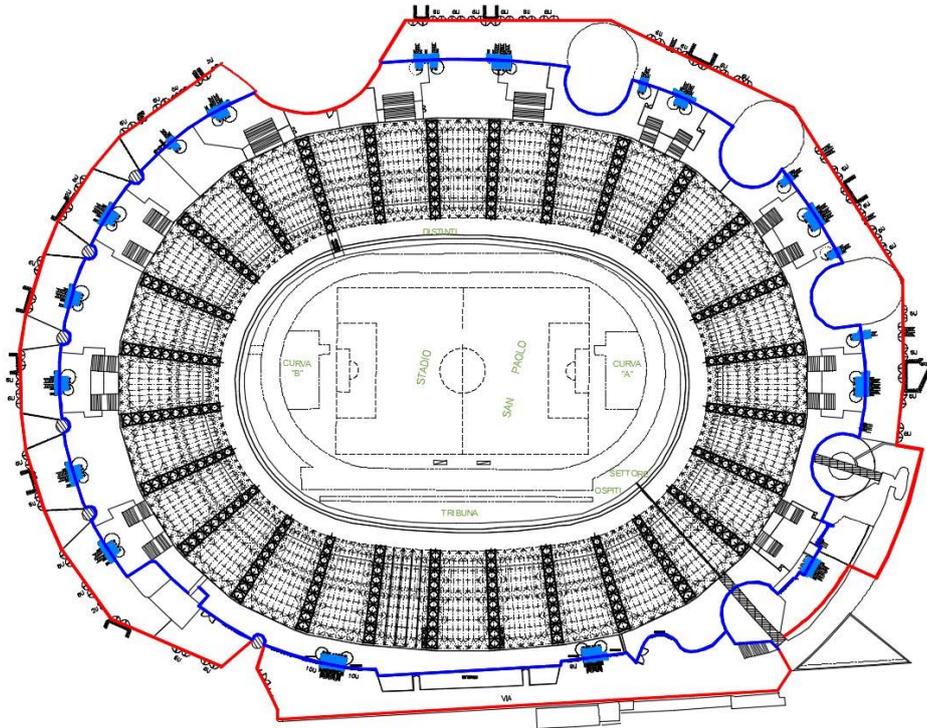


Figura 13: Delimitazione area riservata (rosso) e area di massima sicurezza (blu);

Il numero di **varchi in ingresso** presenti lungo la delimitazione **dell'area di massima sicurezza** è proporzionato alla capienza del settore a cui danno accesso ed in ragione di almeno un varco ogni 750 spettatori, in modo da consentire il completamento delle operazioni di afflusso degli spettatori in un arco temporale non superiore ad un'ora e mezza prima dell'inizio della manifestazione sportiva. Tali varchi sono contrassegnati con lettere e numeri progressivi e sono dotati di preselettori di incanalamento tali da evitare pressioni nella fase di obliterazione del titolo di accesso e tornelli "a tutta altezza" che permettono l'accesso ad una sola persona per volta. I preselettori di incanalamento soddisfano il requisito minimo di una deviazione di 90° del flusso e posseggono un passaggio di almeno 60 cm. I varchi di ingresso dotati di preselettori e di tornelli sono separati ed indipendenti dal sistema di vie di uscita.

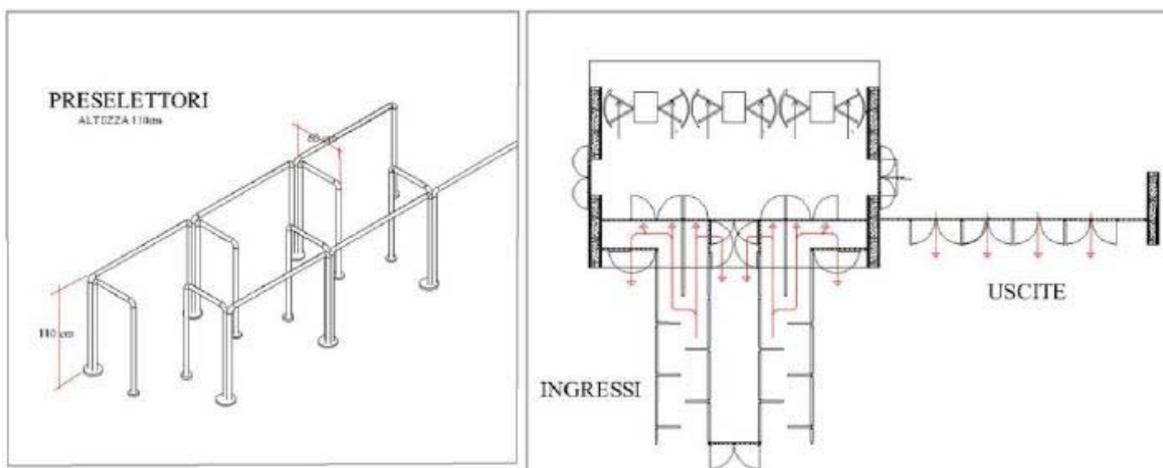


Figura 14: Esempio di preselettori e tornelli, fonte [1];

Tutti i settori soddisfano la condizione per la quale è necessario predisporre almeno 2 varchi a tornello con una larghezza minima di passaggio di 60 cm. Tutti i varchi presenti nello stadio hanno una larghezza di 60 cm.

Tabella 5: Varchi di ingresso nell'area di massima sicurezza

Settore	Capienza	Varchi minimi	Varchi presenti
Curva A	12.107	17	20
Curva B	13.059	18	20
Tribuna	10.090	14	14
Settore Ospiti	3.511	5	6
Distinti	15.959	22	26

Si nota come tutti i settori soddisfino le condizioni richieste per il numero di varchi nell'area di massima sicurezza. Si sottolinea inoltre come il settore Tribuna (Posillipo, Nisida e Stampa) possieda anche altri 4 varchi indipendenti destinati uno alla Tribuna Autorità Vip (Gate 3), uno agli spettatori disabili (Gate 4), uno ai giornalisti e televisioni (Gate 6) ed uno alla Tribuna Family (Gate 7). La Curva A, la Curva B, la tribuna Family possiedono quindi varchi speciali per gli spettatori motulesi, essendo gli unici settori con posti riservati per quella tipologia di spettatore. Come richiesto dal D.M. sono presenti quindi varchi speciali distinti dai varchi di accesso e dai varchi di uscita. Si specifica inoltre che per il settore ospite è richiesto che il numero di varchi in ingresso presenti lungo la delimitazione dell'area riservata siano in quantità e dimensioni non inferiori a quelli di ingresso all'area di massima sicurezza.

Nell'Art.9 sono indicate le caratteristiche ed i requisiti per la distribuzione interna. I percorsi interni di smistamento possiedono una larghezza minima di 1,20 m e servono al massimo 20 posti per fila e per parte, limiti posto dal Decreto. I gradoni utilizzati per posti a sedere hanno una pedata non inferiore a 0,60 m e il rapporto tra pedata ed alzata non è inferiore a 1,2. Non è richiesta la predisposizione di un passaggio parallelo alle file di larghezza non inferiore a 1.20 m ogni 15 file di gradoni, poiché i percorsi di smistamento

adducono direttamente alle vie di uscita. Nella seguente immagine è mostrato un esempio di percorso di smistamento nella Curva B anello superiore.

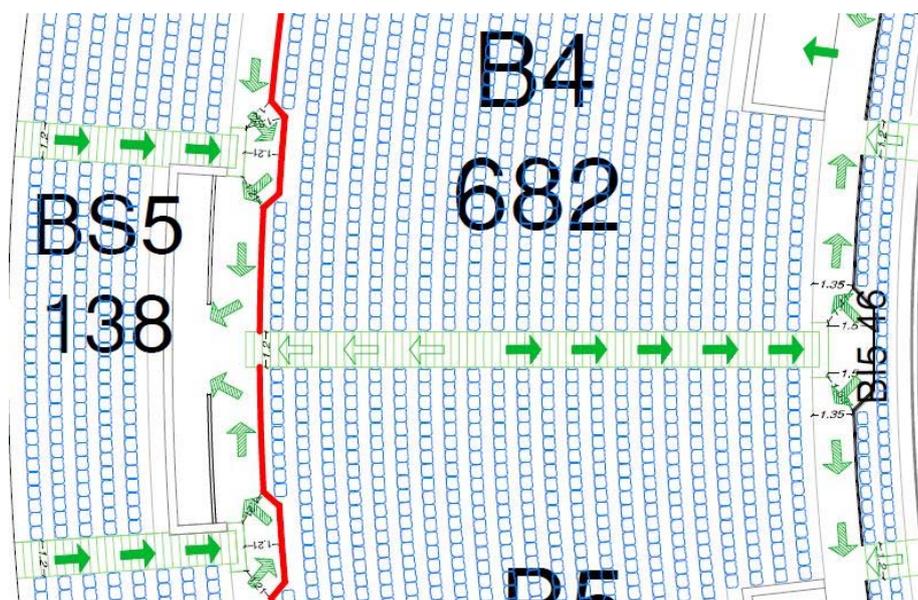


Figura 15: Percorso di smistamento Curva B;

Nell'Art.10 sono individuati i servizi di supporto della zona spettatori. I servizi igienici della zona spettatori sono separati per sesso e costituiti dai gabinetti e dai locali di disimpegno. Ogni gabinetto ha la porta apribile verso l'esterno. La dotazione minima è data da un gabinetto e due orinatoi ogni 500 uomini e di due gabinetti ogni 500 donne considerando il rapporto uomini-donne pari a 2. I servizi igienici sono collocati vicino alle uscite dallo spazio riservato agli spettatori ed il loro accesso non intralcia i percorsi di esodo del pubblico.

Tabella 6: Servizi di supporto della zona spettatori

Settore	Capienza	Uomini	Donne	Modulo Uomo	Modulo Donna
Curva A (superiore)	7.484	4.989	2.495	10	5
Curva A (inferiore)	4.623	3.088	1.535	7	4
Curva B (superiore)	8.044	5.369	2.675	11	6
Curva B (inferiore)	5.015	3.355	1.660	7	4
Distinti (superiore)	9.575	6.385	3.190	13	7
Distinti (inferiore)	6.384	4.254	2.130	9	5
Settore Ospiti (sup.)	2.482	1.654	825	4	2
Settore Ospiti (inf.)	1.029	689	340	2	1
Tribuna (sup.)	6.686	4.461	2.225	9	5
Tribuna (inf.)	3.404	2269	1135	5	3

Deve inoltre essere previsto un posto di pronto soccorso ogni 10.000 spettatori ed in occasione delle manifestazioni, un presidio medico ed un'ambulanza in corrispondenza di un pronto soccorso. Nello stadio sono situate in ogni settore una postazione di pronto

soccorso mobile nel secondo anello ed una fissa al piano terra ben visibile e dotato delle necessarie strutture per un'improvvisa emergenza.

Nell' **Art.12** sono introdotte le manifestazioni occasionali. Infatti, è ammesso l'utilizzo dell'impianto sportivo per lo svolgimento di manifestazioni occasionali a carattere non sportivo. In questa occasione, la sistemazione del pubblico in piedi nell'area destinata all'attività sportiva è consentita fino ad un massimo di 2 spettatori/m<sup>2</sup> di superficie. L'estensione della zona spettatori nell'attività sportiva richiede il soddisfacimento delle condizioni prescritte nei precedenti articoli per gli impianti all'aperto, soprattutto quelle dell'art.8 riguardanti il sistema di vie di esodo. Questo argomento è trattato con maggior dettaglio nella Circolare M.I. 18 Luglio 2018.

L'**Art.17** indica i mezzi ed impianti di estinzione degli incendi da adottare. Gli estintori devono essere distribuiti in modo uniforme nell'area da proteggere ed è necessario che alcuni si trovino:

- In prossimità degli accessi;
- In vicinanza di aree di maggior pericolo.

Gli estintori devono essere ubicati in posizione facilmente accessibile e visibile con appositi cartelli segnalatori. Gli estintori portatili devono avere capacità estinguente non inferiore a 13A-89B. Per valutare la capacità estinguente si fa riferimento al D.M. 10 marzo 1998 "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro". Si predispone l'utilizzo di estintori per estinguere incendi di classe A, cioè di materiali solidi che portano alla formazione di braci e di classe B ossia incendi di materiali liquidi o solidi liquefacibili.

Tabella 7: Superficie protetta da un estintore

Tipo di estintore	Superficie protetta da un estintore		
	Rischio basso	Rischio medio	Rischio elevato
<b>13 A-89 B</b>	100 m <sup>2</sup>	-	-
<b>21 A-133 B</b>	150 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>	-
<b>34 A-144 B</b>	200 m <sup>2</sup>	150 m <sup>2</sup>	100 m <sup>2</sup>
<b>55 A-233 B</b>	250 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>

Nello stadio San Paolo è necessario inoltre disporre un impianto idrico antincendio con idranti e naspi che devono essere:

- distribuiti in modo da consentire l'intervento in tutte le aree dell'attività;
- collocati in ciascun piano;
- dislocati in posizione accessibile e visibile;
- segnalati con appositi cartelli che ne agevolino l'individuazione a distanza.

Gli idranti ed i naspi non devono essere posti all'interno delle scale in modo da non ostacolare l'esodo delle persone. Nello stadio sono disposti 8 idranti soprassuolo UNI 70, 28 idranti a parete UNI 45, 3 idranti sottosuolo UNI 45 ed un attacco VVF vicino all'ingresso Maratona. Gli idranti UNI 45 a parete sono collocati uno per ogni cavalletto metallico per un totale di 28 apparecchi mentre gli idranti soprassuolo UNI 70 sono posizionati dopo la balaustra che separa la zona di attività sportiva con la zona spettatori.

L'Art.19- ter tratta la gestione dell'ordine e della sicurezza pubblica all'interno degli impianti dove si disputano incontri di calcio. Per ciascun impianto è istituito il Gruppo Operativo di Sicurezza coordinato da un funzionario di Polizia e dal Questore. È richiesta la predisposizione di un locale con visibilità sullo spazio riservato agli spettatori e sullo spazio di attività sportiva, atto ad ospitare il centro per la gestione della sicurezza delle manifestazioni calcistiche. Questo locale è posto nel secondo anello superiore della Tribuna Posillipo limitrofo alla Tribuna Stampa.

### **3.2 Circolare M.I. 18 Luglio 2018**

Come indicato già dal D.M. 18 Marzo 1996, lo Stadio San Paolo può essere utilizzato per attività di carattere non sportivo. In questo caso si parla di manifestazioni temporanee ossia caratterizzate da una durata breve e ben definita, non stagionali o permanenti, né che ricorrano con cadenza prestabilita. Per manifestazioni temporanee di pubblico spettacolo si intendono quelle manifestazioni musicali, danzanti o espositive (concerti e spettacoli) che si svolgono in un periodo ben determinato. Questa tipologia di manifestazione è un sottoinsieme delle manifestazioni pubbliche ossia iniziative che svolgendosi in luoghi pubblici o aperti al pubblico, possono richiamare un rilevante numero di persone. La manifestazione si svolge in un luogo aperto al pubblico cioè uno spazio a cui può accedere chiunque a particolari condizioni imposte dal soggetto che dispone del luogo stesso ossia tramite ad esempio un pagamento di un biglietto per l'accesso.

La Circolare del Ministero dell'Interno del 18 luglio 2018 è relativa alla direttiva sui modelli organizzativi e procedurali per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche. Si analizza l'allegato della Circolare che rappresenta la linea guida per l'individuazione delle misure di contenimento del rischio nelle manifestazioni pubbliche tenute in luoghi all'aperto, indicandone la caratterizzazione e il dimensionamento. Per la definizione delle misure di mitigazione del rischio considera le seguenti normative:

- D.M. 19.08.1996: "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo";

- D.M. 18.03.1996: Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi".

Sono richiesti i seguenti requisiti di accesso all'area per l'accessibilità dei mezzi di soccorso:

- Larghezza: 3,50 m;
- Altezza libera: 4 m;
- Raggio di volta: 13 m.

È necessario successivamente individuare una viabilità dedicata ai mezzi di soccorso che consenta di raggiungere l'area della manifestazione senza interferire con i flussi in esodo degli occupanti. Come si può notare nella figura sottostante, i requisiti sono soddisfatti dall' "ingresso Maratona" che possiede una larghezza di 4 m e collega direttamente l'area di attività sportiva con l'esterno dell'impianto ed inoltre come vi sia destinata un'uscita privata per i mezzi di soccorso.

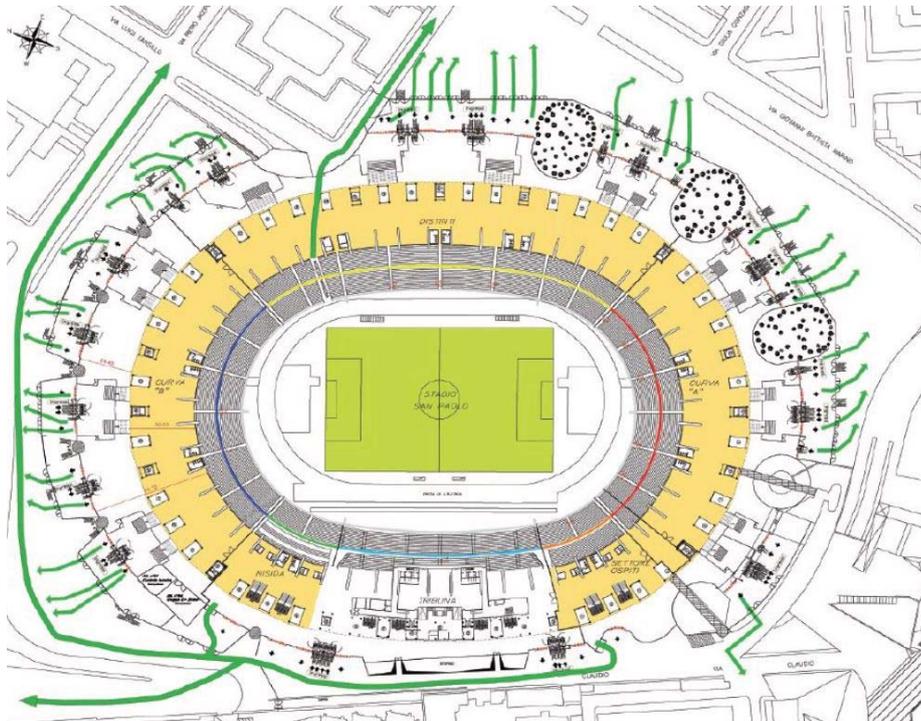


Figura 16: Percorsi di evacuazione ed accesso dei soccorsi, fonte [7];

La capienza massima è definita tramite l'affollamento massimo di 2 persone/m<sup>2</sup> come nell'articolo 5 del D.M. 18.03.1996. L'affollamento ricavato deve comunque essere verificato con la larghezza dei percorsi di allontanamento dall'area, applicando il parametro di capacità di deflusso di 250 persone/modulo. Il numero di varchi di allontanamento non deve essere comunque inferiore a 3. La larghezza minima dei varchi e delle vie di allontanamento inserite nel sistema d'esodo non deve essere inferiore a 2.40 m. Il rettangolo di gioco dello Stadio San Paolo presenta dimensioni pari a 110x68 m per un'area complessiva di 7.480 m<sup>2</sup>. In questa metratura è possibile collocare il palco

tenendo conto degli spazi connessi richiesti dalla Circolare. È importante sottolineare come nello stadio sia presente un fossato come sistema di separazione tra zona spettatori e zona attività sportiva, conforme ai regolamenti del C.O.N.I e della Federazione Italiana Giuoco Calcio, come indicato nell'art. 6-bis del D.M. 18.03.1996. Durante i concerti quindi si prevede la predisposizione di passerelle temporanee in acciaio di larghezza tale da soddisfare i requisiti detti dalla Circolare.



**Figura 17: Esempi di passerelle montate per il concerto, fonti [17] e [16];**

La capienza massima dell'impianto ricade nella condizione in cui l'affollamento del settore parterre è superiore a 10.000 persone e minore a 20.000. Si dovrà prevedere quindi alla separazione della zona spettatori in almeno 2 settori. Questi devono essere separati tra di loro mediante l'interposizione di spazi liberi aventi larghezza non inferiore a 5 m e lungo la delimitazione della suddetta zona di separazione si dovranno prevedere degli attraversamenti presidiati 1 ogni 10 m. Negli spazi liberi è vietato lo stazionamento di pubblico ed automezzi in situazioni di non emergenza.

La capienza totale dell'intero impianto è funzione della disposizione del palco nell'area di attività. Come si può vedere dalle due immagini sottostanti, la sua collocazione fa variare ampiamente il numero di persone presenti allo spettacolo.



Figura 18: Diverse disposizioni del palco per un concerto, fonte [18];

Per il primo concerto si è previsto l'utilizzo della tribuna Posillipo superiore ed inferiore, dei Distinti superiori ed inferiori, del settore ospiti superiore, della Curva A superiore e del parterre per una capienza totale di circa 45.000 spettatori. Nel secondo concerto sono utilizzati invece la curva A e la curva B superiore, il settore ospiti superiore, la tribuna Posillipo e la Tribuna Nisida superiore ed inferiore e il parterre, per una capienza totale di circa 38.000 spettatori.

Il primo anello della Curva A e della curva B è quasi sempre non utilizzato durante i concerti in modo tale da permettere l'inserimento delle passerelle metalliche per permettere agli spettatori di raggiungere il loro posto nel settore parterre.

## 4. L'analisi dei flussi degli spettatori nelle diverse configurazioni dello stadio

### 4.1 Modellazione dello stadio San Paolo di Napoli

#### 4.1.1 Software di simulazione

Per valutare il movimento degli spettatori nello stadio e la loro interazione è stato creato un modello dell'impianto tramite il Software *Pathfinder*<sup>®</sup> della software house Thunderhead. Il programma è un simulatore di evacuazione che utilizza un modello agent-based (ABM). A differenza dei modelli macroscopici che descrivono le persone come un gruppo omogeneo senza distinzioni tra i singoli individui, il modello ABM è un modello microscopico nel quale gli occupanti sono considerati in modo individuale. I soggetti quindi sono caratterizzati con specifiche proprietà fisiche e comportamentali in modo tale di rappresentare la popolazione in modo ottimale e poter eseguire azioni impartite per mezzo di regole comportamentali.

Nelle simulazioni il software considera soltanto elementi di tipo bidimensionale ossia quelli in cui gli occupanti sono liberi di muoversi. Per questo motivo si è deciso di creare un modello composto dai singoli piani di calpestio, non creando elementi tridimensionali poiché sono visti solo come spazi vuoti nella *mesh* triangolare di navigazione del software e che quindi avrebbero aumentato soltanto la complessità di calcolo durante la simulazione.

#### 4.1.2 Creazione del modello per l'evento sportivo

Il punto di partenza per la creazione del modello sono i files di progetto forniti in formato *.dwg*. In questi files sono rappresentate 3 planimetrie a quote differenti e 2 sezioni. Dai file si nota come i due anelli presentino conformazioni diverse sia nella tipologia di seggiolini sia nella connessione tra gli spalti e le scale di smistamento. Come si può vedere dalle immagini sottostanti, nel primo livello i seggiolini sono rialzati dal livello dei gradoni e il profilo delle scale rappresenta la loro continuazione.

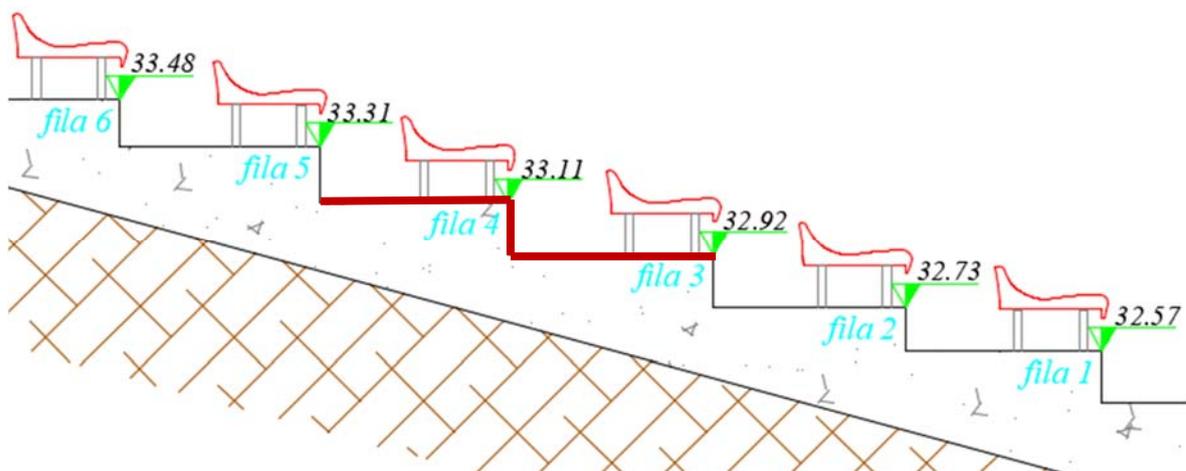


Figura 19: Stralcio della sezione della Curva B primo anello;

Nel secondo anello invece i seggiolini sono collocati direttamente sui gradoni dato il maggiore dislivello tra due successive file e per ogni dislivello sono necessari 2 gradini per la scala di smistamento.

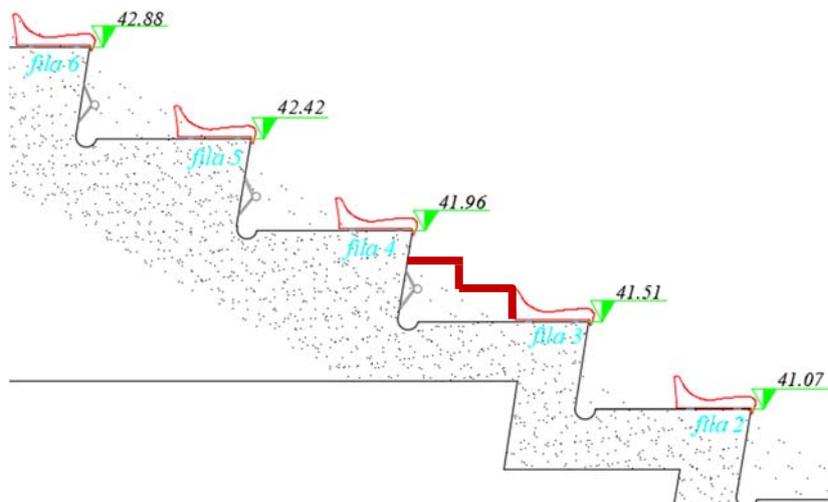


Figura 20: Stralcio della sezione della Curva B secondo anello;

Per creare il modello è stato necessario individuare tutti i piani di calpestio. Nei gradoni la larghezza dello spazio libero per il passaggio tra le file è di 40 cm che è conforme alla norma europea UNI EN 13200-1:2012 che lo richiede almeno di 35 cm.

Nell'immagine seguente si mostra l'interfaccia grafica del software, il file formato *dwg* utilizzato come base ed alcuni piani di calpestio raffigurati con colori differenti. I piani, dopo esser creati singolarmente, sono stati collocati uno ad uno alla quota corretta e collegati con il rispettivo livello della scala di smistamento.

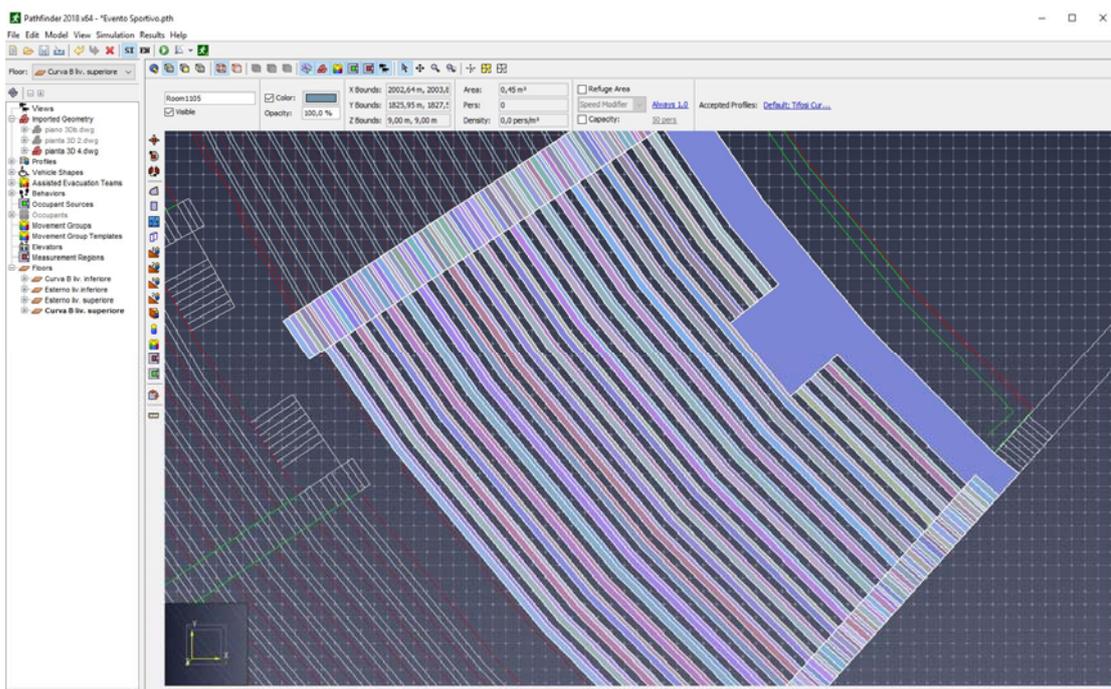


Figura 21: Interfaccia grafica del software;

Inizialmente sono stati creati i diversi piani di calpestio sia dei gradoni sia delle scale e successivamente ognuno è stato collegato tramite il comando "Stairs", come si può apprezzare dalla figura n°22.

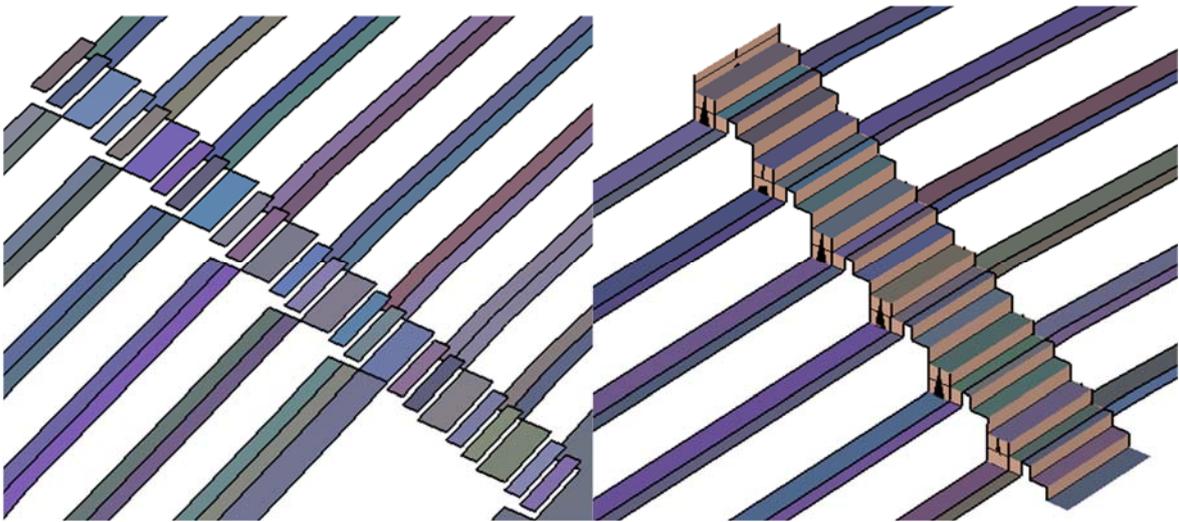


Figura 22: Creazione e collegamento dei piani di calpestio di una parte del secondo anello;

Ripetuto questo passaggio per tutti i livelli della curva, si è ottenuto il modello della zona spettatori rappresentato nella figura n° 23.

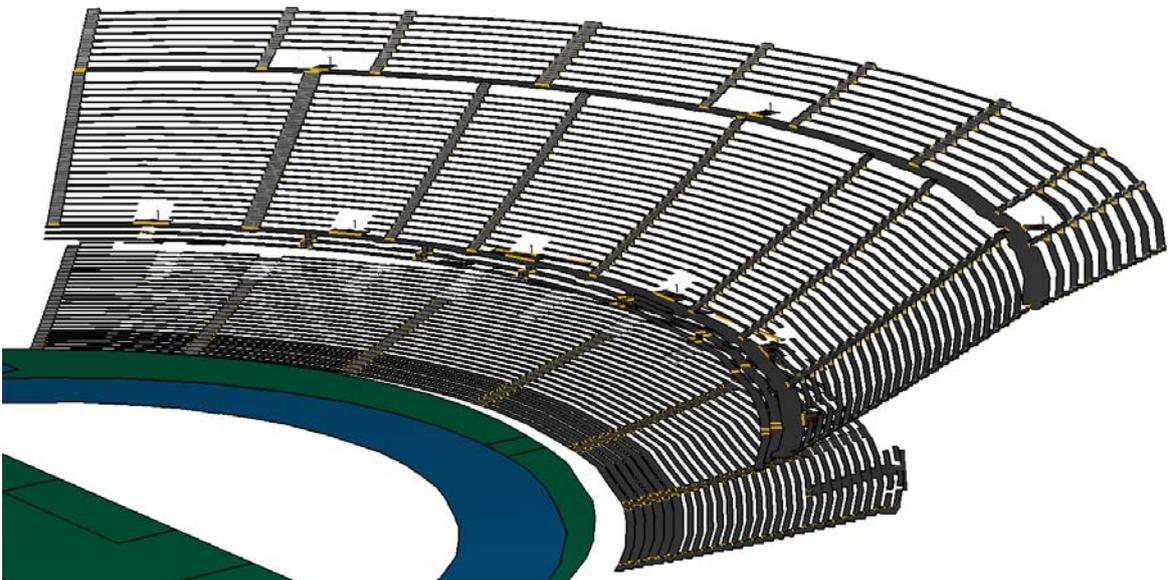


Figura 23: Modello della zona spettatori della curva B;

Una volta concluso il modello della struttura, sono stati collocati gli spettatori. Ad ogni gradone è stato assegnato il numero di spettatori corrispettivo al numero di posti disponibili, utilizzando come riferimento i files di progetto. Agli spettatori è assegnato un colore differente a seconda dell'anello in cui si trova.

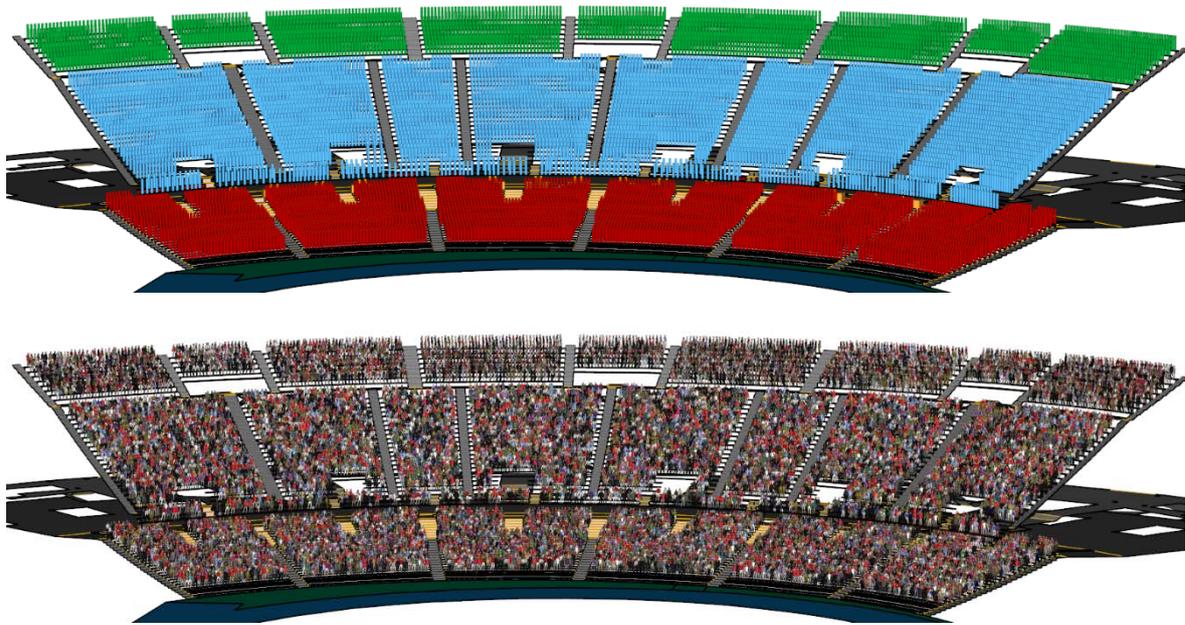


Figura 24: Rappresentazione dei tifosi con schematizzazione geometrica e con vista realistica;

Successivamente sono state create le aree esterne collegate alla curva; il primo anello vi è collegato direttamente mentre per il secondo anello sono richieste 3 scale a grappolo per il livello superiore e 6 passaggi per la parte inferiore che conducono al vomitorio.

Due piani di calpestio richiedono un elemento di collegamento che può essere rappresentato da una rampa, da una scala o da una porta. Una porta si presenta di colore giallo se è un collegamento tra due aree mentre è di colore verde se è una porta di uscita finale ossia quando non collega con una successiva area. Nell'immagine seguente sono rappresentate le diverse tipologie di collegamenti utilizzate nel modello.

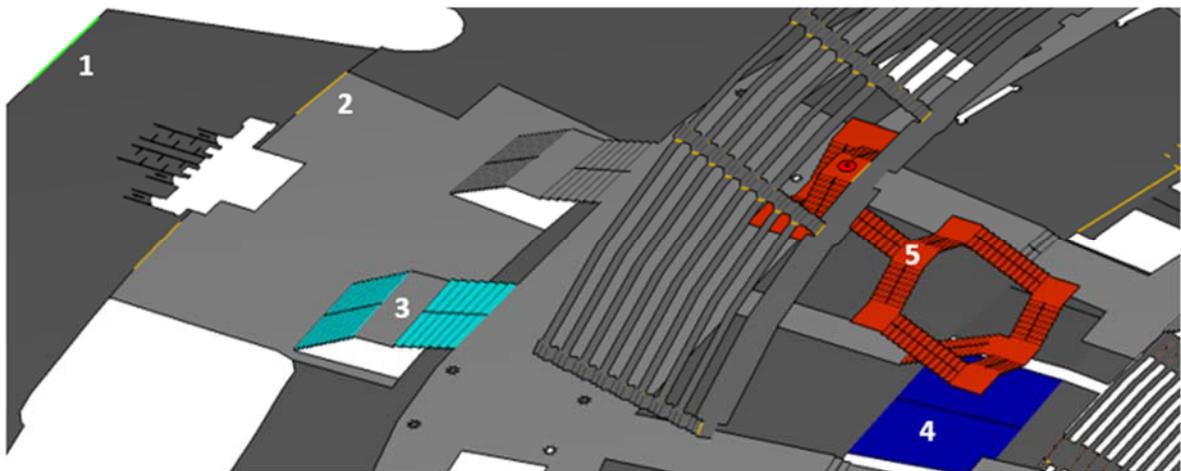


Figura 25: Tipologie di collegamenti tra piani;

Nell'immagine n° 26 si rappresenta il modello della curva con le *mesh triangolari* utilizzate dal software per leggere i diversi piani di calpestio da utilizzare per il movimento degli occupanti.

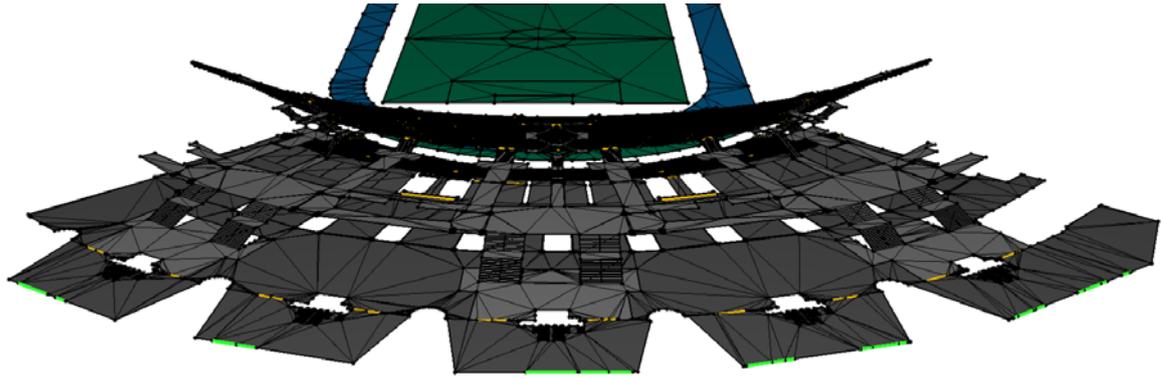


Figura 26: Mesh triangolari dell'area esterna;

#### 4.1.3 Creazione del modello per l'evento di pubblico spettacolo

Per la seconda valutazione svolta sullo stadio San Paolo ossia la configurazione presente durante una manifestazione pubblica, è necessario implementare il modello per poter considerare il settore parterre.

Si è utilizzato come riferimento la Circolare M.I. 18 Luglio 2018 relativa alla direttiva sui modelli organizzativi e procedurali per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche. Come indicato nel paragrafo n°3.2 è necessario suddividere l'area in almeno due settore considerato il possibile affollamento del settore. Per il modello si è deciso di utilizzare lo schema esemplificativo di suddivisione dei settori indicato dalla Circolare: 4 settori separati da spazi liberi di larghezza 5 m.

L'ingombro del palco è stato ricavato considerando le installazioni utilizzate per concerti negli stadi negli ultimi anni. La ricerca ha portato come risultato una struttura di 20x70 m. Si è deciso di collocare il palco sotto la Curva B considerando che rappresenta la configurazione in cui vi è un maggiore affollamento per il concerto e che rappresenta un ostacolo per l'uscita degli spettatori del settore parterre come indicato nel paragrafo n° 3.2.

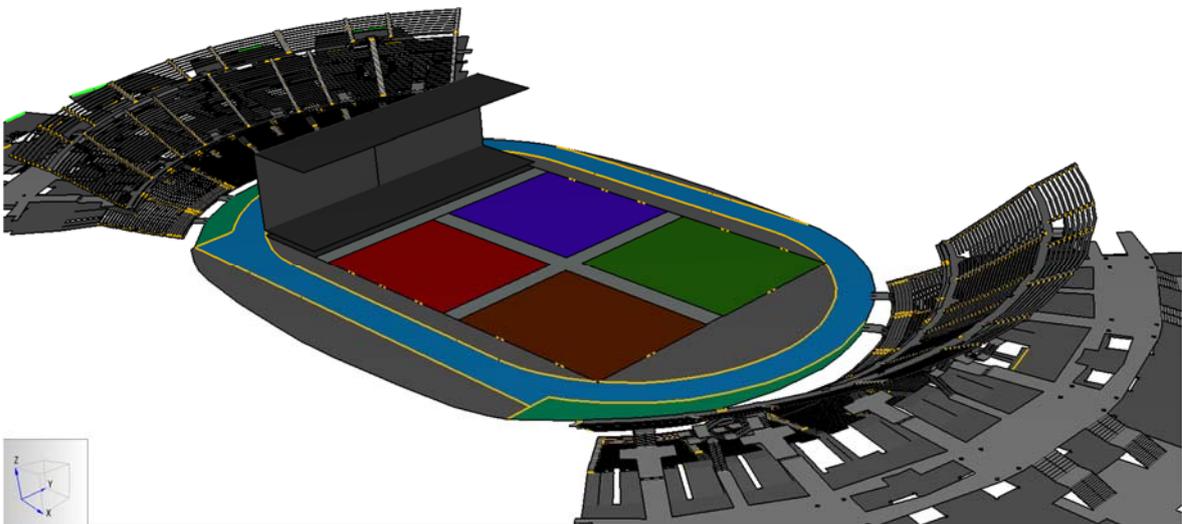


Figura 27: Modello con palco e suddivisione in settori;

Il settore è collegato alle rispettive curve mediante passerelle metalliche il cui numero e posizione è modificato per le diverse simulazioni.

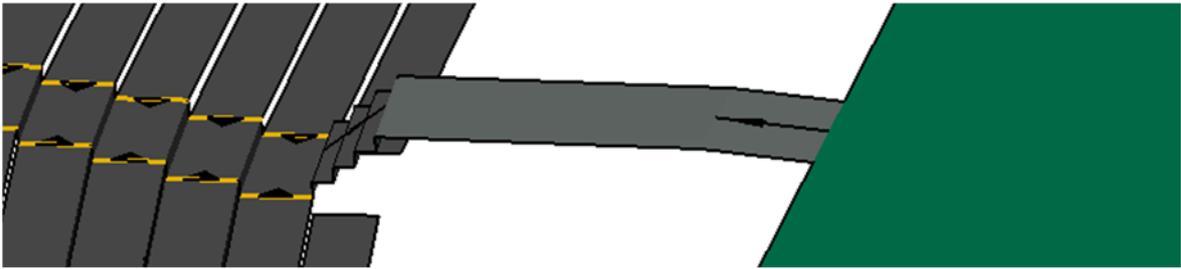


Figura 28: Passerella metallica tra il parterre e la curva;

#### 4.1.4 Definizione degli utenti e delle regole comportamentali

Gli spettatori nel software sono rappresentati tramite *profiles* a cui è possibile assegnare diverse caratteristiche. Il profilo descrive gli aspetti fisico-geometrici come la tipologia di utente, le dimensioni, la velocità e l'avatar. Nello stadio sono state considerate due tipologie di utenti: senza disabilità motorie e disabili in carrozzina che necessitano assistenza. Per gli spettatori senza disabilità presenti nel parterre si è deciso di utilizzare un profilo caratterizzato da un ingombro di 45 cm ed un'altezza di 1,80 m che rappresentano valori medi delle persone. Per i tifosi presenti nei gradoni si è deciso invece di impostare una distanza tra le spalle pari a 30 cm considerando il limite imposto dalla larghezza dello spazio libero per il passaggio tra le file di 40 cm; si è preferito quindi mantenere la reale geometria della curva considerando che in quei tratti anche nella realtà vi è difficoltà di movimento.

Il software permette di visualizzare gli spettatori con avatar realistici ma anche tramite le figure geometriche utilizzate per discretizzare l'ingombro del singolo occupante. Ai profili può essere assegnato un particolare colore in modo tale da essere facilmente riconoscibili. Nella foto seguente infatti il cilindro arancione rappresenta l'accompagnatore che assiste il disabile in carrozzina durante l'evento sportivo.

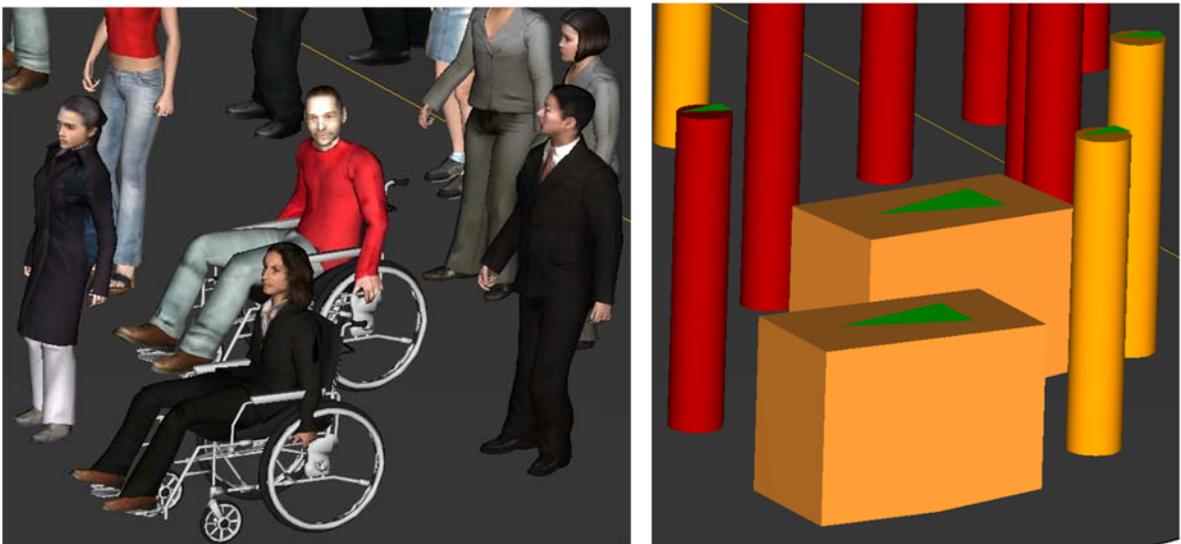


Figura 29: Rappresentazione degli agenti (realistica e discretizzata);

Per definire la velocità degli occupanti si è utilizzata come riferimento la ISO/TR 16738 nella quale vi sono le informazioni tecniche sui metodi per valutare il comportamento e il movimento delle persone.

Tabella 8: Velocità di movimento, stralcio ISO/TR 16738;

Type of situation	Measured travel speeds m/s (ft/min)				
Transport terminals <sup>[51]</sup>	1,35 (265) on walkways				
Average under "normal conditions" <sup>[55]</sup>	1,0				
Experiment with disabled subjects <sup>[13]</sup>	Min.	1st quartile	3rd quartile	Max.	Mean
On horizontal surfaces:					
All disabled subjects	0,10	0,71	1,28	1,77	1,00
With locomotion disability	0,10	0,57	1,02	1,68	0,80
No aid	0,24	0,70	1,02	1,68	0,95
Crutches	0,63	0,67	1,24	1,35	0,94
Cane	0,26	0,49	1,08	1,60	0,81
Walker/rollator	0,10	0,34	0,83	1,02	0,57
Without locomotion disability	0,82	1,05	1,34	1,77	1,25
Unassisted wheelchair	0,85	—	—	0,93	0,89
Assisted ambulant	0,21	0,58	0,92	1,40	0,78
Assisted wheelchair	0,84	1,02	1,59	1,98	1,30

Per i profili si è deciso di impostare una distribuzione normale che considerasse sia il caso con velocità minima sia quello con velocità massima. Si tiene conto del fatto che il software presenta in automatico riduzioni di velocità lungo le scale.

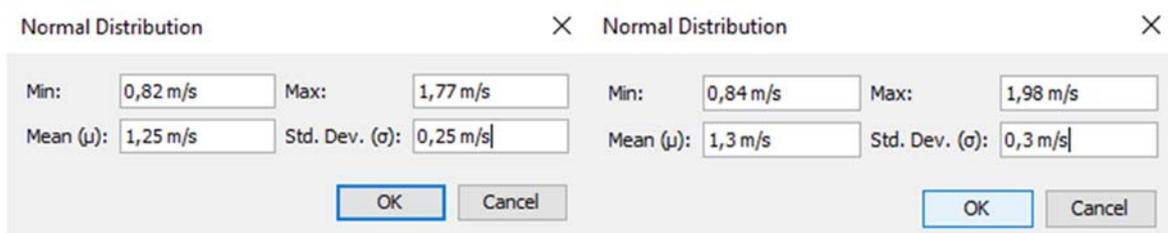


Figura 30: Distribuzione di velocità per spettatori senza disabilità motorie e disabili in carrozzina;

Considerare una distribuzione normale nella definizione della velocità degli occupanti permette di avere nella simulazione *agents* con velocità ridotte raffiguranti persone anziane e bambini ed altri con velocità maggiori rappresentanti ragazzi e adulti in modo tale da avere una eterogeneità negli occupanti. Impostare una diversa velocità significa quindi tenere in considerazione diverse età e diversi sessi.

Gli occupanti possono essere caratterizzati anche mediante aspetti comportamentali con determinati *behaviors*. Agli *agents* possono essere assegnate sequenze di azioni caratterizzando così il loro flusso.

Nelle simulazioni sono state utilizzate queste seguenti azioni:

- Goto exit: l'occupante raggiunge un'uscita tramite il percorso più veloce;
- Goto waypoint: l'occupante si dirige verso un punto specifico del modello;
- Wait: l'occupante attende per un intervallo di tempo impostato nel posto in cui si trova;
- Wait for assistance: l'occupante disabile per potersi muovere deve attendere l'arrivo di un occupante predisposto alla sua assistenza;
- Assist occupants: l'occupante assiste gli occupanti disabili che richiedono assistenza;
- Change behavior: all'occupante viene assegnato un nuovo comportamento secondo delle percentuali impostate;
- Goto Rooms: l'occupante si dirige verso aree specifiche.

#### 4.1.5 Creazione dei servizi per i rispettivi modelli

In alcune simulazioni è stato necessario inserire l'ingombro e il rispettivo utilizzo dei servizi principali presenti nell'impianto. Il loro inserimento ha permesso di valutare l'interferenza dei diversi flussi di spettatori sia in occasione di un evento sportivo sia di una manifestazione pubblica.

##### Bar, punti ristoro e stand

All'occupante viene richiesto di andare in un determinato punto tramite un *waypoint* raggiunto il quale gli si imposta un *change behavior*. In questo modo agli occupanti viene impostato di raggiungere un ulteriore *waypoint* raffigurante la cassa. Questo *waypoint* è posizionato alla fine di un'area con larghezza pari all'ingombro di un *agent* in modo tale da rappresentare la realistica disposizione degli occupanti in coda. Una volta trascorso il tempo di attesa impostato pari a 30 s tramite un *wait* in modo da essere servito, l'occupante si dirige verso una qualunque uscita tramite un *goto exit*.

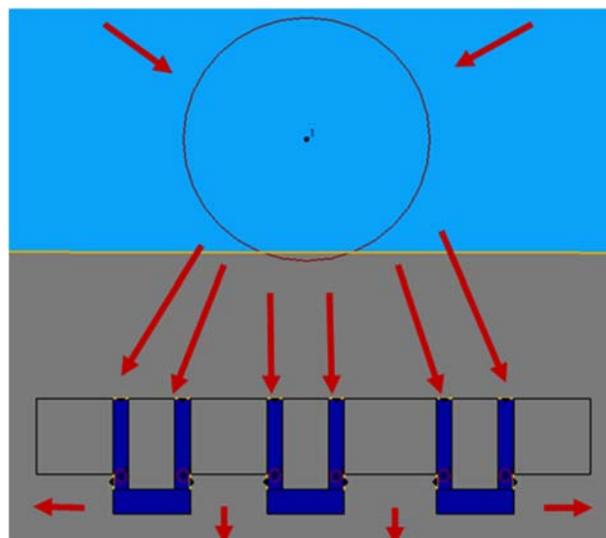


Figura 31: Rappresentazione dei punti ristoro nel modello;

## Servizi igienici

All'occupante viene impostato di andare in un determinato punto tramite un *waypoint* raggiunto il quale gli si imposta un *change behavior*. In questo modo agli occupanti viene indicato di raggiungere un ulteriore *waypoint* raffigurante un bagno chimico. Raggiunto il punto, dopo un tempo di attesa di 30 s, l'*agent* si dirige verso una qualunque uscita dello stadio. Alla porta del bagno chimico è impostata inoltre una limitazione del flusso pari a 0,025 pers/s in modo tale da permettere al successivo spettatore di entrare nel bagno soltanto quando lo spettatore precedente è uscito.

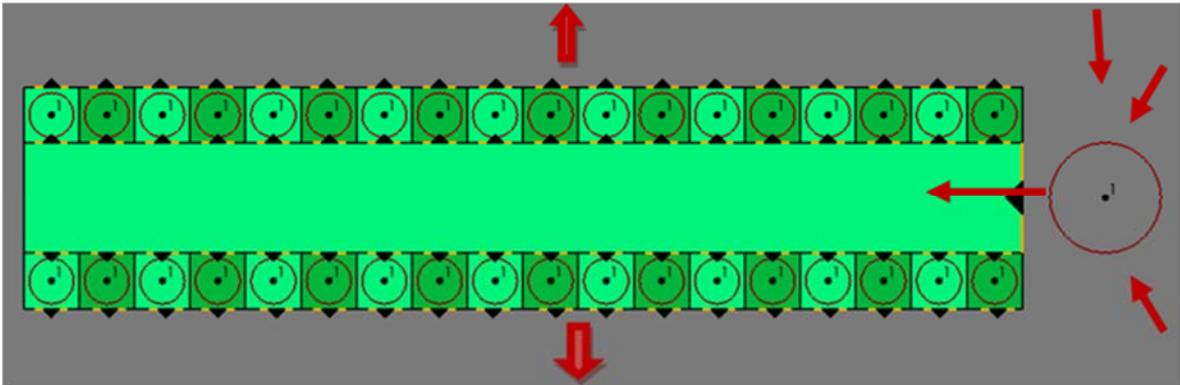


Figura 32: Rappresentazione dei servizi igienici nel modello;

Le immagini dei servizi appena presentate si riferiscono alla conformazione progettata per una manifestazione pubblica ma lo stesso metodo di funzionamento con i rispettivi *behaviors* sono stati utilizzati anche per i servizi presenti nella curva.

### 4.1.6 Elenco delle simulazioni

L'analisi dei flussi è svolta sulle seguenti simulazioni nella conformazione per un evento sportivo e per una manifestazione pubblica:

- ES\_O\_U\_Lib\_2018: Uscita ordinaria-Stadio 2018;
- ES\_O\_U\_Lib\_2019: Uscita ordinaria-Stadio 2019;
- PP\_O\_U\_4\_Lib: Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva;
- PP\_O\_U\_4\_D/S: Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva;
- PP\_O\_U\_4\_Stand: Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva;
- PP\_O\_U\_7\_Lib: Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva;
- PP\_O\_U\_7\_D/S: Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva;
- PP\_O\_U\_7\_Stand: Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva;

- PP\_E\_U\_4\_Stand: Uscita in caso di emergenza utilizzando 4 uscite per curva;
- PP\_E\_U\_7\_Stand: Uscita in caso di emergenza utilizzando 7 uscite per curva.

#### 4.1.7 Metodo di valutazione delle simulazioni

È importante sottolineare come tutte le valutazioni fatte sulle simulazioni abbiano come finalità principale la sicurezza degli spettatori presenti nello stadio San Paolo e come queste vengano svolte attraverso diversi aspetti.

Il software restituisce un video della simulazione in cui sono rappresentati i diversi *agents* con i comportamenti e le caratteristiche impostate. Il video permette di ricavare tutti i percorsi eseguiti dagli utenti e permette di spostarsi per tutta la struttura per valutare direttamente tutte le situazioni particolari che vengono a crearsi. Dalle simulazioni che analizzano i flussi in uscita si estrae inoltre il tempo entro cui l'ultimo spettatore raggiunge un'uscita ed esce dalla simulazione.

I collegamenti ed i varchi sono analizzati attraverso il numero di occupanti che ne usufruiscono nel tempo ossia mediante grafici occupanti/tempo per vedere se le uscite entrano in crisi per gli elevati valori di flusso. Il movimento degli *agents* è valutato anche tramite i LOS. Questi sono i *Level of Service*, sono un indice di comfort durante il movimento degli occupanti nella struttura e valutano il flusso in modo qualitativo. I LOS utilizzati sono quelli denominati LOS *queuing* necessari per valutare il movimento degli spettatori lungo i corridoi e le aree esterne e quelli LOS *stairs* utilizzati per il movimento nelle scale di smistamento e collegamento. I LOS dividono il modello in mappe cromatiche dove ad ogni colore corrisponde un valore differente di superficie per persona e come si può vedere dall'immagine seguente i parametri per i LOS *stairs* sono più limitanti; questo poiché sono aree in cui gli utenti possono presentare difficoltà nel percorrerle e quindi un'elevata densità di persone potrebbe portare più facilmente ad incidenti o a fenomeni di panico.

Queuing		Stairs	
	LOS A 13 sq ft (1.2 m <sup>2</sup> ) per person or greater		LOS A 20 sq ft (1.9 m <sup>2</sup> ) per person or greater
	LOS B 10-13 sq ft per person		LOS B 15-20 sq ft per person
	LOS C 07-10 sq ft per person		LOS C 10-15 sq ft. per person
	LOS D 3-7 sq ft. per person		LOS D 7-10 sq ft per person
	LOS E 2-3 sq ft per person		LOS E 4-7 sq ft per person
	LOS F 2 sq ft (0.19 m <sup>2</sup> ) per person or less		LOS F 4 sq ft (0.37 m <sup>2</sup> ) per person or less

Figura 33: Definizione dei differenti LOS, fonte [19];

## 4.2 Impianto Sportivo

Nell'estate 2019 si sono svolti i lavori di ristrutturazione e adeguamento funzionale ed impiantistico dello stadio San Paolo durante i quali vi è stata la sostituzione e ricollocamento dei seggiolini in modo tale da avere una maggior distanza tra le sedute. Con i lavori la capienza degli spettatori nello stadio è ridotta da 60.240 a 54.726 ed in particolare nella curva "B" da 14.239 a 13.059.

Il nuovo collocamento dei seggiolini ha influenzato anche la larghezza delle scale di smistamento del primo anello; infatti come si può vedere dalle immagini sottostanti, nella conformazione del 2018 le scale che percorrono l'intero anello hanno una larghezza di 1,50 m e quelle centrali collegano soltanto 4 file di spettatori con una larghezza di 1,80 m.

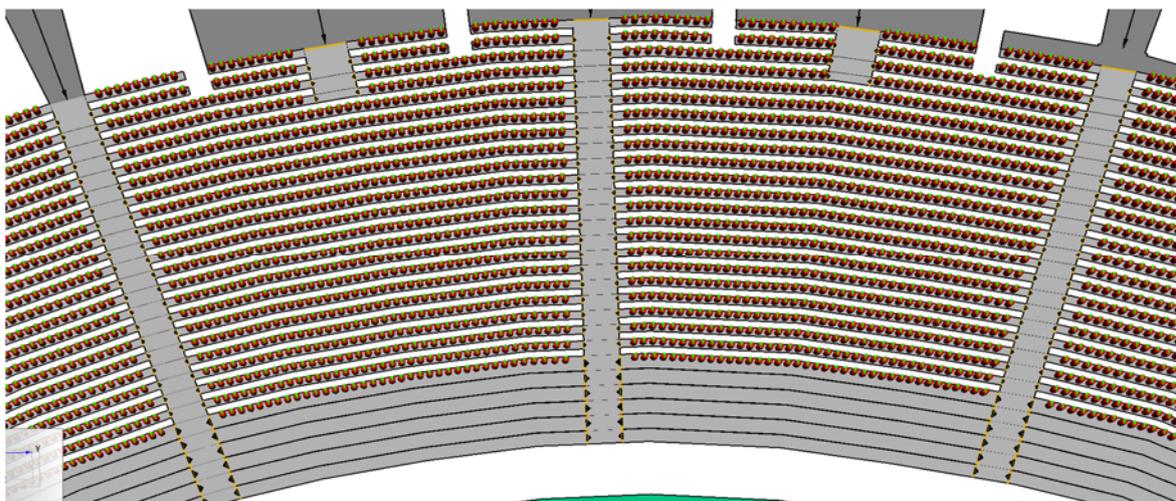


Figura 34: Scale di smistamento nel primo anello nella conformazione del 2018;

Con i lavori del 2019 le scale sono state allargate fino ad 2,40 m di larghezza e quelle centrali collegano 8 file in modo tale da poter essere utilizzate da un maggior numero di spettatori.

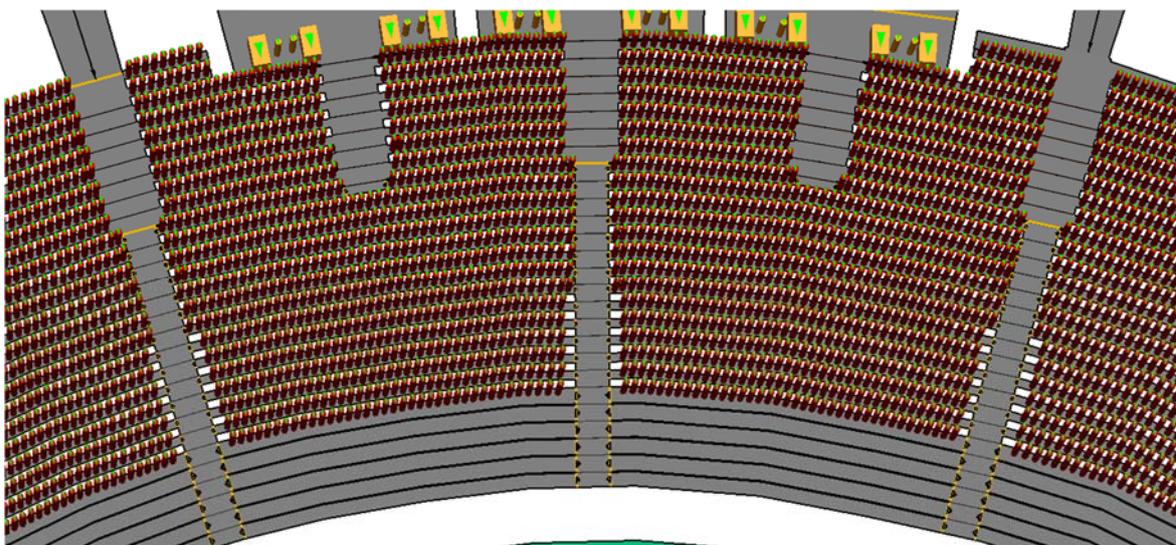


Figura 35: Scale di smistamento nel primo anello nella conformazione del 2019;

Nel secondo anello invece sono state aggiunte due file di sedute nella parte inferiore, divise dal corridoio da una balaustra in vetro; inoltre, è stata fatta una modifica sostanziale nelle scale di collegamento. Infatti, soltanto le scale laterali e quelle che arrivano in corrispondenza di un'uscita del corridoio del livello superiore collegano entrambi i livelli mentre le altre sono state chiuse superiormente in modo tale da impedire il passaggio agli spettatori rendendo così possibile il raggiungimento soltanto delle uscite poste al livello inferiore. Nell'immagine le scale rosse sono chiuse superiormente mentre quelle gialle creano il doppio collegamento tra i corridoi.

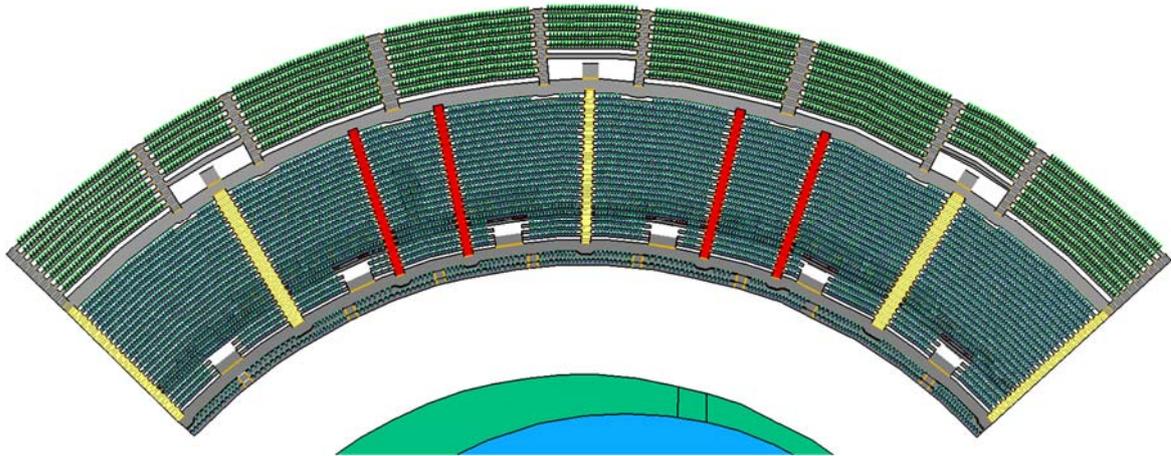


Figura 36: Nuova conformazione delle scale di smistamento nello stadio 2019;

In entrambe le conformazioni la dimensione dei varchi dalla zona spettatori non varia. Nel secondo anello inferiore vi sono 6 uscite di larghezza 3,50 m e nel livello superiore ve ne sono 3 di larghezza 2 m.

Le due simulazioni che sono presentate successivamente hanno la finalità di valutare la sicurezza degli spettatori durante i diversi percorsi nello stadio con le rispettive novità portate dai nuovi lavori di ristrutturazione e le loro conseguenze sui flussi.

#### 4.2.1 Uscita ordinaria-Stadio 2019

Nella prima simulazione si analizzano i flussi degli spettatori in uscita in condizioni ordinarie considerando i lavori di ristrutturazione dell'estate 2019.

Nella Curva B sono presenti 13.059 spettatori e l'ultimo tifoso che raggiunge l'uscita dopo 892s appartiene al secondo anello superiore. Nell'immagine seguente si evidenzia l'andamento degli spettatori in uscita rispetto al tempo che è funzione del punto di partenza dei tifosi, della velocità degli *agents* e delle code che incontrano nel percorso. Si nota che la curva possiede una forte differenza nella pendenza nel tratto finale poiché è il momento in cui l'uscita deve essere raggiunta dai tifosi soprattutto del secondo anello superiore che richiedono un maggior tempo per uscire.

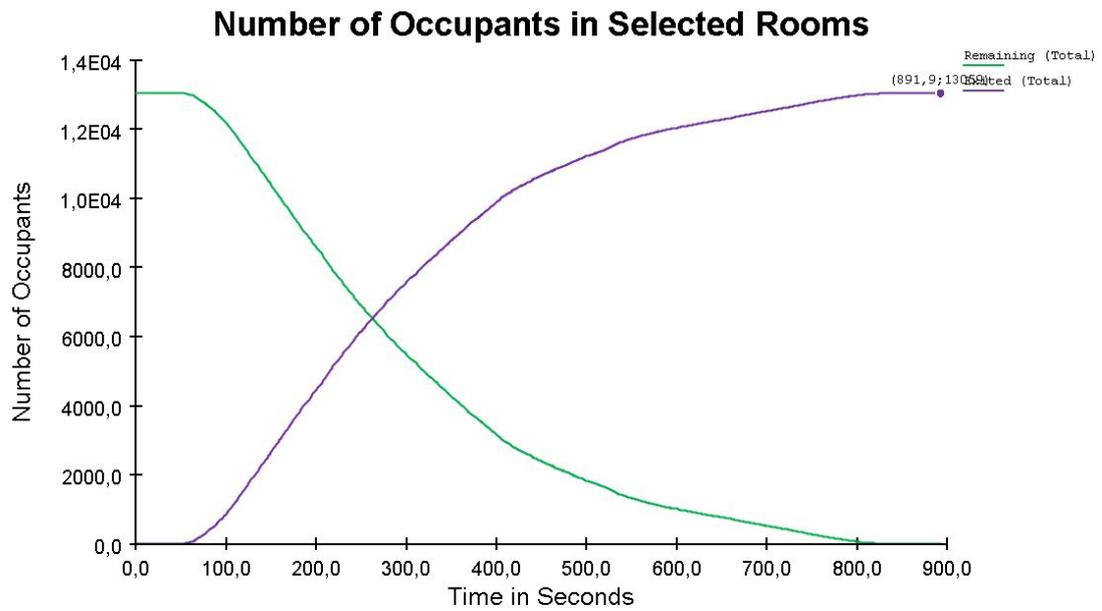


Figura 37: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

Il software *Pathfinder*<sup>®</sup> permette alla fine della simulazione di raffigurare tutti i percorsi eseguiti dagli occupanti. I percorsi sono raffigurati tramite colori diversi in modo tale da riprendere il colore dell'anello da cui sono partiti. Dalle successive immagini si nota come nella simulazione gli occupanti escano utilizzando esattamente i percorsi indicati nelle piante di esodo di progetto confermando come quindi le uscite siano raggiungibili equamente da percorsi con minima distanza rispetto al punto di partenza degli spettatori.

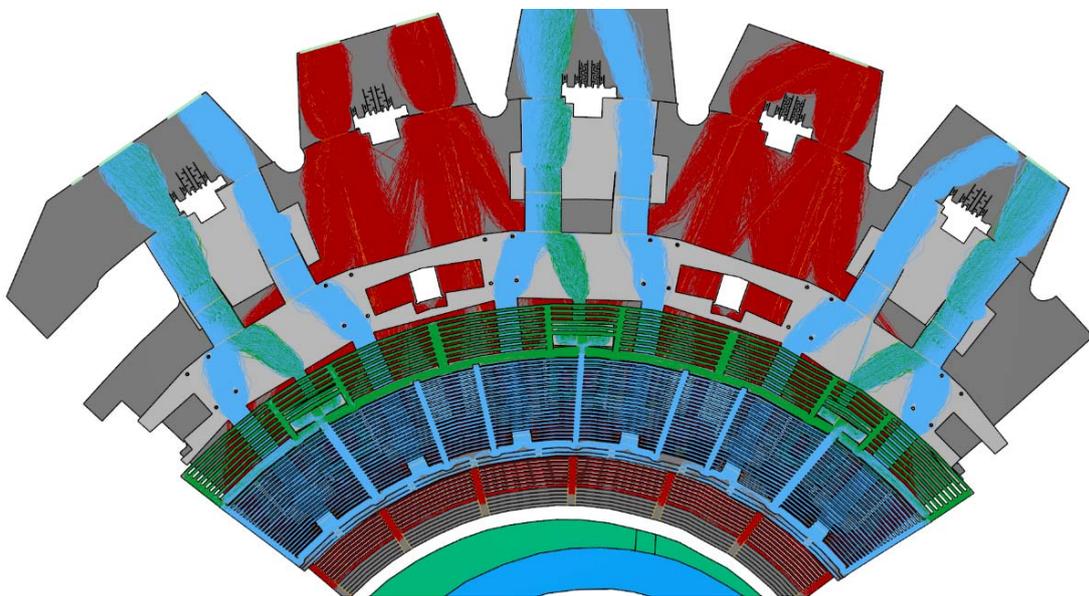


Figura 38: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori;



Figura 39: Stralci della pianta di esodo del livello inferiore e del livello superiore;

I flussi sono valutati anche analizzando il numero di spettatori che usufruiscono delle differenti uscite dalla zona spettatori e la loro variazione nel tempo.

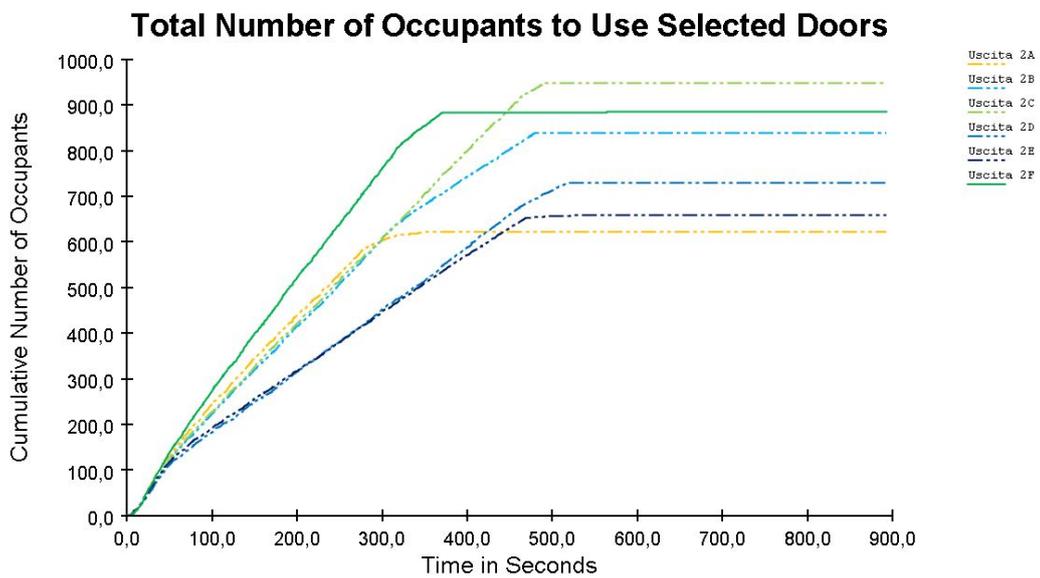


Figura 40: Numero di occupanti per le uscite poste nel secondo livello inferiore;

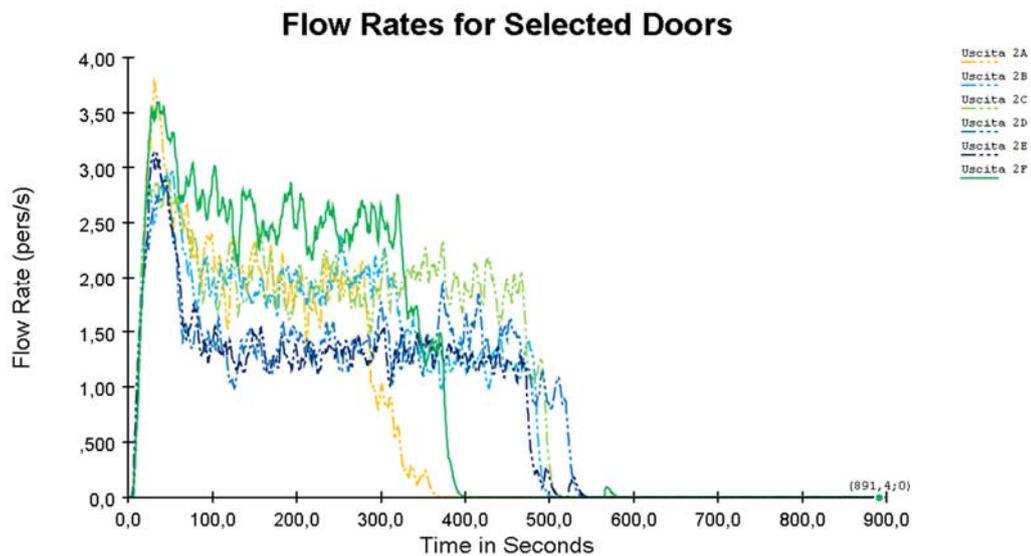
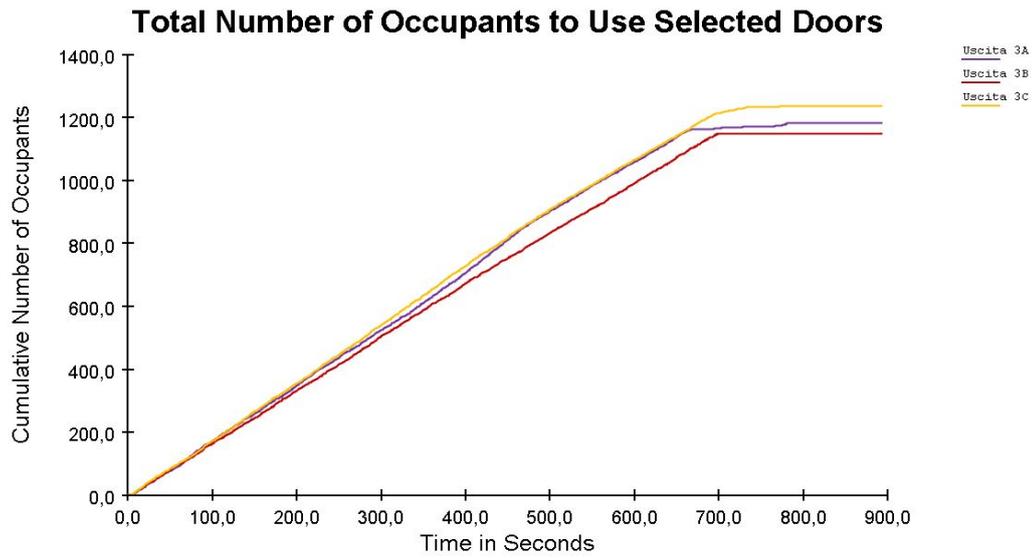
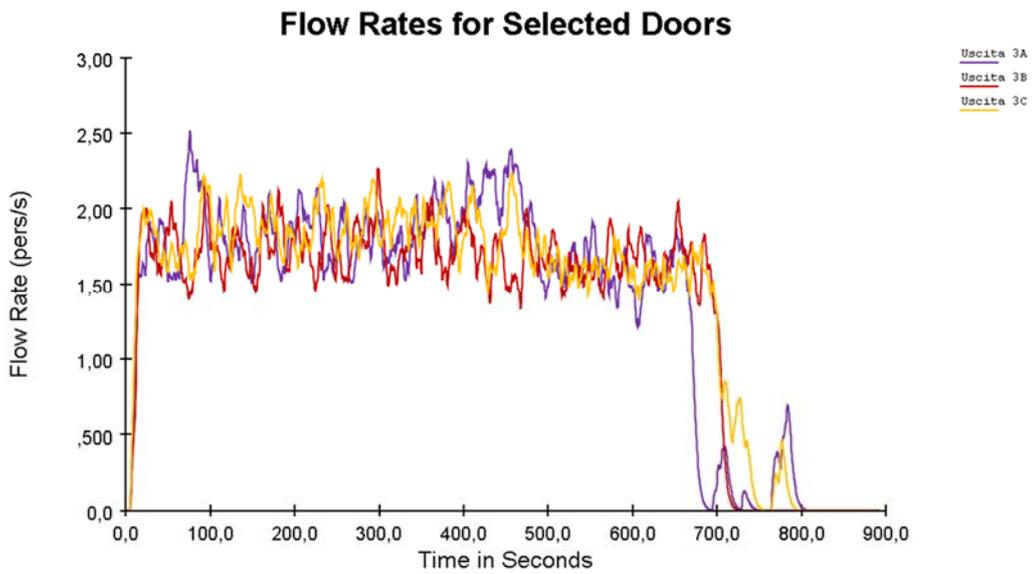


Figura 41: Flusso degli spettatori per le uscite del secondo livello inferiore;



**Figura 42: Numero di occupanti per le uscite poste nel secondo livello superiore;**



**Figura 43: Flusso degli spettatori per le uscite del secondo livello superiore;**

#### 4.2.2 Uscita ordinaria-Stadio 2018

Nella seconda simulazione si analizzano i flussi degli spettatori in uscita in condizioni ordinarie considerando la conformazione dello stadio antecedente ai lavori di ristrutturazione dell'estate 2019.

In questa conformazione gli spettatori della Curva B sono 14.239 ed escono dallo stadio in 982s, l'ultimo a raggiungere l'uscita è uno spettatore del secondo anello superiore. Si mostra l'andamento degli spettatori in uscita.

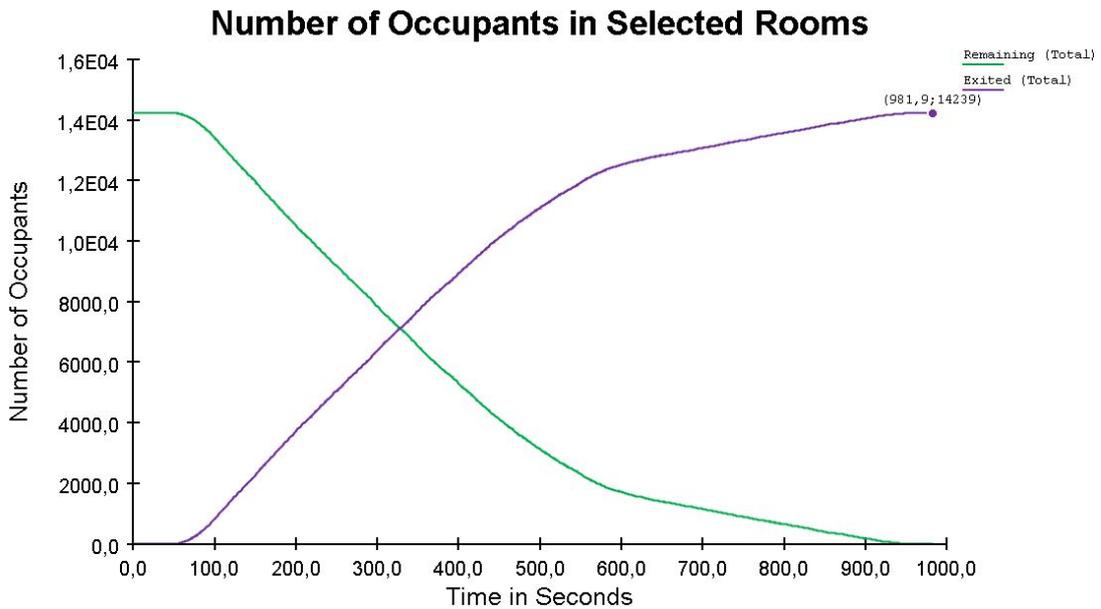


Figura 44: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

Come individuato nel paragrafo precedente, anche in questa simulazione gli occupanti percorrono le stesse vie di esodo dei files di progetto.

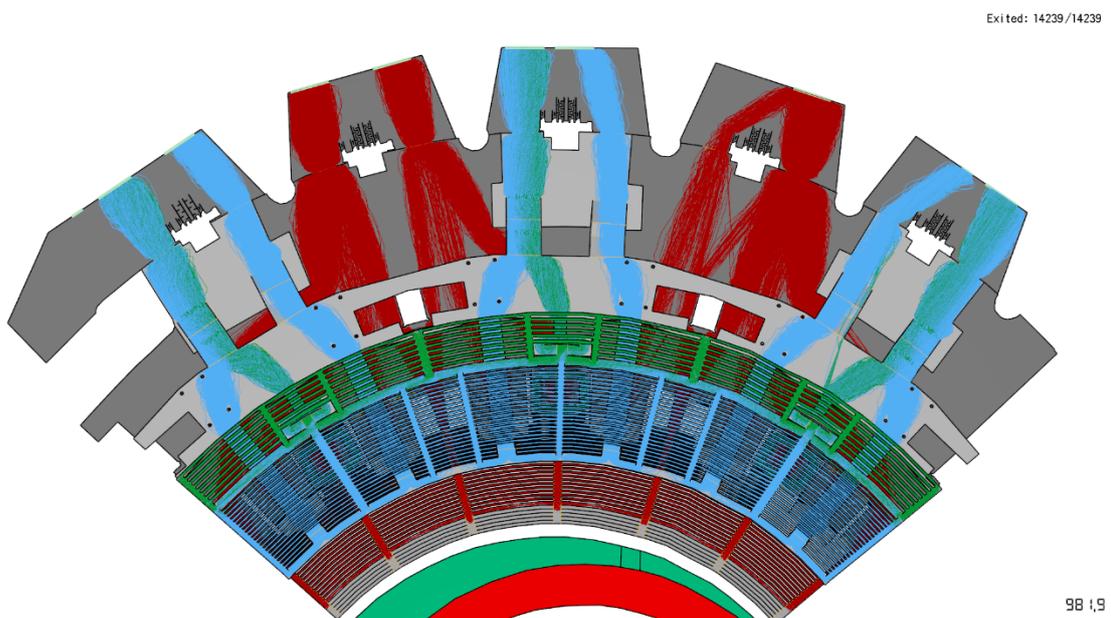


Figura 45: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori;

Come per la conformazione dopo i lavori di ristrutturazione del 2019, anche in questo caso i flussi sono valutati analizzando il numero di spettatori che usufruiscono delle differenti uscite dalla zona spettatori e il loro corrispondente flusso nel tempo.

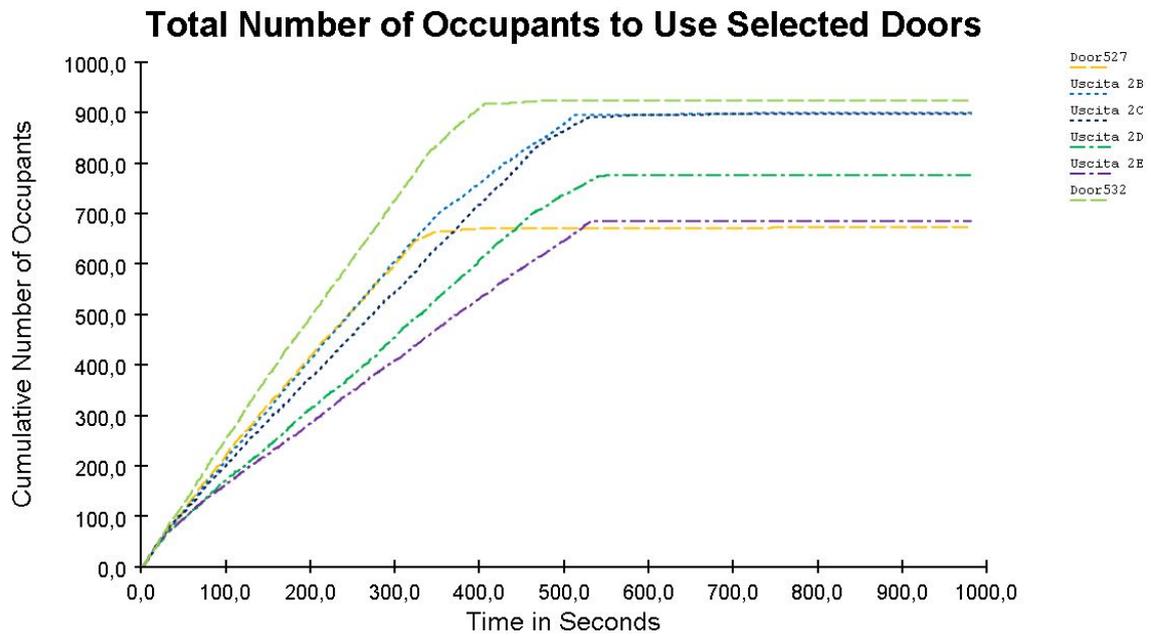


Figura 46: Numero di occupanti per le uscite poste nel secondo livello inferiore;

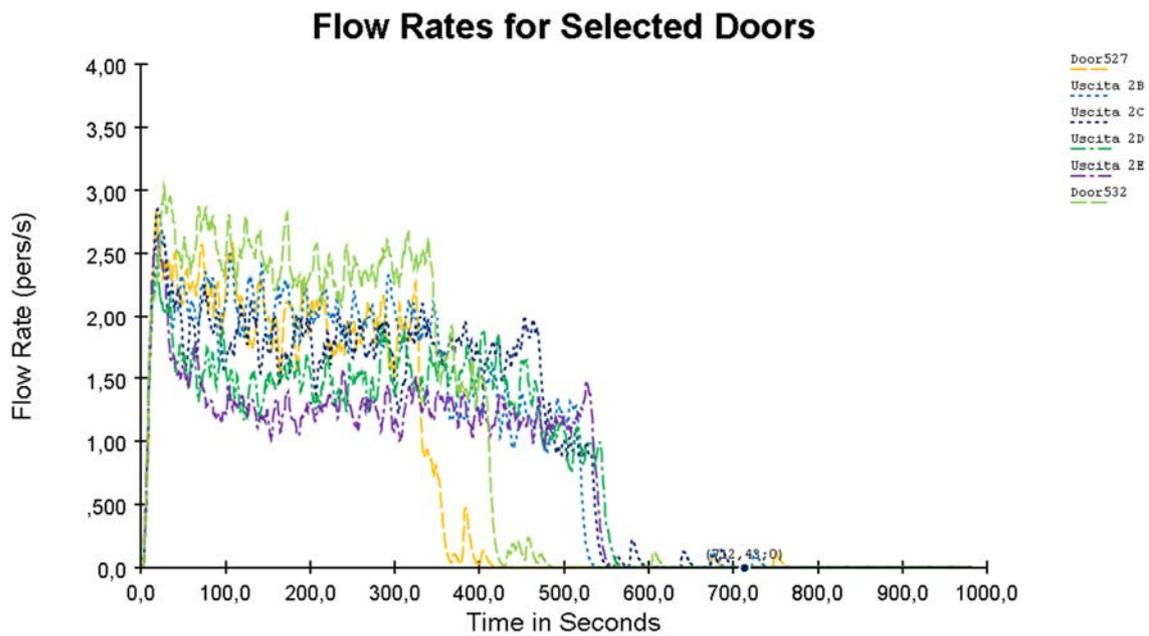


Figura 47: Flusso degli spettatori per le uscite del secondo livello inferiore;

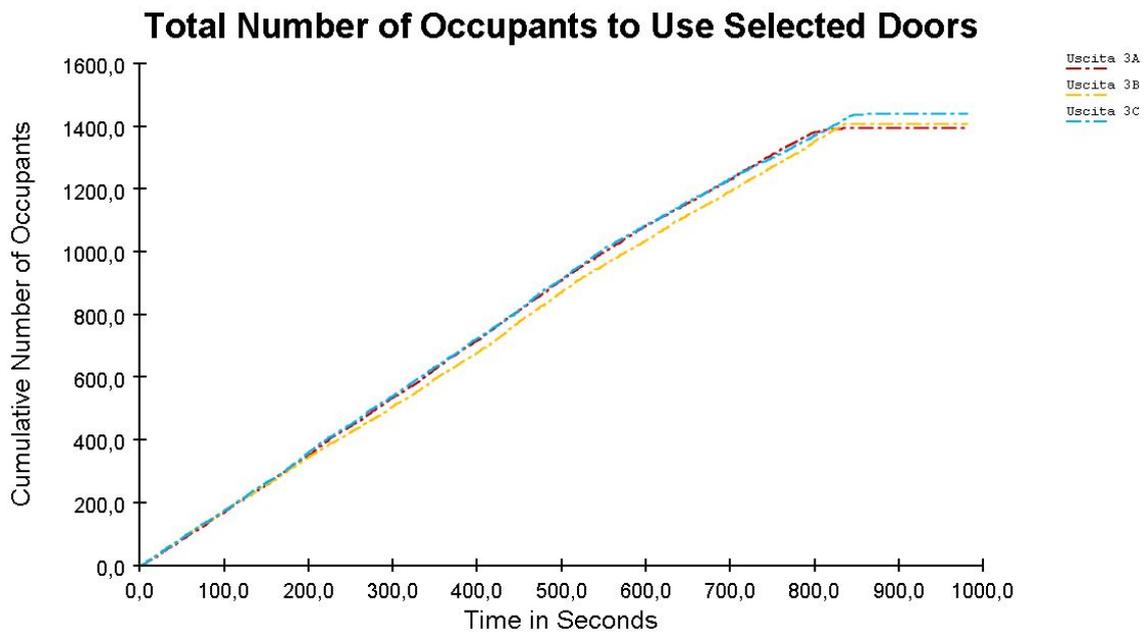


Figura 48: Numero di occupanti per le uscite poste nel secondo livello inferiore;

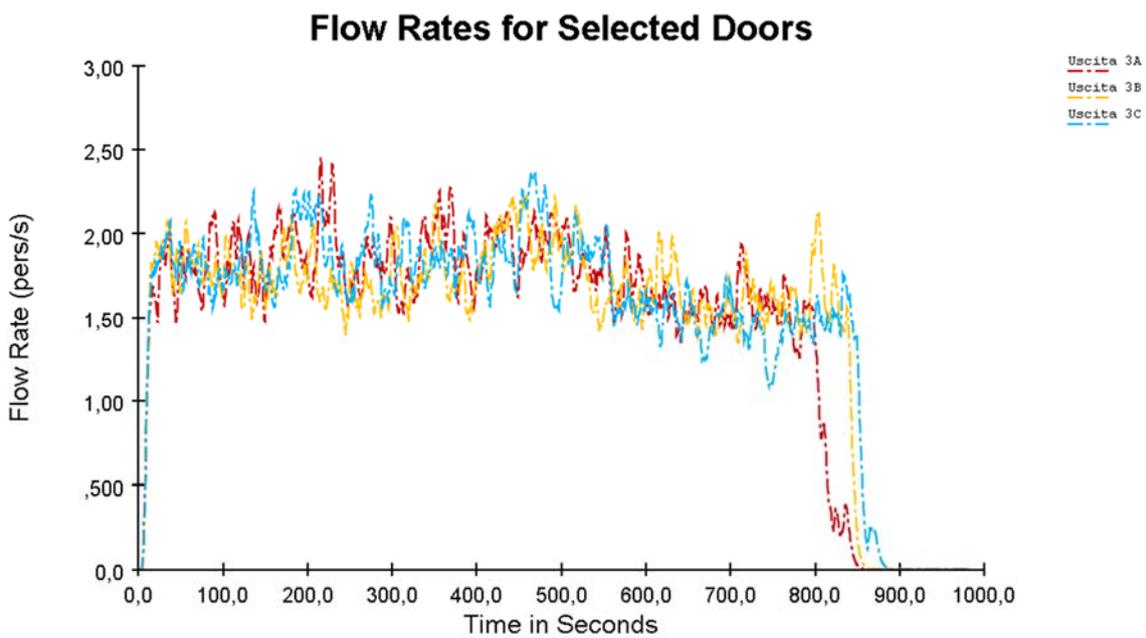


Figura 49: Flusso degli spettatori per le uscite del secondo livello superiore;

Il confronto tra le due simulazioni e la loro ulteriore valutazione tramite i LOS è indicato nel paragrafo successivo.

### 4.2.3 Confronto tra le due simulazioni per l'uscita in condizioni ordinarie

In questo paragrafo si confrontano direttamente le due simulazioni precedentemente presentate analizzando le modifiche svolte con i lavori di riqualificazione dell'estate 2019 e le rispettive conseguenze nei flussi degli spettatori.

Analizzare il flusso degli spettatori richiede anche il valutare le diverse uscite dalla zona spettatori attraverso il numero degli spettatori che ne usufruiscono. Si sottolinea innanzitutto come nella conformazione dopo i lavori di ristrutturazione vi sia una differenza di 1.180 spettatori suddivisi in 847 in meno nel secondo anello e 333 nel primo livello. Nella tabella seguente si individua il numero di spettatori per le diverse uscite del secondo anello e le rispettive percentuali rispetto al numero di spettatori presenti in tale anello così da individuare se le modifiche effettuate nei lavori abbiano portato variazioni ai flussi.

Tabella 9: Confronto del numero di spettatori per le uscite del secondo anello inferiore;

Uscita secondo anello inf. 2018	% di spettatori	Uscita secondo anello inf. 2019	% di spettatori
Uscita 2A	7,5	Uscita 2A	7,7
Uscita 2B	10	Uscita 2B	10,4
Uscita 2C	10	Uscita 2C	11,7
Uscita 2D	8,8	Uscita 2D	9
Uscita 2E	7,7	Uscita 2E	8,2
Uscita 2F	10,5	Uscita 2F	11
<b>Totale</b>	<b>54,5</b>	<b>Totale</b>	<b>58</b>

Tabella 10: Confronto del numero di spettatori per le uscite del secondo anello superiore;

Uscita secondo anello sup. 2018	% di spettatori	Uscita secondo anello sup. 2019	% di spettatori
Uscita 3A	14,6	Uscita 3A	13,7
Uscita 3B	14,8	Uscita 3B	13,3
Uscita 3C	16,1	Uscita 3C	15
<b>Totale</b>	<b>45,5</b>	<b>Totale</b>	<b>42</b>

Come si può notare dalla tabella soprastante, in entrambe le conformazioni si nota come non ci sia una sostanziale differenza tra il numero totale di spettatori che utilizza le uscite poste al livello superiore rispetto a quelle del livello inferiore. Questo aspetto porta però a considerare il fatto che il numero delle uscite e la loro grandezza sia fortemente diverso tra i due livelli. Come si vede infatti dai diagrammi del flusso degli spettatori nei rispettivi paragrafi, in entrambe le conformazioni le uscite poste al secondo anello livello inferiore non vengono più utilizzate a circa 550 s dall'inizio della simulazione poiché gli spettatori rimasti utilizzano soltanto più quelle poste al livello più alto; il flusso si propaga quindi per più tempo per le uscite 3A, 3B e 3C in entrambe le simulazioni.

Nella vecchia conformazione le uscite poste al livello inferiore sono utilizzate dal 54,5% degli spettatori ossia 4.845 tifosi mentre nella nuova conformazione dal 58% che però corrisponde a 4.665 persone. Si sottolinea come anche nella conformazione del 2018 la maggior parte dei tifosi utilizzava quelle poste al livello più basso poiché rappresentano il percorso più breve per raggiungere le uscite finali. Le uscite superiori erano usate invece da 4.046 spettatori mentre ora da 3.379. Si deduce quindi che la modifica effettuata con i lavori del 2019 di rendere 4 scale di smistamento a senso unico verso il livello inferiore, abbia diminuito l'afflusso alle uscite superiori di una percentuale di tifosi pari a -3,5% e come però non abbia comunque gravato sul numero di spettatori diretti verso le uscite inferiori grazie alla riduzione della capienza della curva.

L'uscita degli spettatori e di conseguenza l'analisi dei flussi è valutata anche grazie all'utilizzo dei LOS che valutano qualitativamente il sistema di uscita dell'impianto. I LOS sono rappresentati in pianta dal software tramite diversi colori, come indicato nel paragrafo n° 4.1.7. Si mostrano le immagini dei momenti salienti ottenuti durante le simulazioni, in cui si verificano e si valutano le differenze che vi sono tra le due differenti conformazioni dello stadio. Il confronto è fatto in momenti corrispondenti tra le due simulazioni.

Nella conformazione dello stadio del 2018, il flusso di spettatori proveniente dal secondo anello inferiore crea zone caratterizzate dal LOS *Queuing* "F" nel corridoio di collegamento tra i due anelli. Come si può vedere dalla figura n°51 quest'interferenza è eliminata con i lavori di riqualificazione e i LOS nel medesimo corridoio sono di livelli inferiori.

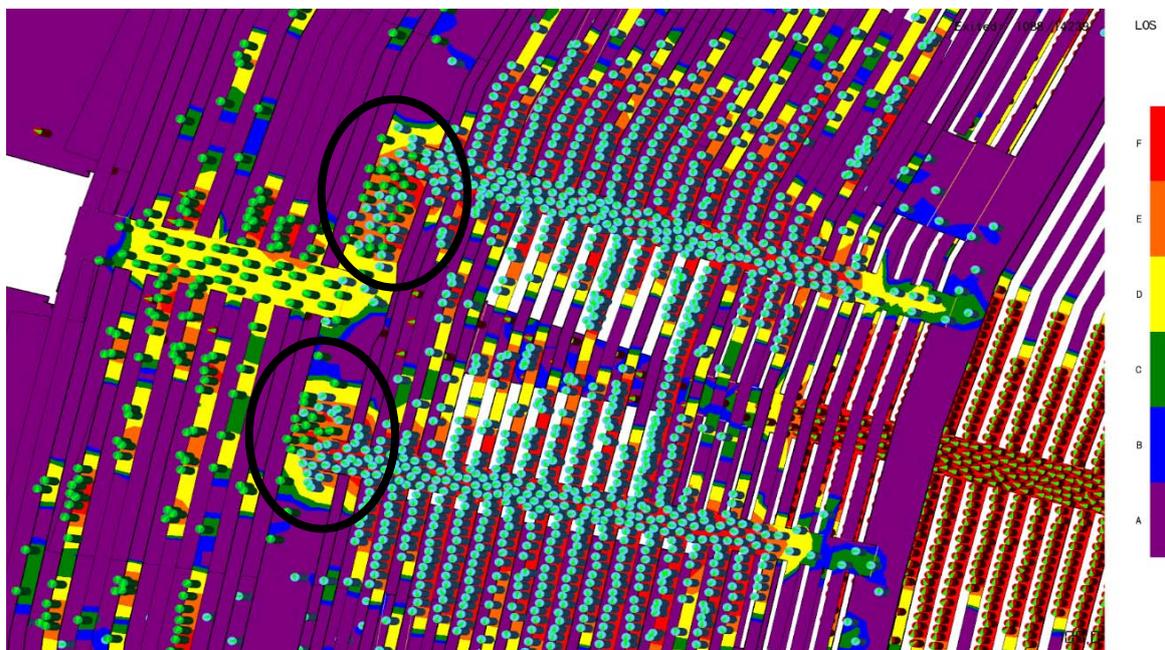


Figura 50: Corridoio di collegamento superiore nella conformazione del 2018;

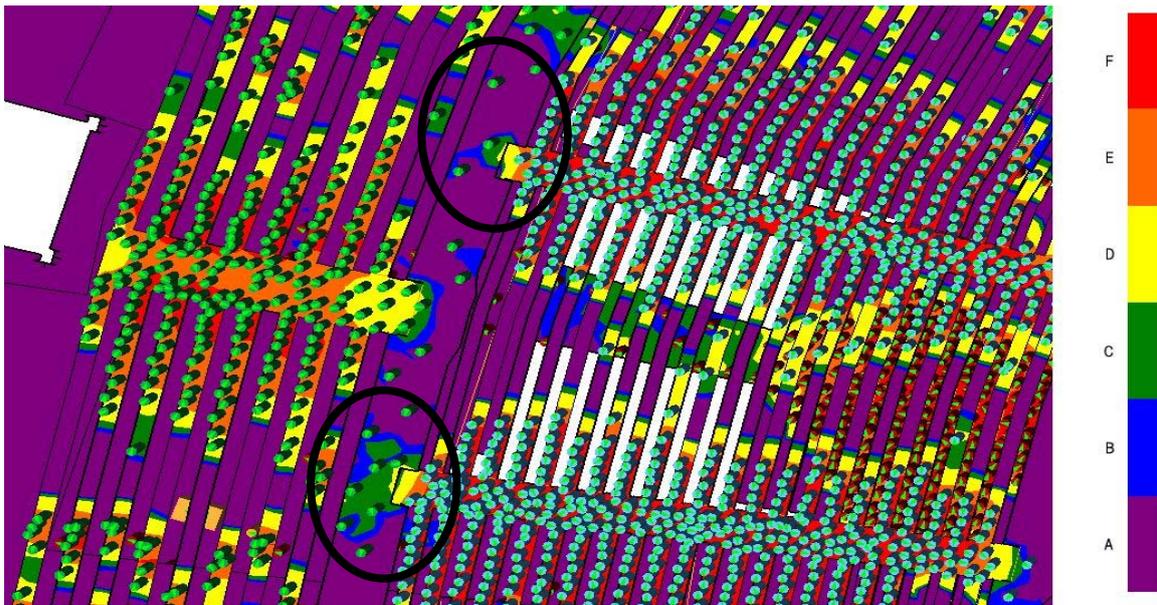


Figura 51: Corridoio di collegamento superiore nella conformazione del 2019;

Tenendo in considerazione che comunque in entrambe le simulazioni le condizioni presenti nella scala di smistamento del secondo anello presentano un LOS *Stairs* "F", si sottolinea, come dedotto dalle tabelle n°9 e 10, che le modifiche effettuate al sistema d'esodo non aggravano le condizioni presenti nel corridoio di collegamento del secondo anello inferiore infatti, il LOS *Queuing* più gravoso che raggiunge è il "D", come si può notare dalla figura n°52.

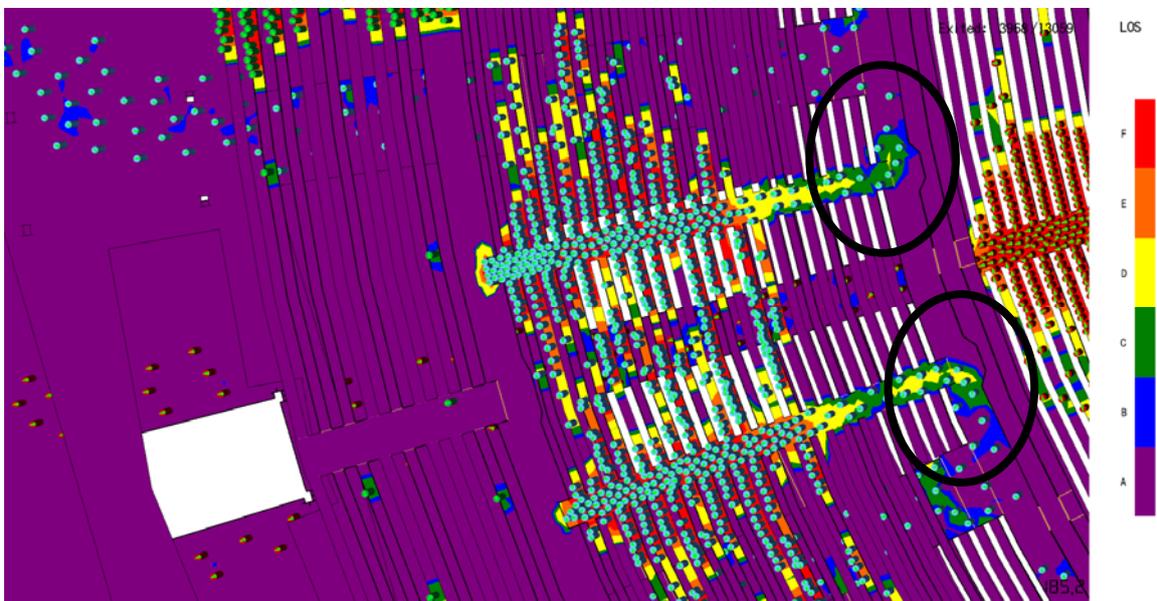


Figura 52: Corridoio di collegamento inferiore nella conformazione del 2019;

Le immagini successive rappresentano la situazione nel secondo anello superiore nel momento in cui l'ultimo spettatore del secondo anello inferiore esce dalla zona spettatori tramite le uscite poste nella rispettiva parte dell'anello. Si nota quindi come nella conformazione vecchia (prima foto) sia ancora elevato il numero di spettatori del secondo

anello superiore che deve ancora uscire dagli spalti, situazione non presente nella nuova conformazione (seconda foto). Si evince quindi che nella nuova conformazione il minor numero di spettatori del secondo anello inferiore che affluisce alle uscite poste nel secondo anello superiore, non ostacola più in modo significativo il deflusso di quest'ultimi. Questa condizione rappresentata spiega anche il perché il flusso degli spettatori che utilizza le uscite superiori abbia una durata maggiore rispetto al flusso inferiore come rappresentato nei rispettivi grafici di flusso.

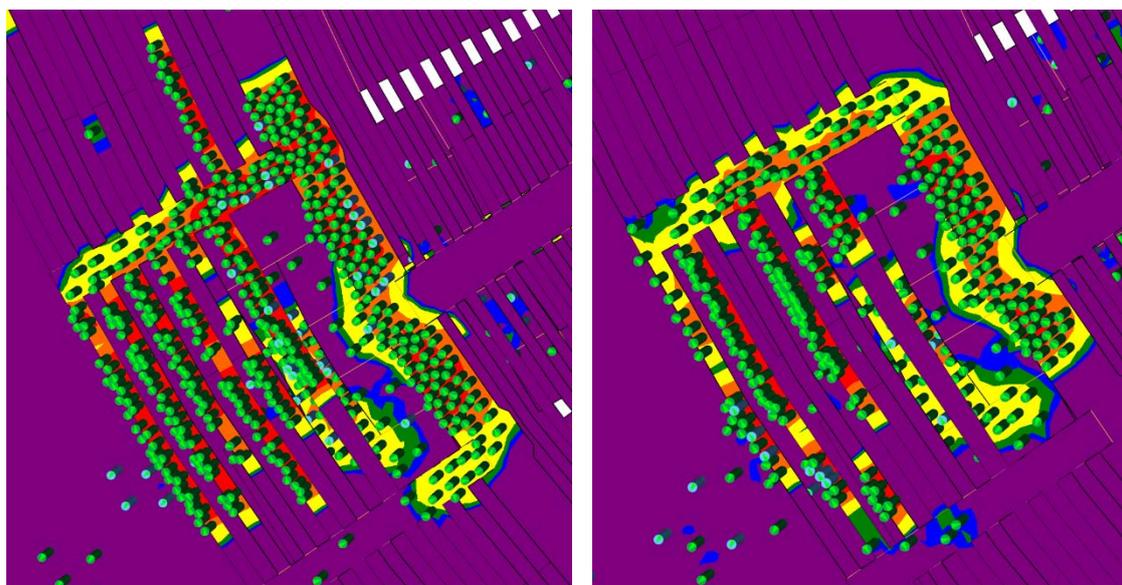


Figura 53: Spettatori rimanenti nel secondo anello superiore nella conformazione del 2018 e del 2019;

Anche nel primo anello i lavori di riqualificazione hanno migliorato la qualità dell'uscita degli spettatori. Come si nota dalle immagini seguenti, a parità di tempo, il numero di spettatori usciti è più elevato nella nuova conformazione portando così anche minori valori di LOS *Stairs* nelle scale di collegamento come si vede dai colori; il livello critico "F" del LOS *Stairs* quindi diminuisce lungo la scala nella nuova conformazione.

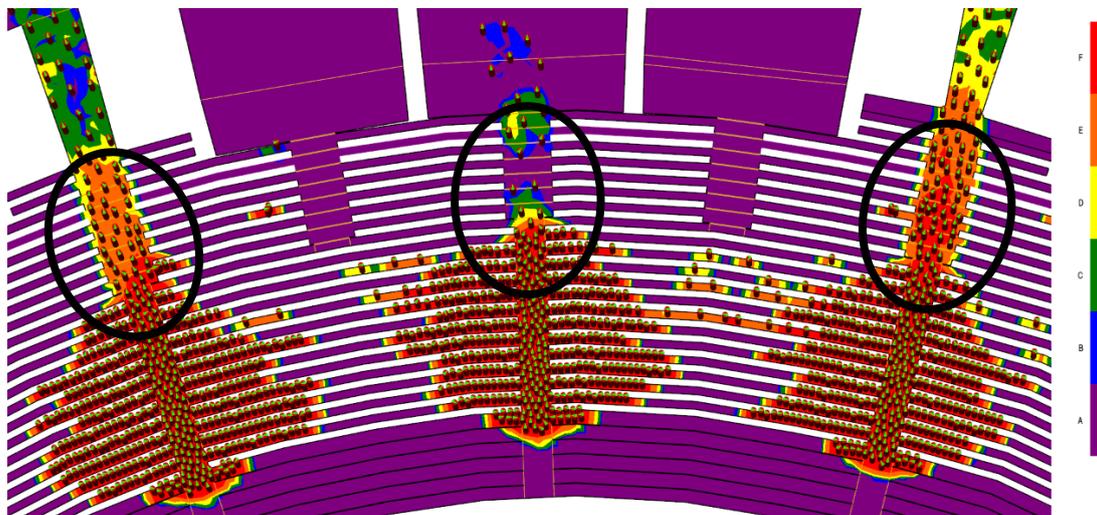


Figura 54: Scale di smistamento della curva inferiore con la conformazione del 2019;

Nella conformazione del 2018 invece è ancora elevato il numero di spettatori nelle gradinate con un alto valore di LOS *Stairs* "F" nella scala di collegamento. Si sottolinea come non si debba tenere in considerazione la diminuzione del LOS con il raggiungimento delle rampe che collegano con l'area di servizio annessa poiché quelle aree sono aree che devono essere valutate con il LOS *Queuing* e non con il LOS *Stairs* che si sta utilizzando ora per valutare le scale.

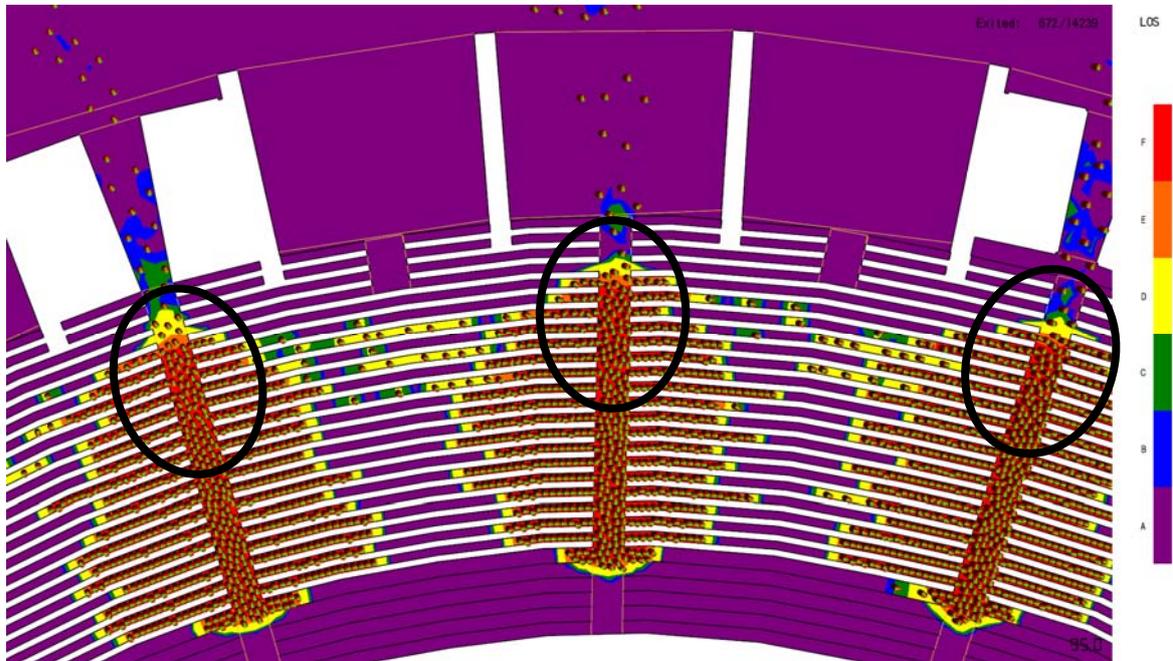


Figura 55: Scale di smistamento della curva inferiore con la conformazione del 2018;

#### 4.2.4 Intervallo

Nella terza simulazione si analizzano i flussi degli spettatori durante l'intervallo di un evento sportivo nella conformazione dello stadio dopo i lavori di ristrutturazione dell'estate 2019.

Per la scelta degli specifici *behaviors* si è deciso di utilizzare il rapporto 1:5 sui tifosi ossia che il 20% degli spettatori decide di spostarsi dal proprio seggiolino per poter andare ai punti di ristoro o ai WC. Considerando che la larghezza dello spazio libero per il passaggio tra le file nei gradoni è di 40 cm e in questa zona nel modello sono stati collocati tutti gli spettatori, il software non permette il passaggio contemporaneo di due *agents* di ingombro 35 cm. Considerando questa limitazione del programma, nella simulazione quindi non è possibile lasciare che il restante 80% rimanga al proprio posto perché così risulterebbe come ostacolo al movimento dei restanti tifosi. Per questo motivo il *behavior* di spostarsi durante la pausa è stato assegnato in modo in casuale agli spettatori ed i restanti sono stati tolti dalla simulazione.

Agli spettatori del primo livello è stato assegnato il *behavior* di raggiungere i servizi più vicini considerando che l'uscita dagli spalti collega direttamente all'area di servizio esterna. Al 50% degli spettatori è stato assegnato di andare ai servizi e considerando che

nel primo livello ve ne sono 4, le percentuali sono state divise in modo equo in modo tale avere la stessa affluenza. Il restante 50% è suddiviso equamente nei punti di ristoro il cui numero è stato scelto utilizzando come riferimento quelli presenti al secondo livello considerando che nella realtà non vi sono postazioni fisse.

Agli spettatori del secondo livello è stato assegnato il *behavior* di raggiungere i vomitori più vicini in modo tale da raggiungere successivamente il corridoio dove sono presenti i servizi. Nella figura n°56 sono raffigurati i differenti *waypoints* utilizzati per i diversi *behaviors*. Una volta raggiunto il rispettivo *waypoint*, è stato assegnato al 50% di spettatori di andare ai servizi più vicini e ai restanti 50% di andare ai punti ristoro, tramite un *change behavior*.

Ai tifosi di entrambi i livelli è stato poi assegnato il comportamento di ritornare al proprio posto tramite un *goto rooms*, in modo tale creare un ulteriore flusso di spettatori. In questa simulazione quindi si analizza e si valutano le interferenze tra il flusso degli spettatori che raggiungono i bar, di quelli che raggiungono i servizi e infine il flusso di quelli che ritornano al proprio posto.

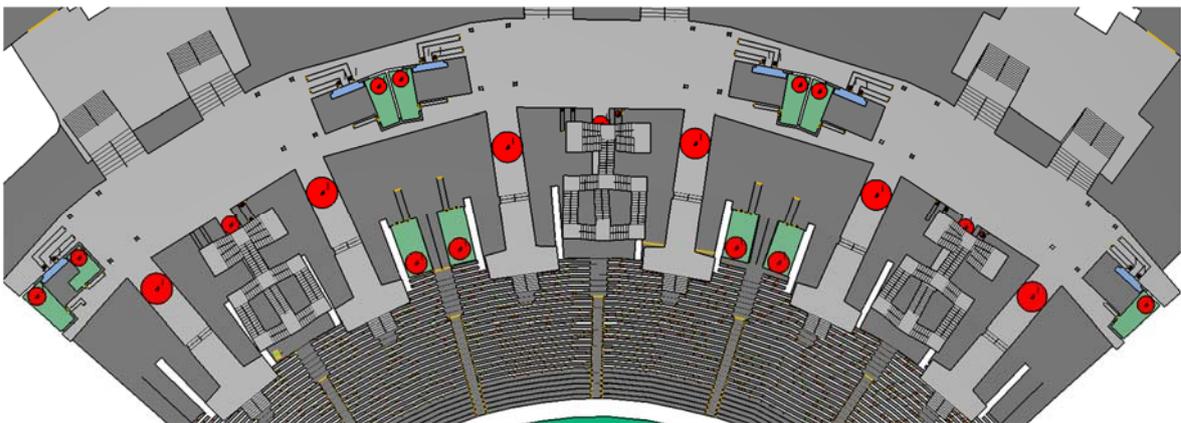


Figura 56: Waypoints per l'utilizzo dei servizi nella simulazione;

Questa simulazione oltre che essere usata per la finalità principale ossia analizzare la sicurezza degli spettatori, ha anche una validità organizzativa e gestionale infatti può essere utilizzata da parte del gestore dell'impianto per valutare la miglior collocazione di stands e cartelli pubblicitari. La valutazione delle zone con maggiore affluenza può essere fatta tramite la rappresentazione dei differenti *paths* degli spettatori in modo tale da individuare le zone sia di passaggio ma anche quelle in cui i tifosi sono fermi in attesa di usufruire dei servizi principali presenti. Nelle immagini seguenti sono individuate le zone ottimali del primo e del secondo anello che possono essere sfruttate dal gestore ma che comunque un loro utilizzo non comporti un aggravio nell'interazione tra i differenti flussi.

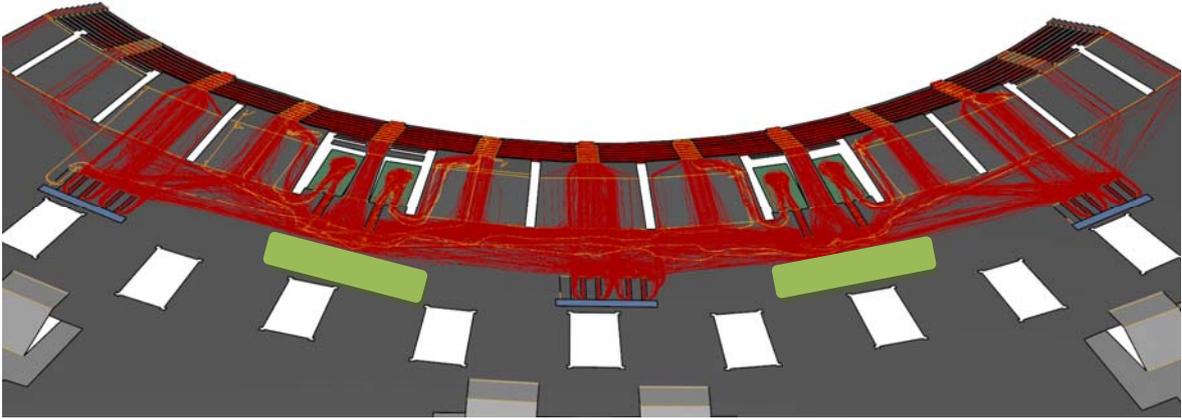


Figura 57: Paths dei tifosi del primo livello ed individuazione delle zone ottimali per stands e cartelli pubblicitari;

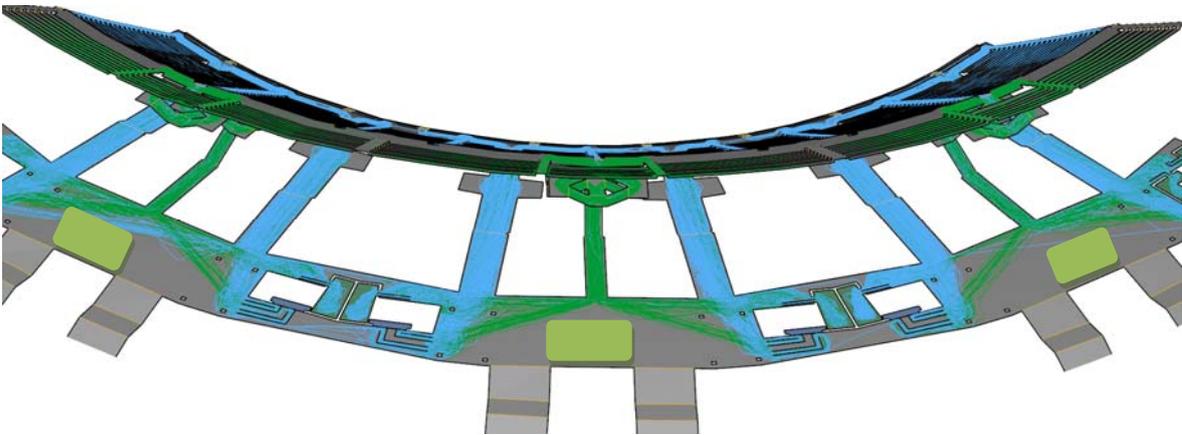


Figura 58: Paths dei tifosi del secondo livello ed individuazione delle zone ottimali per stands e cartelli pubblicitari;

Oltre a questa valutazione gestionale, è necessario valutare le condizioni di sicurezza per i tifosi ossia analizzare l'istante di maggior affluenza ai servizi principali.

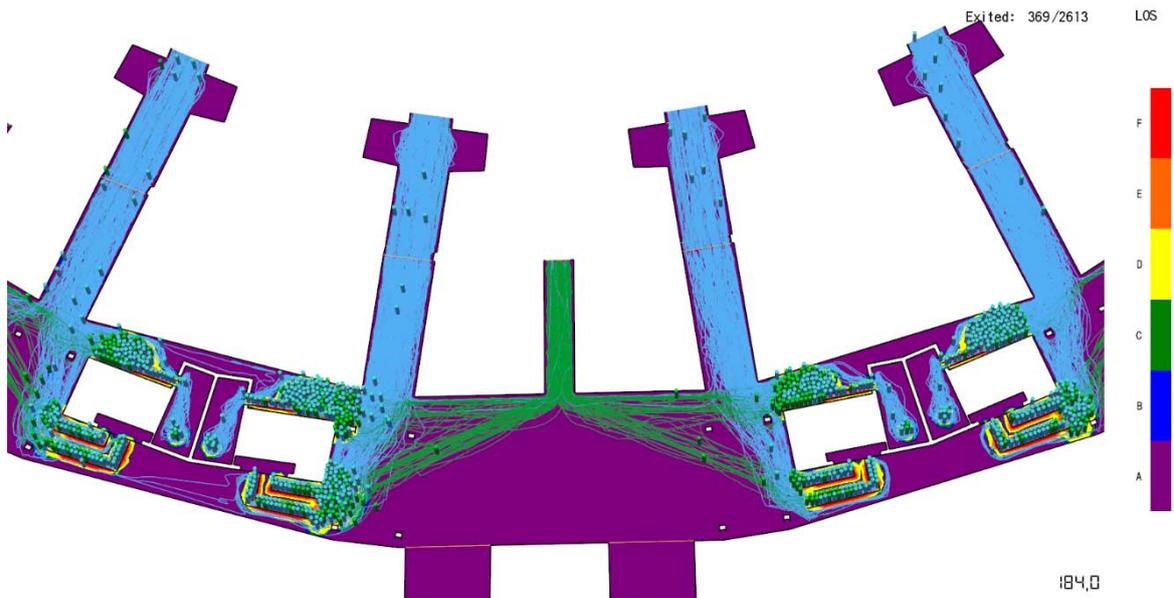


Figura 59: Momento di maggior afflusso ai servizi del secondo anello;

Come si può notare dalla figura n°59 e dalla n°60, i flussi rimangono comunque sempre distinti e le persone in coda non creano ostacolo ai flussi in movimento. È importante specificare come però la posizione dei servizi e delle code occupino quasi tutta la larghezza del corridoio permettendo così un facile raggiungimento soltanto dei servizi più vicini al vomitorio da cui i tifosi sono arrivati. Il numero sufficiente di servizi però non dovrebbe richiedere ai tifosi di raggiungere quelli lontani.

La situazione più gravosa si presenta nei servizi principali posti al centro del corridoio del secondo anello in quanto sono i punti in cui affluiscono i tifosi sia del livello inferiore sia di quello superiore. Si nota comunque come anche nella situazione più gravosa, i flussi non interferiscano negativamente tra di loro infatti il LOS *Queuing* più gravoso raggiunto è il "C". Significa quindi che il numero dei servizi collocati nell'anello sono sufficienti a soddisfare i tifosi che ne usufruiscono.

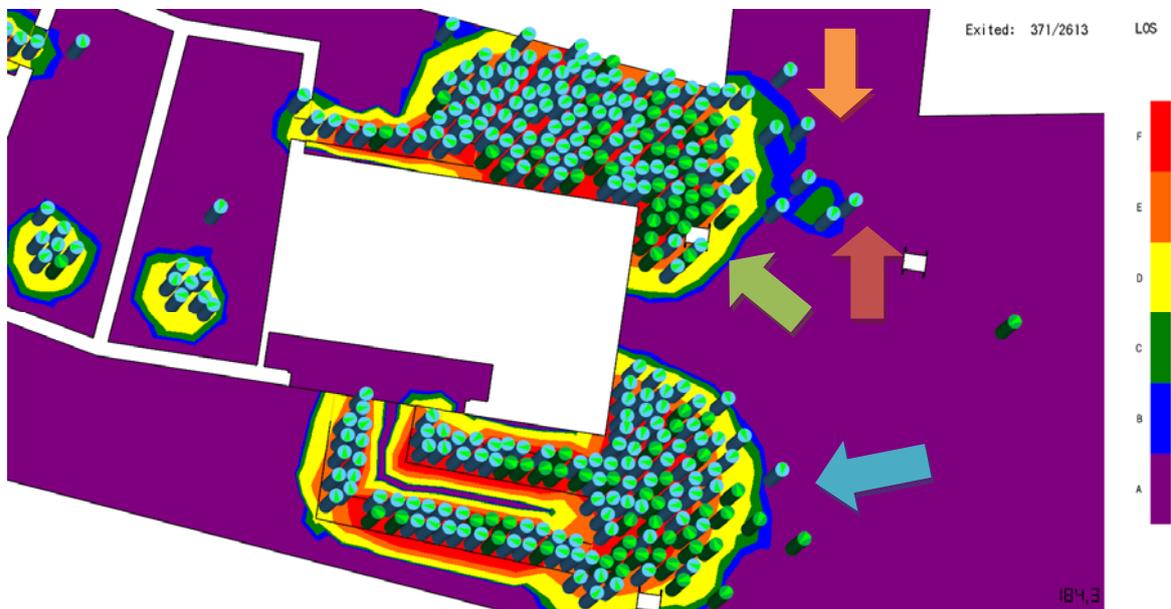


Figura 60: LOS Queuing dei servizi centrali e direzione dei flussi;

Come indicato precedentemente, ai tifosi è stato assegnato il comportamento di ritornare al proprio posto una volta utilizzato il servizio. Dal grafico successivo si nota come tutti i tifosi tornino al loro posto in 1.012 s ossia circa 17 minuti. Tenendo in considerazione il fatto che la durata dell'intervallo di una partita calcistica è di 15 minuti, si può dedurre che tutti gli spettatori possono usufruire dei servizi in un lasso di tempo soddisfacente senza protrarsi in lunghe attese. Si conferma quindi che il numero di servizi e la loro collocazione è adeguata al numero, ipotizzato ma comunque plausibile, di spettatori che ne usufruiscono. Si sottolinea inoltre che per quanto riguarda i servizi igienici, non è stato considerato il numero di orinatoi presenti per mancanza di informazioni precise ma è stato utilizzato soltanto il numero di WC con anta. La presenza degli orinatoi riduce notevolmente il tempo di attesa e le rispettive code.

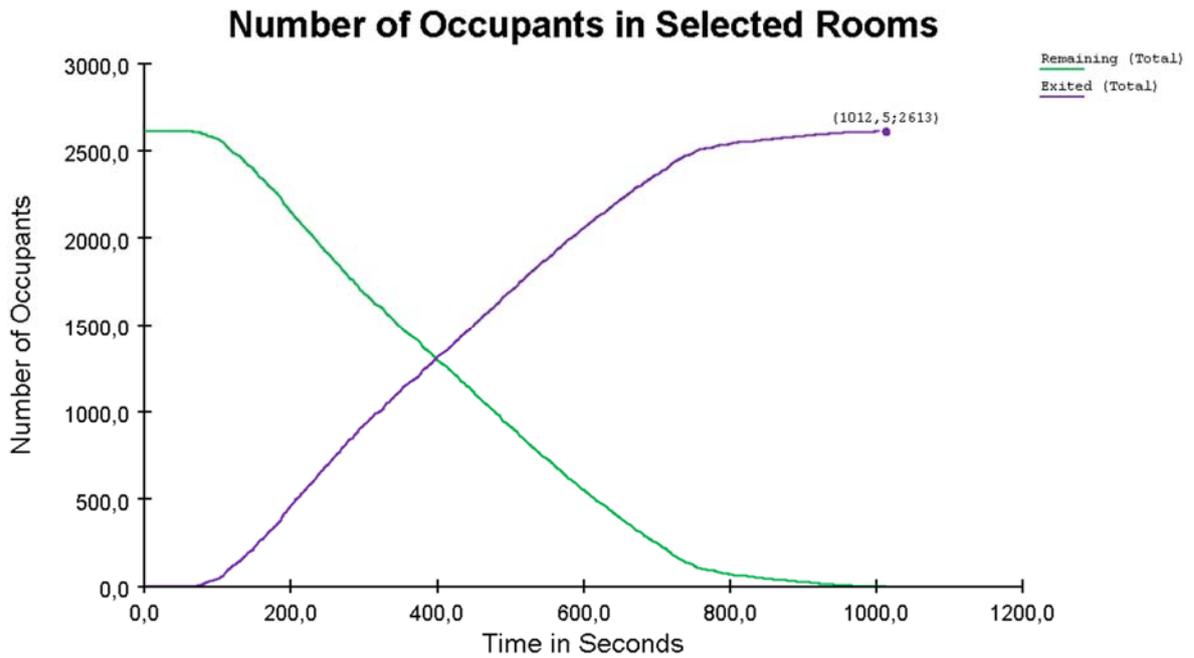


Figura 61: Andamento degli spettatori che ritornano al proprio posto nel tempo;

Le valutazioni sono fatte anche per il primo livello nel quale però non sono presenti postazioni fisse di servizi ristoro. È necessario quindi il posizionamento di stands mobili il cui numero è stato considerato pari a quello dei servizi ristoro presenti nel livello superiore. Nell'immagine seguente si rappresenta il momento in cui l'area è maggiormente utilizzata e con un successivo dettaglio si rappresentano i LOS *Queuing* del punto di ristoro centrale.

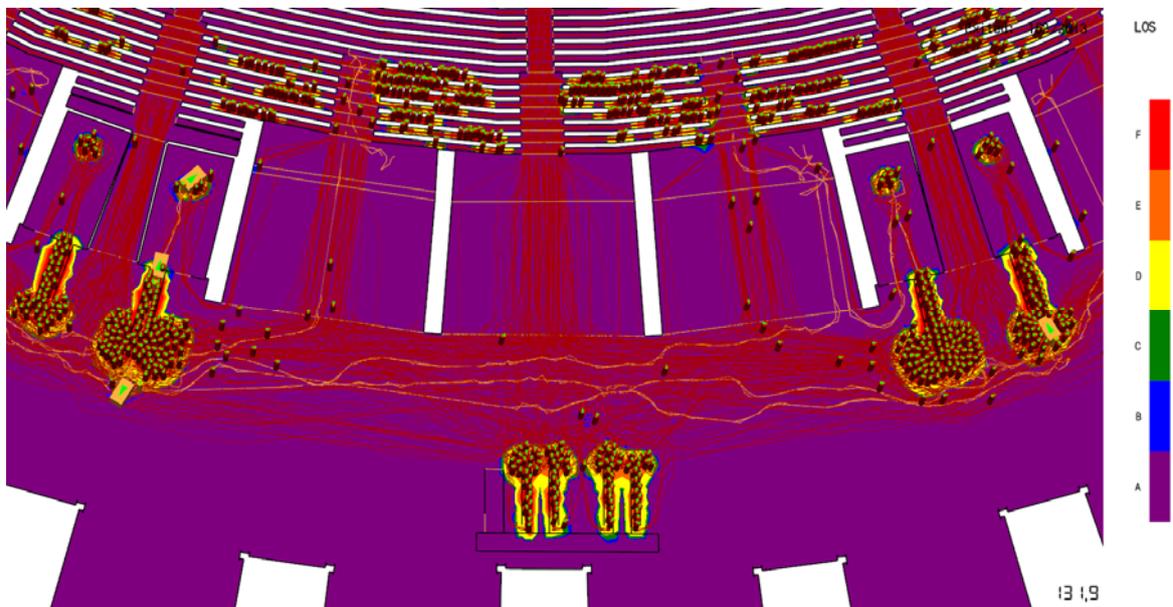


Figura 62: Momento di maggior afflusso ai servizi del primo anello;

Come si può individuare dalle immagini, i flussi rimangono separati e le persone in coda non creano ostacoli al movimento del flusso degli spettatori che tornano al proprio posto o si dirigono verso un ulteriore servizio. A differenza del livello superiore, nell'area vi è

ancora spazio per il movimento libero degli spettatori favorito soprattutto dalla metratura ancora disponibile e dal posizionamento laterale e alternato dei servizi. Come si nota dall'immagine seguente i valori di LOS *Queuing* nell'interazione tra spettatori in coda e quelli che tornano al proprio posto sono molto bassi con zone di livello "B".



Figura 63: LOS Queuing tra spettatori in coda e flusso che ritorna al proprio posto;

Si sottolinea che l'ultimo spettatore del primo anello ritorna al proprio posto a 791 s ossia circa 13 min così da poter valutare il numero di servizi sufficienti a soddisfare il numero di spettatori del primo anello ipotizzato.

Dalla simulazione si nota come i servizi igienici siano le zone in cui si creino maggiormente code. È necessario ricordare però che, come accaduto nel secondo livello, non vi siano informazioni di base sufficientemente precise sul numero di orinatoi ed è quindi necessario valutarli con cautela poiché la presenza degli orinatoi renderebbe minore il tempo di attesa.

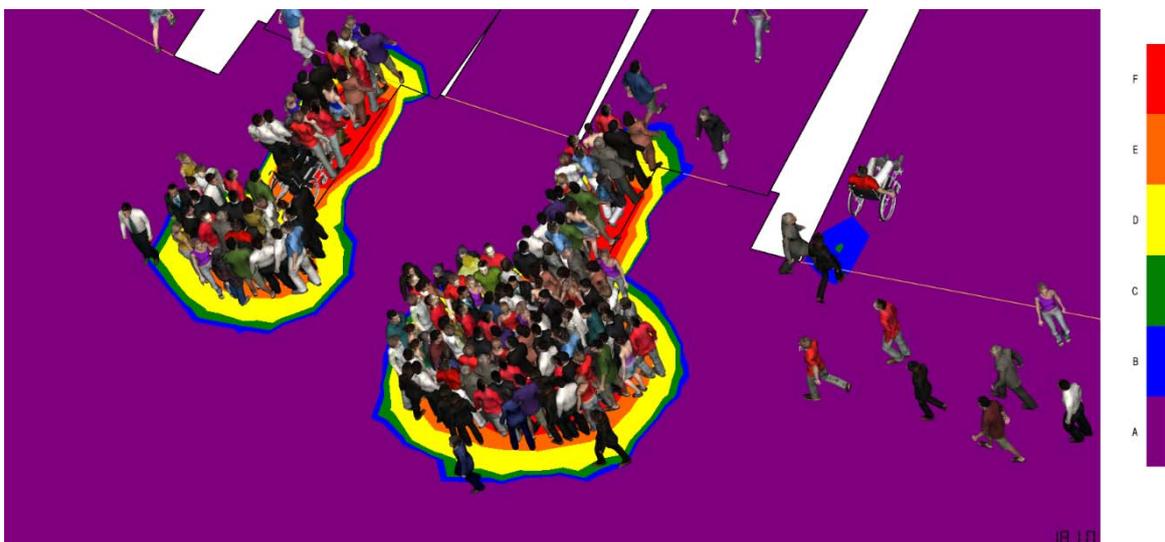


Figura 64: Coda dei servizi igienici nel primo livello;

### 4.3 Manifestazione Pubblica

In questo paragrafo sono presentate le simulazioni effettuate per valutare la seconda possibile configurazione dello stadio San Paolo ossia quando è utilizzato per ospitare manifestazioni pubbliche. L'analisi è svolta sul flusso degli spettatori presenti durante un concerto, valutando il loro movimento nel settore parterre (prato) in fase di uscita ordinaria e di emergenza e in presenza dei servizi principali.

Una volta individuate le aree del palco, degli spazi liberi e degli spazi per gli spettatori, si è ricavato l'affollamento massimo per ogni singolo settore utilizzando l'indicazione data dalla Circolare M.I. 18 Luglio 2018 di 2 persone/m<sup>2</sup>. Si ottiene una capienza di 10.882 spettatori divisa in circa 2.700 spettatori per ogni settore.

Come anticipato nel paragrafo n° 3.2, nello stadio è presente un fossato come sistema di separazione tra zona spettatori e zona di attività sportiva quindi per il concerto è necessario predisporre passerelle metalliche per permettere l'entrata e l'uscita agli spettatori presenti nel parterre. Nelle simulazioni sono analizzate due situazioni:

- l'utilizzo di 4 passerelle per curva di larghezza 3,30 m;
- l'utilizzo di 7 passerelle per curva di larghezza pari alle scale di collegamento.

La Circolare M.I. 18 Luglio 2018 indica 3 condizioni:

1. l'utilizzo del parametro di capacità di deflusso di 250 persone/modulo per ricavare la larghezza dei percorsi di allontanamento dall'area;
2. la larghezza minima dei varchi e delle vie di allontanamento inserite nel sistema d'esodo non deve essere inferiore a 2.40 m;
3. I varchi di allontanamento non devono essere inferiori a 3.

Dalla prima condizione si ricava la prima situazione analizzata; infatti dividendo l'affollamento massimo per la capacità di deflusso si ottengono 44 moduli totali ossia 22 per curva. Considerando che la seconda condizione impone di usare almeno 4 moduli per varco e che la terza ne chiede almeno 3, si è deciso di utilizzare 4 varchi per curva così da poterli collocare in modo simmetrico rispetto ai flussi di spettatori.

Si nota però che la conformazione dello stadio non permetta di soddisfare in pieno la seconda condizione infatti le scale di collegamento del primo anello che sono inserite nel sistema d'esodo, possiedono una larghezza inferiore a 2,40 m. Per questo motivo si è deciso di progettare una soluzione alternativa ovvero utilizzare 7 passerelle, una per scala di collegamento della curva, con la stessa larghezza dei gradini in modo da non creare restringimenti durante il passaggio.

Il primo gruppo di simulazioni analizzate possiede quindi le passerelle collocate in corrispondenza dei gradoni in modo da avere una maggior area di arrivo per gli spettatori

dandogli la possibilità di scegliere tra 2 scale di collegamento per raggiungere le uscite finali; mentre il secondo gruppo le ha in corrispondenza delle scale.

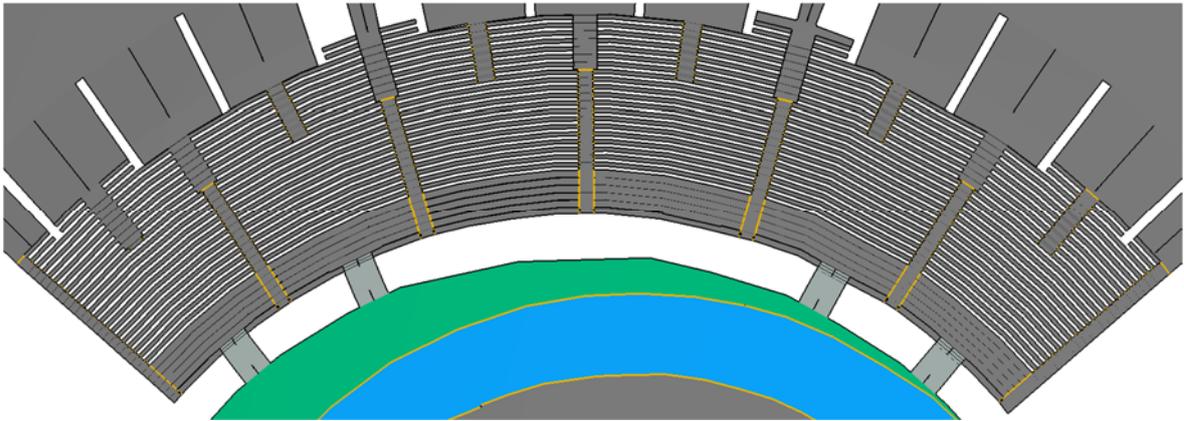


Figura 65: Posizione delle 4 passerelle del primo gruppo di simulazioni;

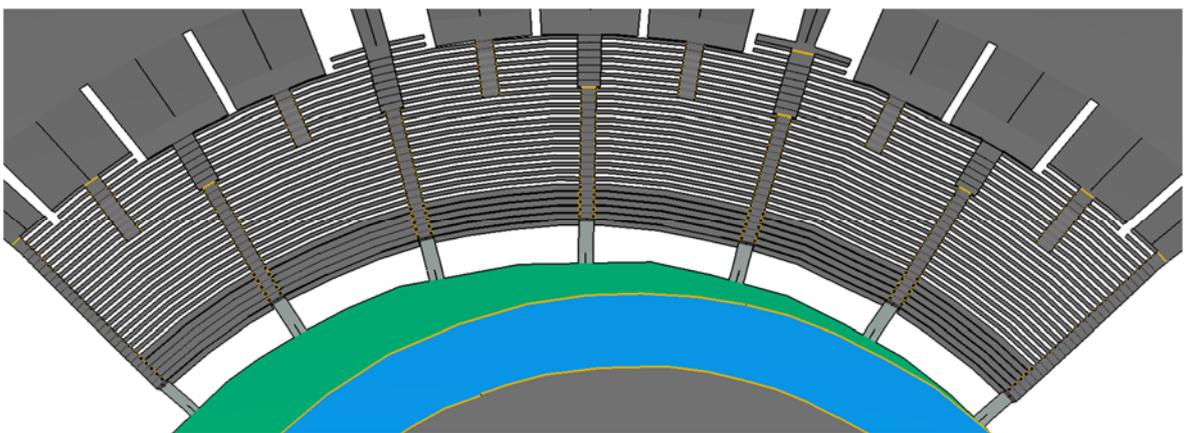


Figura 66: Posizione delle 7 passerelle del secondo gruppo di simulazioni;

Anche le uscite dai singoli settori sono state ricavate utilizzando le tre condizioni prima elencate. L'affollamento del settore è stato diviso per 250 persone/modulo ottenendo così 12 moduli necessari e quindi 3 varchi da 2,40 m. Queste uscite sono state collocate ogni 10 m delle delimitazioni del settore che non confinano con lo specifico spazio libero di larghezza 5 m richiesto dalla Circolare in cui è vietato lo stazionamento di pubblico ed automezzi in situazioni di non emergenza. Lungo la delimitazione della suddetta zona di separazione sono previsti attraversamenti 1 ogni 10 m di larghezza 2,40 m utilizzabili solo in caso di emergenza.

Entrambi i gruppi di simulazioni sono progettati con lo stesso procedimento:

- Valutare l'uscita degli spettatori senza porre limitazioni alla scelta verso quale curva indirizzarsi e quale uscita utilizzare;
- Ottimizzare l'uscita con precise indicazioni da eseguire durante il percorso;
- Valutare l'interferenza dei flussi considerando la presenza di stands e servizi principali;
- Valutare l'uscita in caso di emergenza.

Non imporre un determinato percorso agli spettatori significa permettere alle persone di andare alle uscite alle quali si adduce con il percorso minimo. Durante la simulazione però si permette agli *agents* di cambiare l'uscita nel caso in cui l'occupante risulti fermo per un determinato periodo in modo tale da rendere la situazione più realistica ovvero indurre il comportamento di andare verso un'ulteriore uscita che presenti un minor numero di affollamento.

Si nota come utilizzare lo stesso procedimento per i due gruppi di simulazioni permette di effettuare un confronto diretto tra le rispettive analisi.

Nelle simulazioni ad ogni settore è stato assegnato un colore differente per poter ricondurre gli spettatori al settore di partenza. Il settore 1 è rappresentato dal colore blu, il 2 dal verde, il 3 dal rosso e il 4 dal granata.

In tutte le simulazioni sono considerati soltanto gli spettatori presenti nel parterre poiché il sistema d'uscita è indipendente da quello degli altri settori dello stadio.

#### 4.3.1 Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva

In questa simulazione si valuta l'uscita in condizioni ordinarie nella conformazione dello stadio con 4 passerelle, senza imporre un particolare percorso agli spettatori.

Tramite la rappresentazione dei diversi *paths*, si nota come durante la simulazione spettatori del primo e del terzo settore utilizzino la curva A (destra) per uscire ma anche come alcuni di loro decidano poi di dirigersi verso l'altra curva B (sinistra).

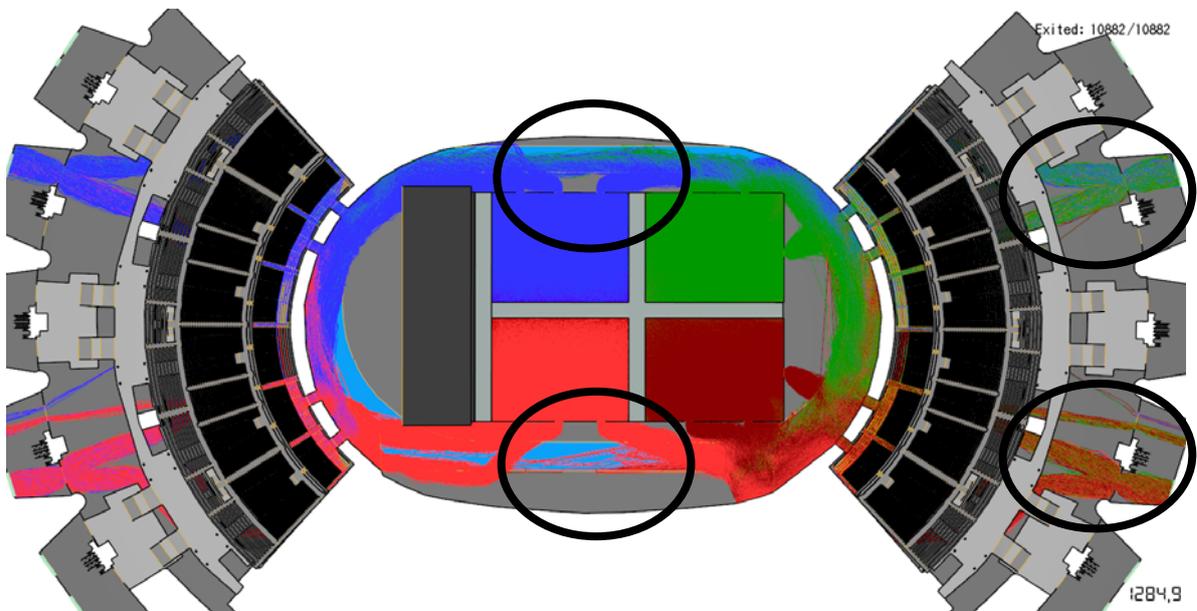
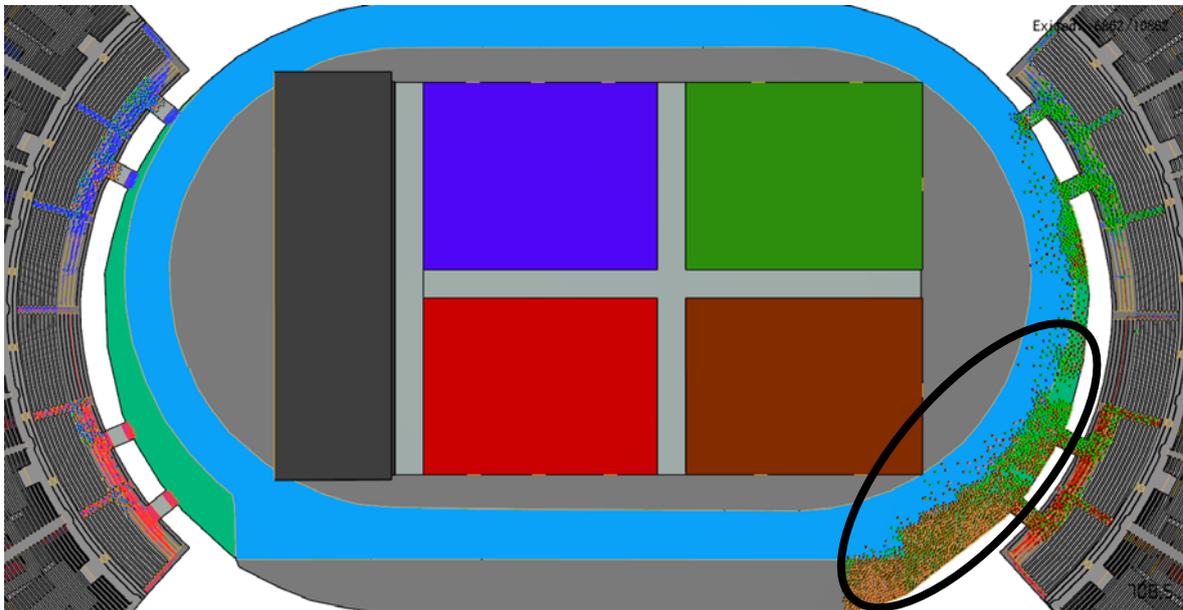


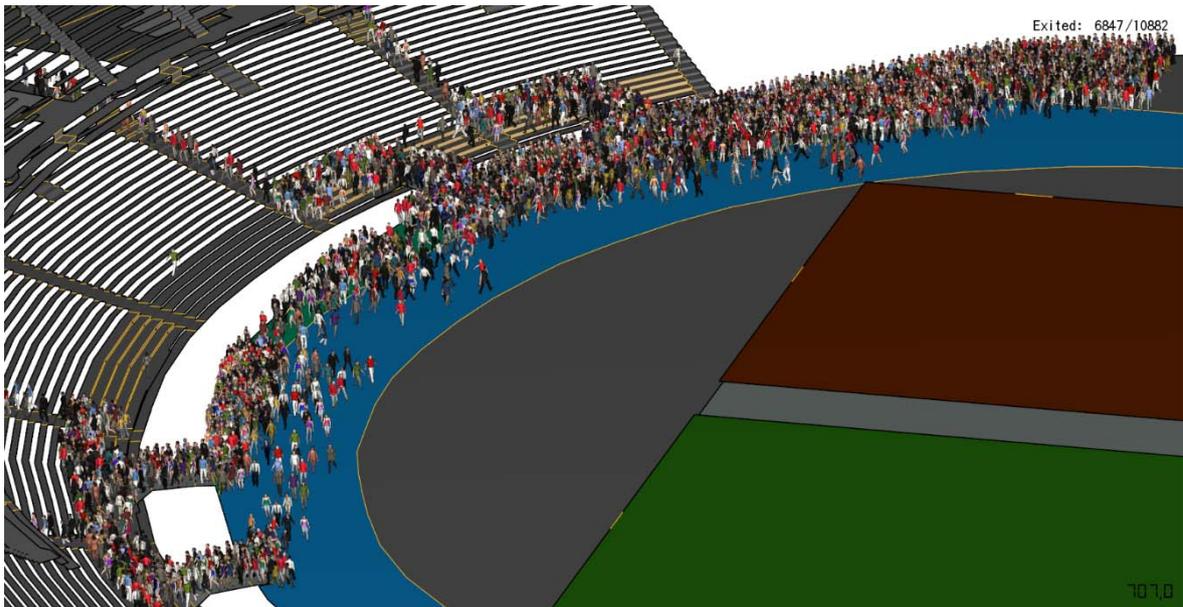
Figura 67: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Questa condizione di libertà di scelta crea forte differenza nell'utilizzo delle due curve. Si nota infatti come nel momento in cui l'ultimo spettatore percorre una passerella

metallica collegata alla curva B, la situazione nella curva A è molto più gravosa, come si evince dalle seguenti immagini che rappresentano l'elevata disparità nella divisione degli spettatori.



**Figura 68: Spettatori rimanenti che utilizzano le passerelle della curva A;**



**Figura 69: Spettatori rimanenti che utilizzano le passerelle della curva A con vista realistica;**

Dalla simulazione si ricava inoltre come l'ultimo occupante che raggiunge l'uscita sia uno spettatore del settore 3 che ha utilizzato la curva A; il tempo impiegato è di 1.285 s (21 min).

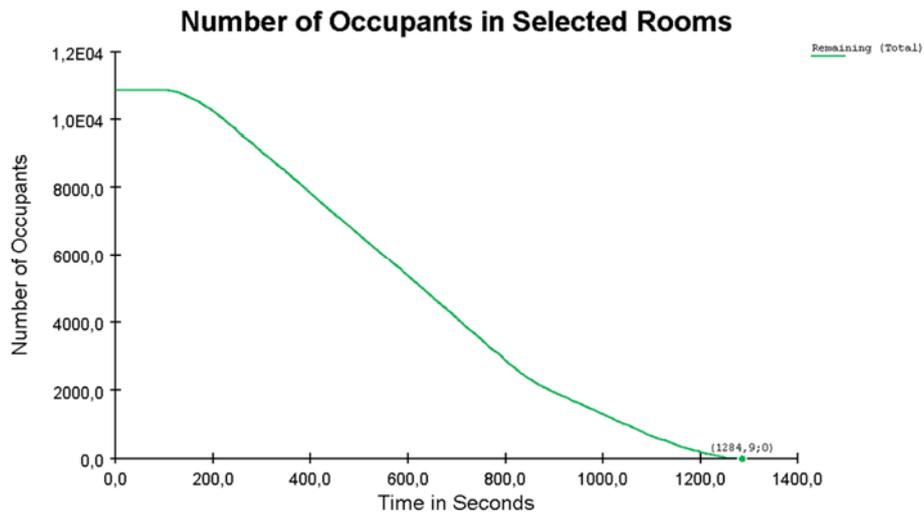


Figura 70: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.2 Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva

In questa seconda simulazione si ottimizza il sistema di uscita degli spettatori correggendo lo squilibrio che si presenta nell'utilizzo delle due curve nella prima simulazione. Agli spettatori del primo settore (blu) e del terzo (rosso) si imposta il *behavior* di uscire da una qualsiasi uscita della curva B mentre al secondo settore (verde) e al quarto (granata) si assegnano le uscite della curva A.

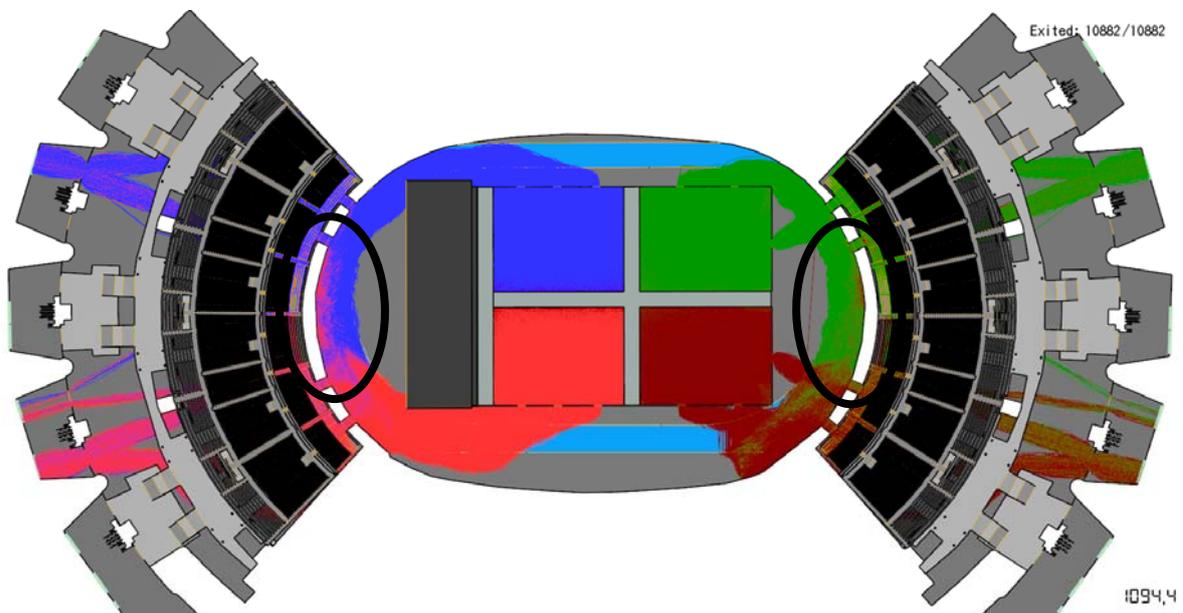


Figura 71: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Come si vede dai percorsi, tutti gli spettatori dei settori 1 e 3 si indirizzano verso la curva B mentre quelli dei settori 2 e 4 verso la curva A così da avere una più corretta divisione dei flussi per le due curve. Anche in questo caso però si nota come le code che si creano per entrare nelle passerelle portino gli spettatori a recarsi anche verso quelle più lontane.

Come successo per lo stadio con la configurazione per l'evento sportivo, anche in questa situazione si può utilizzare la simulazione per una funzione gestionale e organizzativa. Questa simulazione permette infatti di individuare la posizione delle zone ottimali in cui collocare gli stands per la vendita del merchandising del concerto; si nota infatti come il flusso tenda a disporsi in modo parallelo alle curve in modo tale da rendere il punto centrale un ottimo posto per collocare le diverse postazioni di vendita. Il LOS *Queuing* più gravoso raggiunto è di livello "E" e si presenta in ampie zone. L'immagine rappresenta il momento in cui l'ultimo spettatore esce da un settore del parterre.



Figura 72: LOS Queuing e zone ottimali per posizionamento stands quando i settori sono vuoti;

Dal digramma numero di occupanti/tempo rappresentato successivamente si nota come la scelta di destinare le uscite di una curva a due settori rappresenta effettivamente un'ottimizzazione del sistema d'uscita; infatti l'ultimo spettatore esce a 1.094 s (18 min) ed è del primo settore. L'ottimizzazione riduce il tempo di uscita di tutti gli spettatori dall'impianto di circa 3 min.

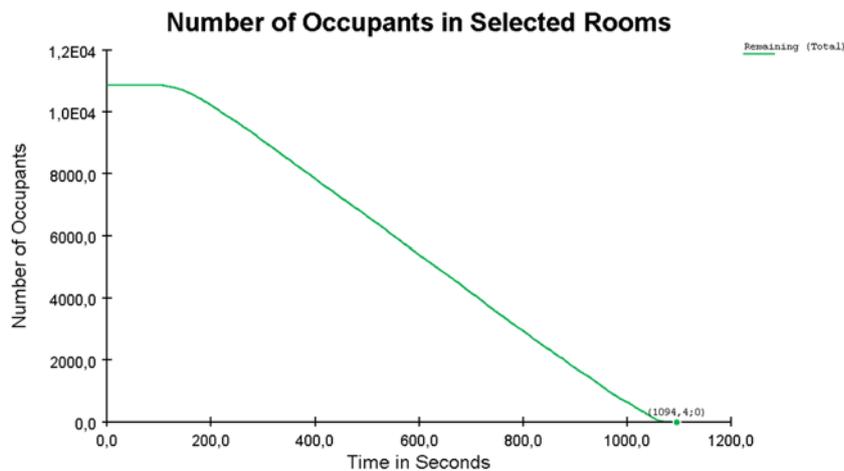


Figura 73: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

Da questa simulazione si nota però come il posizionamento delle passerelle metalliche non sia però ottimizzato per il flusso in uscita dal parterre. Come si nota dall'immagine successiva, una volta superata la passerella, agli spettatori si presenta una notevole riduzione del percorso causata dalla larghezza delle scale di smistamento creando così una zona con un'elevata densità di persone che potrebbe portare ad incidenti e fenomeni di panico. Per la sicurezza degli spettatori è sempre importante eliminare tutte le possibili situazioni in cui potrebbe presentarsi il fenomeno del "collo di bottiglia".

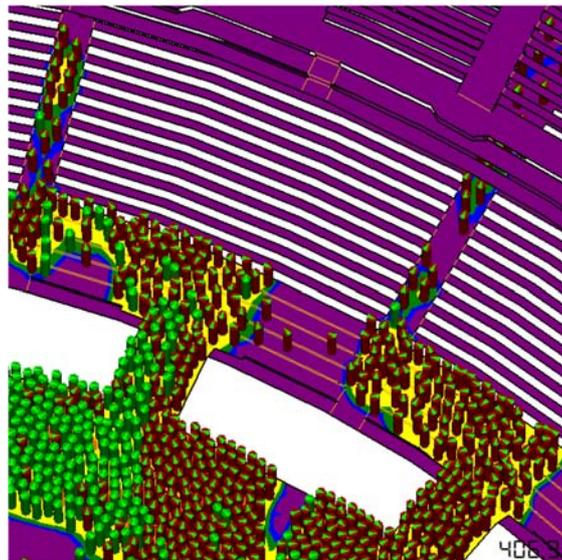


Figura 74: Fenomeno del "collo di bottiglia" nel collegamento con le scale di smistamento;

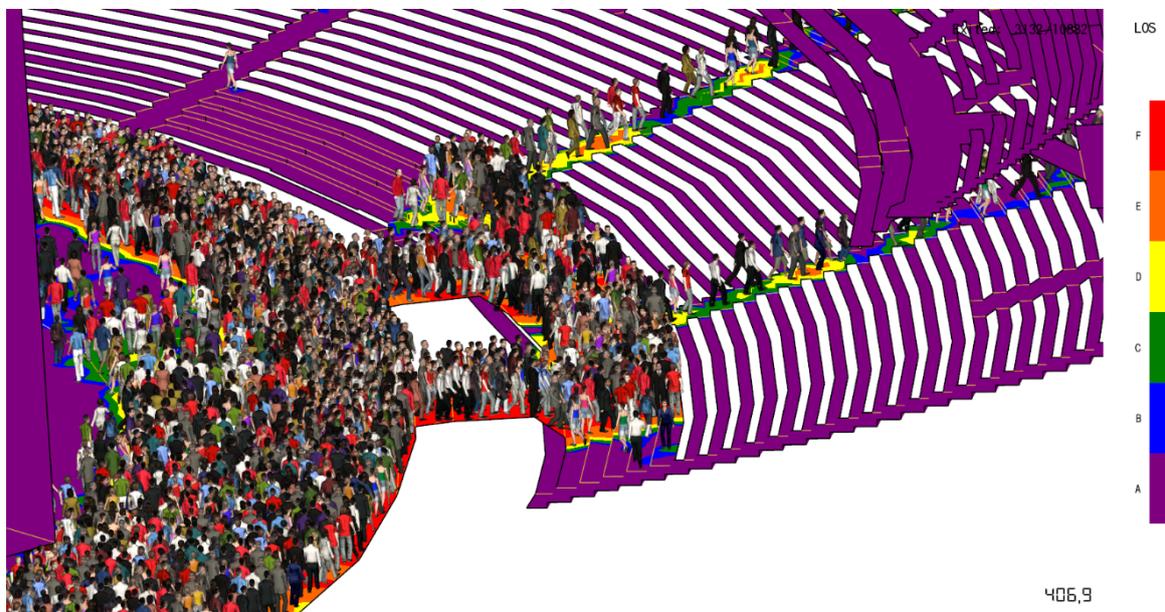


Figura 75: Elevata densità di persone e fenomeno del "collo di bottiglia" nella curva A;

Per risolvere questa situazione si è deciso di progettare un nuovo layout di uscita con 7 passerelle metalliche, di dimensioni inferiori a quelle collocate in questa simulazione ma posizionate in asse alle scale di smistamento in modo tale da evitare brusche variazioni di percorso negli spalti.

### 4.3.3 Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 4 possibili uscite per curva

Per una valutazione completa della configurazione dello stadio San Paolo in occasione di un concerto, si è deciso di analizzare il momento di uscita considerando che una parte degli spettatori prima di uscire, decida di usufruire dei servizi principali presenti e di comprare negli stands commerciali. Questa considerazione è stata fatta tenendo conto della tipologia dell'evento ossia che durante un concerto non vi è una pausa come durante un evento sportivo e quindi il termine del concerto rappresenta il primo momento utile per utilizzare i servizi. In questo modo si è deciso di valutare se la posizione dei servizi ed il flusso degli spettatori che ne usufruisce interferisce o no con il flusso di quelli in uscita. Per aggravare la situazione e renderla comunque più realistica, si è deciso di impostare una completa libertà di scelta agli spettatori che utilizzano i servizi in modo tale da uscire dai varchi più vicini alla loro nuova posizione e non più rispetto al loro settore di appartenenza.

I servizi principali presenti sono i servizi igienici, i punti ristoro e gli stand per il merchandising. La quantità dei WC chimici è calcolata con la UNI EN 16194 ossia in funzione della tipologia di impiego (evento, cantiere, industria), del numero di persone che partecipano all'evento, della durata dell'evento stesso (fino a 6 ore o fino a 12 ore) e dal fatto se vengano servite o meno bevande alcoliche. Si ottiene quindi che la dotazione minima richiesta è di 125 bagni. La creazione dei servizi nel modello è indicata nel paragrafo n° 4.1.5.

L'assegnazione dei diversi *behaviors* è effettuata tramite percentuali ai singoli settori. Si è deciso di impostare al 85% il comportamento più realistico ossia il dirigersi direttamente alle uscite mentre il restante 15% è suddiviso equamente tra gli spettatori che si dirigono al bar, tra quelli che vanno ai servizi igienici e chi va allo stand.

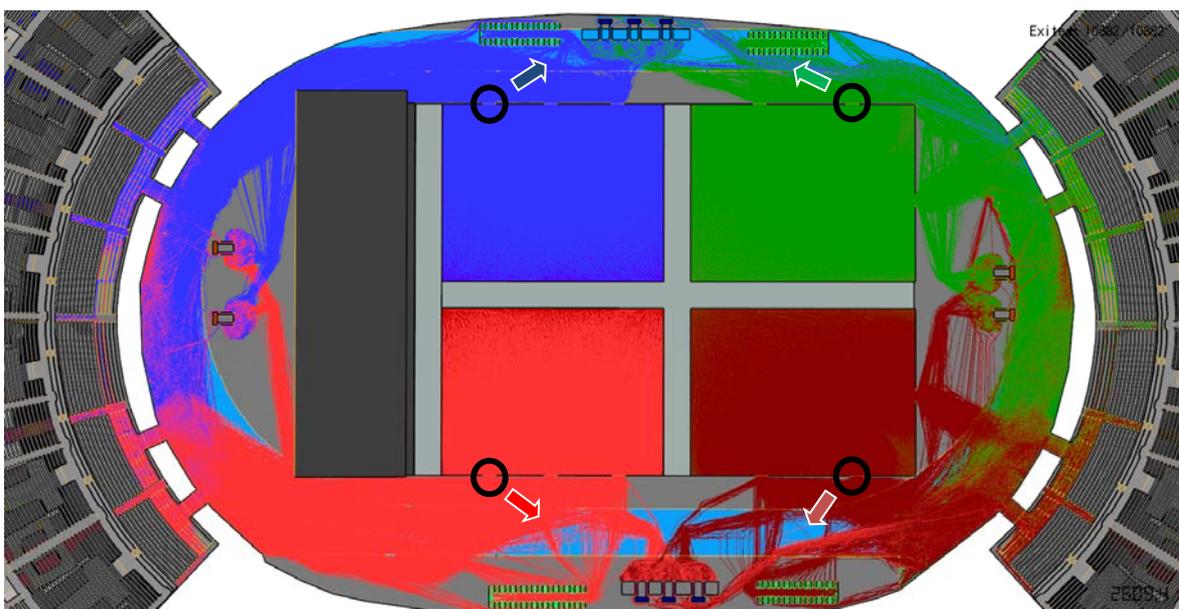


Figura 76: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Dalla rappresentazione dei *paths* in figura n°76 si nota come rispetto alla precedente simulazione, vi sia l'aggiunta di un elevato numero di percorsi e si potrebbe pensare che gli spettatori che si dirigono verso i servizi e che sfruttano le uscite indicate in figura possano creare forti interazioni con il flusso in uscita.

In realtà analizzando il momento di maggior interazione tra i flussi tramite i LOS *Queuing* si nota come il LOS più gravoso sia pari a "D" per un brevissimo lasso di tempo. Si può quindi dire che il flusso degli spettatori che usufruisce dei servizi non interferisca in modo particolare con il flusso degli spettatori in uscita.

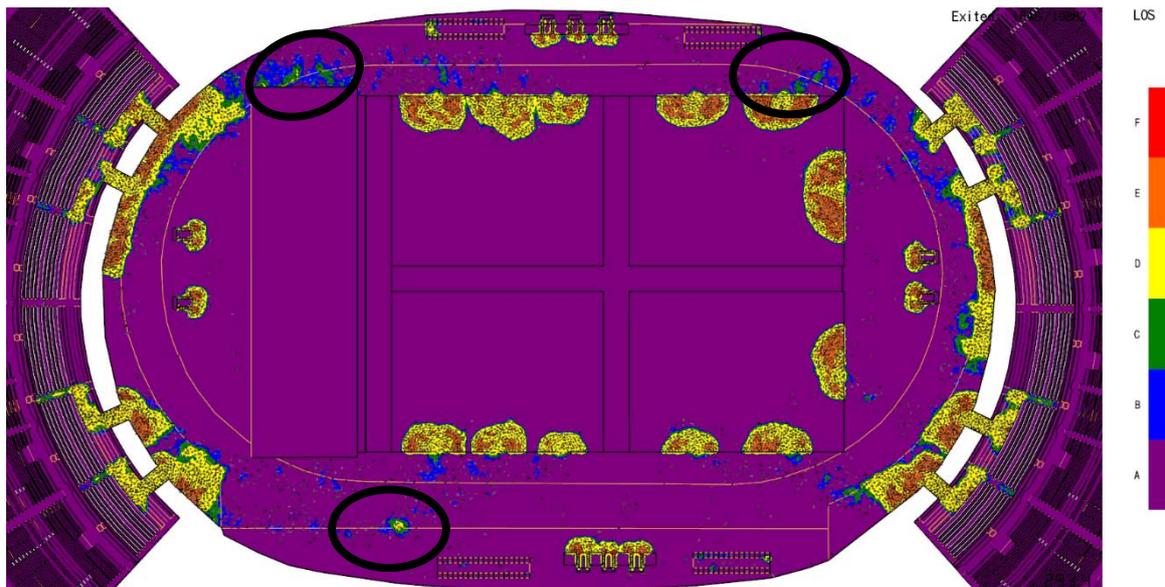


Figura 77: LOS Queuing nel momento di maggior interazione;

In realtà la presenza dei servizi è utile per il sistema di uscita infatti in questo modo un minor numero di spettatori si dirige direttamente alle passerelle metalliche in modo tale da creare un minor numero di interferenze tra spettatori in coda. Anche con questo accorgimento però il numero di spettatori in attesa di utilizzare le passerelle rimane comunque elevato come si evince dalla seguente immagine propendendo quindi a fare ulteriori nuove valutazioni utilizzando il secondo layout di uscita progettato.



Figura 78: Elevato numero di spettatori rimanenti nella curva B;

Si nota inoltre che raggiunti gli 877 s nella simulazione, non si presentano più code per percorrere le passerelle e come si vede dall'immagine seguente sono rimasti solo gli spettatori che usufruiscono dei servizi.

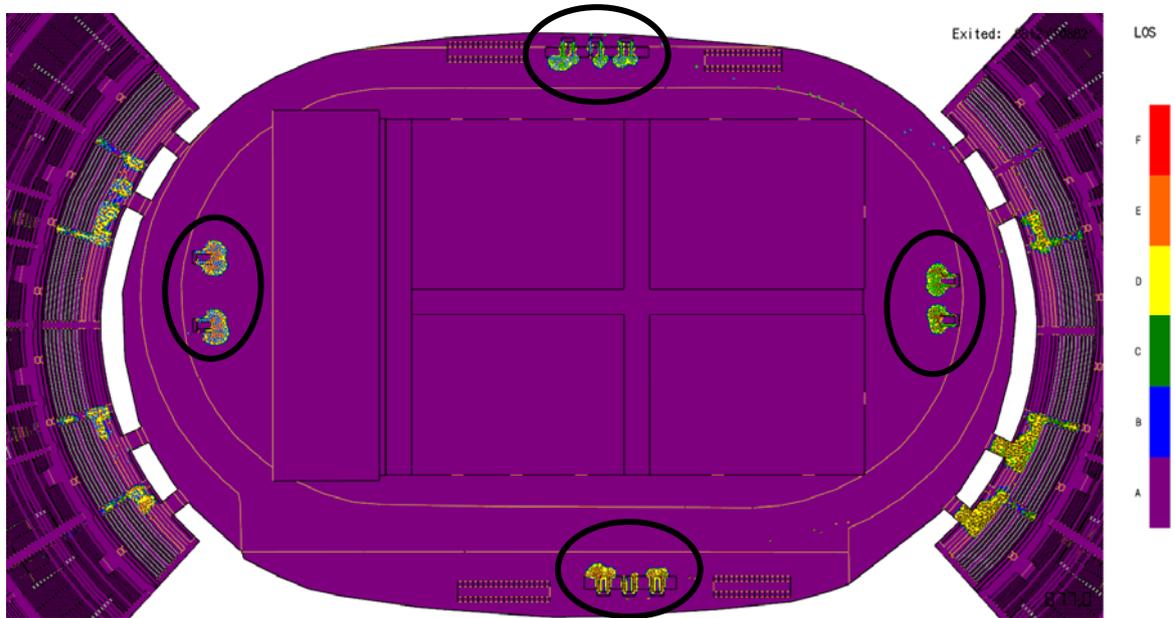


Figura 79: Spettatori rimasti a 877 s;

Dal momento in cui escono gli spettatori che a 877 s sono nelle due curve, la frequenza con cui escono ulteriori spettatori è comandata dalle tempistiche impostate nei diversi *behaviors*. Dal grafico successivo infatti si percepisce l'influenza che i servizi hanno sul tempo di uscita degli ultimi spettatori.

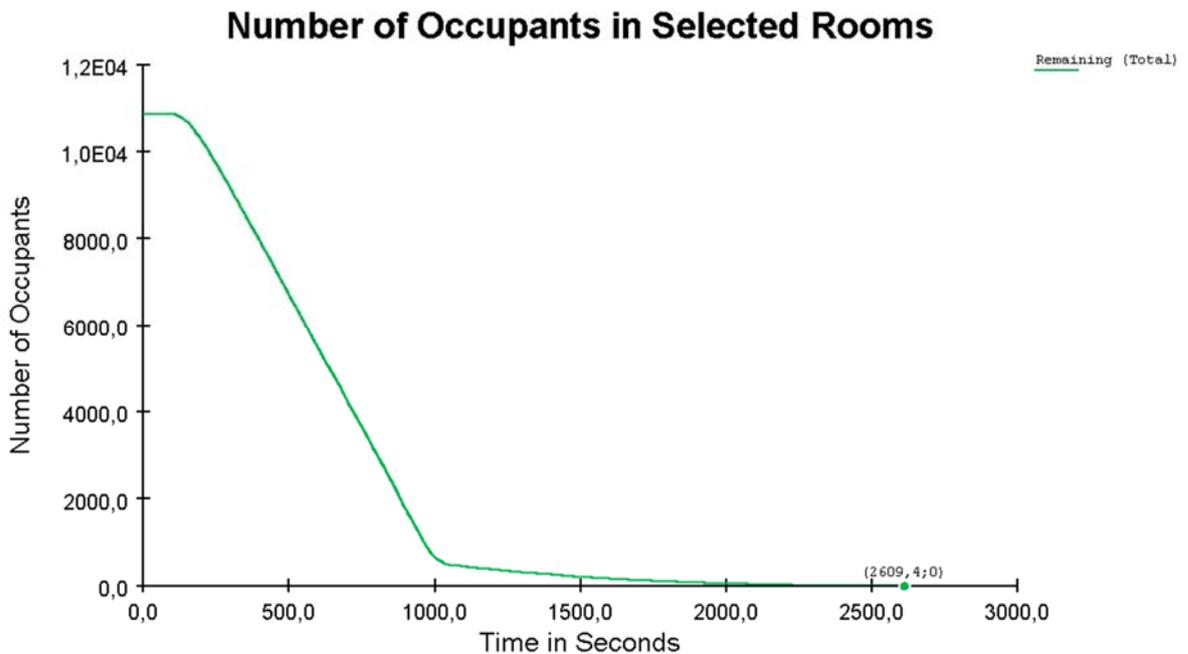


Figura 80: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.4 Uscita ordinaria senza stand e senza limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva

Le valutazioni svolte sullo stadio con la conformazione con 7 passerelle per curva rappresentano una soluzione alternativa per diminuire i problemi riscontrati dal primo gruppo di simulazioni.

Il progetto del secondo layout di uscita comprende l'installazione di 7 passerelle metalliche per curva dove 6 hanno larghezza 1,50 m ed una 1,20 m; la larghezza è funzione delle dimensioni delle scale di smistamento a cui sono collegate in asse. Si sottolinea come la sommatoria delle larghezze di tutte e 7 le passerelle (10,2 m) sia comunque inferiore alla larghezza dei varchi data dalle 4 passerelle da 3,30m (13,2 m).

Come indicato nel paragrafo n°4.3 il procedimento con cui è svolto questo secondo gruppo di simulazioni è conforme a quello utilizzato per il primo in modo tale da poter fare confronti diretti. Inizialmente quindi si valuta il flusso degli spettatori liberi di scegliere tra tutte le possibili uscite, senza l'imposizione di determinati comportamenti.

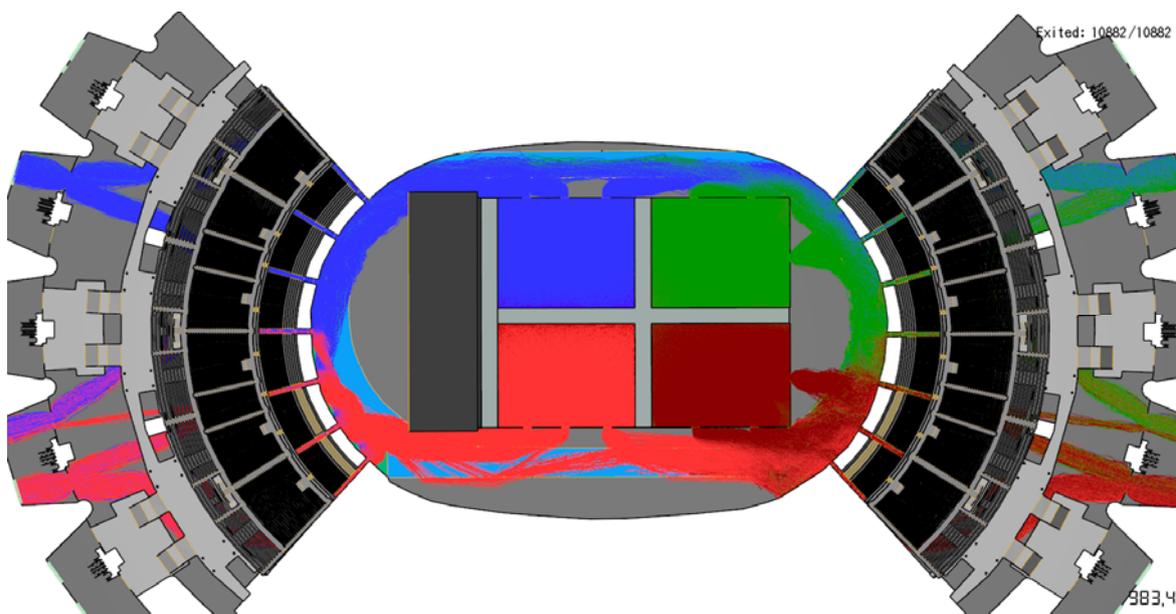


Figura 81: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Si nota come chiaramente atteso, il percorso degli spettatori sia lo stesso eseguito nella simulazione con 4 passerelle nel paragrafo n° 4.3.1 ma come l'ultimo spettatore che utilizza una passerella nella curva B avvenga a 615 s rispetto a 705 s e come a quell'istante il numero di spettatori che attendono di uscire dalla curva A sia inferiore rispetto alla correlata simulazione.

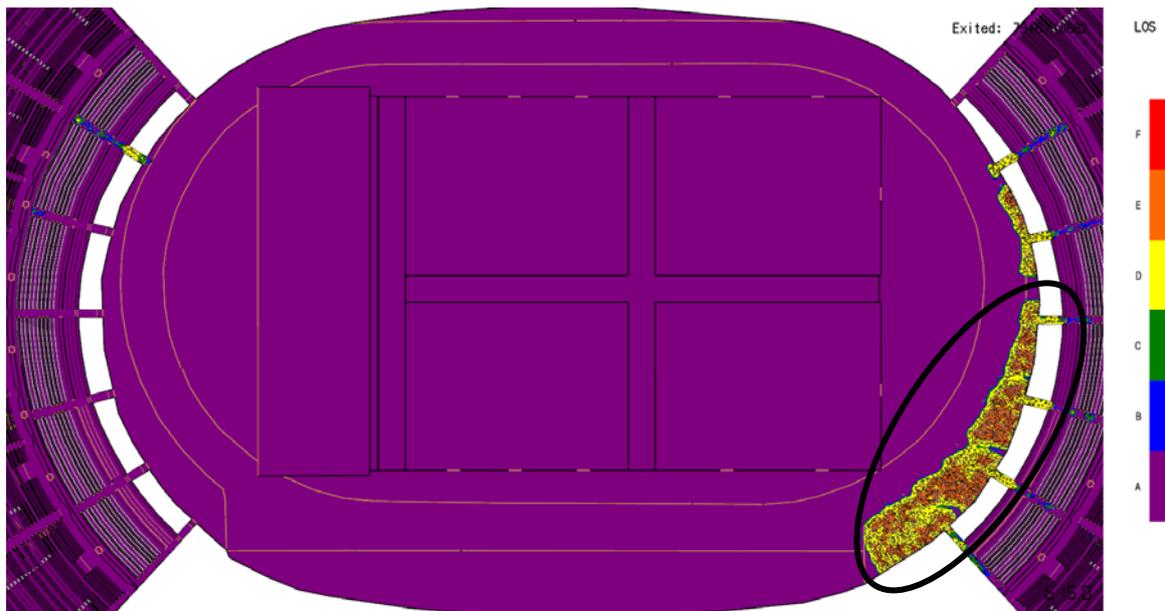


Figura 82: Spettatori rimanenti che utilizzano le passerelle della curva A e LOS Queuing;

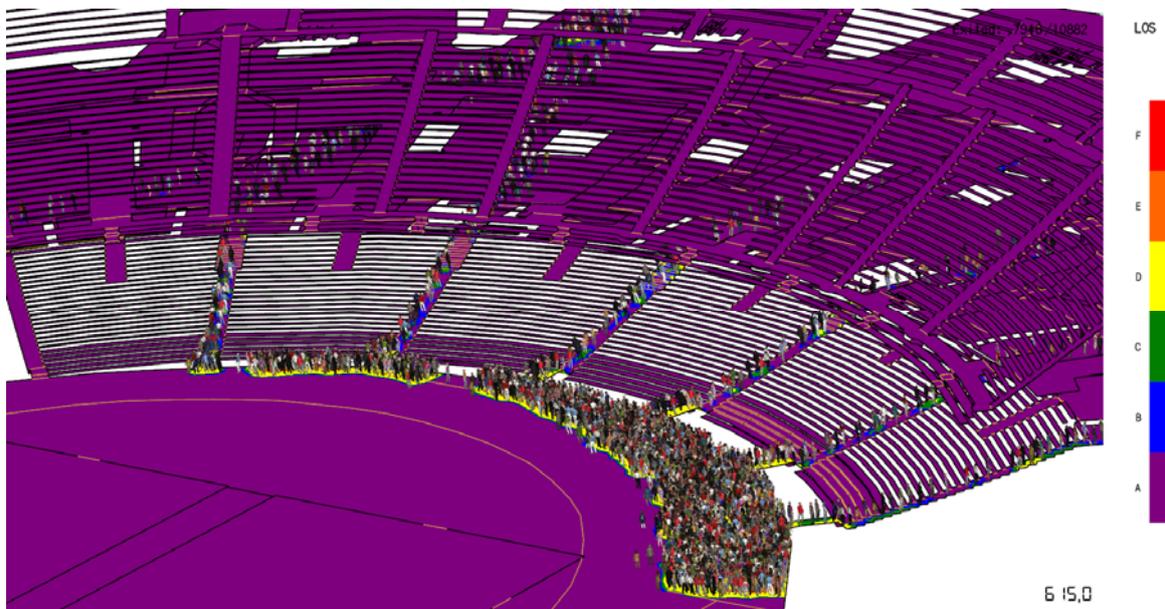


Figura 83: Spettatori rimanenti che utilizzano le passerelle della curva A con vista realistica;

Dalla simulazione si individua che l'ultimo spettatore che raggiunge l'uscita appartiene al settore numero 4. Si sottolinea inoltre che anche se vi è il forte squilibrio nell'utilizzo delle due curve, si presenti comunque già una notevole diminuzione nel tempo di uscita degli spettatori da 1.285 s (21 min) a 983 s (16 min). Inoltre, il tempo appena ricavato è minore anche di quello della simulazione con 4 passerelle con il sistema di uscita ottimizzato che possiede un tempo di uscita pari a 1.094 s (18 min).

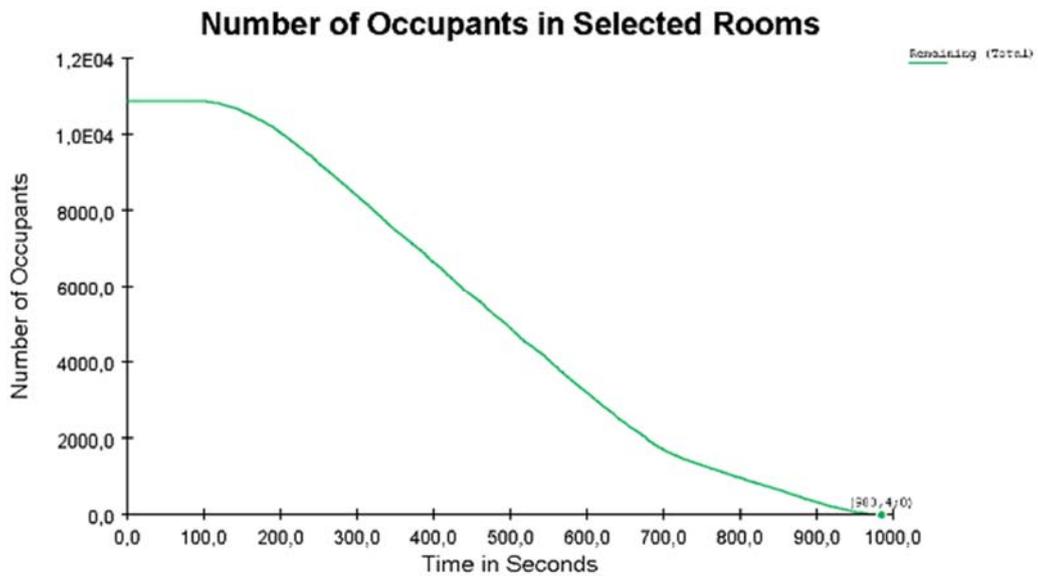


Figura 84: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.5 Uscita ordinaria senza stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva

Anche in questo caso l'ottimizzazione del sistema di uscita è svolta correggendo lo squilibrio che si presenta nell'utilizzo delle due curve nella precedente simulazione. Agli spettatori del primo settore e del terzo si imposta il *behavior* di uscire da una qualsiasi uscita della curva B mentre al secondo settore e al quarto si assegnano le uscite della curva A.

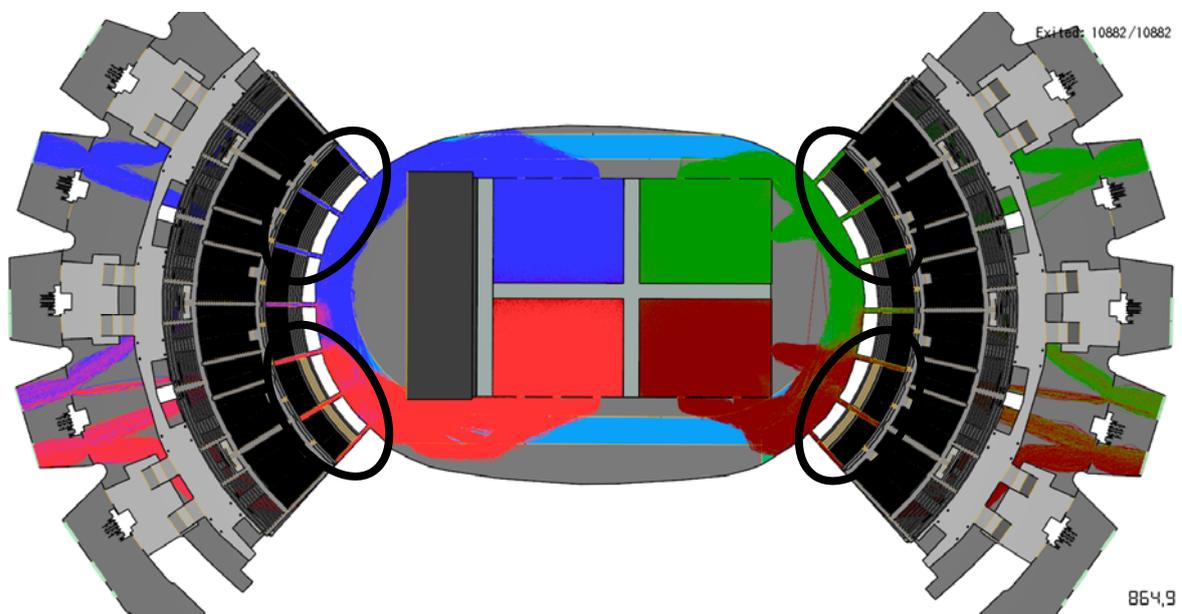


Figura 85: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Dalla rappresentazione dei *paths* si nota come per ogni curva 3 passerelle siano destinate ad un solo flusso proveniente da un unico settore mentre quella centrale è condivisa tra due settori. In questo modo pochi spettatori sono costretti a dirigersi alle uscite più lontane.

Nel momento in cui l'ultimo spettatore esce da un settore del parterre si nota come il pubblico in coda per utilizzare una passerella sia in quantità minore rispetto alle code che si creano nella simulazione corrispettiva indicata nel paragrafo n° 4.3.2. Questo aspetto si può notare dal fatto che in questa simulazione le aree caratterizzate da un LOS *Queuing* "D" siano in quantità maggiori ad indicare che vi è più spazio tra le persone in coda. È chiaro che siano ancora presenti zone con LOS "E" poiché la scelta di progettare 7 passerelle di larghezza ridotta è a favore degli spettatori che le stanno percorrendo per collegarsi alla successiva scala di smistamento ma è a sfavore degli spettatori presenti ancora nel parterre poiché i varchi sono più stretti. Questa preferenza è sostenuta anche dal fatto che in questo modo è stato eliminato il fenomeno del "collo di bottiglia" che si presentava nel collegamento con le scale e che le aree in cui le persone sono ora in coda possiedono dimensioni maggiori e caratteristiche meno pericolose rispetto a quelle presenti sui gradoni.



Figura 86: Spettatori rimanenti in attesa di utilizzare le passerelle e zone ottimali quando i settori sono vuoti;

Anche in questa situazione la posizione delle zone ottimali in cui collocare gli stands per la vendita del merchandising del concerto è la stessa individuata dalle precedenti simulazioni poiché il flusso tende ancora a disporsi in modo parallelo alle curve.

Come si nota dall'immagine successiva anche il LOS *Stairs* delle scale di smistamento raggiunge al massimo il livello "D"; nell'immagine non si deve valutare il LOS degli spettatori in coda poiché si sta visualizzando i livelli dei LOS riferiti soltanto alle scale che sono diverse rispetto a quelli utilizzati per valutare il pubblico in coda come indicato nel paragrafo n° 4.1.7.

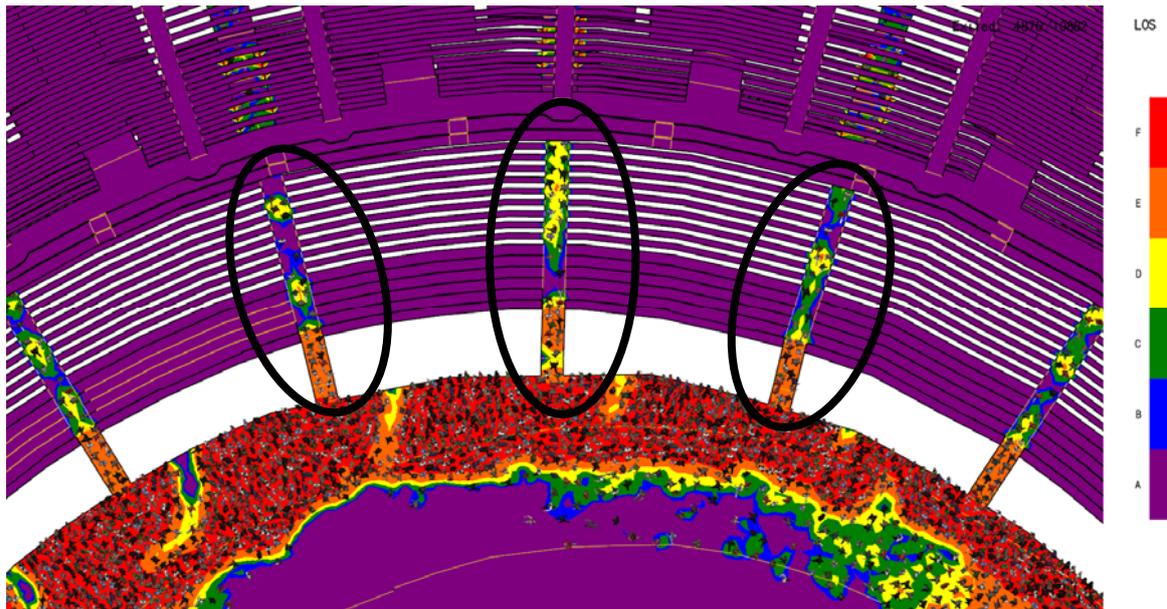


Figura 87: LOS stairs delle scale di smistamento della curva B;

L'ottimizzazione del sistema d'uscita è stata confermata dal fatto che anche in questo caso il tempo di uscita dell'ultimo spettatore è diminuito. L'ultimo spettatore proviene dal terzo settore e raggiunge l'uscita in 865 s (14 min) rispetto ai 16 min del sistema non ottimizzato.

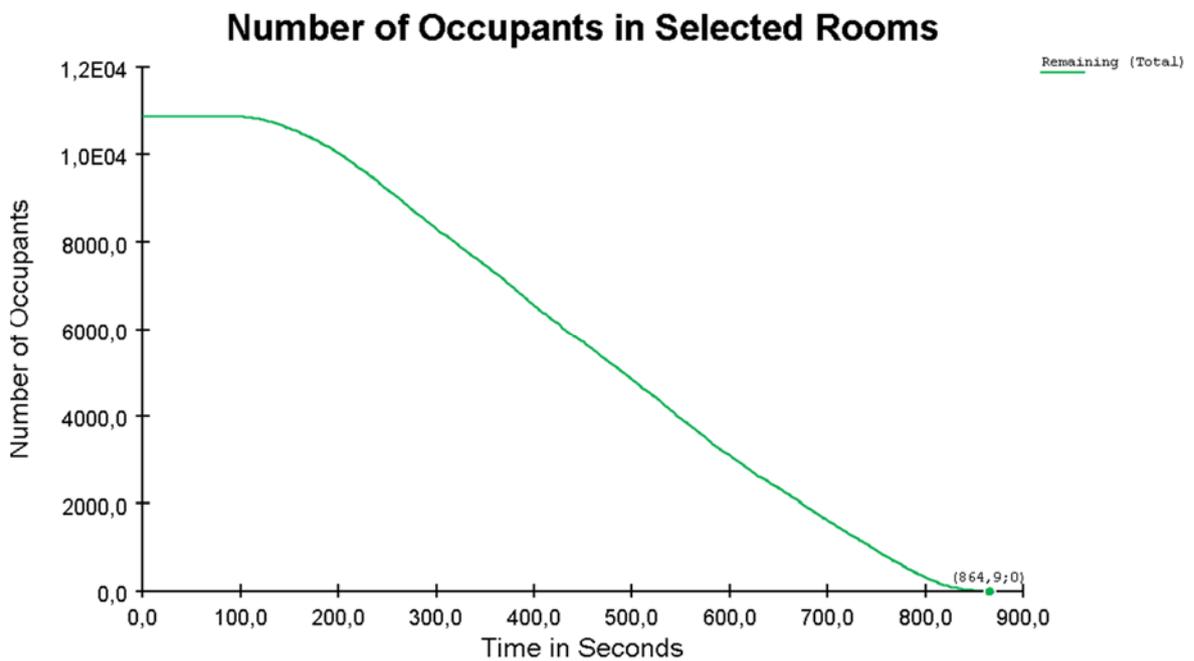


Figura 88: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.6 Uscita ordinaria con stand e con limitazioni alla scelta tra le 7 possibili uscite per curva

La simulazione riprende il numero e la posizione dei servizi presentati nel paragrafo n° 4.3.3. Anche i *behaviors* con le rispettive percentuali sono le stesse in modo tale da poter fare un confronto diretto tra la simulazione con 7 passerelle e quella con 4.

È chiaro che tra le due simulazioni la parte che è differente è quella nelle zone in corrispondenza delle passerelle mentre l'interazione dei flussi che avviene subito dopo le uscite dei singoli settori è la stessa poiché è solo funzione della posizione di partenza degli spettatori e dei *behaviors* impostati. Le valutazioni fatte sui flussi nel paragrafo n° 4.3.3 hanno validità quindi anche per questa simulazione. Si nota infatti come anche i percorsi verso i servizi siano gli stessi della corrispondente simulazione.

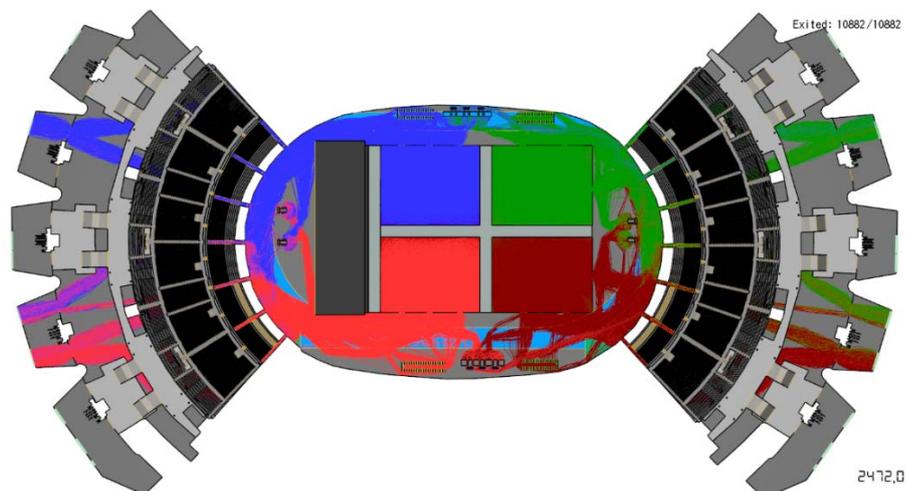


Figura 89: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori;

Si evidenzia inoltre come anche in questo caso, analizzando il momento in cui vi è una maggiore interazione tra il flusso in uscita e quello che usufruisce dei servizi si raggiunge un livello di *LOS Queuing* pari a "D" per breve tempo e in limitate aree.

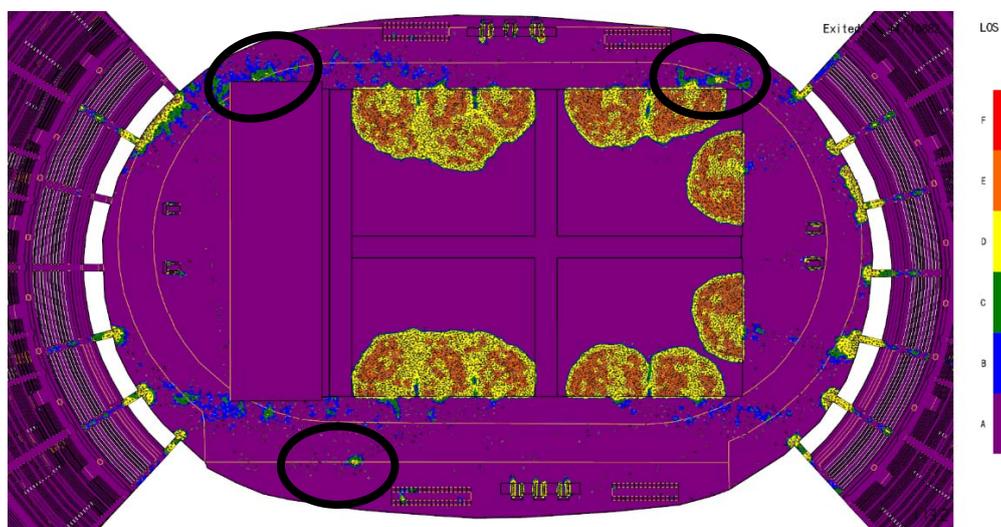


Figura 90: LOS Queuing nel momento di maggior interazione;

Anche se nella figura n°90 vi sono ancora molti spettatori nei diversi settori, le successive interferenze tra flussi possiedono un LOS *Queuing* "B" e "C".

A differenza della simulazione con 4 passerelle, si nota come bastino 695 s per non avere più code all'entrata delle passerelle rispetto ai 877 s ossia 3 min in meno. Anche in questo caso da questo momento in poi sono rimasti solo gli spettatori che usufruiscono dei servizi e quindi la loro uscita è cadenzata dagli intervalli di tempo impostati per i singoli servizi.

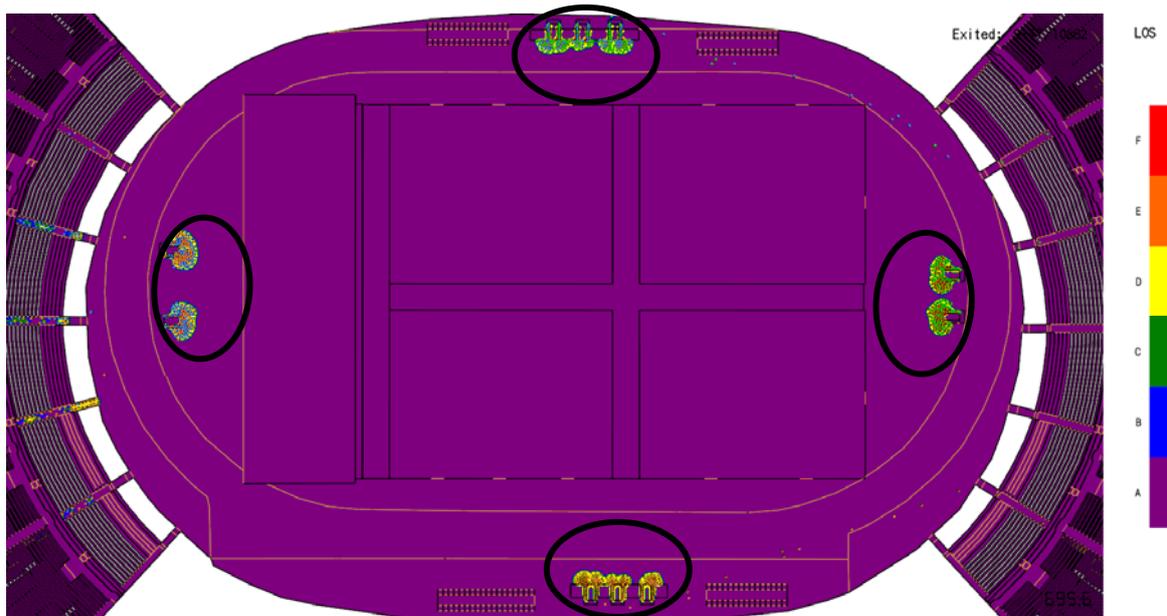


Figura 91: Spettatori rimasti a 695 s;

In questo caso considerando il minor tempo richiesto per uscire agli spettatori, vi è ancora una più marcata differenza nella curva dell'andamento dell'uscita delle persone.

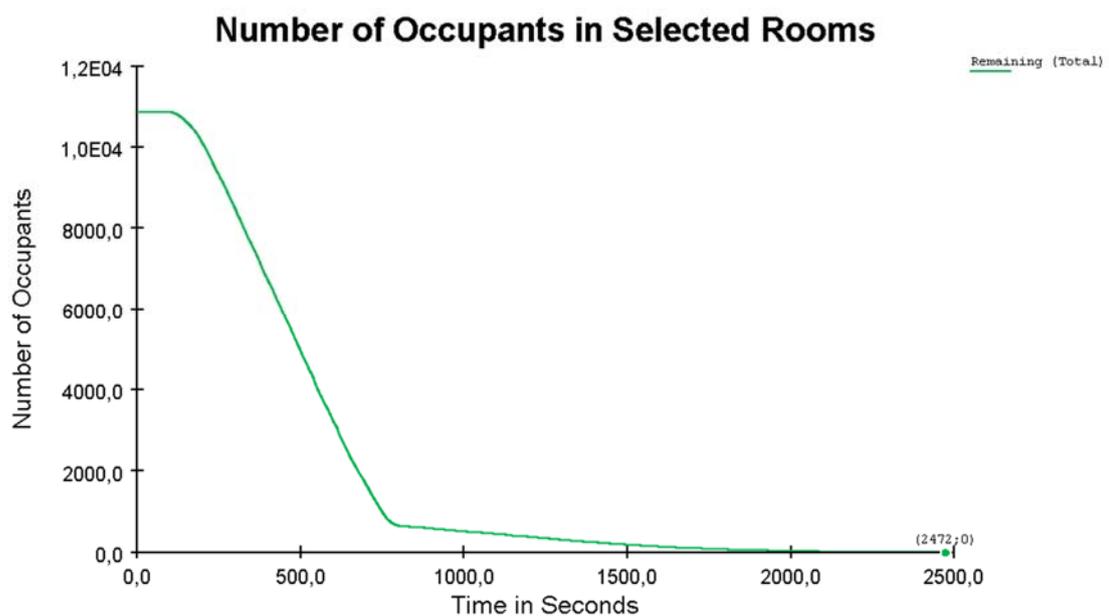


Figura 92: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.7 Uscita in caso di emergenza utilizzando 7 uscite per curva

Fino ad ora le simulazioni presentate hanno analizzato le situazioni che si svolgono in condizioni ordinarie; ora si valuta l'uscita degli spettatori in caso di emergenza. È una valutazione importante da fare perché a differenza della configurazione per l'evento sportivo, in questo caso vi sono specifiche uscite e spazi dedicati soltanto ai casi di emergenza. La Circolare M.I. del 18 Luglio 2018 impone infatti l'utilizzo degli spazi liberi tra i diversi settori con un varco ogni 10 m. La simulazione è fatta per analizzare se vi sono cambiamenti nei flussi rispetto ad un'uscita in condizioni ordinarie e cosa comporta l'inserimento degli specifici spazi liberi nel sistema d'esodo.

L'utilizzo degli spazi liberi crea nuovi varchi da cui passa un nuovo flusso di spettatori che si congiunge a quello delle precedenti simulazioni; inoltre in caso di emergenza le uscite da un singolo settore non sono più 3 ma diventano 10 considerando i varchi nella delimitazione tra il settore stesso e gli spazi liberi.

La pianificazione dell'esodo è già fatta valutando l'ottimizzazione del sistema ossia destinando le uscite poste in una curva a 2 singoli settori. La precisa indicazione è messa in pratica nella realtà da una determinata segnaletica collocata in posti strategici per essere subito vista dagli spettatori in fuga. Si sottolinea inoltre come sia la stessa Circolare a dire che i varchi nella delimitazione con gli spazi liberi debbano essere presidiati fornendo così aiuto all'esodo.

Come si vede dalla rappresentazione dei *paths* l'area del parterre si presenta con un maggior numero di percorsi e varchi da cui giungono nuovi flussi.

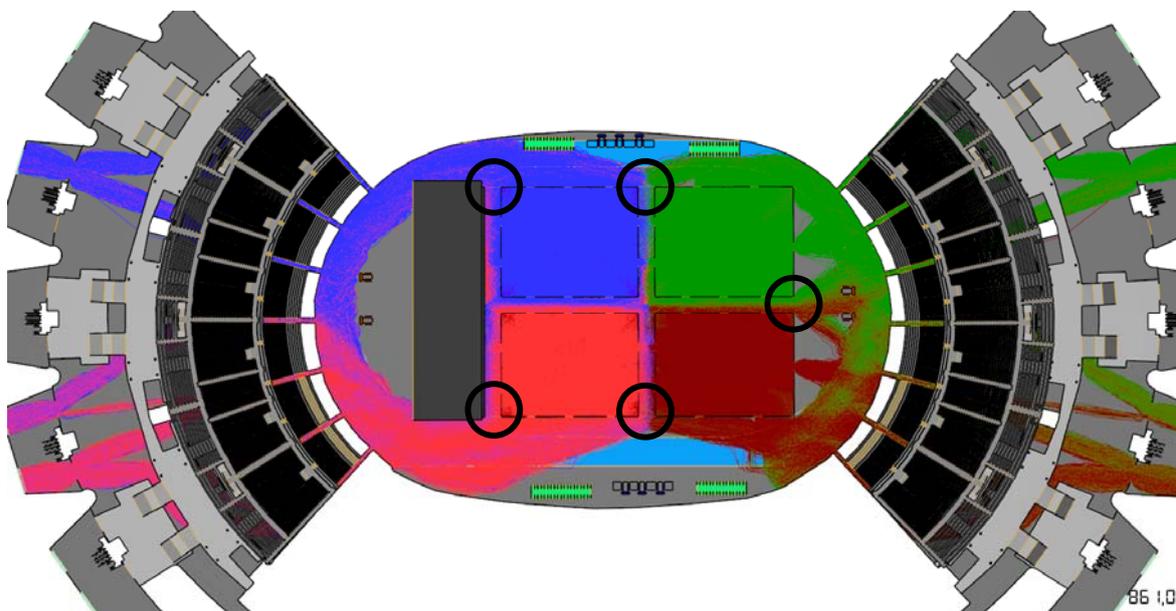


Figura 93: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori in caso di emergenza;

Da quanto mostrato quindi l'utilizzo degli spazi liberi crea interferenze con il flusso già presente in condizioni normali poiché il pubblico esce dai settori con tempistiche inferiori

umentando così il flusso che si dirige verso le passerelle. Si nota infatti come nelle aree di interazione tra i flussi si raggiunga un valore di LOS *Queuing* di livello "D". Il livello è lo stesso che si raggiungeva nell'interazione tra il flusso degli spettatori in uscita e quello dei servizi (simulazione del paragrafo n° 4.3.6) solo che ora si presenta in zone molto più vaste e per tempi più lunghi. Il livello "D" è anche il LOS che caratterizza gli spazi liberi poiché vi adducono due settori differenti.

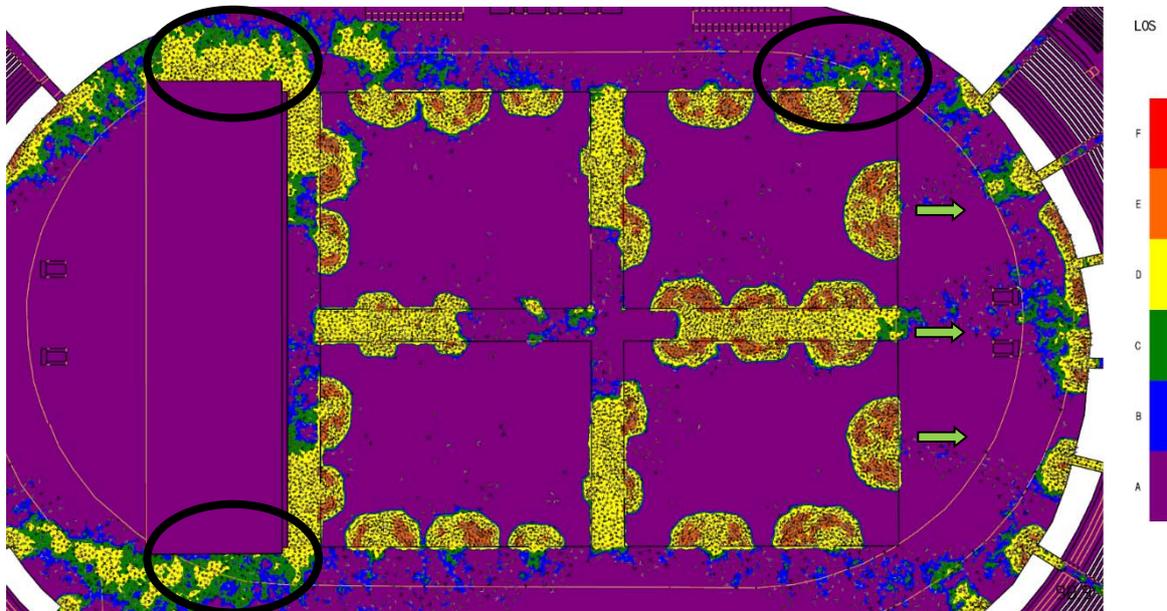


Figura 94: LOS Queuing degli spettatori in uscita dai settori in caso di emergenza;

Si nota però come l'interferenza sia causata soprattutto dal nuovo flusso che giunge dal varco creato dallo spazio libero tra il settore 1 e 3 con il palco. Infatti, considerando che la larghezza dei percorsi di fuga è vincolata dalla larghezza della pista d'atletica e quindi uguale per tutti i settori, in corrispondenza dei settori 2-4 si presentano poche aree con LOS *Queuing* "D". Inoltre, un altro elemento importante è che a differenza dei settori a sinistra, i settori a destra creano 3 flussi paralleli che si dirigono direttamente alle uscite. Questo aspetto è causato dalla posizione di quei 3 varchi che non presentano ostacoli tra loro e le passerelle. Il momento più critico per il settore 2 si presenta quando si crea la coda nella prima passerella così da cominciare ad interferire con il flusso che si dirige verso tale curva. In questo momento si raggiunge comunque solo il LOS *Queuing* "D".

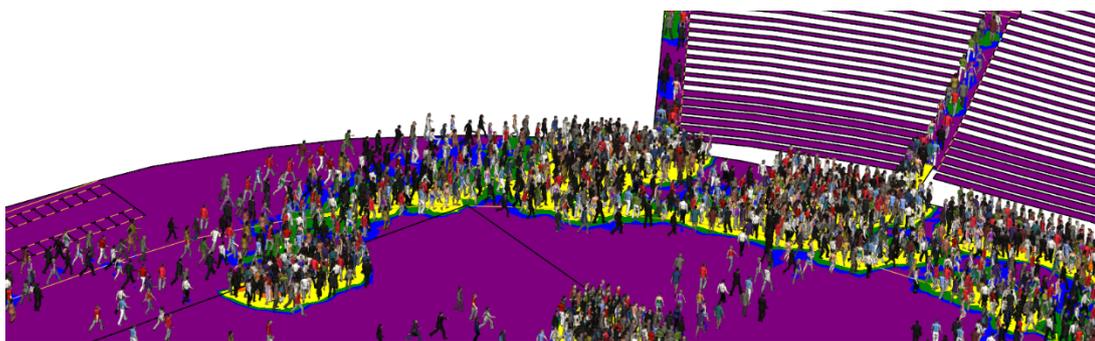


Figura 95: Situazione gravosa per la curva A con LOS Queuing;

Con la configurazione per l'emergenza tutti e 4 i settori si svuotano a 270 s rispetto ai 480 s richiesti per la simulazione in condizioni ordinarie. Questa velocità di uscita aumenta il flusso che si dirige verso le passerelle e come si vede dall'immagine successiva il livello di LOS Queuing "D" si propaga anche ai lati del palco e non solo sotto la curva come accade nelle precedenti simulazioni.

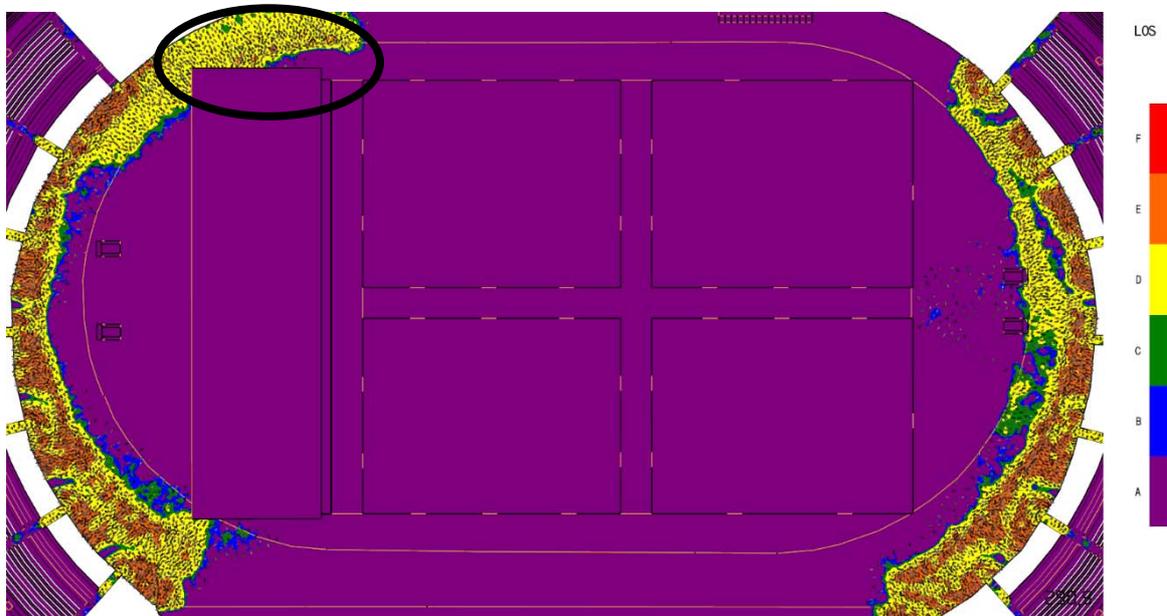


Figura 96: LOS Queuing del momento in cui l'ultimo spettatore esce dai settori;

Si nota però come le aree con LOS "E" siano per lo più nelle zone in cui era già presente nella simulazione indicata nel paragrafo n° 4.3.5 ossia quando tutti gli spettatori si dirigevano verso le curve senza usufruire dei servizi (figura n°86.)

Grazie al sistema di esodo con 7 passerelle, il LOS Stairs delle scale di smistamento raggiunge il livello "E" per limitati istanti e aree; le passerelle non si considerano poiché sono da valutare con il LOS Queuing.

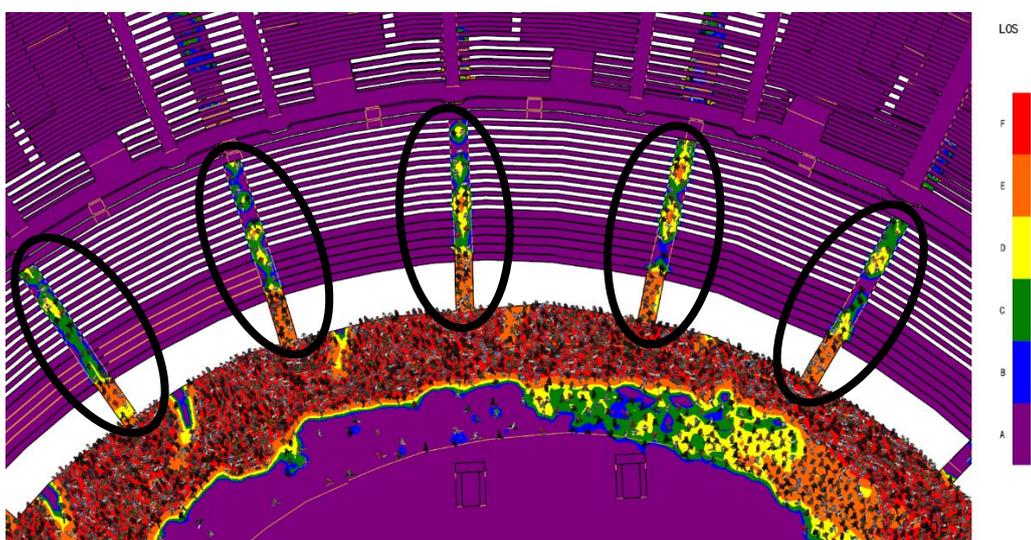


Figura 97: LOS Stairs delle scale di smistamento con il livello più gravoso;

Grazie a questa conformazione il sistema riesce comunque a smaltire l'elevato numero di spettatori senza creare la presenza di aree con LOS gravosi che potrebbero portare ad incidenti e fenomeni di panico. L'ultimo spettatore esce a 861 s ossia 14 min.

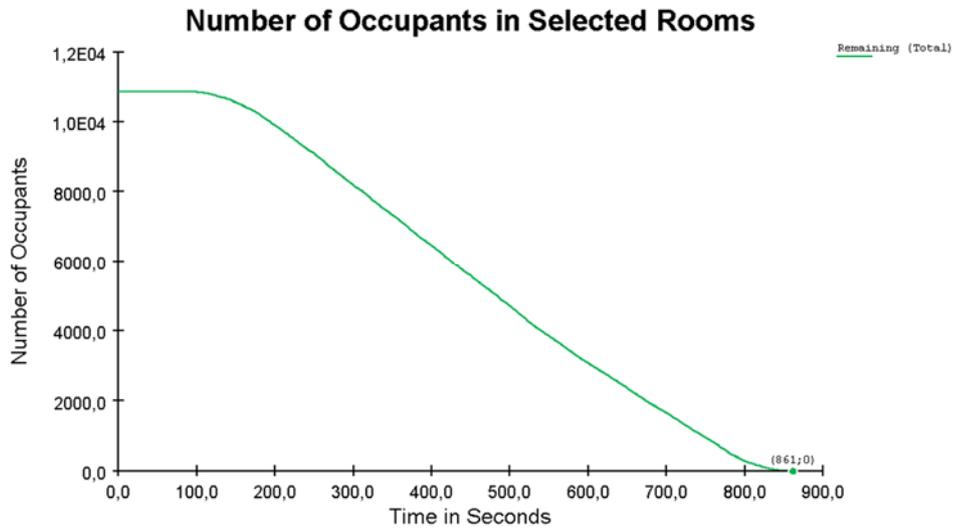


Figura 98: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

#### 4.3.8 Uscita in caso di emergenza utilizzando 4 uscite per curva

La valutazione del sistema d'esodo in condizioni di emergenza è stata chiaramente effettuata anche analizzando la conformazione dello stadio con l'utilizzo di 4 passerelle in modo tale da poter fare un confronto definitivo tra i due layout progettati.

Una chiara indicazione è già data dalla rappresentazione dei *paths*. Come si nota nella figura sottostante infatti davanti alle curve vi sono elevate zone con variazione di colore.

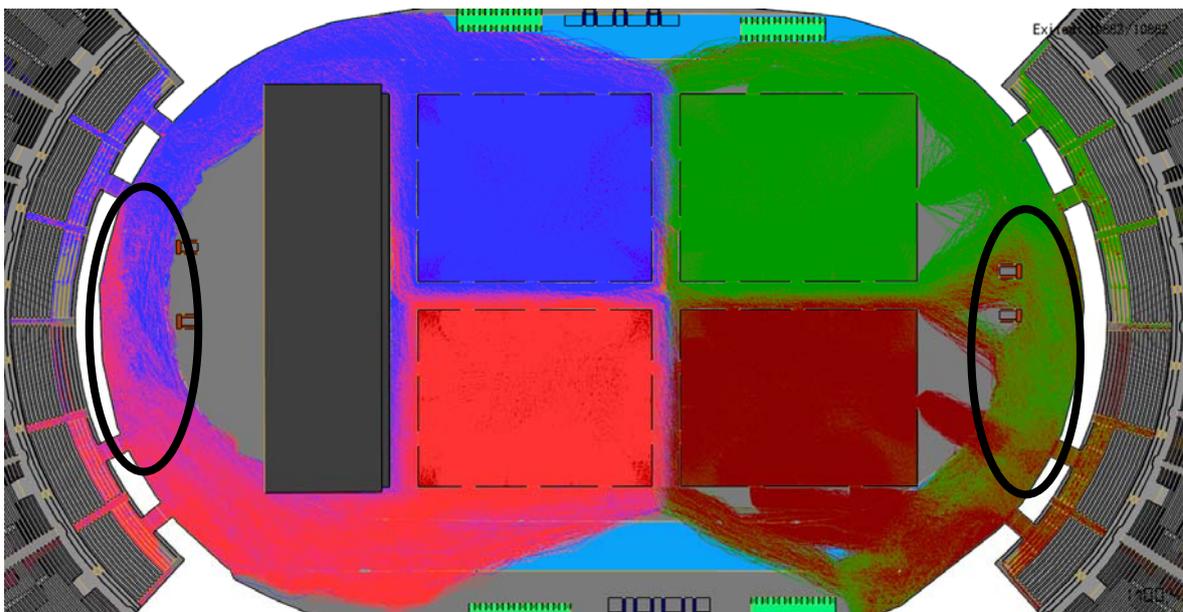


Figura 99: Rappresentazione dei percorsi degli spettatori in uscita dai diversi settori in caso di emergenza;

Se nella simulazione precedente questa variazione era causata maggiormente dagli spettatori che uscendo dagli spazi liberi si dirigevano verso le uscite più vicine, ora valutando i paths tramite il video di simulazione si nota come questi percorsi siano effettuati dagli spettatori che abbandonano la coda dell'uscita più vicina per dirigersi a quelle più lontane e questo cambiamento è effettuato molte volte.

Si nota inoltre come già nel momento in cui l'ultimo spettatore esce dai 4 settori, vi sia un numero maggiore di zone caratterizzate con il LOS *Queuing* "E" sia in concomitanza con varchi degli spazi liberi e sia sotto la curva A.

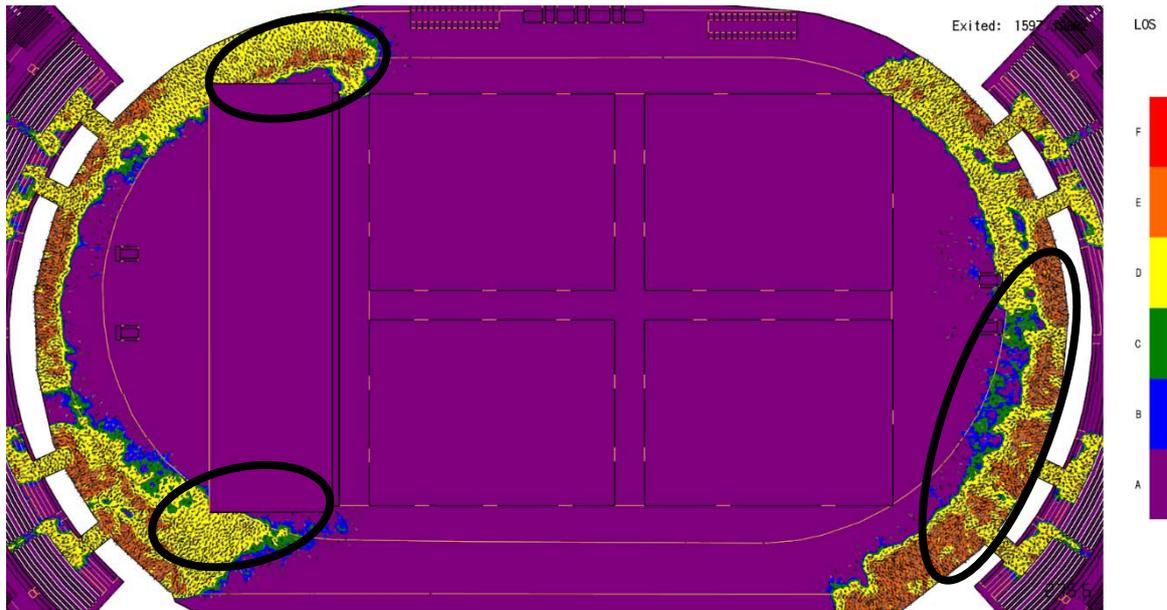


Figura 100: LOS Queuing del momento in cui l'ultimo spettatore esce dai settori;

Nell'istante della figura n°100, sotto la curva B vi è un minor numero di zone con livello "E", causato dalla coda che si presenta davanti alla passerella dove giunge il flusso del settore 3 caratterizzata col livello "D". Proseguendo nella simulazione infatti, gli spettatori che sono in quella coda decidono di dirigersi verso le altre uscite aggravando così il livello del LOS *Queuing* come rappresentato nell'immagine sottostante.

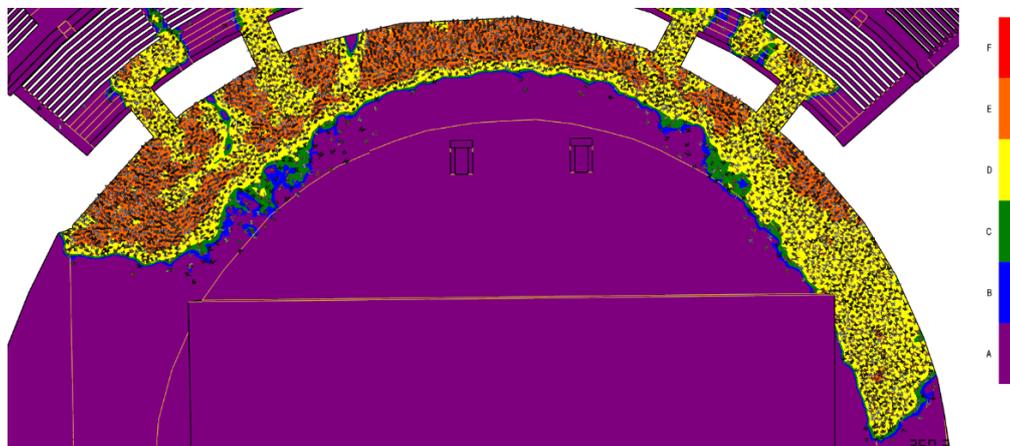


Figura 101: LOS Queuing del momento più gravoso per la curva B;

Chiaramente nelle curve si riscontrano i problemi già individuati nel primo gruppo di simulazioni ossia l'elevata densità di persone sui gradoni e la presenza del fenomeno del "collo di bottiglia" all'imbocco delle scale di smistamento.

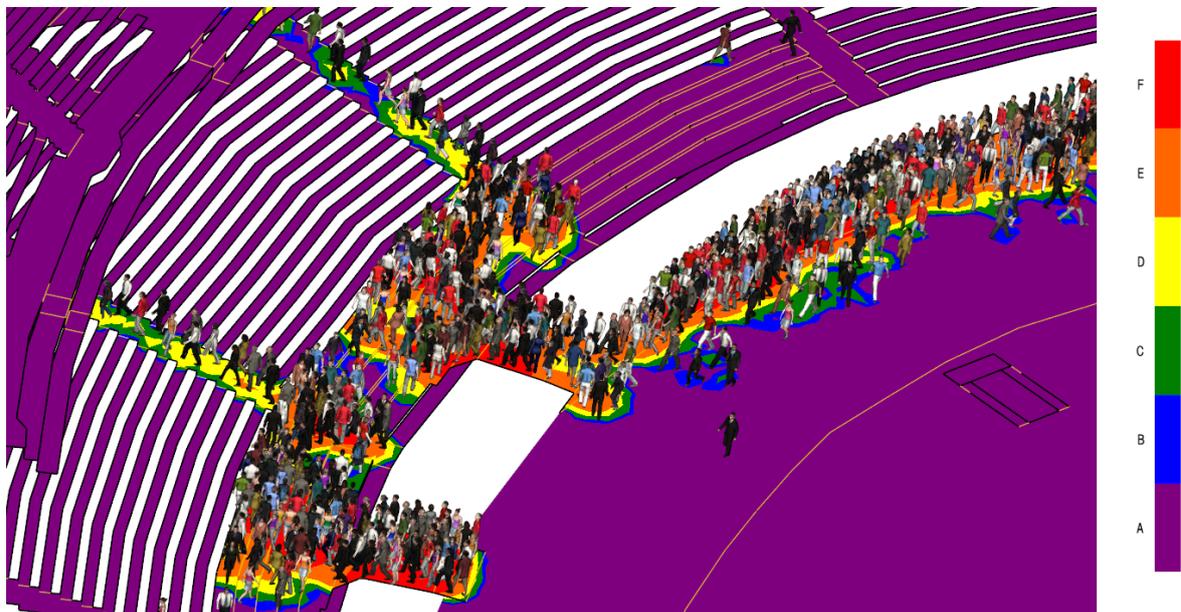


Figura 102: Momento critico della curva A e rappresentazione del fenomeno "collo di bottiglia";

Tutti questi fattori negativi individuati si riscontrano anche nella valutazione del tempo di uscita totale. Infatti, anche se il sistema di esodo ha le procedure utilizzate per ottimizzarlo, il tempo di raggiungimento delle uscite da parte dell'ultimo spettatore è di 1.100 s (18 min). Si nota infatti come questo valore sia pari a quello ricavato dalla simulazione dell'uscita in condizioni ordinarie e possieda un elevato numero di zone in cui vi può essere l'insorgere di problematiche con successivi fenomeni di panico.

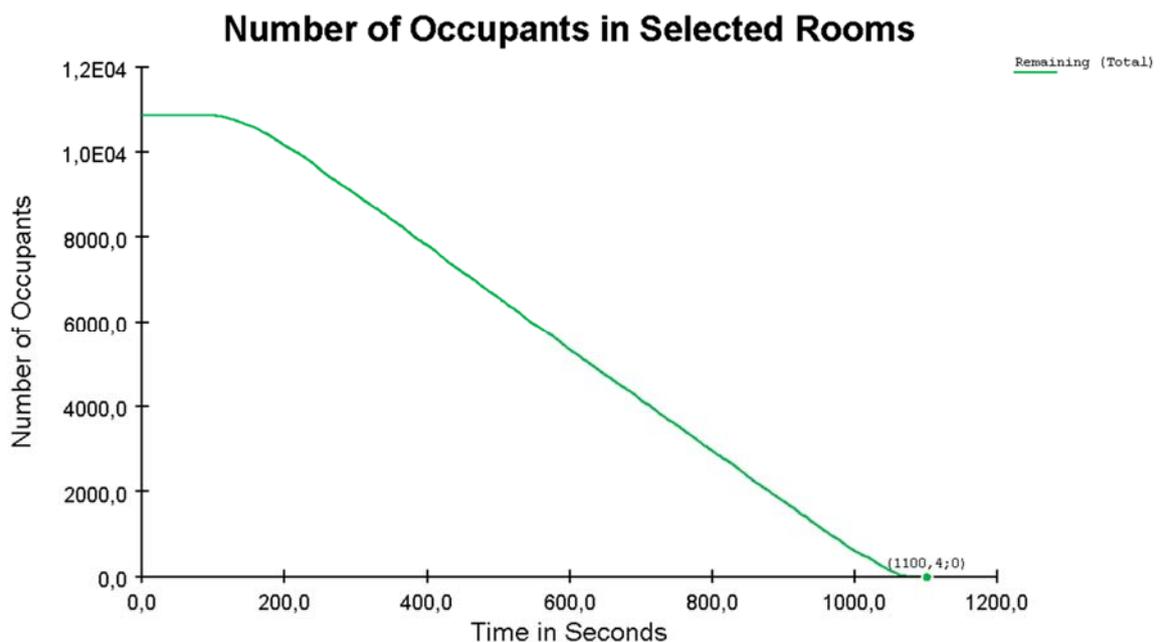


Figura 103: Andamento degli spettatori in uscita nel tempo;

## 5. Valutazione dei risultati delle simulazioni

Le simulazioni appena descritte rappresentano un possibile strumento per analizzare i flussi nello stadio San Paolo nelle diverse configurazioni di utilizzo in modo tale da poter valutare la flessibilità d'uso dell'impianto.

Le simulazioni sono state eseguite considerando sempre il massimo affollamento possibile in modo da eseguire valutazioni a favore di sicurezza ossia analizzando la situazione più gravosa. È necessario sottolineare però come soprattutto nella valutazione durante l'uscita dall'evento sportivo in condizioni ordinarie una certa percentuale di spettatori normalmente decide di uscire anticipatamente o comunque di avvicinarsi alle uscite per evitare code. Nelle simulazioni eseguite non è stato considerato questo aspetto ponendosi così ulteriormente a favore di sicurezza.

Dall'analisi sui flussi durante un evento sportivo si determina come i lavori di ristrutturazione e adeguamento svolti nel 2019 permettano una più rapida uscita dallo stadio. Questo risultato è dato soprattutto dalla minore interazione tra il flusso degli spettatori del secondo anello inferiore con quello dell'anello superiore. Come si è mostrato infatti, i tifosi del secondo anello superiore non sono più bloccati dai tifosi che utilizzano una delle 3 uscite poste al livello superiore permettendo così anche a loro di muoversi con tempistiche minori considerando che sono quelli che devono svolgere il tragitto più lungo per raggiungere un'uscita finale. È risultato inoltre che la scelta di rendere 4 scale di smistamento a senso unico non abbia gravato sui LOS *Queuing* del corridoio del secondo anello inferiore.

L'elemento fondamentale dei lavori infatti è stata la riduzione del numero degli spettatori della curva che anche se è stato ridotto soltanto di 847 spettatori nel livello superiore, insieme alle altre modifiche effettuate permette un utilizzo più funzionale dell'impianto.

Anche l'allargamento delle scale di smistamento del livello inferiore permette un più facile movimento ai tifosi ma soprattutto consente anche ai tifosi che presentano disabilità di avere postazioni personali adeguate così da poter godere anche loro dei benefici offerti dal settore. Infatti, come si è visto dalla correlata simulazione, anche durante l'intervallo i tifosi possono spostarsi, sfruttare in modo soddisfacente tutti i servizi presenti e tornare al proprio posto in tempo per il ricominciare della partita. In aggiunta, in entrambi gli anelli sono state individuate specifiche zone che possono essere sfruttate dal gestore per collocare ulteriori stands o cartelli pubblicitari poiché rappresentano zone con un maggior afflusso o zone in cui i tifosi sono in coda in attesa di sfruttare i servizi.

Il secondo gruppo di simulazioni permette inoltre di verificare le condizioni in cui si possono trovare gli spettatori presenti nel parterre durante un concerto. Come si è dimostrato, l'elemento essenziale è la progettazione di un sistema d'uscita consono alla conformazione dello stadio San Paolo. Si è dimostrato infatti che soddisfare soltanto le

condizioni indicate dalla Circolare M.I. 18 luglio 2018 senza considerare la reale forma dello stadio crea zone con elevata densità con possibile creazione di incidenti e fenomeni di panico. Per la sicurezza degli spettatori è necessario utilizzare il sistema d'uscita progettato come soluzione alternativa con una passerella metallica posta in asse ad ogni scala di smistamento. L'utilizzo di tale soluzione permette di sfruttare il parterre in modo tale da avere una capienza massima all'evento anche se significa porre il palco davanti ad una curva cioè limitare la larghezza dei percorsi di uscita che però rimangono di larghezza 8 m nel punto più stretto. Si dimostra quindi come sia garantita la condizione di *safety* per gli spettatori durante l'uscita.

Si è visto inoltre come sia a favore di sicurezza ottimizzare il sistema d'uscita destinando le uscite poste in una curva a due determinati settori. Sarà necessario quindi collocare segnaletica di tipo luminoso mantenuta sempre accesa, in luoghi strategici facili da riconoscere da parte degli spettatori. Si è dimostrato inoltre che vi sono aree destinabili agli stands del merchandising e come la presenza di tutti i servizi principali non creino sostanziali interferenze al flusso degli spettatori in uscita.

I risultati ottenuti dimostrano quindi come sia possibile agli spettatori usufruire dell'impianto in sicurezza sia durante un evento sportivo sia durante una manifestazione pubblica.

## 6. Conclusioni

Da questa tesi si può estrarre la metodologia utilizzata per la determinazione e per la valutazione delle simulazioni, per poterla utilizzare su altre strutture. Si sottolinea inoltre la duplice possibilità di analizzare sia ulteriori stadi con la configurazione per l'evento sportivo e per il concerto e sia manifestazioni pubbliche localizzate in aree differenti. L'analisi dei flussi degli spettatori nelle diverse configurazioni d'utilizzo dello stadio San Paolo di Napoli ha permesso di valutare positivamente la flessibilità d'uso dell'impianto ossia dimostrare come l'impianto possa ospitare un evento sportivo ma anche un concerto con determinati accorgimenti, garantendo una condizione di sicurezza agli utenti.

L'utilizzo di due modelli differenti per l'evento sportivo, uno con la conformazione data dai nuovi lavori di ristrutturazione e adeguamento del 2019 e l'altro con quella prima dei lavori, ha dimostrato come le modifiche effettuate abbiano diminuito il tempo di uscita degli spettatori, abbiano diminuito le interferenze tra il flusso degli spettatori del secondo anello inferiore con quello dell'anello superiore permettendo a quest'ultimi di non rimanere bloccati e di muoversi con tempistiche minori verso le uscite.

Le simulazioni hanno anche dimostrato che la presenza di spettatori disabili con postazioni personali adeguate non crea ostacoli al flusso degli spettatori senza disabilità così da rendere anche la curva un settore usufruibile da entrambe le tipologie.

L'analisi del flusso degli spettatori che utilizzano i servizi ha permesso inoltre di valutare la corretta e sufficiente collocazione dei punti di ristoro e servizi igienici presenti nella curva e valutare la presenza di zone ottimali per la collocazione di nuovi stands e cartelli pubblicitari. Questo aspetto diventa di notevole importanza per il gestore in modo tale da poter dargli la possibilità di massimizzare la redditività ottenuta dall'impianto.

Le simulazioni eseguite hanno messo in evidenza alcuni limiti del software utilizzato come ad esempio:

- L'impossibilità di mantenere gli spettatori fermi al proprio posto nella valutazione dell'intervallo durante un evento sportivo;
- I collegamenti tra i gradoni e le scale di smistamento non sempre vengono letti in modo opportuno bloccando il percorso degli *agents*;
- L'impossibilità di esportare il modello creato in altri programmi per un'ulteriore valutazione;
- L'impossibilità di tener conto della connessione tra un determinato gruppo di *agents* ossia definire un comportamento simile tra membri di uno stesso gruppo;
- L'impossibilità di copiare singoli elementi da un file all'altro.

È importante sottolineare come nella modellazione si presentino le seguenti criticità:

- La specificità del comportamento umano non basabile su concetti universalmente validi;
- L'effetto panico e lo stress con una conseguente reazione imprevedibile dell'utente che può variare dal rimanere fermi nel posto al seguire le altre persone senza una meta definita;
- Una raccolta di dati limitata per poter valutare tutte le differenti situazioni.

L'analisi eseguita sulla curva B può essere estesa a tutti gli altri settori in modo da valutare se la condizione di safety sia garantita anche per tutti i restanti spettatori. Ulteriori analisi che si possono eseguire anche sullo stadio San Paolo riguardano le condizioni di emergenza; infatti, la progettazione dell'esodo è anche funzione dell'emergenza da affrontare così da tener in considerazione ad esempio criticità come l'impossibilità di utilizzo di determinate aree, corridoi o scale di collegamento e valutare come varia il flusso in funzione degli ostacoli presenti.

La creazione di un modello BIM della struttura potrebbe inoltre permettere l'utilizzo dei nuovi strumenti della realtà virtuale che si presenta come il nuovo supporto per i progettisti per eseguire analisi qualitative ma anche come supporto per formazione del personale. La realtà virtuale potrebbe permettere al progettista un'esperienza immersiva nello scenario modellato così da valutare in prima persona interferenze tra flussi e la struttura o individuare la posizione più efficace per il collocamento della segnaletica.

## 7. Bibliografia e Sitografia

- 1) D.M. 18 marzo 1996 “Norme di sicurezza per la costruzione e l’esercizio degli impianti sportivi” coordinato con le modifiche e le integrazioni introdotte dal D.M. 6 giugno 2005;
- 2) Circolare del Ministero dell’Interno del 18 luglio 2018 “Modelli organizzativi e procedurali per garantire alti livelli di sicurezza in occasione di manifestazioni pubbliche”;
- 3) ISO/TR 16738 “Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people”;
- 4) Pathfinder User Manual;
- 5) Guida UEFA agli stadi di qualità;
- 6) “Progettare un impianto polifunzionale sicuro di grandi dimensioni” S.Mandetta;
- 7) “Stadio San Paolo” G.Piola;
- 8) [https://it.wikipedia.org/wiki/Stadio\\_San\\_Paolo](https://it.wikipedia.org/wiki/Stadio_San_Paolo);
- 9) <http://www.vigilfuoco.it/sitiVVF/ascoliPiceno/viewPage.aspx?s=85&p=11223>;
- 10) [https://www.fse-italia.eu/evacuazione\\_scarlo-2](https://www.fse-italia.eu/evacuazione_scarlo-2);
- 11) <https://www.enchantingitaly.com>;
- 12) <https://www.google.com/maps/place/Stadio+San+Paolo>;
- 13) <https://ilnapolista.it>;
- 14) <https://spazionapoli.it>
- 15) <https://postimg.cc>;
- 16) <https://www.skyscrapercity.com>;
- 17) <https://media-foto.tccstatic.com>;
- 18) <https://www.veragency.it>;
- 19) [https://en.wikipedia.org/wiki/Level\\_of\\_service](https://en.wikipedia.org/wiki/Level_of_service).