

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

LA SICUREZZA NEGLI STADI PER IL CALCIO ANALISI DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI PRESSO LO STADIO OLIMPICO DI TORINO

RELATORI:

Prof. Roberto Vancetti

Prof. Fabio Manzone

CANDIDATO:

Luca Dadone

NOVEMBRE 2018

SOMMARIO

ABSTRACT	II
1 INTRODUZIONE	1
1.1 OBIETTIVO DELLA TESI	1
1.2 LA NORMATIVA ITALIANA SULLA SICUREZZA	1
1.3 ELABORATI	2
1.4 RIFERIMENTI NORMATIVI PRINCIPALI.....	3
2 LO STADIO	4
2.1 DESCRIZIONE	4
2.1.1 LOCALIZZAZIONE	4
2.1.2 CONTESTO ESTERNO E ACCESSI ALLO STADIO.....	5
2.1.3 INTERNO DELLO STADIO E TRIBUNE.....	5
3 APPROCCIO PRESCRITTIVO	9
3.1 D.M. 18 MARZO 1996	10
4 SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI	19
4.1 ANALISI DELLE EMERGENZE NEGLI STADI DEL CALCIO	20
4.2 SIMULAZIONE DEI FLUSSI CON "OASYS MASSMOTION"	29
4.2.1 CREAZIONE DEL MODELLO.....	29
4.2.2 DEFINIZIONE DEGLI UTENTI.....	39
4.2.3 DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ DA ANALIZZARE.....	41
4.2.4 VALIDAZIONE DEL PROGETTO	48
4.2.5 ESECUZIONE DELLE SIMULAZIONI.....	49
5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	62
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	67

ABSTRACT

La sicurezza negli stadi per il gioco del calcio è un argomento che si è sempre affiancato allo svolgimento delle competizioni sportive. Quasi quotidianamente, in concomitanza con gli eventi calcistici, si sente parlare di emergenze, in genere dovute a episodi di violenza tra le tifoserie o incendi, con conseguente nascita di disordine pubblico.

Nella presente tesi si analizza l'esodo delle persone presenti all'interno dello Stadio Olimpico Grande Torino della città di Torino, prendendo come riferimento uno dei settori in cui è suddiviso lo stadio: la curva nord. Lo scopo è determinare se il tempo di esodo impiegato dagli spettatori per abbandonare l'impianto sportivo rispetta i limiti imposti dalle normative relative al mondo del calcio, sia in condizioni ordinarie che in situazioni di emergenza. I risultati che si otterranno potranno essere applicati per analogia agli altri settori in quanto le differenze sono minime e perché ciascun settore dello stadio è rigorosamente separato dagli altri per scongiurare interferenze tra gli spettatori.

La valutazione dell'esodo consentirà di fare un confronto con le disposizioni legislative attualmente in vigore al fine di evidenziare i limiti della normativa nazionale e per proporre delle soluzioni da adottare per lo stadio in esame. Inoltre si metterà in evidenza l'efficacia del metodo di simulazione utilizzato per valutare il movimento delle persone il quale consente di ottimizzare le scelte progettuali e gestionali degli impianti sportivi e in generale di tutte le opere in cui si prevede affollamento di pubblico.

Safety in football stadiums is a topic that has always been a part of sports competitions. Almost daily, in conjunction with football events, we hear about emergencies, usually due to episodes of violence between fans or fires, resulting in the emergence of public disorder.

In this thesis we analyze the exodus of the people present in the Grande Torino Olympic Stadium in the city of Turin, taking as reference one of the sectors in which the stadium is divided: the north curve. The aim is to determinate if the exodus time taken by the spectators to leave the sports facility respects the limits imposed by the regulations concerning the world of football, both in ordinary conditions and in emergency situations.

The results obtained will be applied by analogy to the other sectors because the differences are minimal and because each sector of the stadium is strictly separated from the others to avoid interference between the spectators.

The evaluation of the exodus will allow a comparison with the legislative provisions currently in force in order to highlight the limits of the national legislation and to propose solutions to be adopted for the stadium in question. In addition, the effectiveness of the simulation method used to evaluate the movement of people will be highlighted, which makes it possible to optimize the design and management choices of sports facilities and in general of all the facility in which public crowding is expected.

1 INTRODUZIONE

1.1 OBIETTIVO DELLA TESI

Lo scopo della presente tesi è lo studio dell'esodo degli spettatori presso lo **Stadio Olimpico Grande Torino** della città di Torino. Questa analisi consiste nella determinazione dei tempi impiegati dagli utenti per abbandonare l'impianto sportivo per poter essere confrontati con i valori massimi imposti dalle normative sportive. L'esodo delle persone è valutato grazie a un software di simulazione in grado di riprodurre il percorso compiuto dai tifosi per abbandonare la costruzione. Si tratta di una valutazione dinamica in grado di determinare criticità non riscontrabili con il semplice rispetto della normativa antincendio in vigore. Prendendo come riferimento la curva nord dello stadio si evidenziano i limiti della normativa attualmente vigente in Italia mostrando come essa non sia adattabile ai diversi casi di intervento. I risultati ottenuti sono anche occasione per proporre delle idee di sviluppo e di ricerca per migliorare la progettazione degli spazi in cui si prevede grande affluenza di pubblico.

1.2 LA NORMATIVA ITALIANA SULLA SICUREZZA

La normativa italiana sulla sicurezza è fondata sul **D.lgs. 9 aprile 2008 n° 81 – Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro**. L'articolo 28 del decreto impone che per le attività lavorative vengano valutati tutti i rischi per la sicurezza, tra cui il rischio incendio. Gli stadi per il calcio sono da considerare attività lavorative perché, durante le competizioni sportive, oltre agli spettatori, sono presenti anche dei lavoratori tra cui, per esempio, il personale addetto alla sicurezza, i telecronisti, chi si occupa dell'attività di ristorazione, i giocatori, eccetera. La valutazione del rischio incendio è fondamentale in quanto la gestione delle emergenze, sia dovute ad un incendio e sia dovute per altre cause, fa riferimento alla normativa sulla sicurezza antincendio.

La **sicurezza antincendio in edilizia** è un insieme di scelte e accorgimenti progettuali e gestionali atti a salvaguardare la vita umana e la tutela dei beni e dell'ambiente nei confronti, principalmente, della possibilità dell'innescarsi di un incendio. Come già anticipato, i criteri della prevenzione incendi sono anche applicati, per esempio, per la gestione delle emergenze durante le competizioni sportive, durante i concerti, durante le manifestazioni fieristiche e in generale all'interno delle attività lavorative anche in caso di un pericolo differente dal rischio incendio. In generale si risponde a quanto riportato nell'articolo 32 della Costituzione Italiana:

INTRODUZIONE

“La Repubblica tutela la salute come fondamentale diritto dell'individuo e interesse della collettività, e garantisce cure gratuite agli indigenti. Nessuno può essere obbligato a un determinato trattamento sanitario se non per disposizione di legge. La legge non può in nessun caso violare i limiti imposti dal rispetto della persona umana.”

Attualmente, secondo l'ordinamento italiano, è possibile perseguire gli obiettivi della progettazione antincendio secondo due approcci:

- **Approccio Prescrittivo;**
- **Approccio Prestazionale.**

Il primo consiste semplicemente nel rispetto delle prescrizioni imposte dalle normative; il secondo invece propone una valutazione alternativa basata su procedure e metodi legati allo sviluppo del fenomeno incendio e all'esodo delle persone, facendo intervenire aspetti legati a diverse discipline quali fisica, chimica, matematica e statistica.

Nei capitoli successivi si evidenzieranno più significativamente le differenze tra i due metodi di lavoro facendo riferimento al caso studio oggetto della presente tesi di laurea magistrale: lo **Stadio Olimpico Grande Torino** della città di Torino.

L'approccio prescrittivo, detto anche “metodo tradizionale”, impone di rispettare certi requisiti prestabiliti dai decreti inerenti la prevenzione incendi. In merito alle zone riservate agli spettatori tali requisiti consistono principalmente nel rispettare le larghezze minime dei percorsi, le lunghezze massime degli stessi e il numero minimo di vie di uscita, senza considerare le caratteristiche particolari del fabbricato che si sta analizzando e senza prendere in conto il comportamento degli utenti. L'approccio prestazionale, in forte fase di sviluppo e ricerca e noto anche con altre denominazioni tra cui “approccio ingegneristico della sicurezza antincendio” e “Fire Safety Engineering” (FSE), considera le particolarità della struttura e il comportamento delle persone, ottenendo di conseguenza delle soluzioni più appropriate al singolo caso studio.

1.3 ELABORATI

La presente Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Torino consiste nei seguenti elaborati:

- Relazione Tecnica;
- Tavole (allegate in fondo alla relazione):
 - Tav. 1 – Schema planimetrico dello stadio
 - Tav. 2 – Composizione delle tribune dello stadio
- Slide di presentazione della tesi;
- Video delle simulazioni.

La relazione e le tavole sono forniti sia in formato cartaceo che digitale, gli altri elaborati solo in formato digitale.

1.4 RIFERIMENTI NORMATIVI PRINCIPALI

Si elencano di seguito le principali normative a cui si fa riferimento nella tesi con una breve spiegazione dei contenuti:

- **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:** questo decreto riporta tutte le prescrizioni di prevenzione incendi per gli impianti sportivi e inoltre evidenzia alcune prescrizioni inerenti unicamente gli impianti sportivi in cui si disputano manifestazioni calcistiche con capienza spettatori maggiore di 10.000 persone. In particolare si trattano argomenti quali l'ubicazione del complesso sportivo, le zone destinate al pubblico e agli atleti, i percorsi di esodo, le uscite di sicurezza, caratteristiche degli impianti tecnici, delle strutture, degli arredi e delle finiture, gestione della sicurezza.
- **D.M. 3 agosto 2015 – Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139:** è il nuovo codice di prevenzione incendi, la norma principale a cui si fa riferimento per la valutazione della sicurezza antincendio; in esso sono riportate tutte le principali definizioni inerenti la prevenzione incendi e le procedure per la valutazione del rischio incendio. Questo decreto riorganizza e adegua in un unico testo legislativo tutte le disposizioni inerenti la prevenzione incendi, appartenenti prima a norme distinte.
- **Guide to safety at sport grounds (5° edizione):** conosciuta anche col nome "Green Guide", si tratta di linee guida anglosassoni usate come riferimento a livello internazionale per la progettazione di complessi sportivi in cui le competizioni avvengono in spazi all'aria aperta (compresi quindi gli stadi per il calcio). Sono un aiuto alla progettazione e alla gestione della sicurezza sia per opere di nuova costruzione o esistenti. Si specifica come stabilire la capienza massima di pubblico, come fare una valutazione del rischio (risk assessment), come dimensionare i percorsi di circolazione, le entrate e le uscite. È presente inoltre un capitolo dedicato alla sicurezza antincendio (fire safety).

2 LO STADIO

2.1 DESCRIZIONE

2.1.1 LOCALIZZAZIONE

Il lotto di terreno in cui è sito lo stadio è in zona semi periferica nella città di Torino ed è raggiungibile da via Filadelfia, corso Giovanni Agnelli e corso Sebastopoli. Lo Stadio Olimpico è facilmente avvicinabile sia dai mezzi pubblici che privati e sono presenti molti posti auto lungo le vie di circolazione adiacenti all'opera.



I. 1: Inquadramento territoriale dello stadio

2.1.2 CONTESTO ESTERNO E ACCESSI ALLO STADIO

Il lotto presenta una recinzione esterna su tutto il perimetro e vi si accede tramite gli ingressi coperti da delle pensiline in calcestruzzo armato. Superata la recinzione si giunge nelle aree esterne alla costruzione previste per ciascun settore dello stadio dalle quali si accede alle diverse zone interne dell'impianto sportivo: tribune, spogliatoi, locali medici, eccetera.

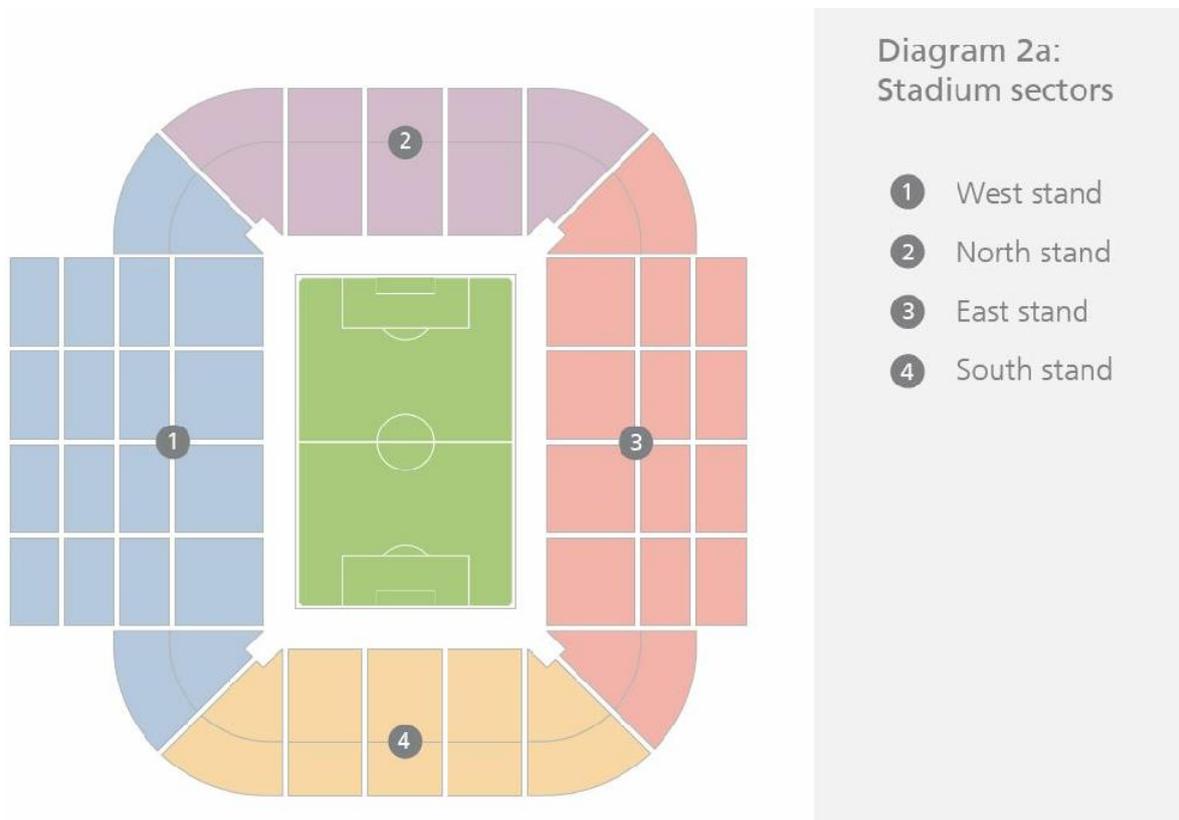
Gli spettatori giungono alle tribune grazie ai vomitori presenti nei diversi settori. Sono previsti dei posti riservati agli utenti con disabilità motoria nel settore est e sul lato ovest del complesso: i primi si raggiungono dall'area di servizio esterna della tribuna est tramite un corridoio al piano terra che permette di raggiungere gli spalti; gli altri sono situati su un livello elevato rispetto al piano terreno e sono raggiungibili tramite gli ascensori previsti nella torre situata a ovest e che si affaccia su corso Giovanni Agnelli. Nel settore ovest sono anche presenti i posti riservati ai telecronisti.

Gli atleti, i giudici di gara e il personale accedono ai locali interni del piano terra grazie ad appositi ingressi e sono previsti accessi distinti riservati ai componenti della squadra ospite e della squadra locale.

Per maggiori dettagli fare riferimento alla Tav. 1.

2.1.3 INTERNO DELLO STADIO E TRIBUNE

La progettazione degli spazi dello stadio ha come riferimento gli schemi proposti dalla normativa FIFA (Federation Internationale de Football Association) e dalla Green Guide, di cui si riportano gli stralci:

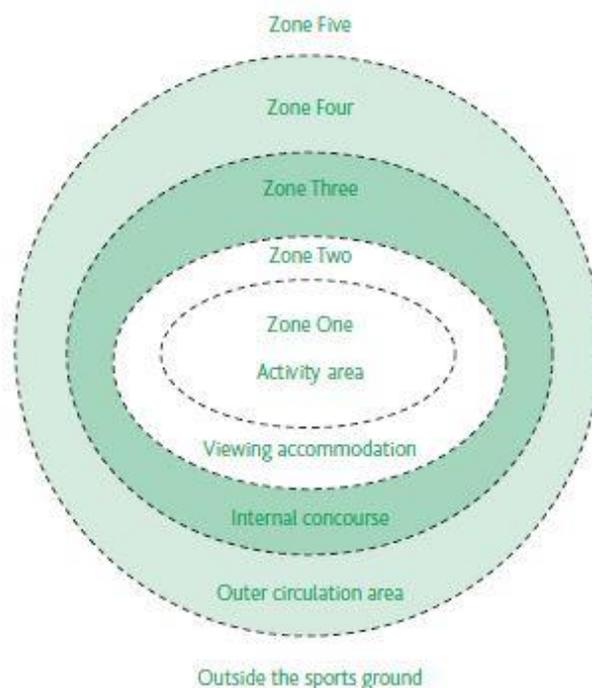


I. 2: Schema per la suddivisione delle tribune in settori – Fonte: FIFA, Football Stadiums - Technical recommendations and requirements – 5th edition 2011

LO STADIO

Diagram 6.1 New construction – zonal planning

When planning certain types of sports grounds or rebuilding existing ones (excluding those where spectators may be ambulatory during the event such as racecourses and golf courses), it may be helpful to plan the circulation areas in terms of five different but linked zones, as follows:



Zone One: the pitch or area of activity. This may be considered a place of reasonable safety, to which spectators can be evacuated before using other emergency exits (but see Sections 9.13.b and 14.16). Even where this is protected from Zone Two, Zone One should still be accessible to spectators via any gates or openings in the pitch or area of activity perimeter barriers.

Zone Two: spectator viewing accommodation.

Zone Three: internal concourses and hospitality areas. If this area needs to be evacuated in an emergency, it should preferably be to Zone Four.

Zone Four: the outer circulation area. Zone Three and Four may, in certain situations, be considered a place of reasonable safety, to which spectators can be evacuated before exiting to Zone Five. In planning terms, Zone Four can serve as a vital access area for emergency and service vehicles, without disrupting circulation in Zone Two.

Zone Five: a buffer zone outside the sports ground perimeter, used for the public to gather before entry and for links to car parks and public transport. The public should be able to circumnavigate the perimeter in this zone, in order to find an appropriate point of entry. Zone Five should be the designated place of safety in the event of an emergency.

I. 3: Schema per l'organizzazione degli spazi dello stadio – Fonte: Guide to safety at sport grounds (5° edizione)

La normativa inglese propone, come mostrato nell'immagine soprastante, una disarticolazione del complesso sportivo in cinque macro zone alle quali sono attribuite specifiche funzionalità:

- 1) la **zona 1** è rappresentata dal campo da gioco che è collegato alle tribune (zona 2) tramite dei varchi presenti lungo la delimitazione che separa il campo dagli spalti;
- 2) la **zona 2** consiste nelle tribune, ovvero i settori e gli anelli in cui è suddiviso lo stadio;

LO STADIO

- 3) la **zona 3** è l'insieme di tutti gli spazi interni dello stadio;
- 4) la **zona 4** raggruppa gli spazi destinati ad area di servizio esterna dei settori;
- 5) la **zona 5** è lo spazio immediatamente circostante le aree di servizio, ovvero il contesto urbano limitrofo.

Lo Stadio Olimpico di Torino prende come riferimento gli schemi elencati e le tribune sono caratterizzate da una suddivisione in settori ed in anelli, così come mostrato nella Tav. 2. La struttura è così suddivisa:

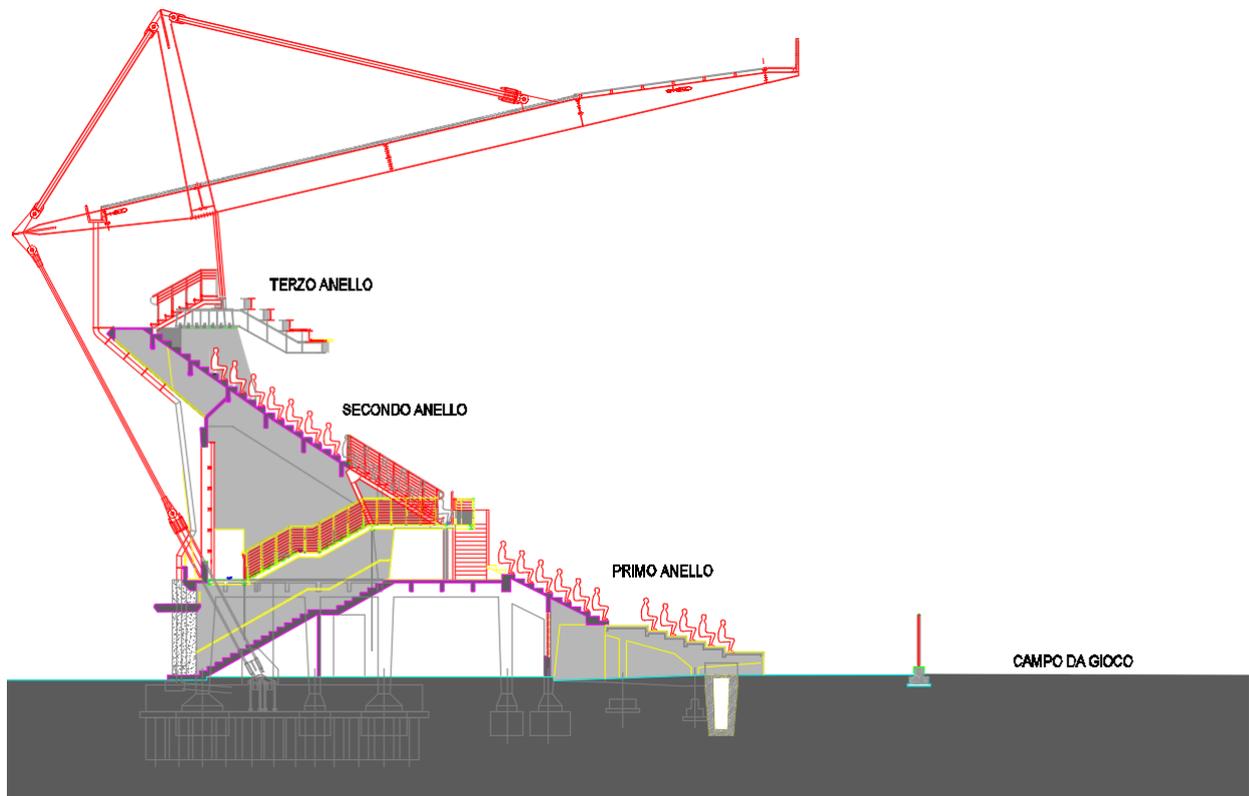
- **3 anelli:**
 - **1° anello:** parte delle tribune direttamente collegate col campo da gioco tramite i varchi prima citati;
 - **2° anello:** parte delle tribune soprastante il primo anello;
 - **3° anello:** insieme di posti a sedere previsti al di sopra del secondo anello su una struttura a sbalzo verso il campo da gioco (nel settore ovest sono anche previsti dei posti al chiuso denominati palchi).
- **5 settori:**
 - **Curva sud;**
 - **Curva nord;**
 - **Tribuna est;**
 - **Tribuna ovest;**
 - **Tribuna ospiti.**

All'interno del piano terra sono presenti tutti i locali dedicati agli atleti, ai giudici di gara, al personale, alle visite mediche e agli impianti tecnologici. È presente un corridoio centrale dal quale si accede ai diversi locali da ambo i lati. I vuoti presenti sotto le tribune sono dedicati alla distribuzione degli impianti tecnologici. Sono presenti alcuni vani scala e ascensore dai quali si raggiungono gli altri locali presenti al piano primo, che consistono principalmente in uffici e aree destinate alla ristorazione.



I. 4: Stralcio di pianta di progetto dello stadio

LO STADIO



I. 5: Sezione tipo dello stadi

3 APPROCCIO PRESCRITTIVO

L'approccio prescrittivo consiste nell'applicazione di due tipologie di norme:

- **norme tecniche verticali (RTV);**
- **norme tecniche orizzontali (RTO).**

Le prime sono da applicare per tutte quelle attività per cui è prevista una normativa specifica (in genere un decreto ministeriale), come accade per esempio nel caso degli impianti sportivi (in cui sono compresi gli stadi per il calcio). Infatti il già citato D.M. 18 marzo 1996 contiene tutte le prescrizioni da rispettare per la progettazione degli edifici ospitanti eventi sportivi. Si tratta in generale di decreti emanati dal Ministero dell'Interno in simbiosi con il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco le cui prescrizioni sono il risultato di una valutazione rischio incendio compiuta da parte del legislatore: il progettista non è tenuto a sua volta a fare una analisi del rischio ma deve soltanto rispettare quanto riportato nella RTV. Le norme tecniche orizzontali invece sono da applicare per tutte quelle attività per cui non sono previste delle RTV. In questo caso è il progettista a fare l'analisi di rischio incendio.

La normativa antincendio principale di riferimento è il D.M. 3 agosto 2015 (nuovo codice di prevenzione incendi). Esso è composto in 4 sezioni:

- sezione G: Generalità (termini, definizioni; progettazione antincendio; determinazione profili di rischio);
- sezione S: Strategia antincendio (misure antincendio, da reazione al fuoco a sicurezza impianti tecnologici);
- sezione V: Regole tecniche verticali;
- sezione M: Metodi (ingegneria sicurezza antincendio, scenari progettazione prestazionale, salvaguardia della vita).

Come riportato al secondo comma dell'articolo 1 dello stesso decreto, il nuovo codice può essere usato in alternativa ad una serie di decreti emanati precedentemente il codice. L'utilizzo delle RTO consiste nell'applicazione delle sezioni G ed S. La sezione V contiene tutte RTV aggiornate. Attualmente alcune RTV devono ancora essere aggiornate e inserite nel codice: per tutte le attività le cui norme verticali non sono ancora aggiornate si devono applicare ancora i decreti precedenti alla entrata in vigore del nuovo codice. Gli impianti sportivi, e quindi anche gli stadi per il calcio, non hanno ancora una RTV aggiornata e quindi si fa ancora riferimento al decreto emanato nel 1996 con successive integrazioni. Per tutte quelle attività per cui non sono previste RTV aggiornate il nuovo codice non può essere applicato neanche per la parte contenente definizioni, procedimenti, simbologie, etc., ma occorre fare riferimento ai vecchi decreti emanati prima del codice. Per esempio, all'articolo 2 del D.M. 18 marzo 1996, si fa riferimento al D.M. 30 novembre 1983 in merito

alle definizioni principali, simboli grafici e tolleranze dimensionali. La sezione M invece riguarda invece l'approccio di tipo prestazionale.

3.1 D.M. 18 MARZO 1996

Si verificano le disposizioni presenti nel D.M. 18 marzo 1996. La norma pone in evidenza alcune prescrizioni e definizioni relative esclusivamente agli impianti sportivi ove si disputano manifestazioni calcistiche con capienza superiore a 10.000 spettatori, tra cui lo Stadio Olimpico di Torino. All'interno della struttura sono presenti alcune attività, per esempio uffici e aree commerciali, per cui accorrebbe applicare le relative RTV specifiche. Dato che, come prima specificato, la tesi si articola principalmente a riguardo della zona spettatori, tali decreti non sono considerati; si valuteranno solo gli articoli di interesse per questa tesi.

Art. 1 – Campo di applicazione

In questo articolo non sono presenti prescrizioni progettuali e si evidenziano quali edifici devono sottostare al presente decreto. Lo Stadio Olimpico di Torino è soggetto alle prescrizioni del decreto perché in esso si svolgono manifestazioni e attività sportive regolate dal C.O.N.I. (Comitato Olimpico Nazionale Italiano) e dalla FIGC (Federazione Italiana Giuoco Calcio) ed è prevista la presenza di 26588 spettatori in caso di competizioni calcistiche.

Art. 2 – Definizioni

Sono definiti tutti i termini principali utilizzati nel decreto. Lo stadio risponde alla definizione di "impianto sportivo all'aperto".

Art. 4 – Ubicazione

L'impianto è ubicato in un lotto in zona semiperiferica; tale zona è facilmente avvicinabile dai mezzi di soccorso (provenienti da via Filadelfia o da corso Giovanni Agnelli) e gli utenti possono sfollare verso i marciapiedi lungo i lati sud, ovest e nord del lotto. I parcheggi presenti lungo le strade adiacenti lo stadio non costituiscono ostacolo allo sfollamento. Nei pressi dello stadio sono presenti diverse fermate dei mezzi pubblici, alcune lungo via Filadelfia e altre lungo Corso Giovanni Agnelli e sono situate in punti che non ostacolano il deflusso delle persone perché poste dall'altro lato della strada rispetto allo stadio (ad eccezione di una fermata in via Filadelfia, posta però in un punto dove non sono presenti uscite dalla recinzione esterna del complesso sportivo). Il luogo di coordinamento degli interventi deve avere visibilità sia sulle tribune che sul campo da gioco: l'unica zona che risponde ad entrambi i requisiti è il campo da gioco stesso e gli spazi immediatamente circostanti. Nel caso in cui lo spazio dell'attività sportiva non sia accessibile per qualsivoglia motivo, è possibile adibire a luogo di coordinamento una delle aree di servizio esterne dello stadio.

I mezzi di soccorso accedono alle aree di servizio tramite alcuni cancelli presenti lungo la recinzione esterna.



I. 6: Individuazione fermate mezzi pubblici nei pressi dello stadio

Art. 5 – Area di servizio annessa all’impianto

La struttura ha una capienza superiore a 2000 persone e quindi necessita di una o più aree di servizio annesse all’impianto.

Lo stadio è suddiviso in 5 settori:

- Tribuna Est;
- Curva Nord;
- Tribuna Ovest;
- Curva sud;
- Tribuna ospiti.

Per ciascun settore è prevista un’area di servizio indipendente. Tali aree sono separate tra loro tramite delimitazioni con caratteristiche tecniche dedotte dalla norma UNI 10121 EN o equivalenti. Le pendenze non superano mai il 12% e la distanza minima tra recinzione esterna e perimetro dello stadio è sempre superiore a 6 m. Si riporta il calcolo delle superfici minime da rispettare (2 metri quadrati a persona) per ogni area di servizio, ricavate dai file di progetto dello stadio:

**AREA DI SERVIZIO
TRIBUNA EST**
manifest. sportive: mq 5.757 > 3.171 (6.342/2)
manifest. pubb. spett.: mq 5.757 > 4.046 (8.092/2)

MODULI D'USCTA
9 Moduli x 4 = 36 Moduli > (8x2)+(3x2)+(7x2) Moduli = 36 Moduli

AREA DI SERVIZIO

TRIBUNA OSPITI

manifest. sportive: mq 1.244 > 528 (1.055/2)

manifest. pubb. spett.: mq 1.244 > 528 (1.055/2)

MODULI D'USCTA

8 Moduli > 7 Moduli

AREA DI SERVIZIO

CURVA SUD

manifest. sportive: mq 3.646 > 3.312 (6.624/2)

manifest. pubb. spett.: mq 3.646 < 4.812 (9.624/2)

MODULI D'USCTA

8 Moduli x 6 = 48 Moduli > (7x3) + (6x2) Moduli = 33 Moduli

AREA DI SERVIZIO

TRIBUNA OVEST

manifest. sportive: mq 3.350 > 3.010 (6.019/2)

manifest. pubb. spett.: mq 3.350 < 4.760 (9.519/2)

MODULI D'USCTA

(8x6) + 6 Moduli = 54 Moduli > (7x4) + (8x3) Moduli = 52 Moduli

AREA DI SERVIZIO

CURVA NORD

manifest. sportive: mq 5.767 > 3.334 (6.667/2)

manifest. pubb. spett.: mq 5.767 > 4.834 (9.667/2)

MODULI D'USCTA

(9x4) + (6x2) Moduli = 48 Moduli > (7x5) + (6x2) Moduli = 47 Moduli

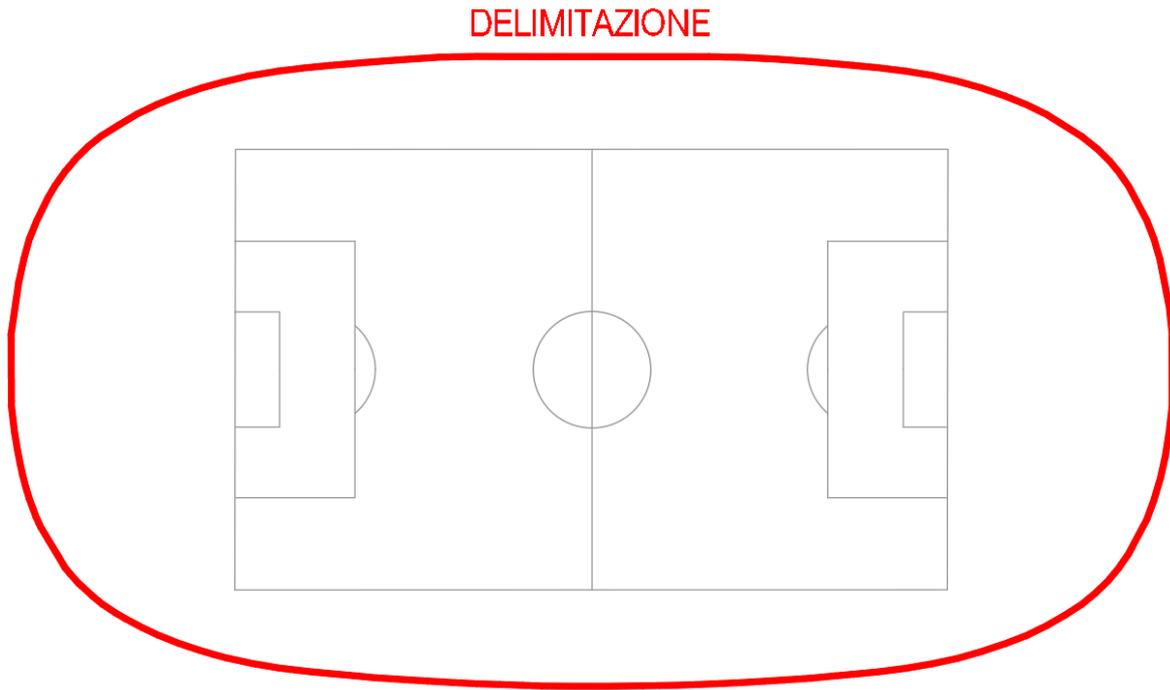
Art. 6 – Spazi riservati agli spettatori e all'attività sportiva

Spazio riservato agli spettatori

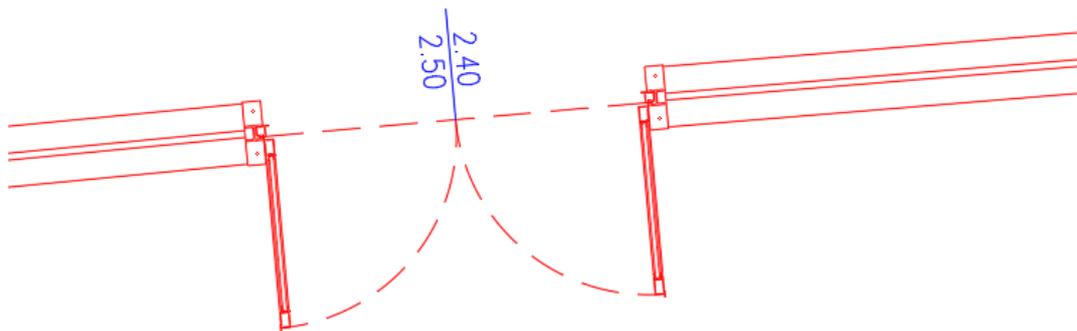
I posti totali riservati agli spettatori sono 26588.

Spazio di attività sportiva

Dato che nello stadio sono previste anche manifestazioni non sportive con la presenza di persone nel campo da gioco, la capienza è pari al numero di persone previste (11250 utenti).



I. 7: Delimitazione tra tribune e campo da gioco

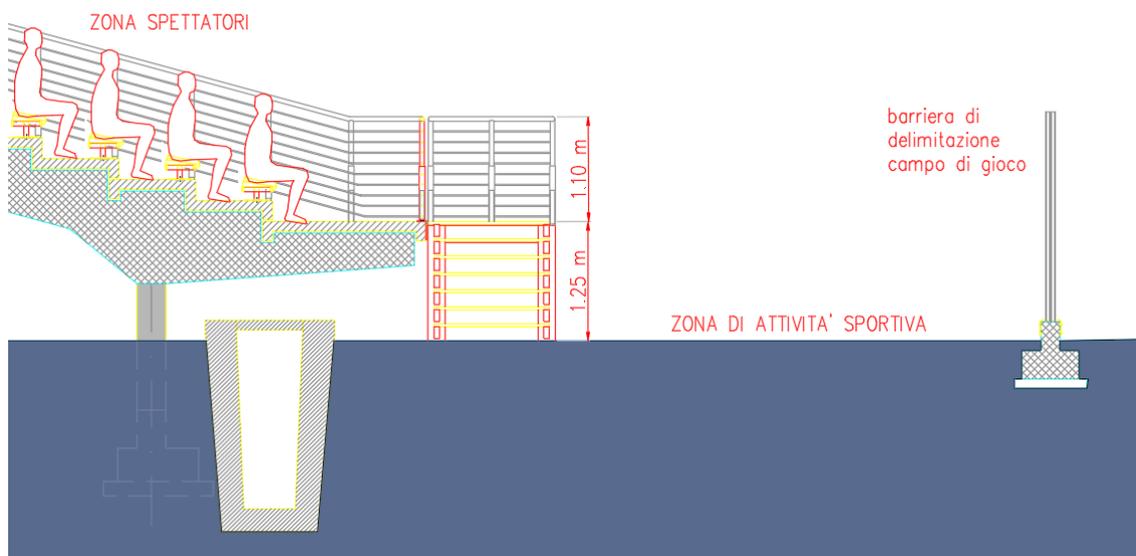


I. 8: Esempio di varco nella delimitazione tra tribune e campo da gioco

Art. 6 – bis. Sistemi di separazione tra zona spettatori e zona attività sportiva

La separazione adottata è quella riportata alla lettera c), prevedendo un dislivello tra piano di calpestio della zona spettatori e di quello della zona di attività sportiva pari a 1,25 m, con parapetto protettivo di altezza pari a 1,10 m.

APPROCCIO PRESCRITTIVO

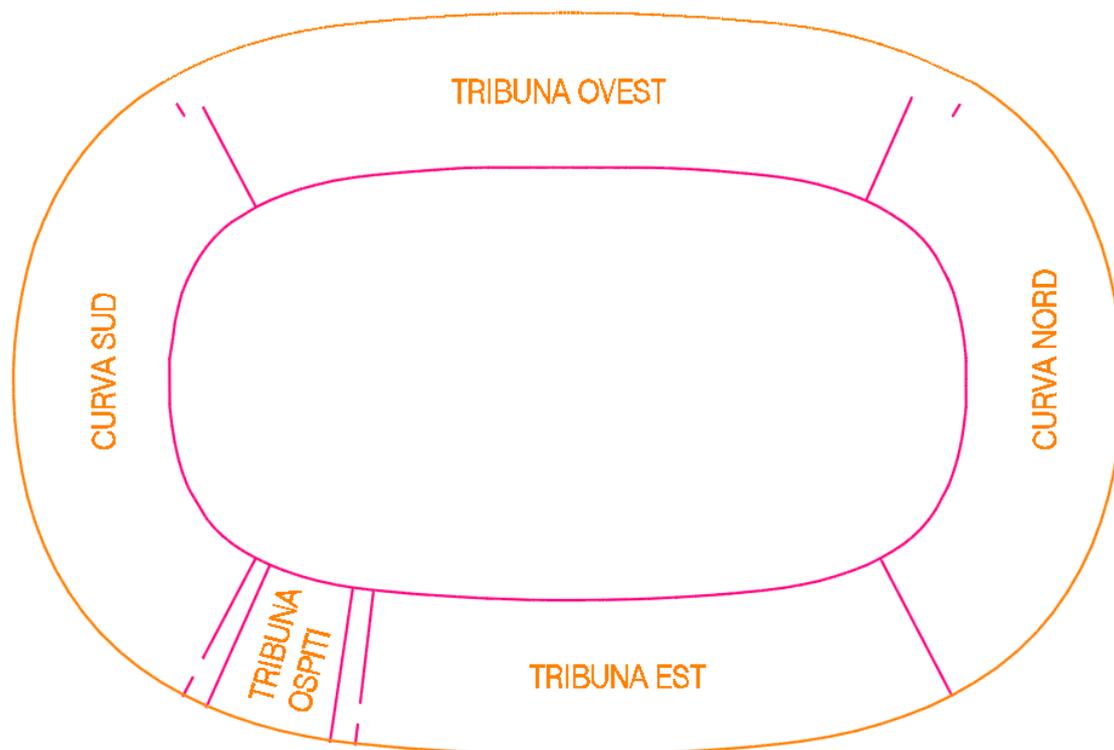


I. 9: Sistema di separazione tra zona spettatori e zona di attività sportiva

Art. 7 – Settori

Come già indicato all'articolo 5, i settori sono cinque:

- Tribuna Est;
- Curva Nord;
- Tribuna Ovest;
- Curva sud;
- Tribuna ospiti.

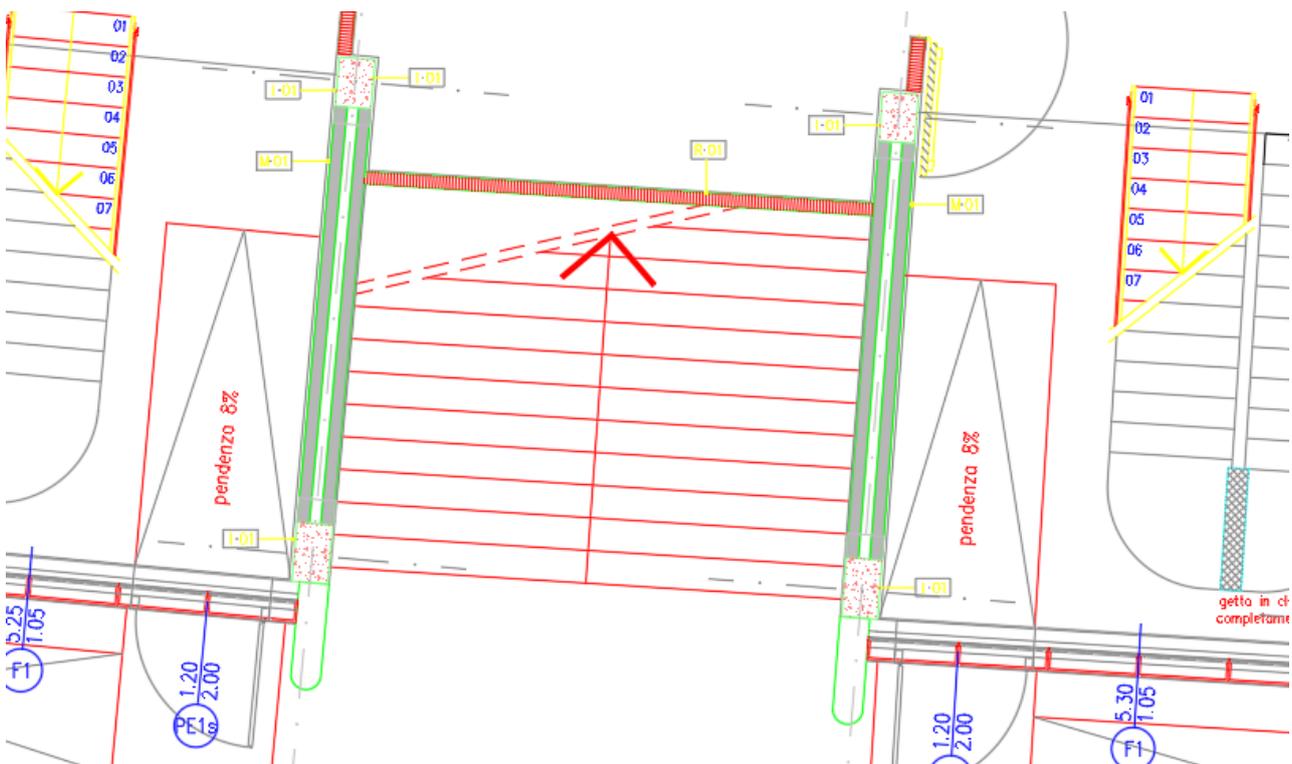


I. 10: Sistema di separazione tra settori

Art. 8 – Sistema di vie di uscita Zona riservata agli spettatori

Si riporta il calcolo della capacità di deflusso per ogni settore:

- Tribuna Est:
 - 4 vomitori di larghezza complessiva pari a 29 moduli → l'affollamento previsto è di 6305 persone ($6305 / 250 = 26$ moduli) → la larghezza delle uscite è sufficiente;
- Curva Nord:
 - 5 vomitori di larghezza complessiva pari a 34 moduli → l'affollamento previsto è di 6667 persone ($6667 / 250 = 27$ moduli) → la larghezza delle uscite è sufficiente;
- Tribuna Ovest:
 - 5 vomitori di larghezza complessiva pari a 38 moduli → l'affollamento previsto è di 5937 persone ($5937 / 250 = 24$ moduli) → la larghezza delle uscite è sufficiente;
- Curva sud:
 - 5 vomitori di larghezza complessiva pari a 35 moduli → l'affollamento previsto è di 6624 persone ($6624 / 250 = 27$ moduli) → la larghezza delle uscite è sufficiente;
- Tribuna ospiti:
 - 1 vomitorio di larghezza pari a 7 moduli → l'affollamento previsto è di 1055 persone ($1055 / 250 = 5$ moduli) → la larghezza delle uscite è sufficiente.



I. 11: Esempio di vomitorio

Zona di attività sportiva

Nella zona di attività sportiva è previsto un affollamento di 11250 persone ($11250 / 250 = 45$ moduli richiesti). La larghezza complessiva delle uscite dal campo verso le aree di servizio esterne è pari a 45 moduli, quindi questa verifica ha esito positivo.

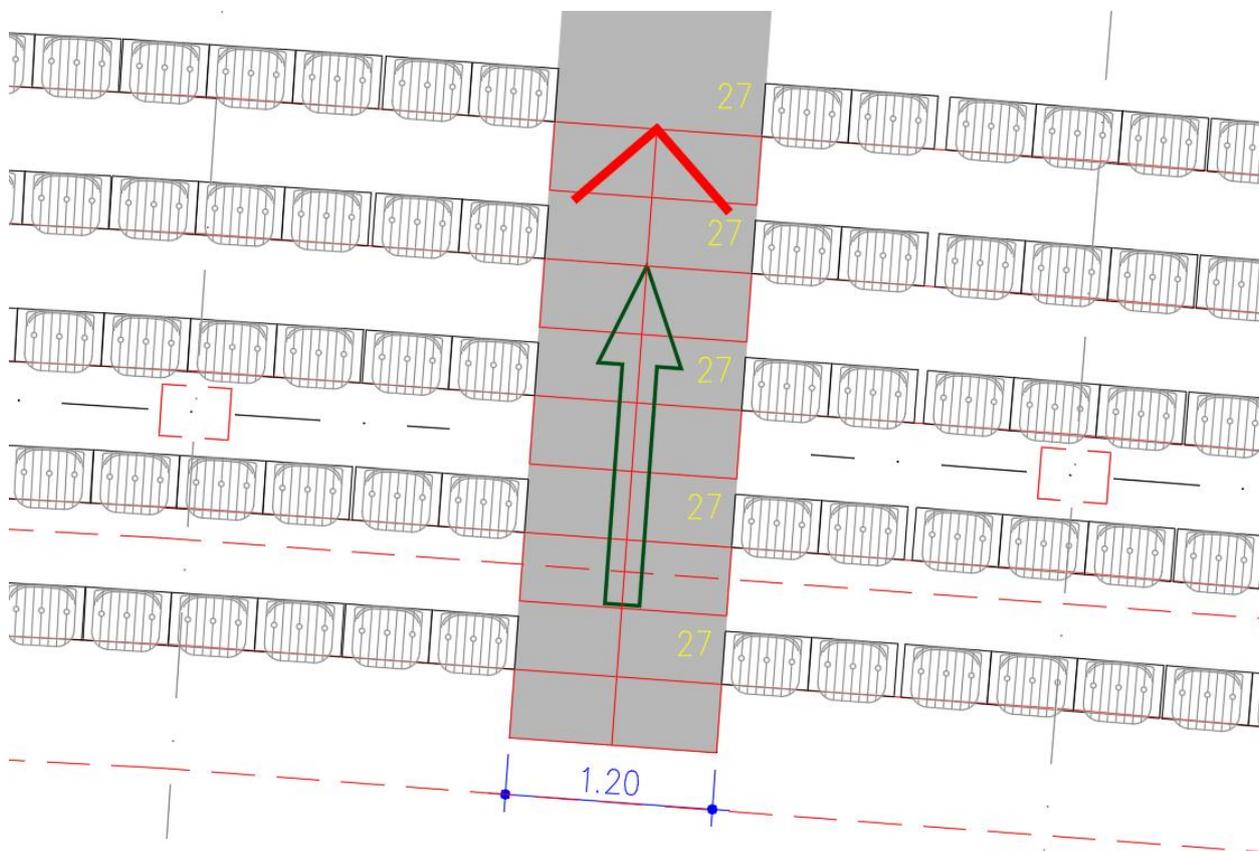
APPROCCIO PRESCRITTIVO



I. 12: Esempio di varchi tra campo da gioco e area di servizio esterna

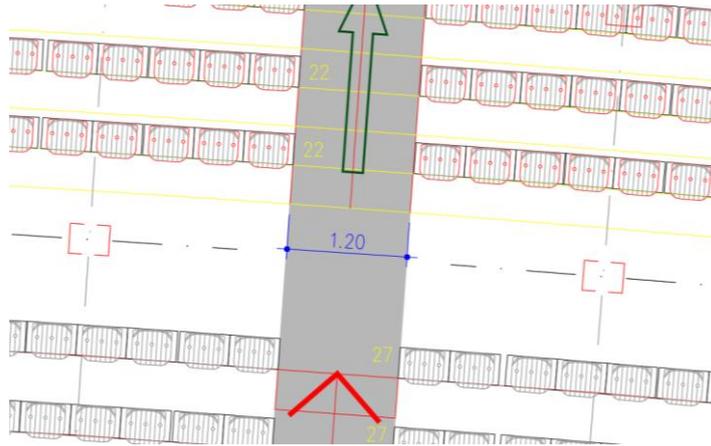
Art. 9 – Distribuzione interna

Ai fini di questo articolo si riportano alcuni esempi di percorsi di smistamento. Questi esempi si ripetono lungo tutta la tribuna.



I. 13: Esempio di percorso di smistamento del primo anello

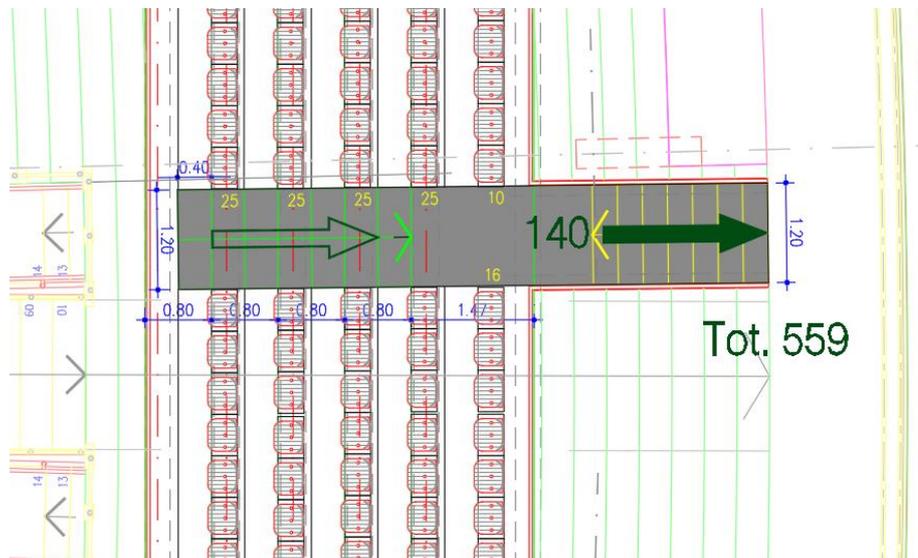
APPROCCIO PRESCRITTIVO



I. 14: Esempio di Intersezione tra passaggio parallelo alle file di gradoni e percorso di smistamento



I. 15: Esempio di percorso di smistamento del secondo anello



I. 16: Esempio di percorso di smistamento del terzo anello

Art. 10 – Servizi di supporto della zona spettatori

Si riporta il conteggio dei servizi igienici per ciascun settore:

- Tribuna Est:
 - 6305 persone (2102 donne e 4203 uomini)
 - 4203 / 500 → 9 gabinetti per uomini e 17 orinatoi
 - 2102 / 500 → 5 gabinetti per donne
- Curva Nord:
 - 6667 persone (2223 donne e 4444 uomini)
 - 4444 / 500 → 9 gabinetti per uomini e 18 orinatoi
 - 2223 / 500 → 5 gabinetti per donne
- Tribuna Ovest:
 - 5937 persone (1979 donne e 3958 uomini)
 - 3958 / 500 → 8 gabinetti per uomini e 16 orinatoi
 - 1979 / 500 → 4 gabinetti per donne
- Curva sud:
 - 6624 persone (2208 donne e 4416 uomini)
 - 4416 / 500 → 9 gabinetti per uomini e 18 orinatoi
 - 2208 / 500 → 5 gabinetti per donne
- Tribuna ospiti:
 - 1055 persone (352 donne e 703 uomini)
 - 703 / 500 → 2 gabinetti per uomini e 3 orinatoi
 - 352 / 500 → 1 gabinetto per donne

Art. 12 – Manifestazioni occasionali

Come già detto in risposta all'articolo 6, sono previste delle manifestazioni occasionali. In questi casi, alla capienza delle tribune (26588 utenti), si aggiunge quella del campo da gioco (11250 utenti). Le vie di esodo delle persone presenti nella zona di attività sportiva sono dimensionate secondo quanto riportato all'articolo 8.

4 SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

La valutazione del flusso delle persone viene eseguita grazie all'utilizzo di alcuni software in grado di simulare lo spostamento degli utenti all'interno di un certo ambito spaziale. Il software utilizzato per questa tesi è "Oasys MassMotion" (versione 9.0.17.0). Con esso si determina, per ciascuna simulazione, il tempo relativo al completamento degli scenari ipotizzati.

Il software in esame consente di fare diverse valutazioni, sia in caso di normalità che di emergenza. Nelle simulazioni in casi ordinari non ci sono particolari vincoli da rispettare: si tratta di analisi svolte per migliorare e rendere più efficiente la distribuzione degli spazi all'interno di un complesso edilizio. Per esempio, valutando il flusso generato dalle persone, è possibile risalire a quali punti della struttura è presente una maggior densità di persone al fine di posizionare locali commerciali, bar, cartelloni pubblicitari, eccetera. Alcune normative pongono dei limiti anche al tempo di esodo in condizioni di normalità per scongiurare l'agittamento e nascita di tensioni tra la folla.

Nei casi di emergenza, dato che si tratta di casi di potenziale pericolo, occorre rispettare certi criteri. Come già detto al punto 1.1, i criteri della normativa antincendio sono applicati non solo per l'emergenza dovuta ad un incendio, ma sono usati per le emergenze in generale. L'esodo degli spettatori può essere causato da un incendio tanto quanto da atti di violenza, questi ultimi molto frequenti nel mondo del calcio. Pur essendo un metodo di valutazione non prescrittivo, l'approccio ingegneristico è guidato dalla **sezione M del D.M. 3 agosto 2015**. In altri termini il codice di prevenzione incendi impone delle linee guida da seguire al fine di agevolare il professionista antincendio nello studio del fenomeno dell'incendio e dell'esodo. Il decreto stabilisce come determinare il tempo di esodo degli utenti. Tale valore numerico è denominato **RSET (required safe ascape time)** ed è composto da quattro addendi:

- t_{det} (tempo di rilevazione): tempo necessario per la rilevazione di un incendio;
- t_a (tempo di allarme generale): tempo tra rilevazione e diffusione dell'informazione agli occupanti;
- t_{pre} (tempo di attività pre-movimento): tempo che gli occupanti impiegano per recepire il messaggio di pericolo e mettersi in moto;
- **t_{tra} (tempo di movimento)**: tempo impiegato dagli occupanti per raggiungere un luogo sicuro a partire dal termine delle attività di pre-movimento.

Nel caso degli stadi per il calcio, la Green Guide, le norme FIFA e le norme UEFA propongono dei tempi massimi di uscita degli spettatori con i quali occorre progettare le vie di esodo. Tali tempi massimi consistono nei massimi **tempi di movimento (t_{tra})** e l'obiettivo è confrontare il tempo stimato dal software con quello imposto dalle suddette norme. I tempi di movimento si ricavano dal software MassMotion.

4.1 ANALISI DELLE EMERGENZE NEGLI STADI DEL CALCIO

Dato che gli scenari di emergenza ipotizzabili sono molto vari, si è fatta una ricerca di alcuni casi di emergenza realmente avvenuti, in modo da capire le principali cause di pericolo nella zona spettatori. Si elencano di seguito gli stadi coinvolti, la data di accadimento e le cause di avvenimento. Si è fatto riferimento a fonti giornalistiche o siti dedicati alle tragedie avvenute.

Disastro di Bradford

- *Località: Bradford, Inghilterra, al centro del West Yorkshire;*
- *Stadio: Valley Parade;*
- *Data: 11 maggio 1985;*
- *Conseguenze: 56 morti e 256 feriti, una tribuna completamente distrutta.*

L'incendio in questione è ricordato come il Disastro di Bradford. Dopo 40 minuti di gioco, probabilmente a causa di una sigaretta o di un fiammifero, ci fu un primo focolaio nei pressi del settore G dello stadio. La partita di calcio in corso fu sospesa. La polizia cominciò inizialmente a far evacuare i tifosi presenti nel settore vicino all'incendio, convinti che questo potesse essere domato. La tribuna, costruita nel 1908, aveva un impalcato in legno, così come la copertura che era anche rivestita di una tela catramata sigillata con catrame e bitume la quale prese subito fuoco e sciogliendosi andava ad alimentare ulteriormente il fuoco sulle gradinate sottostanti e a generare fumo che limitava la visibilità. In un paio di minuti le fiamme cominciarono a diffondersi, facendo crollare il tetto dello stadio. I sopravvissuti raccontarono che era quasi impossibile respirare. Molti spettatori, nel tentativo di scappare, scesero sul terreno di gioco, altri erano riusciti a rifugiarsi nelle case vicine, altri ancora cercarono di aiutare la polizia nel tentativo di salvare qualcuno, ma non c'erano estintori all'interno dello stadio: erano stati tolti per evitare possibili atti di vandalismo tra gli hooligans. Tra le tribune e il campo era stato eretto un muro per contenere il fenomeno degli hooligans, ma fortunatamente non era alto come in altri stadi e la maggior parte degli spettatori riuscì a scavalcarlo e mettersi in salvo nel terreno di gioco. Se il muro fosse stato invalicabile il disastro avrebbe avuto proporzioni ben peggiori. Dopo 4 minuti il settore interessato dalle fiamme fu completamente distrutto. Dopo l'incendio la tribuna fu sostituita con una più moderna.

Fonte: Sala della Memoria Heysel.it

http://www.saladellamemoriaheysel.it/PAGINE%20DELLA%20MEMORIA/BRADFORD%2011.05.1985/Bradford_11_05_1985_STAMPA_e_WEB.html



I. 17: Disastro di Bradford: la tribuna durante il rogo – Fonte: Gazzetta tv
<https://video.gazzetta.it/tragedia-bradford-dove-morirono-56-persone-coinvolto-ex-presidente/8887d124-e399-11e4-8ac7-b73df0421899>

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 18: Disastro di Bradford: l'esodo degli spettatori verso il campo da gioco – Fonte: Risonanze (<https://risonanzee.wordpress.com/il-disastro-di-bradford-e-la-strage-di-hillsborough/>)



I. 19: Disastro di Bradford: l'innalzamento dei fumi dovuti al rogo – Fonte: Football-Please.com (<http://www.football-please.com/home/clamoroso-lincendio-bradford-voluto-dal-presidente/>)



I. 20: Disastro di Bradford: la tribuna dopo l'incendio – Fonte: Sala della Memoria Heysel.it (http://www.saladellamemoriaheysel.it/PAGINE%20DELLA%20MEMORIA/BRADFORD%2011.05.1985/Bradford_11_05_1985_STAMPA_e_WEB.html)

Shanghai Shenhua, incendio nello stadio

- Località: Shanghai, Cina, costa centrale;
- Stadio: Hongkou;
- Data: 28 marzo 2017;
- Conseguenze: nessun morto e nessun ferito, alcuni danni alle strutture.

Lo stadio Hongkou fu parzialmente distrutto dopo un incendio che si è sviluppato in una delle due curve. Le fiamme e il fumo hanno invaso in poco tempo i locali dello stadio e una grossa nube si è espansa verso l'esterno. Si avvertiva l'odore del fumo anche nella metropolitana sottostante.

Fonte: Sport.Leggio.it

(https://sport.leggo.it/calcio/shanghai_shenhua_incendio_spaventoso_nello_stadio_di_tvez_quarin_guarda-2345406.html)



I. 21: Shanghai Shenhua: la propagazione di fiamme e fumi verso l'esterno – Fonte: Sport.Leggio.it
(https://sport.leggo.it/calcio/shanghai_shenhua_incendio_spaventoso_nello_stadio_di_tvez_quarin_guarda-2345406.html)



I. 22: Shanghai Shenhua: vista dall'alto del rogo – Fonte: Il Post.it
(<https://www.ilpost.it/2017/03/28/incendio-stadio-shanghai/>)

Il rogo nella Curva Sud dello Stadio Ballarin

- *Località: San Benedetto del Tronto, Marche, costa adriatica;*
- *Stadio: Ballarin;*
- *Data: 07 giugno 1981;*
- *Conseguenze: 2 morti, 64 ustionati di cui 11 gravi, un centinaio di altri feriti, danni alla tribuna.*

Nello stadio erano presenti oltre dodicimila spettatori. Il pubblico di casa aveva portato allo stadio circa sette quintali di piccole strisce di carta da giornale da utilizzare come coreografia. Poco prima del calcio d'inizio, si sviluppò un incendio in curva sud (a causa, probabilmente, di un bengala o di un fiammifero). La notevole quantità di carta agevolò le fiamme e 3.500 persone rimasero intrappolate. Le chiavi dei cancelli d'emergenza non vennero subito trovate. Si scatenò il panico e nella calca parecchie persone finirono dentro l'incendio, inghiottiti dalle fiamme. Dopo 15 minuti le fiamme furono domate (il bocchettone della curva sud non funzionava) e i feriti furono trasportati in ospedale con ambulanze, taxi e auto private. Il tutto cominciò poco prima del fischio di inizio. L'arbitro dell'incontro ha fatto notare come il pubblico fosse costipato e, di conseguenza, privo di spazi per muoversi.

La partita fu comunque disputata per evitare problemi di ordine pubblico. Fu la più grande tragedia accaduta in uno stadio italiano di calcio.

Furono condannati il presidente della Sambenedettese, un commissario di polizia e il Comune (proprietario dello stadio).

Fonte: Storie di Calcio

<https://storiedicalcio.altervista.org/blog/tragedia-san-benedetto.html>



I. 23: Stadio Ballarin: l'incendio sulla tribuna – Fonte: Storie di Calcio
<https://storiedicalcio.altervista.org/blog/tragedia-san-benedetto.html>

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 24: Stadio Ballarin: l'esodo delle persone durante il rogo – Fonte: Il Martino.it
(<https://www.ilmartino.it/2016/03/7-giugno-1981-tragedia-rossoblu-tragedia-cittadina/>)



I. 25: Stadio Ballarin: la propagazione delle fiamme – Fonte: Storie di Calcio
(<https://storiedicalcio.altervista.org/blog/tragedia-san-benedetto.html>)



I. 26: Stadio Ballarin: il rogo visto dal campo da gioco – Fonte: Tm Notizie.com
(<https://www.tmnotizie.com/6-giugno-1981-6-giugno-2016-3/>)

Incendio nello stadio Lunezia a Pontremoli

- *Località: Pontremoli, Toscana;*
- *Stadio: Lunezia;*
- *Data: 28 luglio 2017;*
- *Conseguenze: nessun morto e nessun ferito, lievi danni alla tribuna.*

Il principio di incendio è stato generato da alcuni fumogeni lanciati dai tifosi e finiti su residui di gommapiuma. Le fiamme e il fumo nero hanno reso l'aria irrespirabili in breve tempo, costringendo le circa mille persone presenti a lasciare lo stadio. L'ordine fu riportato circa 20 minuti dopo e la partita riprese nella sua valenza agonistica.

Fonte: Sky Sport

<https://sport.sky.it/calcio/2017/07/28/amichevole-pontremoli-spezia-savona-incendio-fumogeni.html>



I. 27: Stadio Lunezia: il principio di incendio – Fonte: Sky Sport

<https://sport.sky.it/calcio/2017/07/28/amichevole-pontremoli-spezia-savona-incendio-fumogeni.html>



I. 28: Stadio Lunezia: vista laterale del rogo – Fonte: Città Della Spezia.com

<http://www.cittadellaspezia.com/calcio-spezino/altre/Flash-news-incendio-durante-l-239334.aspx>

Strage dell'Heysel

- *Località: Bruxelles, Belgio;*
- *Stadio: Heysel;*
- *Data: 29 maggio 1985;*
- *Conseguenze: 39 morti e oltre 600 feriti.*

Questo evento non riguarda un incendio, ma un evento di violenza che ha cambiato il mondo del calcio e dato impulso a nuovi provvedimenti in materia di sicurezza durante le competizioni sportive. I tifosi inglesi violenti, detti hooligans, invasero il settore in cui erano presenti alcuni degli italiani e ci riuscirono a causa dell'inadeguatezza della delimitazione tra i settori. Le forze dell'ordine belghe non furono pronte per fronteggiare questo evento e presto si formò una calca che costrinse i tifosi italiani ad andare verso il campo. Però le forze dell'ordine li contrastarono e quindi furono costretti verso i tifosi inglesi. Molte persone rimasero schiacciate, altre si ferirono sulle recinzioni o si lanciarono nel vuoto.

Fonte: Fox Sports

[\(https://www.foxsports.it/2018/05/29/cosa-e-heysel-ricordo-tragedia-juventus-liverpool/\)](https://www.foxsports.it/2018/05/29/cosa-e-heysel-ricordo-tragedia-juventus-liverpool/)



I. 29: Strage dell'Heysel: le forze dell'ordine che respingono i tifosi – Fonte: Gazzetta tv
<https://video.gazzetta.it/29-maggio-tragedia-stadio-heysel/baf4a134-e68b-11e3-b863-ceafbd80fd9b>



I. 30: Strage dell'Heysel: i tifosi schiacciati contro la barriera – Fonte: Fatto Diritto Magazine
[\(https://www.fattodiritto.it/strage-dellheysel-anni-dopo-tra-luci-ed-ombre/\)](https://www.fattodiritto.it/strage-dellheysel-anni-dopo-tra-luci-ed-ombre/)

Strage di Hillsborough

- *Località: Sheffield, Inghilterra;*
- *Stadio: Hillsborough;*
- *Data: 15 aprile 1989;*
- *Conseguenze: 96 morti e 200 feriti.*

La causa del disastro fu la non equa ripartizione delle tifoserie. Al momento di far accedere il pubblico alle gradinate, la suddetta ripartizione poco curata delle tifoserie iniziò a causare problemi: oltre a essere meno capiente, la tribuna occidentale aveva anche meno ingressi rispetto a quella orientale e fin da subito ciò rallentò l'afflusso dei tifosi del Liverpool; ad appena mezz'ora dal calcio d'inizio il settore era ancora semivuoto, mentre la folla accalcata ai cancelli andava crescendo sempre più. A quindici minuti dall'inizio la polizia decise di aprire il Gate C, un grosso cancello d'acciaio (normalmente chiuso) posto dinnanzi all'ingresso di un tunnel che conduceva al settore centrale della curva. L'idea si rivelò catastrofica: mancando ormai pochi minuti al fischio di inizio, i tifosi ancora fuori dallo stadio lasciarono gli accessi laterali A e B e si riversarono in massa nel tunnel. Lo spicchio centrale della tribuna, separato dal resto della gradinata da barriere anti scavalramento, si riempì oltre la capienza consentita: in breve tempo gli spettatori furono schiacciati verso le recinzioni (particolarmente resistenti perché concepite per resistere a eventuali cariche degli hooligans, in ossequio alle normative introdotte dal governo inglese dopo la tragedia dell'Heysel) e sorte analoga toccò a chi era penetrato nel tunnel.

Mentre nella curva occidentale si scatenava il panico nessuno si rese conto di cosa stesse avvenendo e la gara iniziò regolarmente. Solo dopo 6 minuti di gioco la partita fu sospesa su segnalazione di un ufficiale di polizia, che indicò all'arbitro un'invasione di campo da parte di alcuni spettatori che volevano evitare lo schiacciamento. Non intuendo il motivo di tale gesto e scambiandolo per un'intemperanza degli hooligans, i poliziotti caricarono i fuggiaschi per ricacciarli verso la tribuna, finendo per aggravare ulteriormente il problema. Solo dopo alcuni minuti, resasi conto del vero motivo dell'invasione, la polizia aprì la recinzione e lasciò che i tifosi del Liverpool potessero raggiungere il terreno di gioco.

Il fatto è riconosciuto come la più grande tragedia dello sport inglese.

Fonte: Il Post.it

[\(https://www.ilpost.it/2014/04/15/strage-hillsborough-liverpool/\)](https://www.ilpost.it/2014/04/15/strage-hillsborough-liverpool/)



I. 31: Strage di Hillsborough: l'esodo dei tifosi del Liverpool verso il campo da gioco – Fonte: Fox Sports (<https://www.foxsports.it/2017/04/15/disastro-hillsborough-ecco-libro-inchiesta-in-italiano/>)



I. 32: Strage di Hillsborough: la calca dei tifosi del Liverpool – Fonte: The Telegraph
<https://www.telegraph.co.uk/news/2017/01/12/hillsborough-investigators-pass-files-relating-23-suspects-cps/>

I casi riportati mettono in evidenza alcune considerazioni. Gli incendi negli stadi sono dovuti soprattutto alla non consapevolezza degli spettatori che fanno uso di oggetti o materiali, come petardi, fumogeni, sigarette, fiammiferi, striscioni, eccetera, in grado di formare focolai. Si nota inoltre come un incendio tende a svilupparsi verso la parte alta della tribuna a causa dell'effetto camino che viene a generarsi (i fumi caldo tendono a salire e quindi a trasportare le fiamme verso l'alto); infatti gli incendi sulle tribune riportati prima non hanno interessato lo strato erboso del campo da gioco.

Gli eventi tragici accaduti hanno fatto scuola per il miglioramento della gestione della sicurezza negli stadi, sia per motivi di incendio che di violenza. Come si è detto all'inizio della presente tesi, la sicurezza antincendio ha ripercussioni dirette anche sulla gestione di emergenze non derivanti da incendi. La strage dell'Heysel è una delle più grandi tragedie del mondo del calcio e la calca di persone non è stata generata da un incendio ma da episodi di violenza. La normativa antincendio, specialmente in riferimento agli stadi per il calcio, ha formulato disposizioni specifiche per la gestione delle emergenze, tra cui la suddivisione in settori con adeguate delimitazioni.

Un incendio ha ripercussioni secondo più aspetti: oltre ai danni materiali sulle cose, si generano danni anche alle persone a livello emotivo, a livello di ustioni e di soffocamento, si causano danni all'ambiente circostante, sorgono problemi di ordine pubblico e feriti dovuti alle resse di persone, si possono danneggiare beni di interesse culturale, eccetera.

Il metodo prescrittivo, nel tempo, ha percepito questi problemi e le norme si sono adeguate: ad esempio, lungo la separazione tra campo da gioco e spalti, occorre prevedere delle aperture verso il campo da gioco per evitare lo schiacciamento delle persone e lo scavalco. Anche l'approccio ingegneristico deve tenere conto di questi fatti. Infatti, per la simulazione di un esodo, è importante stabilire i possibili percorsi che gli utenti possono percorrere in caso di pericolo: a seconda della causa ipotizzata, uno o più percorsi possono essere ostruiti.

4.2 SIMULAZIONE DEI FLUSSI CON “OASYS MASSMOTION”

Il software è caratterizzato da una interfaccia grafica piuttosto semplice nella quale sono presenti tutti i comandi, suddivisi in schede o menu a discesa.



I. 33: Interfaccia grafica del software MassMotion

Per poter studiare il flusso delle persone occorre seguire il seguente schema di lavoro:

- 1) Creazione del modello;
- 2) Definizione degli utenti;
- 3) Definizione delle attività da analizzare;
- 4) Validazione del progetto;
- 5) Esecuzione delle simulazioni.

Nel seguito si analizzano tutti e cinque i punti e si trattano le funzionalità principali del software al fine di spiegare le scelte che occorre fare per poter ottimizzare le simulazioni. Per ulteriori approfondimenti riferirsi direttamente alla *Help Guide* del software in cui spiegate dettagliatamente tutte le funzionalità del programma.

4.2.1 CREAZIONE DEL MODELLO

Il modello consiste nella creazione di tutti i **piani di calpestio** su cui dovranno muoversi gli utenti. In MassMotion non occorre definire lo spessore dei pavimenti e delle scale perché occorre stabilire solo il percorso che le persone devono seguire. Gli oggetti possono essere creati direttamente sul software, possono essere importati, oppure è possibile combinare i due procedimenti.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

I file di progetto dello stadio sono stati forniti con estensione .dwg, ovvero file di AutoCAD, contenenti:

- la planimetria generale del lotto;
- le piante dei diversi livelli dello stadio;
- alcune sezioni trasversali.

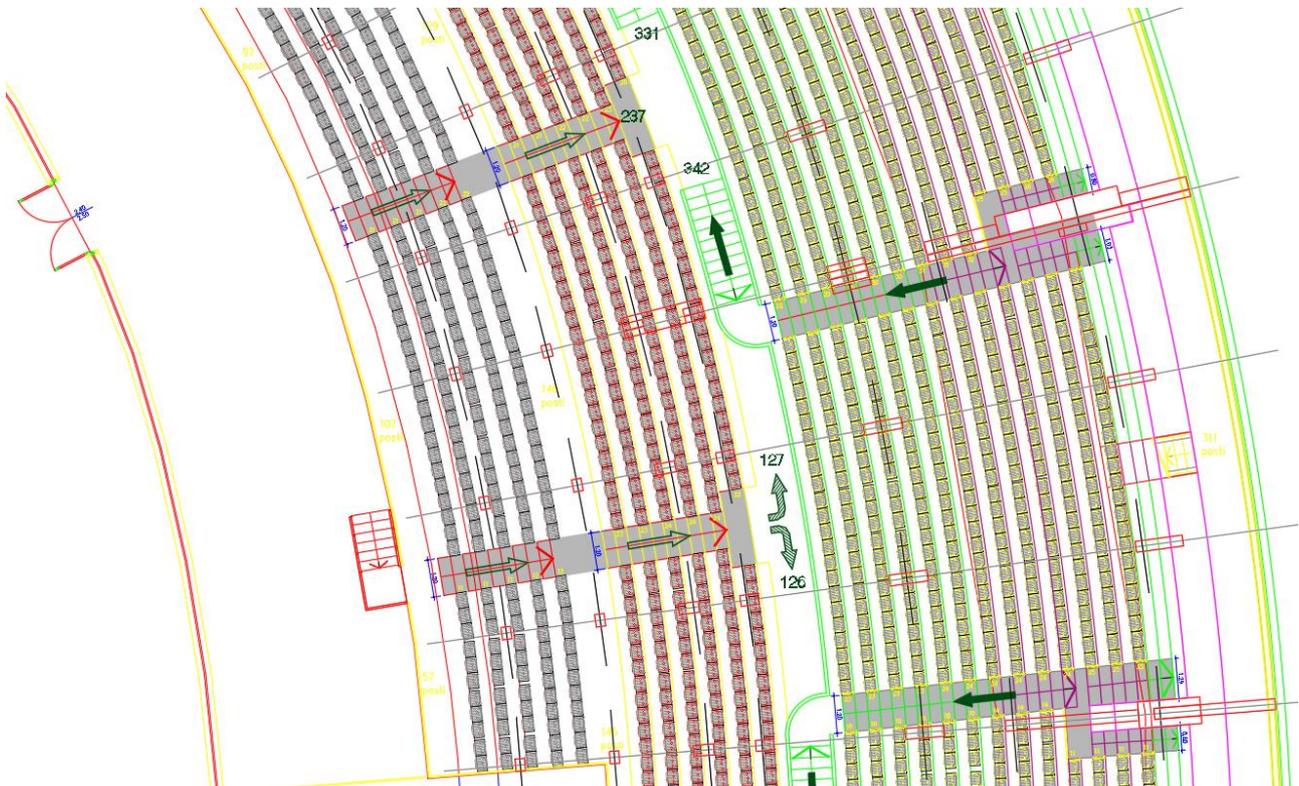
La soluzione adottata per la creazione del modello 3D del complesso sportivo consiste nel seguente procedimento:

- 1) disegnare i pavimenti (denominati *floor* in MassMotion) su AutoCAD;
- 2) importare i pavimenti su MassMotion;
- 3) creare gli elementi di connessione su MassMotion.

Su AutoCAD i pavimenti sono stati definiti usando delle **polilinee chiuse**, in modo da poter essere riconosciute su MassMotion come aree e quindi come *floor*.

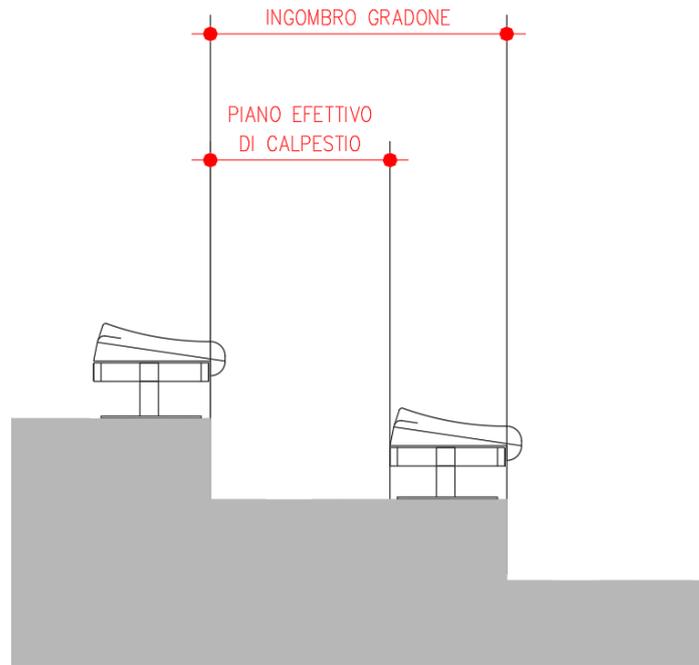
Le tribune sono una struttura particolare perché, secondo la logica del software MassMotion, si tratta di un insieme di lunghi e stretti pavimenti disposti uno accanto all'altro. Quindi a ciascun gradone della tribuna è stato associato un pavimento, definito da una polilinea chiusa su AutoCAD. Per semplificare il processo, e per ridurre il numero di elementi da importare, i gradoni appartenenti alla stessa fila, quando possibile, sono stati racchiusi da un'unica polilinea con la conseguente creazione di un unico pavimento.

Dato che su MassMotion ciò che occorre definire sono i piani effettivi di calpestio, dai gradoni si è sottratto l'ingombro causato dai seggiolini dei posti a sedere. Questo ha comportato una riduzione significativa della larghezza dei pavimenti, che tuttavia rappresenta la condizione reale in cui si muovono gli spettatori. Si tiene a precisare che MassMotion cerca di ricreare la situazione reale al fine di ottenere risultati più corretti. Indicativamente il piano effettivo di calpestio dei gradoni è di circa 50 cm.



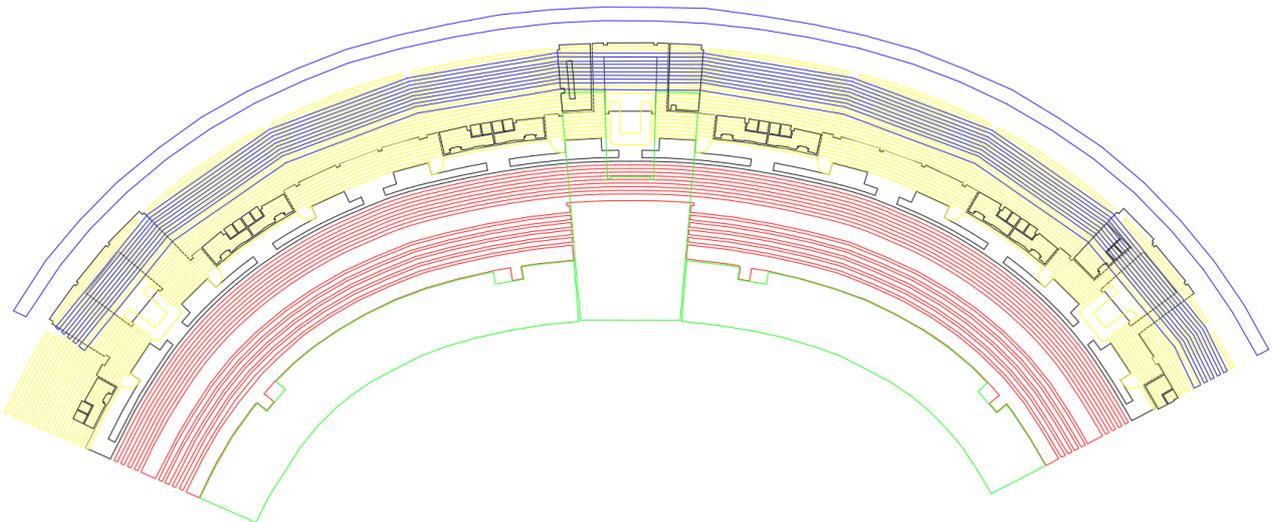
I. 34: Stralcio di planimetria in cui sono riportati i posti a sedere

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 35: Schema che riporta il piano effettivo di calpestio

Dato che su MassMotion occorre importare solo le polilinee e nessun altro elemento presente nei file di AutoCAD si è scelto di creare le polilinee su un *layer* apposito in modo da poterle copiare facilmente su un altro file vuoto di AutoCAD. Si precisa che per ottenere tutte le polilinee è stato necessario basarsi su più file CAD e tutte le polilinee sono state copiate in unico file appositamente creato e privo di altri elementi inutili.

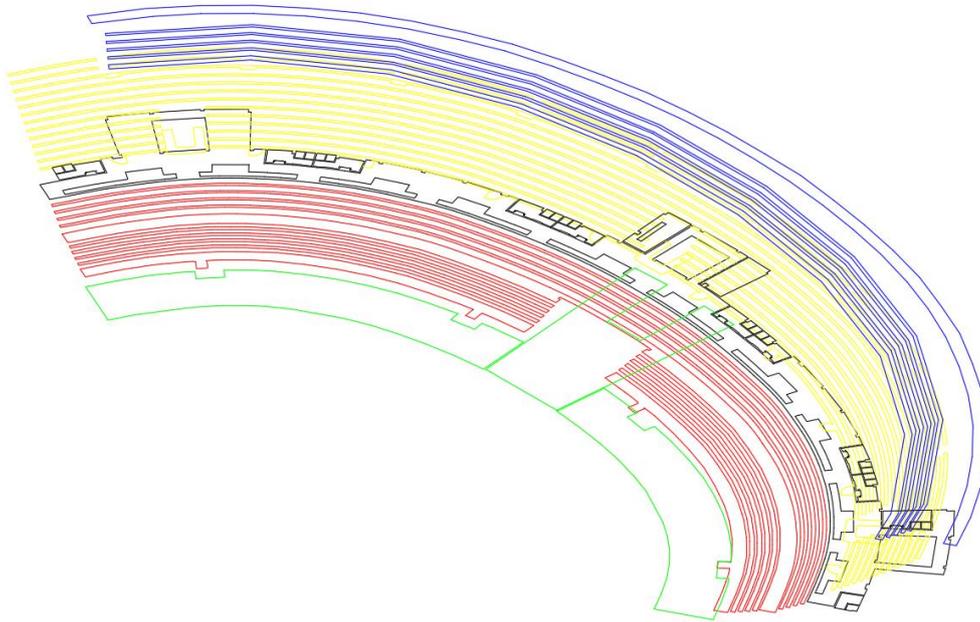


I. 36: Polilinee rappresentanti i piani di calpestio della curva nord

In realtà, sul software di simulazione, è possibile scegliere, dal file CAD selezionato, quali *layer* importare. Questa opportunità consente di evitare la creazione di nuovi file CAD appositi. Tuttavia, per il caso in esame, si è scelto, come detto prima, di creare un file nuovo perché le polilinee derivano da più file di progetto e quindi si è reso necessario unirle in un file "pulito" al posto di importare più file CAD.

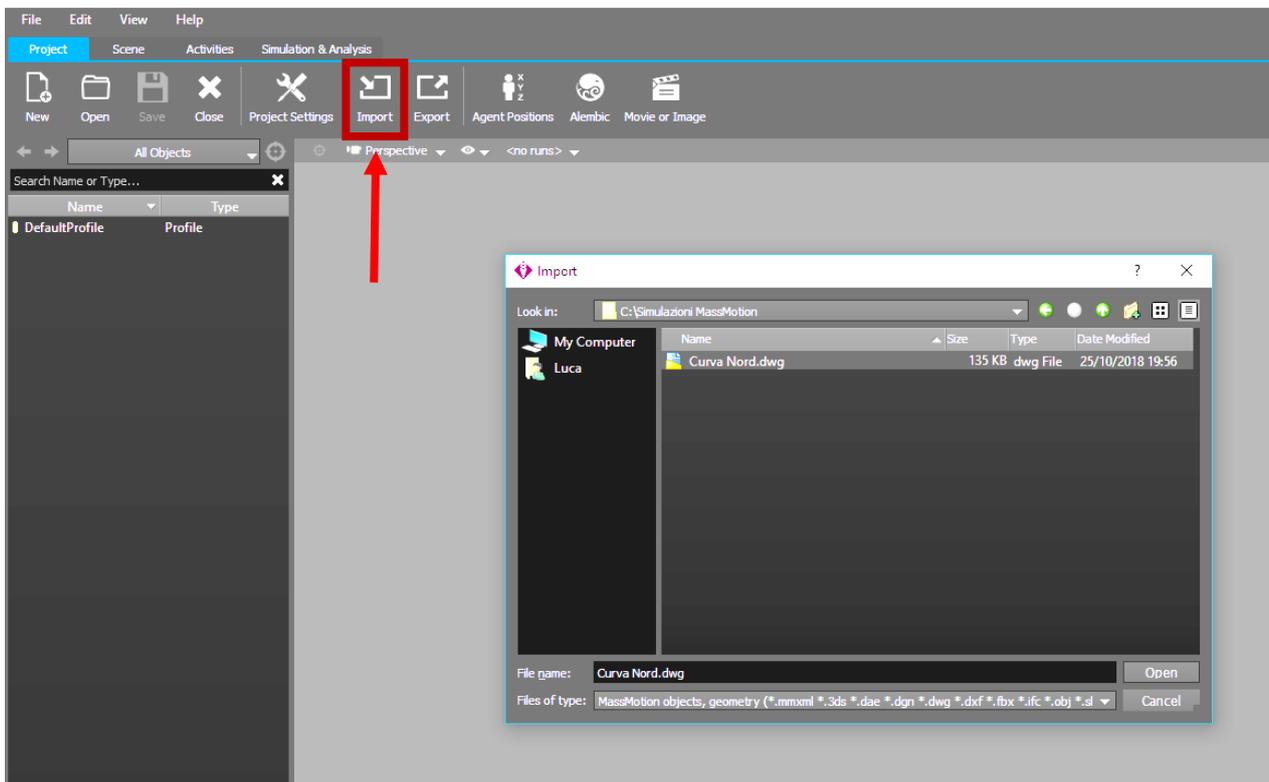
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Dopo aver ottenuto tutte le polilinee si è resa necessaria la loro corretta posizione nello spazio. Prendendo come riferimento le sezioni trasversali di progetto, le diverse polilinee sono state portate alla giusta altezza in modo da ricostruire il profilo 3D delle tribune.



I. 37: Profilo 3D della curva nord

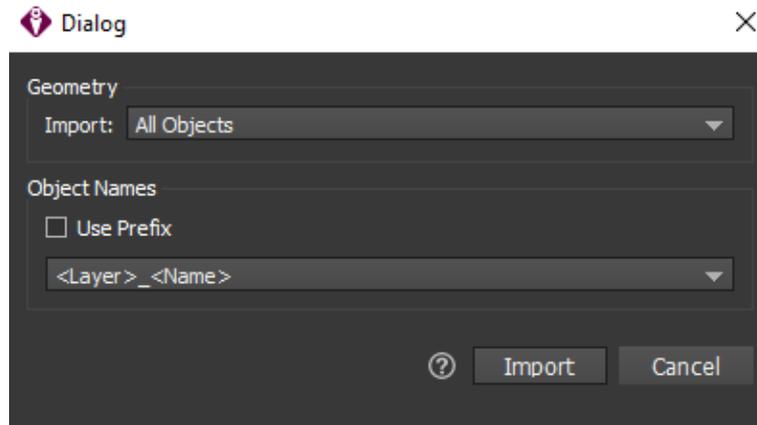
Si prosegue con l'importazione del profilo 3D su MassMotion. Si utilizza il comando *Import*, selezionando il file CAD delle polilinee.



I. 38: Comando Import

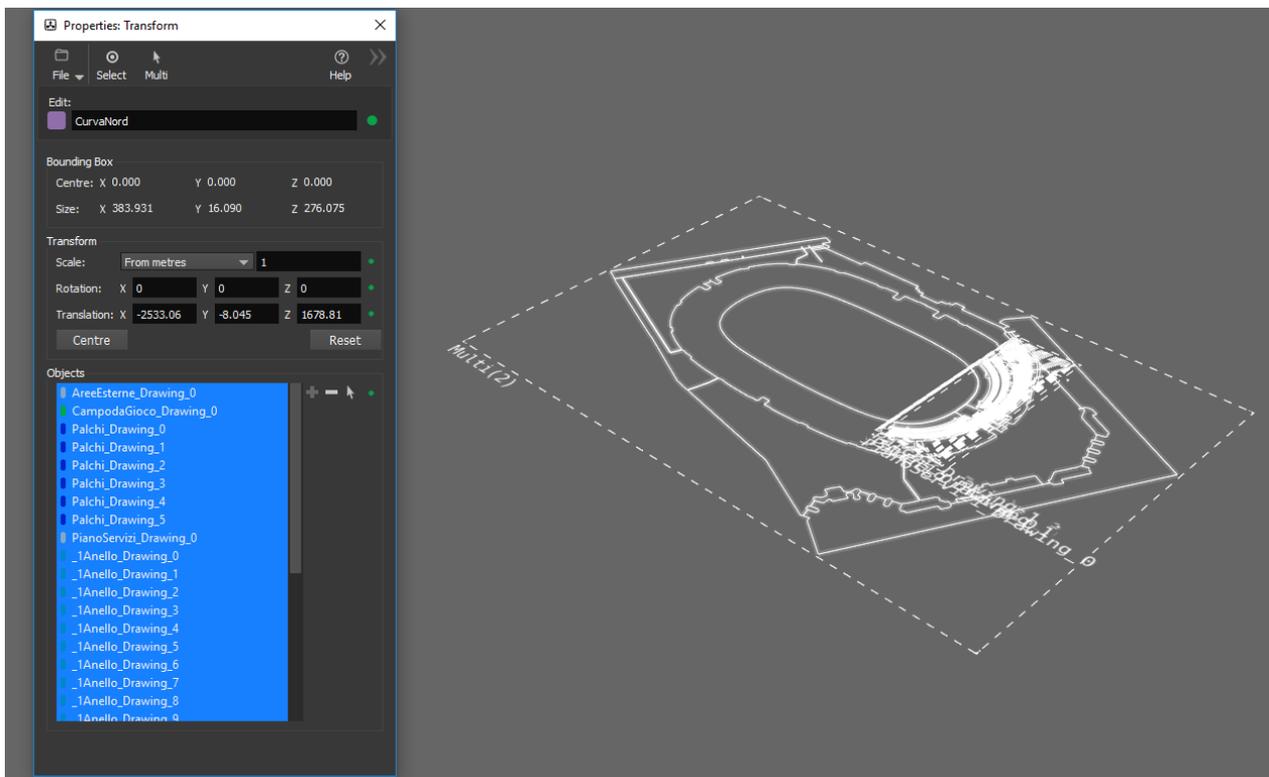
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Dopodiché comparirà una seconda finestra di dialogo che chiederà quali *layer* importare. Nel caso in esame si sono importati tutti i *layer* dato che nel file importato ci sono solo le polilinee. L'importazione di *layer* vuoti, come ad esempio il *layer 0*, non comporta problemi perché, durante l'importazione, il software di simulazione non riconosce oggetti su tali *layer* e quindi questi ultimi non sono considerati.



I. 39: Finestra di dialogo per la scelta dei layer da importare

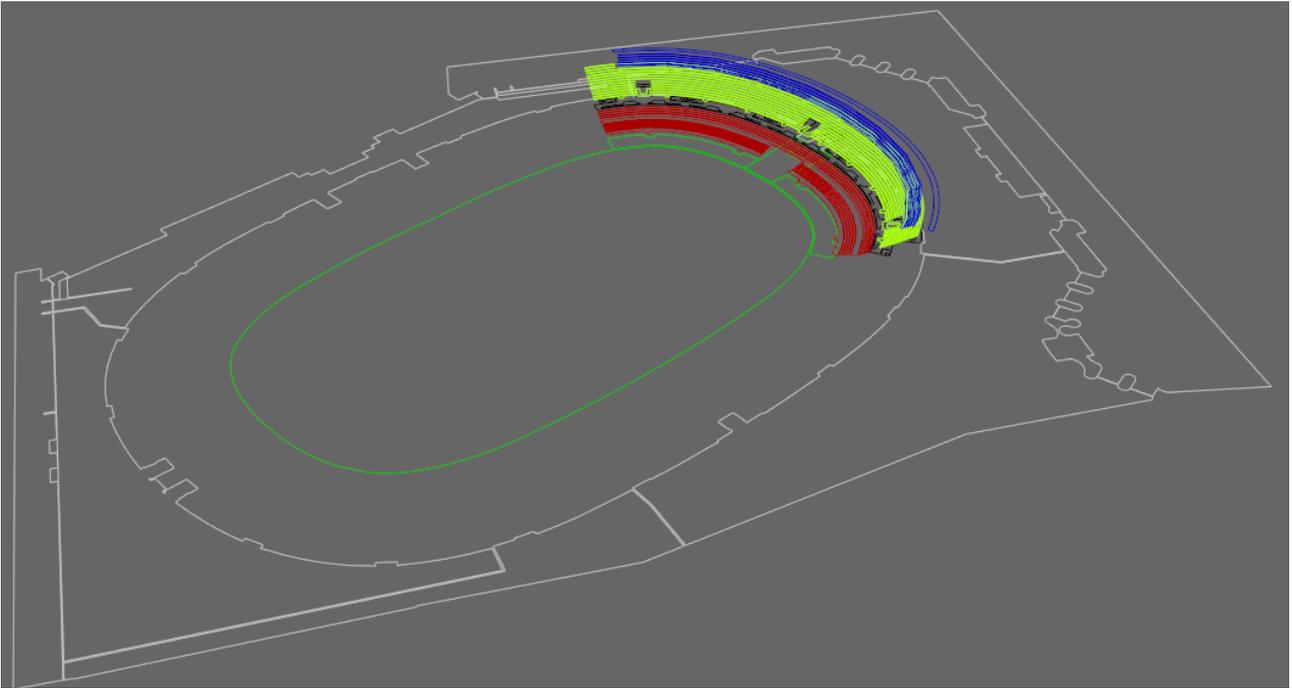
Successivamente appare una terza finestra di dialogo che consente di specificare alcuni parametri relativi all'importazione. Ciò su cui bisogna porgere attenzione è la scala di trasformazione: occorre che sia congruente con il file importato. Ad esempio, se gli elementi sul file CAD fossero disegnati in centimetri, occorre scegliere *From centimetres* tra le opzioni della voce *Scale*. Nel caso dello Stadio Olimpico gli oggetti su CAD sono in metri, quindi si è scelto *From meters*.



I. 40: Finestra di dialogo in cui si stabilisce la scala di trasformazione

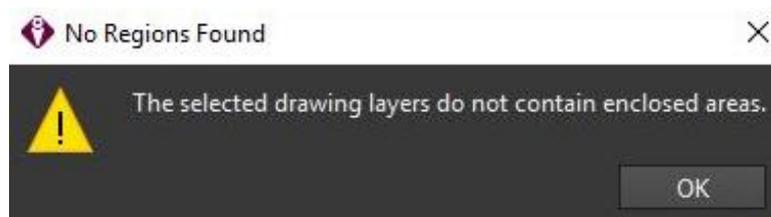
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Dopo l'importazione sul programma di simulazione si ottiene il seguente risultato.



I. 41: Polilinee importate su MassMotion

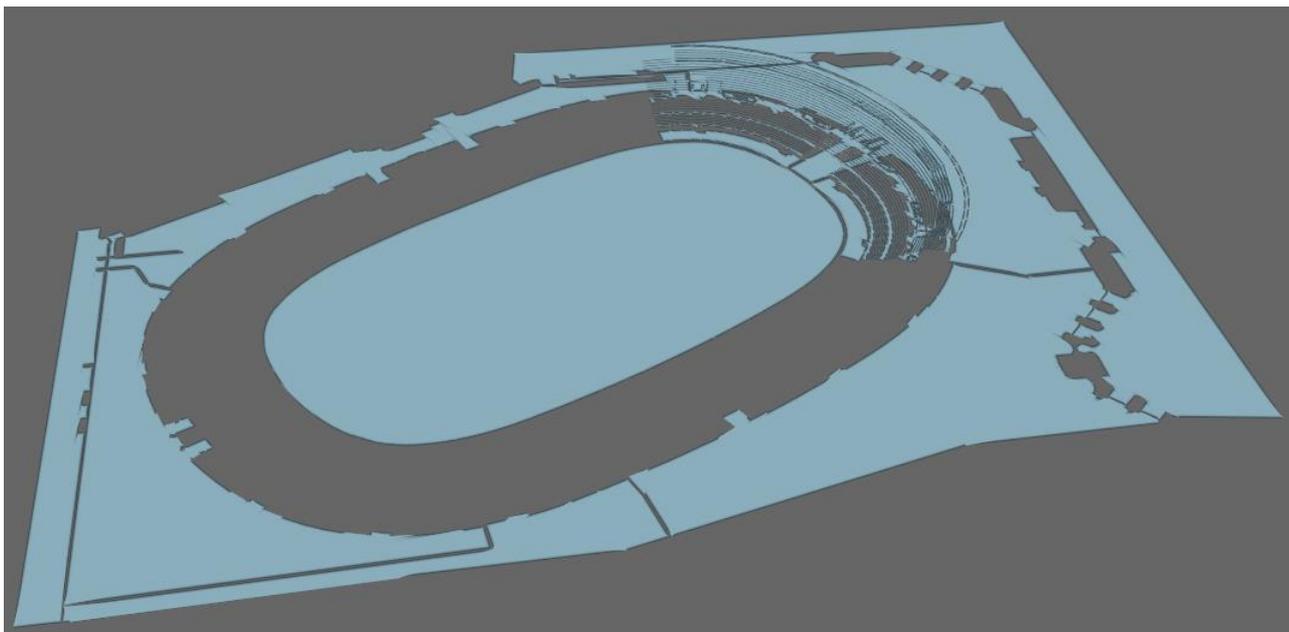
A questo punto occorre convertire le aree chiuse delle polilinee in pavimenti (*floor*). Questa operazione è piuttosto immediata perché, grazie ai comandi *Find Regions* e *Generate*, presenti tra i comandi avanzati per il disegno, è possibile convertire le aree chiuse selezionate in pavimenti. Come già detto in precedenza, occorre assicurarsi che le polilinee di AutoCAD siano chiuse per evitare errori di riconoscimento su MassMotion.



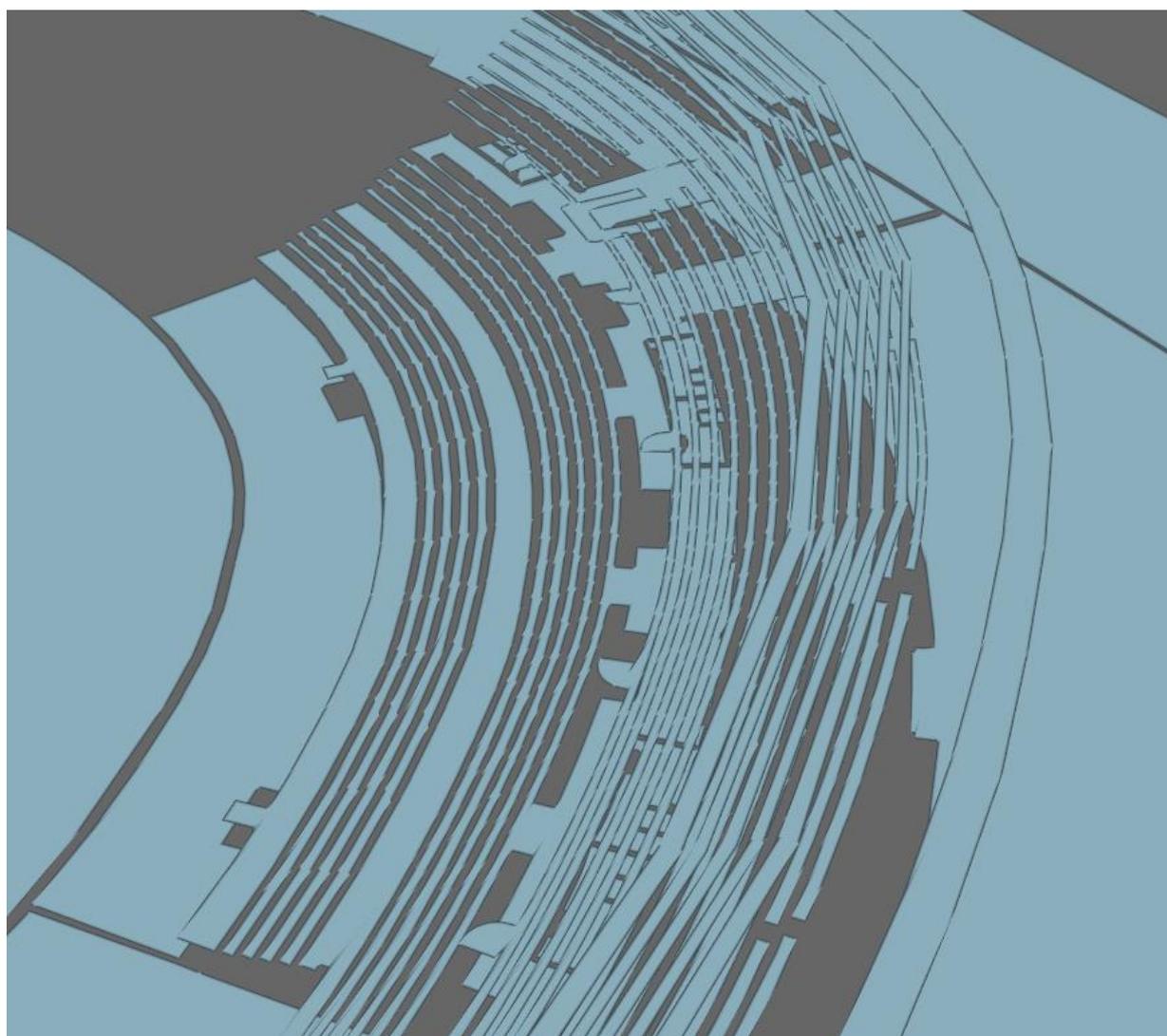
I. 42: Messaggio di errore dovuto al mancato riconoscimento di un'area

Sia che si selezionino una a una o assieme, per ciascuna polilinea sarà generato un pavimento distinto. I *floors* saranno anche indipendenti dalle stesse polilinee generatrici e il software non elimina le polilinee dopo il riconoscimento dei piani di calpestio. Per una miglior visualizzazione su schermo, è possibile rendere nascoste le polilinee, così come anche ogni altro oggetto che si desidera nascondere.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 43: Pavimenti generati su MassMotion

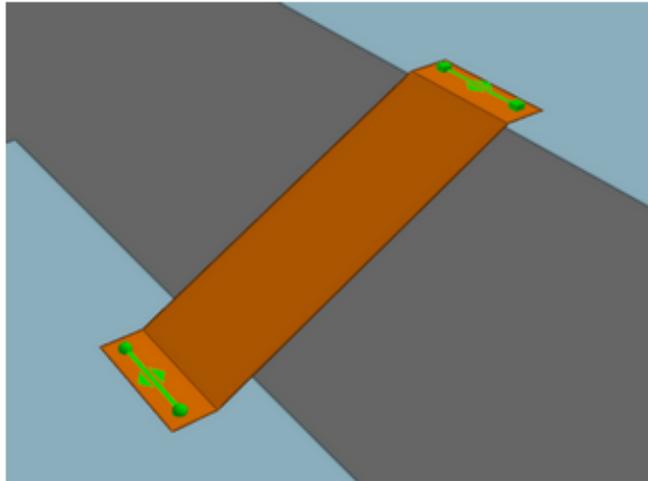


I. 44: Ingrandimento pavimenti generati su MassMotion

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Ottenuti i pavimenti occorre inserire gli elementi che li collegano, ovvero le scale (*Stairs*) e le porte (*Link*). Le scale sono creabili o con il comando presente tra i comandi principali oppure con la combinazione dei comandi *Trace* e *Generate*. Le scale, su MassMotion, sono un insieme di tre elementi geometrici:

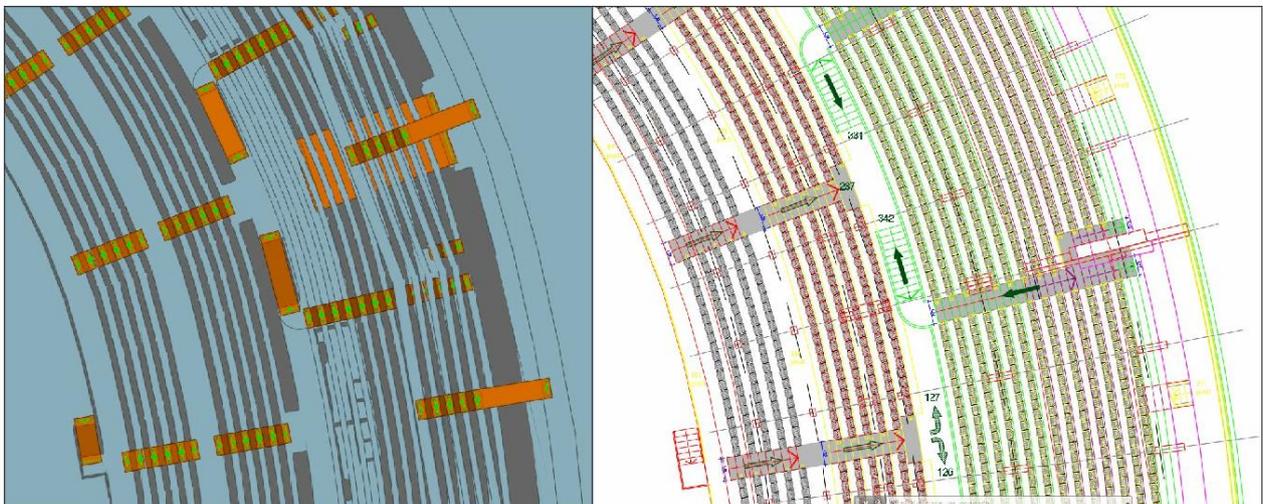
- pianerottolo superiore;
- piano inclinato;
- pianerottolo inferiore.



I. 45: Esempio di scala su MassMotion – Fonte: MassMotion Help Guide

Una scala è correttamente posizionata se sia i pallini (*ball*) che i quadratini (*box*) presenti sui pianerottoli sono di colore verde chiaro, altrimenti vuol dire che i pianerottoli non sono correttamente appoggiati sul pavimento.

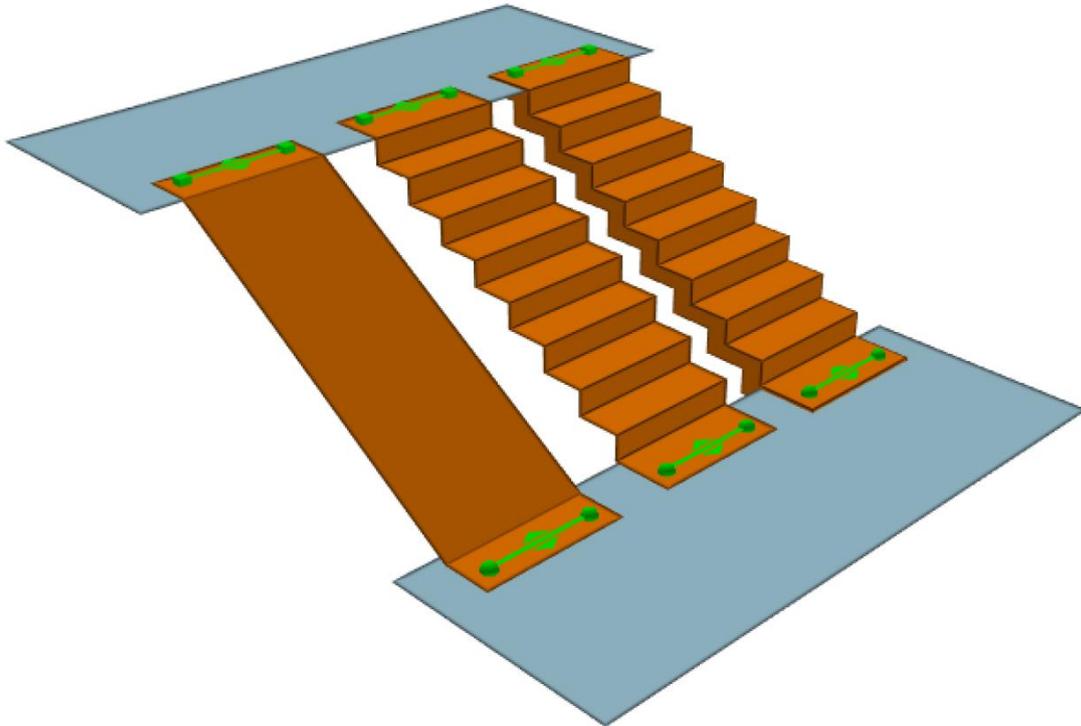
Nelle scale risiede uno dei principali problemi riscontrati sul software. Infatti nel programma è possibile fare accedere gli utenti solo dai pianerottoli e non trasversalmente lungo il piano inclinato. Quindi si è scelto di suddividere le rampe delle scale in più scale in modo da poter fare fluire le persone anche lateralmente.



I. 46: Confronto tra le scale su MassMotion e su AutoCAD

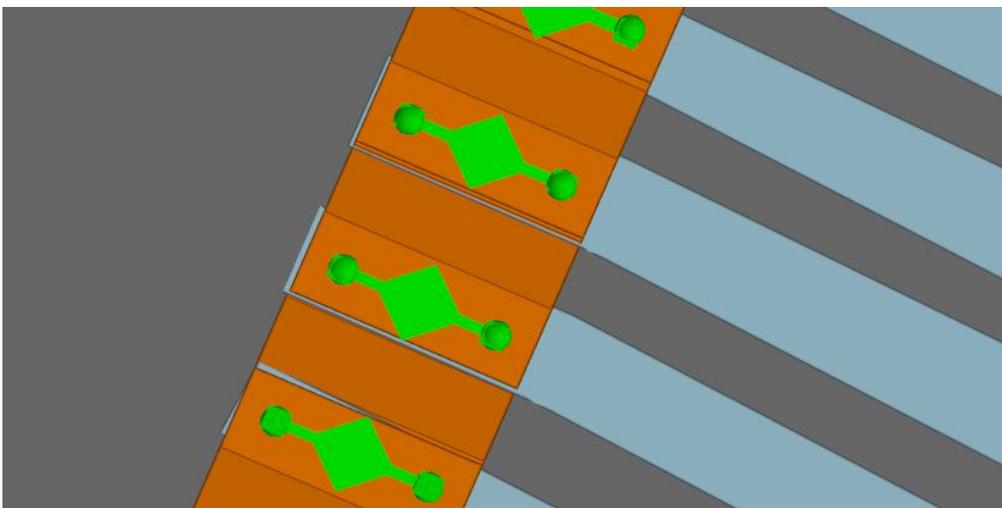
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Con i comandi relativi alla gestione del sistema di riferimento è possibile modificare le dimensioni geometriche, la posizione e la rotazione della scala (e di qualunque altro oggetto) al fine di ottenere le stesse condizioni di progetto. Si nota inoltre come il tipo di forma delle scale non influenza il comportamento degli utenti. Infatti, facendo riferimento all'immagine sottostante, si evidenzia il fatto che le tre rappresentazioni sono analoghe dal punto di vista dell'esodo degli spettatori.



I. 47: Tre differenti rappresentazioni fisiche delle scale – Fonte: MassMotion Help Guide

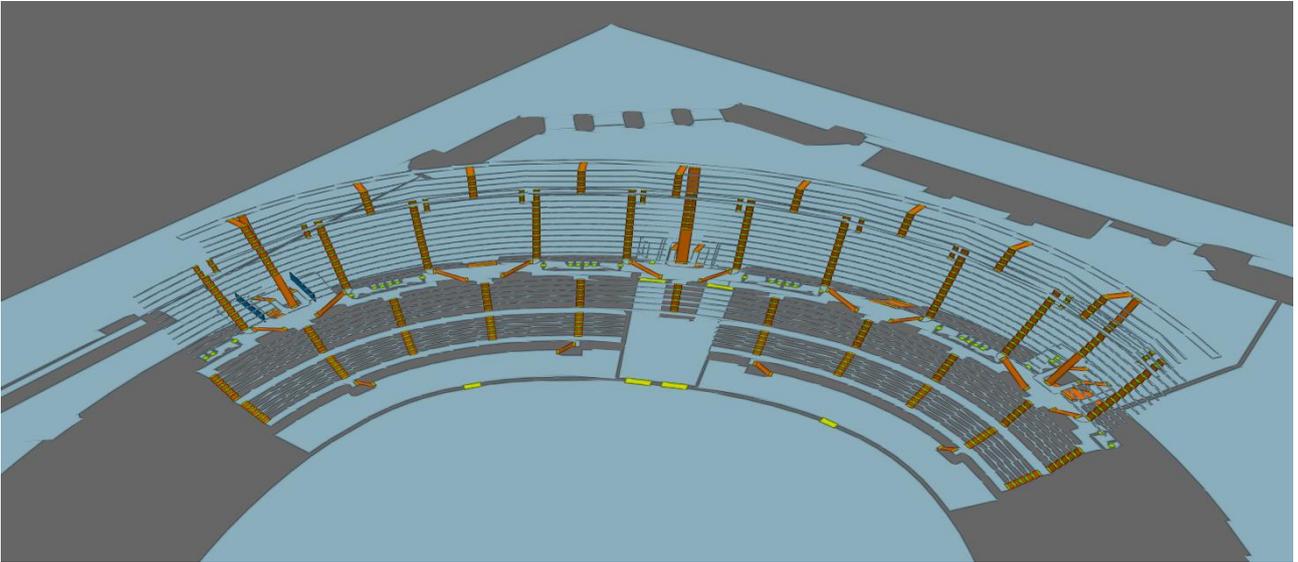
È possibile che il posizionamento delle scale generi qualche problema grafico causato dall'interazione tra pavimento e pianerottoli. Si tratta soltanto di problemi di visualizzazione grafica che non comportano errori durante le simulazioni. L'importante è che il colore dei pallini e quadratini sia sempre verde chiaro.



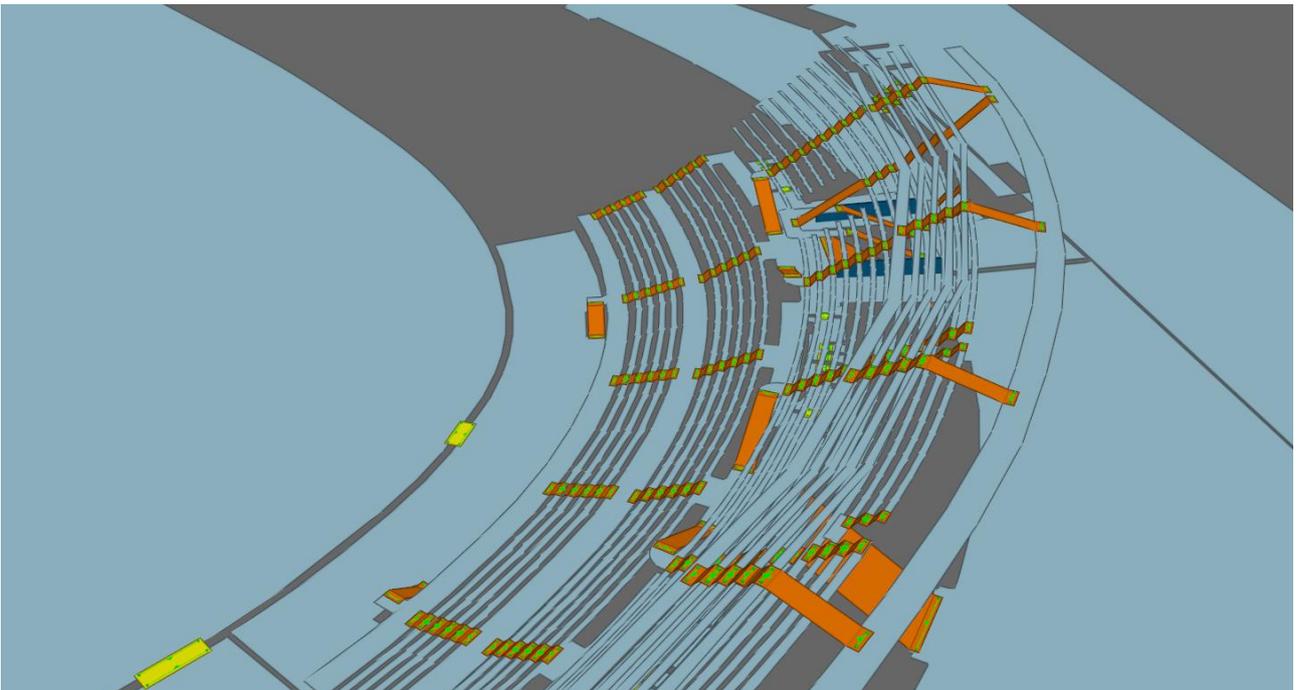
I. 48: Esempio di errori grafici tra scale e pavimenti su MassMotion

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Il posizionamento dei *link* consente di creare collegamenti tra due pavimenti posizionati allo stesso livello. La loro realizzazione è analoga a quella delle scale e anche in questo caso sia i pallini che i quadratini devono essere di colore verde chiaro.



I. 49: Modello su MassMotion con l'aggiunta di scale e porte

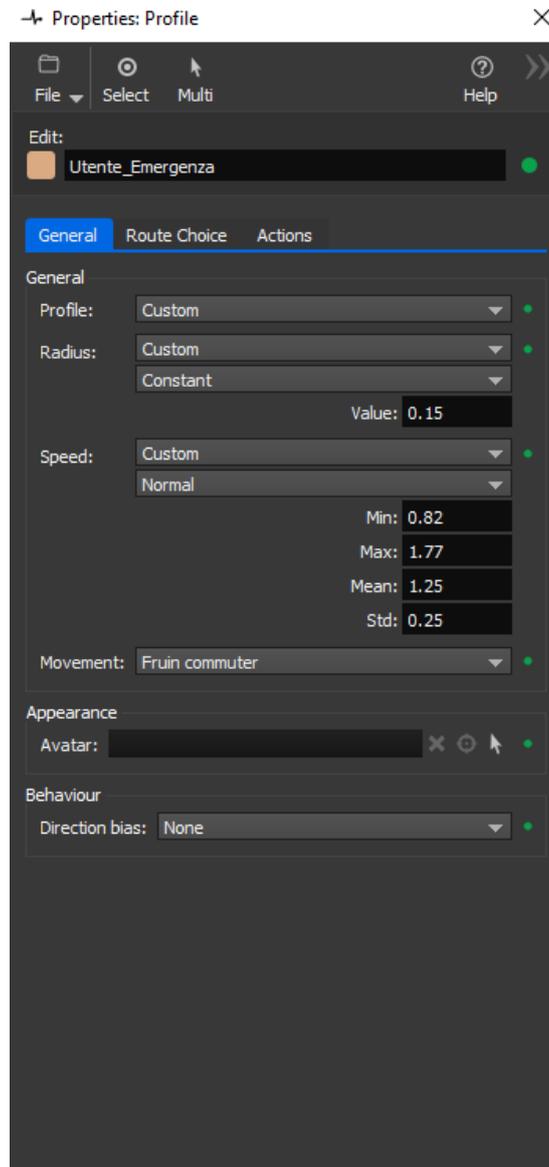


I. 50: Ingrandimento modello su MassMotion con l'aggiunta di scale e porte

Tutti gli oggetti creati sono elencati nella barra a sinistra dello schermo. La selezione degli oggetti e l'accesso alle loro proprietà può avvenire o dalla barra di elenco degli oggetti o direttamente dal visualizzatore a seconda delle necessità. Accedendo alle proprietà delle scale e dei link è possibile impostare il loro senso di percorrenza. Dato che a livello generale non si intende privilegiare nessuna direzione occorre impostare la voce *Direction*, presente nella scheda *General*, scegliendo *Two Way*.

4.2.2 DEFINIZIONE DEGLI UTENTI

In MassMotion le persone sono rappresentate dagli *Agents*. Il software consente di indicare alcune caratteristiche che gli utenti devono avere al fine di una corretta simulazione. Tali parametri sono modificabili dalla finestra di dialogo relativa al comando *Profile*, nella scheda *Activities*.



I. 51: Finestra di dialogo delle proprietà degli spettatori

Le proprietà più importanti sono riportate nella scheda *General* e sono descritte nel seguito:

- *Profile*: il profilo rappresenta il tipo di utente (persona normale, persona con bagaglio, persona su sedia a rotelle, ...); si è scelto *Custom* perché è il profilo standard (persona normale senza disabilità motorie), il più rappresentativo delle persone presenti sulle tribune;
- *Radius*: il raggio è l'ingombro spaziale degli agents e rappresenta la distanza tra spalla e centro della testa. Una persona media ha un raggio di circa 25 cm, ma sul software, nel quale è possibile far variare il raggio tra 0,15 m e 0,40 m, si è impostato un valore costante pari a 0,15 m come meglio specificato nel capitolo 4.2.4; come profilo si è scelto sempre *Custom*;

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

- *Speed*: è possibile stabilire la velocità di spostamento degli agents secondo più profili e distribuzioni statistiche; si è scelto *Custom* come profilo e *Normal* come distribuzione che consente di stabilire velocità minima, massima e media; tali valori si sono ricavati dalla norma ISO/TR 16738;

Table G.4 — Travel speeds reported in the referenced literature

Type of situation		Measured travel speeds m/s (ft/min)				
Population density is reportedly not a factor	Transport terminals [51]	1,35 (265) on walkways				
	Average under "normal conditions" [55]	1,0				
	Experiment with disabled subjects [13]	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
	On upward incline:					
	All disabled subjects	0,21	0,42	0,74	1,32	0,62
	With locomotion disability	0,21	0,42	0,72	1,08	0,59
	No aid	0,30	0,48	0,87	1,08	0,68
	Crutches	0,35	—	—	0,53	0,46
	Cane	0,21	0,38	0,70	1,05	0,52
Walker/rollator	0,30	—	—	0,42	0,35	
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,32	1,01	
Unassisted wheelchair	0,70	—	—	—	—	
Assisted ambulant	0,23	0,42	0,70	0,72	0,53	
Assisted wheelchair	0,53	0,70	1,05	1,05	0,89	
On downward incline:						
All disabled subjects	0,10	0,42	0,70	1,83	0,60	
With locomotion disability	0,10	0,42	0,70	1,22	0,58	
No aid	0,28	0,45	0,94	1,22	0,68	
Crutches	0,42	—	—	0,53	0,47	
Cane	0,18	0,35	0,70	1,04	0,51	
Walker/rollator	0,10	—	—	0,52	0,36	
Without locomotion disability	0,70	—	—	1,83	1,26	
Unassisted wheelchair	1,05	—	—	—	—	
Assisted ambulant	0,42	0,52	0,86	1,05	0,69	
Assisted wheelchair	0,70	0,96	1,05	1,05	0,96	

I. 52: Stralcio di tabella G.4 – Fonte: ISO/TR 16738

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

la tabella riportata propone alcuni intervalli di valori per superfici orizzontali e verticali. Nelle proprietà degli agents occorre impostare la velocità lungo i piani orizzontali (i pavimenti) perché il software impone in automatico delle riduzioni alla velocità lungo le scale;

Direction of Travel	Angle X (degrees)	Percentage of Natural Speed
Up	$0 < X < 27$	42.6
Up	$27 \leq X \leq 32$	Interpolated between 42.6 and 37.8
Up	$32 < X$	37.8
Down	$0 < X < 27$	57.4
Down	$27 \leq X \leq 32$	Interpolated between 57.4 and 49.8
Down	$32 < X$	49.8

I. 53: Riduzioni della velocità di percorrenza lungo le scale – Fonte: MassMotion Help Guide

- **Movement:** si intende il rapporto tra variazione di velocità e densità di affollamento; scegliendo l'opzione *Fruin Commuter* si ordina al software di far variare la velocità a seconda dell'affollamento, che rappresenta la situazione reale;
- **Avatar:** si intende la rappresentazione simbolica degli agents; non è di particolare interesse il suo approfondimento;
- **Direction Bias:** con questa opzione si può stabilire una direzione privilegiata verso cui far muovere gli utenti; si è scelto l'alternativa *None* al fine di non condizionare l'esodo perché non esistono direzioni privilegiate.

Le impostazioni delle altre due schede della finestra, *Route Choice* e *Actions*, sono state lasciate di default in quanto non sono presenti percorsi privilegiati e perché non si prevedono azioni particolari durante la creazione degli agents.

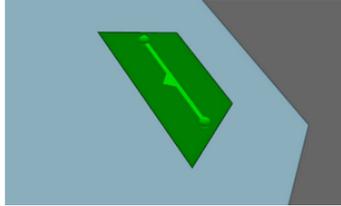
In merito allo Stadio Olimpico di Torino si è considerato solo un profilo di persone. Non si è ritenuta appropriata la creazione di più profili in quanto, nella curva nord, non sono previsti utenti su sedia a rotelle e perché sarebbe risultato complicato e non attendibile prevedere con quali percentuali disporre utenti diversi sulle tribune. Tuttavia, avendo impostato un range di velocità compreso tra 0,82 m/s e 1,77 m/s, si ritiene che nello stesso profilo impostato su MassMotion rientrino sia persone adulte normali che persone mediamente più lente, come ragazzini e persone più anziane. Questi valori però riguardano la velocità in fasi concitate (di emergenza): nel caso di condizioni ordinarie (persone che camminano normalmente) si utilizzerà sempre lo stesso profilo impostando una velocità costante pari a 0,90 m/s.

4.2.3 DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ DA ANALIZZARE

Le attività sono gli scenari che si devono simulare e su MassMotion si possono prevedere situazioni differenti. In questa tesi si analizza l'esodo delle persone in condizioni ordinarie e di emergenza. Le prime si definiscono con il comando *Journey*, le altre col comando *Evacuate*, entrambi presenti nella scheda *Activities*.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

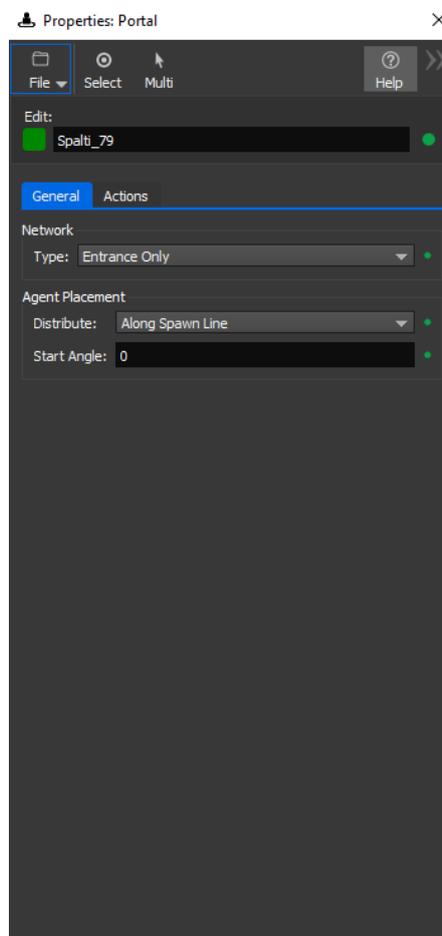
Le attività fanno riferimento ai punti di entrata e di uscita degli utenti: i primi sono quelli in cui compaiono gli agents al momento di inizio delle simulazioni, gli altri rappresentano il punto in cui termina il percorso delle persone. Questi punti, su MassMotion, sono definiti dai portali (*Portal*) di entrata e di uscita, creabili con il comando presente tra i comandi principali o utilizzando i comandi *Trace* e *Generate*.



I. 54: Esempio di portale – Fonte: MassMotion Help Guide

I portali di entrata sono posizionati lungo gli spalti; nelle proprietà, all'interno della scheda *General*, la voce *Type* si imposta scegliendo *Entrance Only* e si stabilisce la tipologia di distribuzione degli agents. Facendo riferimento alla voce *Distribute* è possibile scegliere tra tre alternative:

- *Along Spawn Line*: gli utenti sono posizionati lungo la linea di creazione del portale;
- *Inside Waypoint*: gli utenti sono generati all'interno della sagoma del portale;
- *On Floor*: gli utenti sono posizionati casualmente sul pavimento su cui poggia il portale.



I. 55: Finestra di dialogo delle proprietà dei portali

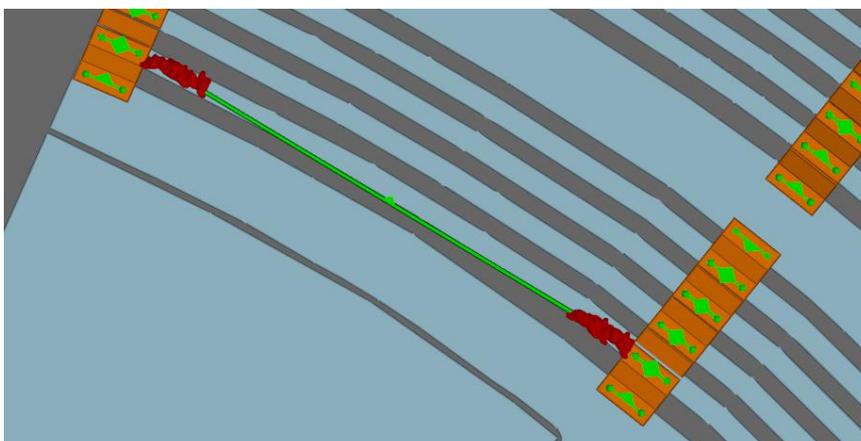
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

L'alternativa *On Floor* sarebbe la più adeguata in quanto, essendo noto il numero di utenti per ogni gradone della tribuna, gli utenti sarebbero posizionati lungo i diversi pavimenti componenti la tribuna. Tuttavia, a causa delle particolari forme geometriche della tribuna (pavimenti stretti, lunghi e non rettilinei), in fase di lancio della simulazione alcuni agents non sono correttamente generati, con la conseguente diminuzione della popolazione sugli spalti.

```
DefaultRun - C:/Simulazioni MassMotion/
Normal Messages
[INFO] Results will be placed in: C:/Simulazioni MassMotion/DefaultRun.mmdb
[INFO] Simulation started (00:00:00 -> 00:15:00).
..
[WARNING] Unable to find clear space for agent on actor Portal
[WARNING] Unable to find clear space for agent on actor Portal
[WARNING] Unable to find clear space for agent on actor Portal
[INFO] Clock: 00:02:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.372s, total: 0.945s)
[INFO] Clock: 00:03:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.244s, total: 1.189s)
[INFO] Clock: 00:04:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.279s, total: 1.468s)
[INFO] Clock: 00:05:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.268s, total: 1.736s)
[INFO] Clock: 00:06:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.253s, total: 1.989s)
[INFO] Clock: 00:07:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.248s, total: 2.237s)
[INFO] Clock: 00:08:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.256s, total: 2.493s)
[INFO] Clock: 00:09:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.29s, total: 2.783s)
[INFO] Clock: 00:10:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.258s, total: 3.041s)
[INFO] Clock: 00:11:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.255s, total: 3.297s)
[INFO] Clock: 00:12:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.253s, total: 3.55s)
[INFO] Clock: 00:13:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.257s, total: 3.808s)
[INFO] Clock: 00:14:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.299s, total: 4.107s)
[INFO] Clock: 00:15:00, Pop: 0, Created: 30, (split: 0.246s, total: 4.353s)
[INFO] Simulation data is being recorded to database. Please wait...
[INFO] Simulation data successfully recorded.
..
[INFO] Simulation stopped.
[INFO] Agents Created : 30
[INFO] Agents Completed With Success : 27
[ERROR] Agents Removed With Errors : 3
[INFO] Agents Still To Sim : 0
[INFO] Duration (Sim Time) : 00:15:00 (900 seconds)
[INFO] Duration (Real Time) : 00:00:04 (4.418 seconds)
[INFO] Date Completed : 14:59:02, Monday, October 29, 2018
[INFO] MassMotion Version : 9.0.17.0
[INFO] Simulation data may now be reviewed and analysed in the main window.
[INFO] Simulation window may be safely closed.
```

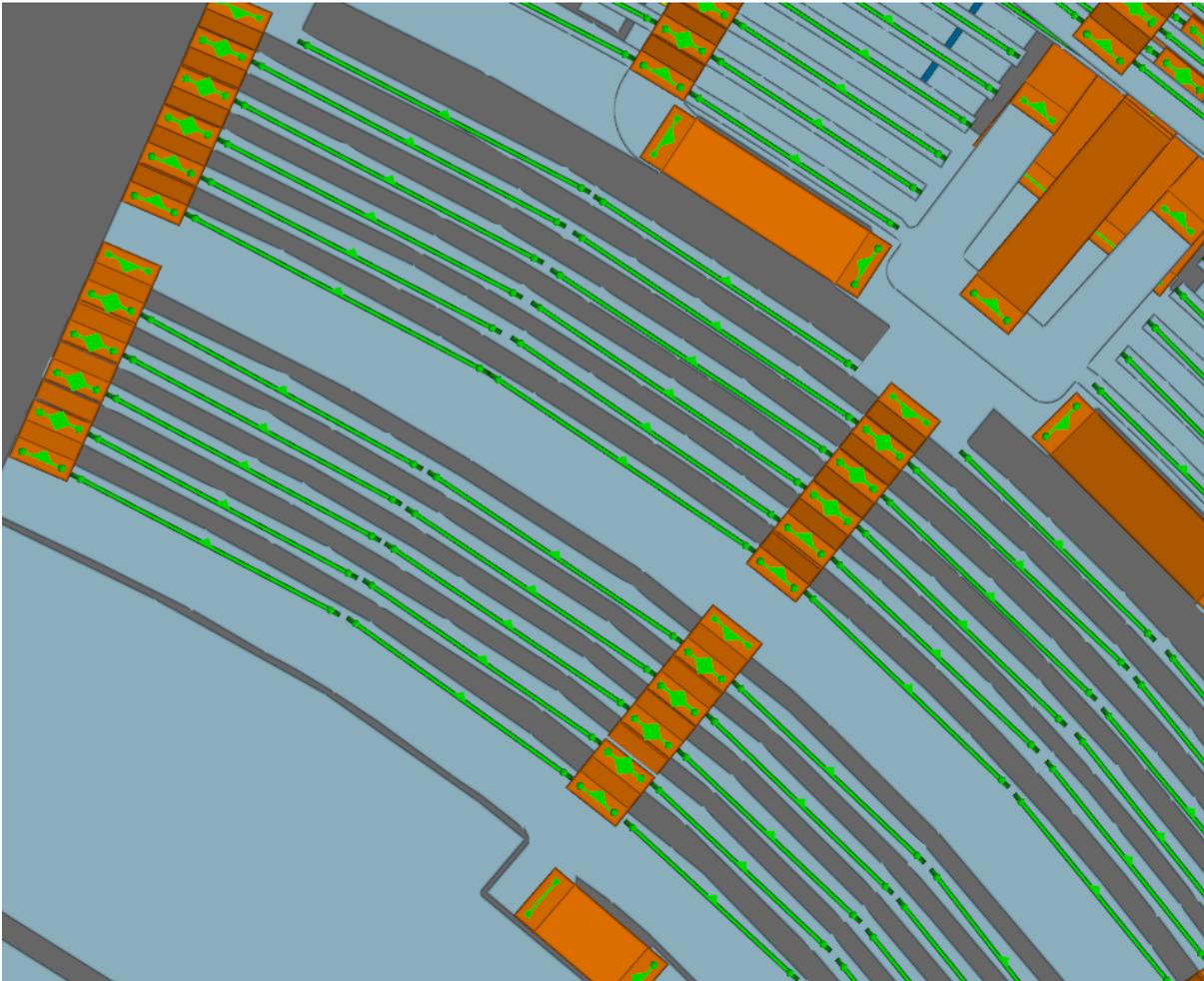
I. 56: Report simulazione di prova in cui alcuni agents non sono generati

A causa di questo problema si è scelta l'alternativa *Along Spawn Line*. Dato che la linea di creazione è sempre rettilinea a prescindere dalla forma del portale o del pavimento a cui fa riferimento, si sono dovuti posizionare più portali al fine di coprire, con tratti rettilinei, tutti gli involuপি curvi dei gradoni.



I. 57: Errore di generazione degli agents accumulati agli estremi del portale di entrata

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 58: Discretizzazione degli involuপি curvi dei gradoni con portali rettilinei

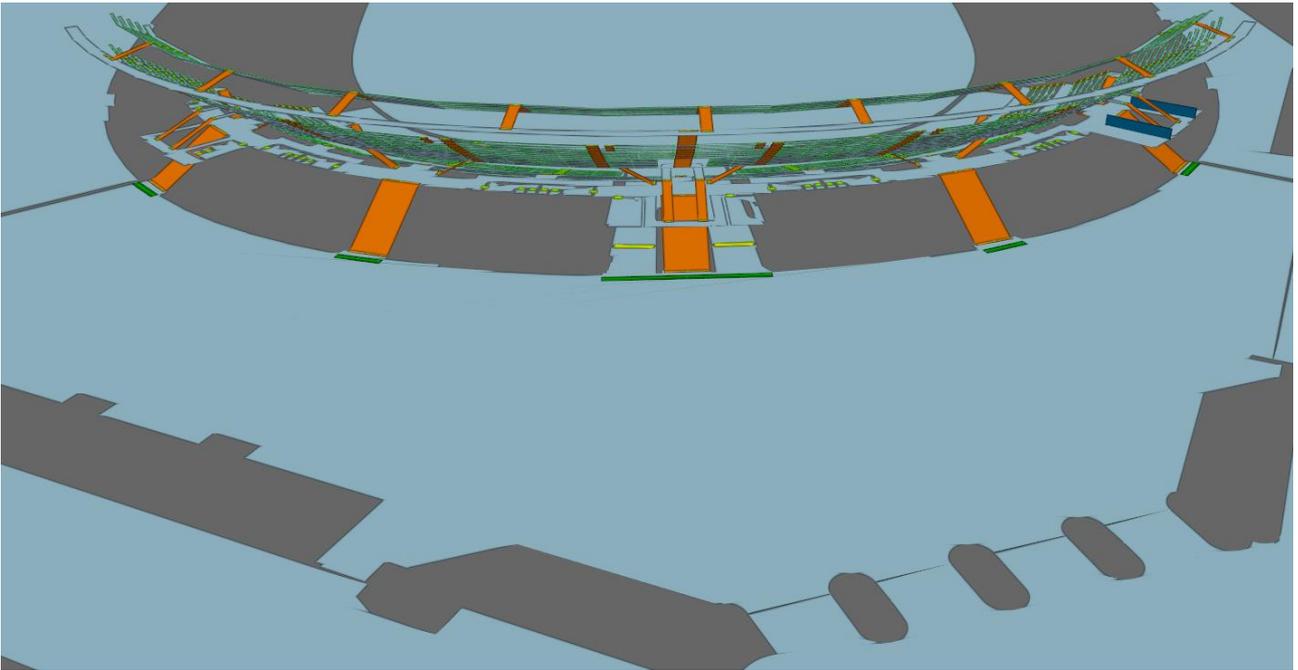
L'immagine I. 57 mette in evidenza perché non sia possibile utilizzare un solo portale per ciascun gradone. La linea di generazione non segue la curvatura degli spalti e esiste una distanza minima tra essa e il confine del pavimento sotto la quale gli agents non vengono creati; il software cerca di risolvere il problema cercando di creare tutti gli spettatori sfruttando i tratti di spawn line in cui tale distanza minima sussiste.

I portali di uscita sono posizionati in prossimità dei vomitori e dei varchi presenti tra tribune e campo da gioco. Nelle proprietà la voce *Type* deve essere impostata scegliendo *Entrance and Destination*; la distribuzione degli utenti non è da considerare per i questi portali. I portali di uscita rappresentano il raggiungimento di un luogo sicuro o di ragionevole sicurezza, così come richiesto dalla Green Guide nella definizione di **Emergency Evacuation Time** (tempo di evacuazione in caso di emergenza). I luoghi sicuri consistono delle aree di servizio esterne a cui si giunge tramite i vomitori; il luogo di ragionevole sicurezza considerato è il campo da gioco.

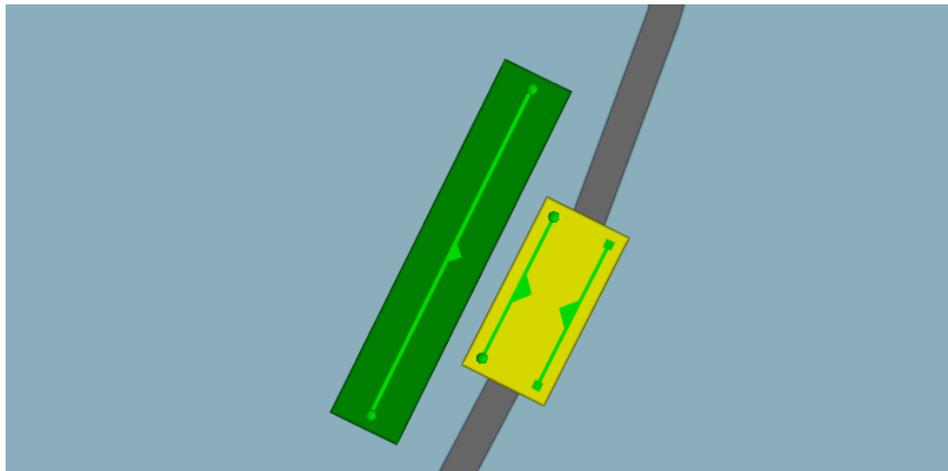
The emergency evacuation time is a calculation which, together with the rate of passage, is used to determine the capacity of the emergency exit system from the viewing accommodation to a place of safety or reasonable safety, in the event of an emergency (see Section 15.16).

I. 59: Definizione di Emergency Evacuation Time – Fonte: Green Guide

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 60: Posizionamento dei portali di uscita ai piedi dei vomitori



I. 61: Esempio di portale di uscita presso il campo da gioco

Sia i portali di entrata che di uscita devono essere posizionati correttamente sui pavimenti: la loro validità è confermata se la spawn line è di colore verde chiaro.

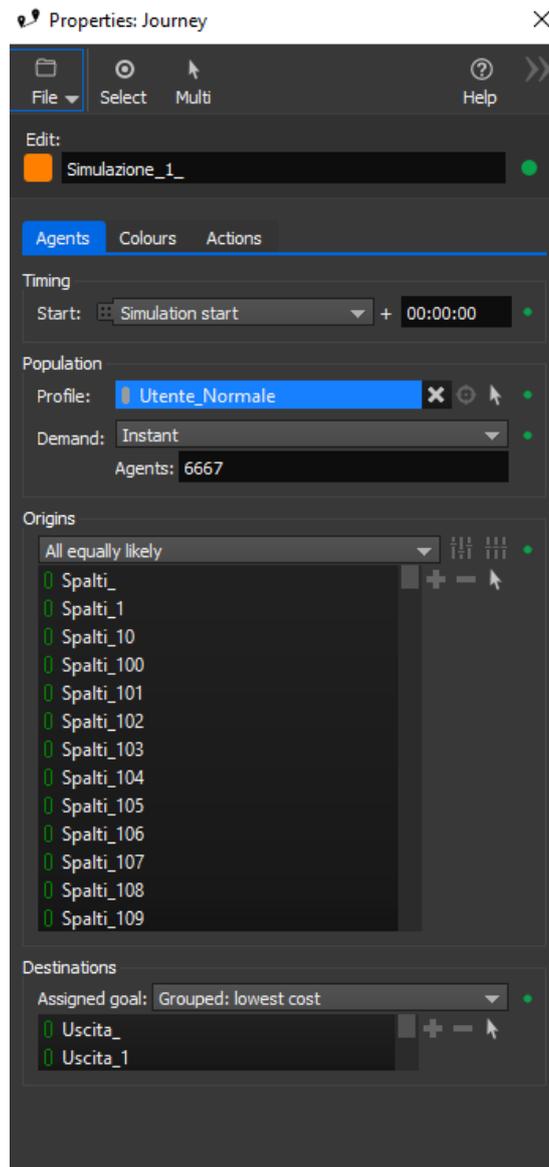
Dopo aver creato i portali si definiscono gli scenari da valutare e le loro caratteristiche. Si valutano ora le proprietà dell'attività *Journey*.

Nella scheda *Agents* sono presenti le seguenti voci:

- *Start*: con questa voce è possibile imporre variazioni al tempo, ad esempio si può stabilire dopo quanti minuti far partire la simulazione; nel caso in esame il tempo non è alterato in nessuna simulazione;
- *Profile*: si sceglie la tipologia di agent; si fa riferimento al profilo con velocità di percorrenza pari a 0,90 m/s;

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

- **Demand:** con questa voce si impone come far apparire gli agents; nel caso in esame si è scelta l'opzione *Instant* che consente di generare tutti gli spettatori di tutta la curva all'istante di inizio della simulazione;
- **Agent:** si inserisce il numero di spettatori;
- **Origins:** si selezionano i portali di entrata dai quali far generare gli agents e si sceglie con quale probabilità farli comparire da ciascun portale; si è scelta l'opzione *All Equally Likely* che assegna a ciascun portale la stessa probabilità; il procedimento più corretto sarebbe l'assegnazione, per ciascun portale, del numero esatto di spettatori riferito al tratto di tribuna che interessa il portale, ma come sarà mostrato in seguito i risultati non dipendono dalla esatta posizione di partenza degli utenti;
- **Destination:** si selezionano i portali di uscita a cui far giungere gli spettatori; impostando la voce *Assigned Goal* con la scelta *Grouped: lowest cost* si stabilisce che agli agents non sono imposti dei portali di uscita particolari e quindi il software, durante la simulazione, rielabora il percorso di ogni spettatore al fine di creare la situazione più reale possibile (una persona in coda può scegliere di cambiare percorso se un'altra via è più sgombra).



I. 62: Finestra di dialogo delle proprietà delle attività Journey

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

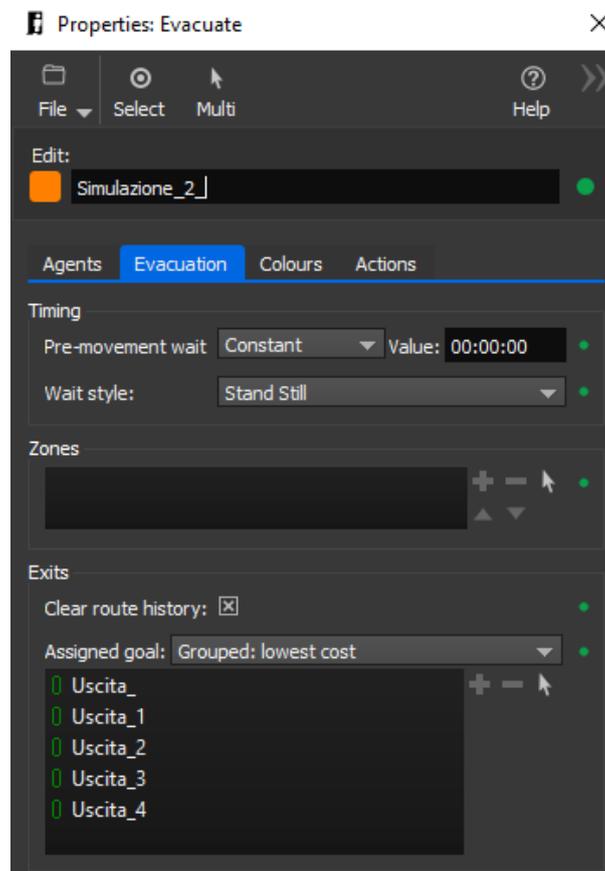
Nella scheda *Colours* è possibile assegnare colori diversi agli utenti secondo alcune condizioni. Nel caso oggetto di studio gli agents sono stati colorati a seconda dell'anello di origine:

- 1° Anello: rosso;
- 2° Anello: giallo;
- 3° Anello: blu.

La scheda *Actions* consente di imporre agli utenti alcune azioni all'atto di creazione; nel caso in esame non si sono impostate azioni.

Le proprietà della attività *Evacuate* sono simili a quella dell'attività *Journey*, ma è presente un'ulteriore scheda (*Evacuation*) a riguardo del processo di esodo con le seguenti voci:

- *Pre-movement*: questa voce consente di imporre un tempo di pre-movimento; non si considera alcun valore;
- *Wait style*: questa voce consente di stabilire più nel dettaglio la posizione di partenza degli agents; si è scelta l'opzione *Stand Still* che mantiene gli utenti all'interno del portale di origine in modo da evitare sovrapposizioni tra utenti provenienti da portali diversi;
- *Zone*: questa voce consente di veicolare l'esodo secondo l'evacuazione in successione di diverse zone; nel caso in esame tutti gli spettatori sono fatti evadere allo stesso momento;
- *Exits*: questa voce corrisponde alla voce *Destination* dell'attività *Journey*; è presente una opzione aggiuntiva (*Clear Route History*) che, così come impostata per questa tesi, consente di non far ricordare il percorso di esodo agli utenti in modo che facendo più simulazioni l'evento sia sempre il più casuale possibile.



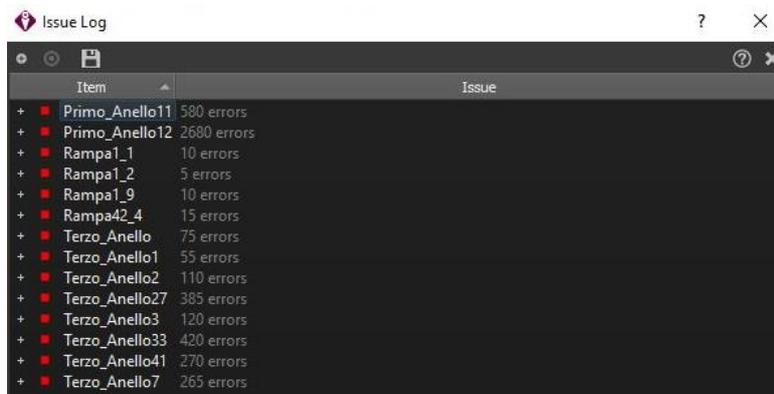
I. 63: Finestra di dialogo delle proprietà delle attività Evacuate

4.2.4 VALIDAZIONE DEL PROGETTO

In questa fase si valuta se le tre fasi precedenti sono state eseguite correttamente. Facendo riferimento alla scheda *Simulation & Analysis* dei comandi principali, il comando *Validate* consente quattro tipi di verifica. Le due verifiche svolte prima del lancio delle simulazioni sono state:

- *Quick Simulation*: si tratta di una verifica preliminare che consente di evidenziare errori grossolani, come ad esempio la mancanza di un collegamento, la non corretta posizione di un portale, ...;
- *Full Simulation*: è la verifica completa del lavoro svolto e consente di scovare errori non facilmente individuabili o riferibili ai limiti del software stesso, come le dimensioni non corrette di un certo oggetto, la non individuazione di un percorso per alcuni agents, ...

Si riporta il report della simulazione completa per spiegare i problemi riscontrati.



Item	Issue
Primo_Anello11	580 errors
Primo_Anello12	2680 errors
Rampa1_1	10 errors
Rampa1_2	5 errors
Rampa1_9	10 errors
Rampa42_4	15 errors
Terzo_Anello	75 errors
Terzo_Anello1	55 errors
Terzo_Anello2	110 errors
Terzo_Anello27	385 errors
Terzo_Anello3	120 errors
Terzo_Anello33	420 errors
Terzo_Anello41	270 errors
Terzo_Anello7	265 errors

I. 64: Report riassuntivo con l'elenco degli oggetti che presentano degli errori

Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_2 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_3 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_3 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_4 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_3 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_4 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_2 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_3 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_2 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_3 and Rampa38_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_2 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_3 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_3 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_4 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_3 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_4 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_2 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_3 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_2 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_3 and Rampa39_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_2 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_3 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_3 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_4 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_3 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_4 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_2 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_3 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_2 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa46_3 and Rampa40_4 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_2 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa42_3 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_3 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa43_4 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_3 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa44_4 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_2 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"
 Palchi2,"Palchi2","Unable to trace route to Uscita_". No route found across Palchi2 between Rampa45_3 and Rampa41_3 while building routes to Uscita_"

I. 65: Stralcio di report dettagliato degli errori riscontrati

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Gli errori riportati dal software sono tutti dovuti alla larghezza molto piccola di alcuni pavimenti lungo tutto il loro sviluppo o nelle vicinanze delle scale. Si tratta di un errore imputabile al programma che non riesce a stabilire i percorsi degli agents in caso di piani di calpestio troppo stretti. Per risolvere il problema si è ridotto l'ingombro delle persone (*radius*) stabilendo, nei profili degli utenti, un raggio di 0,15 m al posto di 0,25 m. Tuttavia il problema è persistito per alcuni pavimenti. Per ovviare i limiti del software si sono dovuti allargare leggermente i pavimenti incriminati. A tale scopo si sono eliminati detti pavimenti, si sono modificati leggermente i tratti delle polilinee relative ai gradoni cancellati e poi si sono nuovamente riconosciute le aree chiuse delle polilinee come *floor*. Eseguendo di nuovo la verifica i problemi sono stati tutti risolti.

4.2.5 ESECUZIONE DELLE SIMULAZIONI

Si commentano le simulazioni effettuate evidenziando, per ciascuna di esse, l'evoluzione dell'evento e la conclusione dello scenario (ultimo utente che raggiunge un portale di uscita). I tempi ricavati saranno confrontati con i valori limite imposti dalle normative di seguito elencate:

- **FIFA → Tempo massimo: 10 minuti;**

3. Exit capacity (C)

This is the number of people that can safely exit from the viewing area under normal conditions, within a reasonable timeframe **not to exceed ten minutes**.
The following factors will affect the exit capacity:

I. 66: Tempo massimo di esodo imposto dalle norme FIFA – Fonte: FIFA Stadium Safety and Security Regulations

- **UEFA → Tempo massimo: 8 minuti;**

stadio. È ora ampiamente sancito che tutti gli spettatori debbano poter uscire dal catino dello stadio e raggiungere un punto sicuro entro un **massimo di otto minuti**. Questo valore è basato sul massimo tasso di deflusso attraverso le uscite dello stadio pari a 660 persone all'ora. Ci sono però dei margini di variazione sulla base della dimensione e del progetto dello stadio, e in particolare in relazione al suo livello di resistenza al fuoco.

I. 67: Tempo massimo di esodo imposto dalle norme UEFA - Fonte: UEFA Guida agli stadi di qualità

- **GREEN GUIDE → Tempo massimo: 8 minuti.**

The egress time is the total time in which all spectators can, in normal conditions, leave an area of viewing accommodation and enter into a free flowing exit system. It does not include the time taken to negotiate the entire exit route.

The normal maximum egress time for sports grounds is **eight minutes**.

I. 68: Tempo massimo di esodo secondo la Green Guide - Fonte: Guide to safety at sport grounds (5° edizione)

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Le prime due norme riportano semplicemente i tempi massimi e impongono di tenere conto delle condizioni di emergenza, senza però specificare alcun valore di tempo. La Green Guide, oltre al tempo di uscita in condizioni normali, propone anche dei limiti inferiori in base al livello di rischio incendio dell'impianto sportivo.

The emergency evacuation time is a calculation which, together with the rate of passage, is used to determine the capacity of the emergency exit system from the viewing accommodation to a place of safety or reasonable safety, in the event of an emergency (see Section 15.16).

The maximum emergency evacuation time for sports grounds varies between two and half minutes and eight minutes.

The time set depends largely on the level of fire risk present. Spectator accommodation which has a high fire risk should have an emergency exit capacity based on an emergency evacuation time of not more than two and a half minutes. A longer emergency evacuation time, of between two and a half minutes and eight minutes, is acceptable for grounds or parts of grounds where the fire risk is reduced. For guidance on varying levels of fire risk, see Sections 15.5–15.7.

For new construction: while in practice spectators may evacuate onto the pitch or area of activity in an emergency, this should not form part of the calculation of the emergency evacuation time for newly constructed grounds or sections of grounds.

A low fire risk seated or standing area at a sports ground is likely to be one where:

- a. the risk of a fire occurring is low, and
- b. in the unlikely event of a fire, the potential for the fire, heat or smoke generated by it, to spread, is negligible, and
- c. there is a minimal risk to life.

Such structures might include open terraces and stands constructed of non-combustible materials with fully protected catering outlets.

For low risk seated and standing areas, the emergency evacuation time for all spectators to reach a place of safety or reasonable safety should be no more than eight minutes.

A normal fire risk seated or standing area is likely to be one where:

- a. the risk of a fire spreading is low
- b. should a fire occur it is likely to be confined to a room or its place of origin
- c. there is in place an effective fire suppression or containment system.

For normal risk seated and standing areas, the emergency evacuation time for all spectators to reach a place of safety or reasonable safety should be no more than six minutes.

The type of spectator accommodation most at risk from fire is the covered stand. A higher fire risk seated or standing area is likely to be one where one or more of the following characteristics apply:

- a. the construction consists of combustible materials
- b. structural features could promote the spread of fire, heat and smoke
- c. there are voids under seating decks, floors or terraces where waste or litter may accumulate
- d. there are several storeys, with exiting systems from the upper levels routed through hospitality areas
- e. the concourse areas have inadequate fire separation between retail and/or catering facilities and the emergency evacuation routes
- f. highly flammable or explosive materials are present
- g. people in the area are at risk from an incident occurring in an adjacent premise.

For higher risk seated and standing areas, the emergency evacuation time for all spectators to reach a place of safety or reasonable safety should be no more than two and a half minutes.

I. 69: Definizione di Emergency Evacuation secondo la Green Guide – Fonte: Guide to safety at sport grounds (5° edizione)

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Facendo riferimento ai casi studio del capitolo 4.1, ai materiali e al tipo di struttura dello Stadio Olimpico di Torino, si ritiene giusto classificarlo come opera a basso rischio incendio (low risk), quindi il tempo limite da rispettare risulterebbe di 8 minuti. Facendo riferimento invece alla classificazione proposta dalla Green Guide sarebbe corretto classificarlo come opera a medio rischio incendio (normal risk), quindi il tempo limite da rispettare scenderebbe a 6 minuti.

Le simulazioni si lanciano con il comando *Run Simulation* presente nella scheda *Simulation & Analysis*.

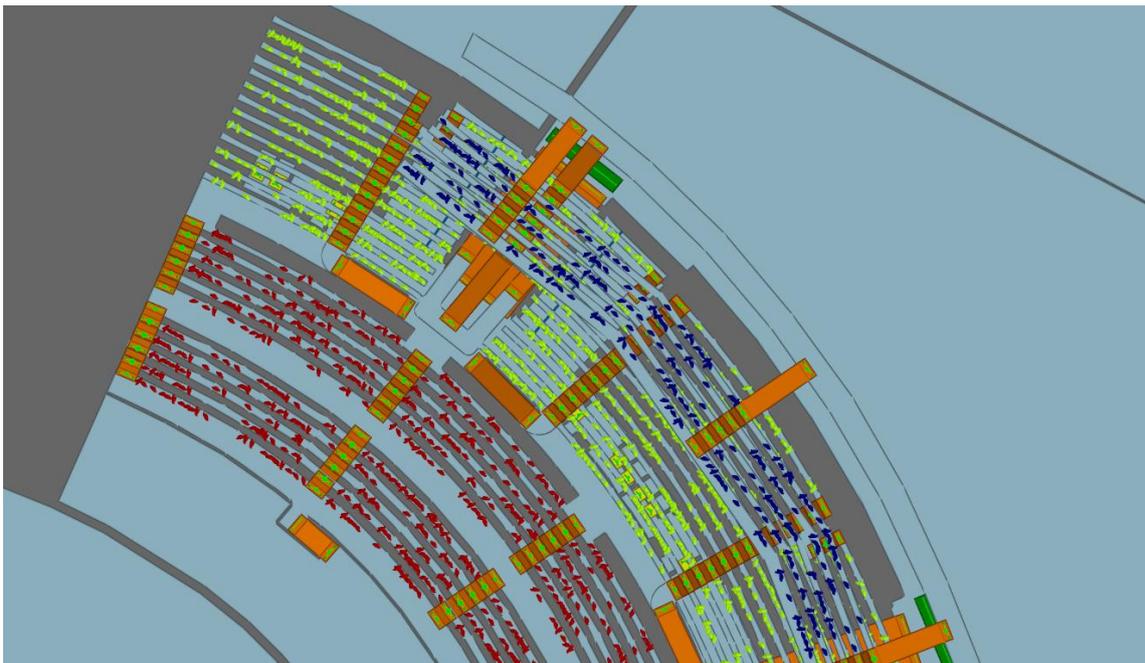
1° Simulazione: esodo generale in condizioni di normalità

Questa simulazione riguarda l'esodo degli spettatori in condizioni normali; si valuta il tempo che le persone impiegano per abbandonare le tribune a partire dal fischio di fine partita. Per questo scenario non si considera il tempo che alcuni spettatori scelgono intenzionalmente di aspettare prima mettersi in moto al fine di evitare, ad esempio, di fare coda, aspettando che le altre persone siano già verso l'uscita. Questo concetto è anche riportato nella Green Guide.

It should also be recognised that in many circumstances spectators will willingly take longer than eight minutes to leave; for example, in order to watch scoreboards, hear additional announcements or simply wait for the crowds to disperse. This practice must not be considered a factor in the determination of the egress time.

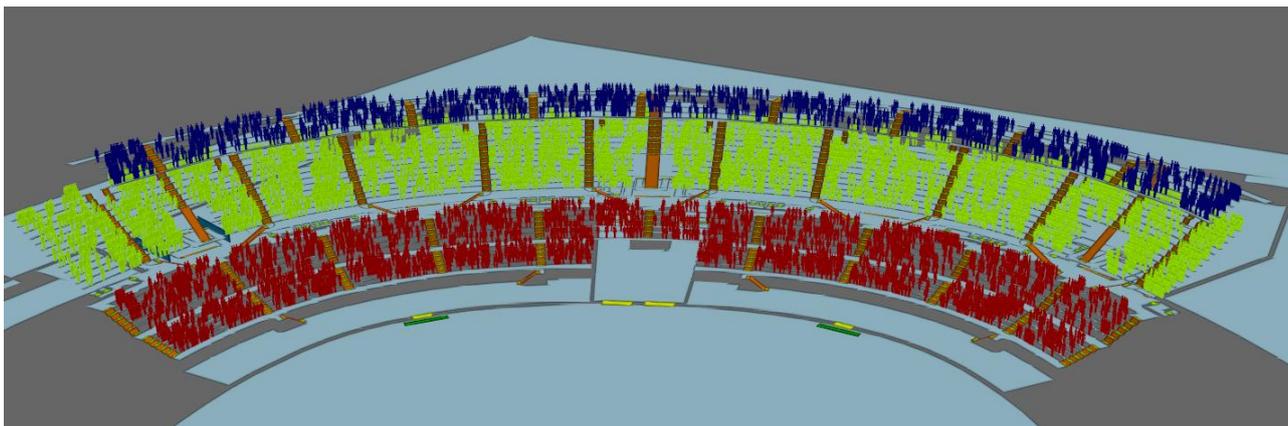
I. 70: Spiegazione di non considerazione del tempo di attesa volontaria degli spettatori – Fonte: Green Guide

In questa simulazione le persone sono dirette verso l'area di servizio esterna e, quindi, sono convogliate verso i vomitori tramite i diversi percorsi di smistamento.

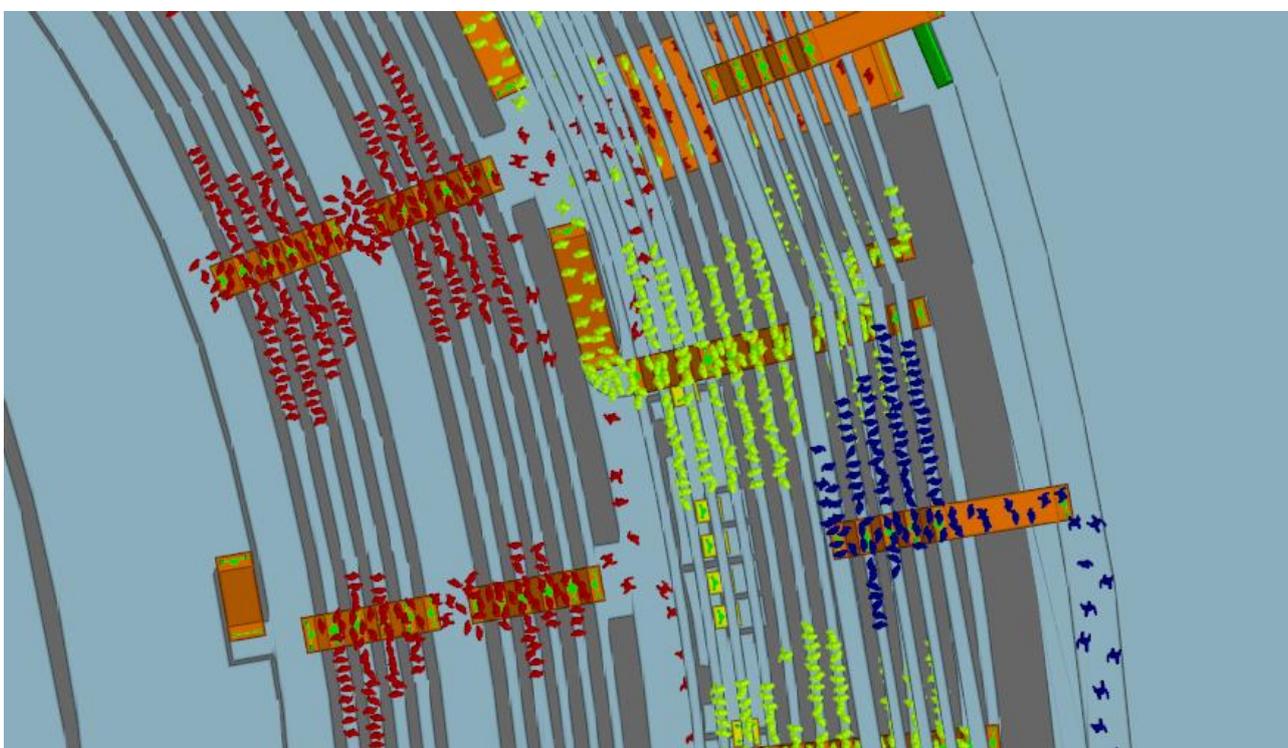


I. 71: 1° Simulazione: vista dall'alto degli agents alla partenza

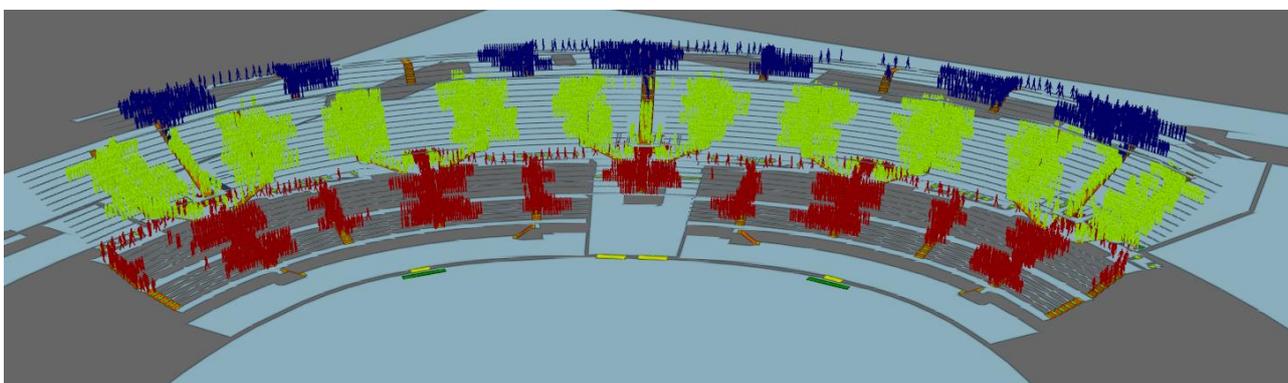
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 72: 1° Simulazione: vista frontale degli agents alla partenza

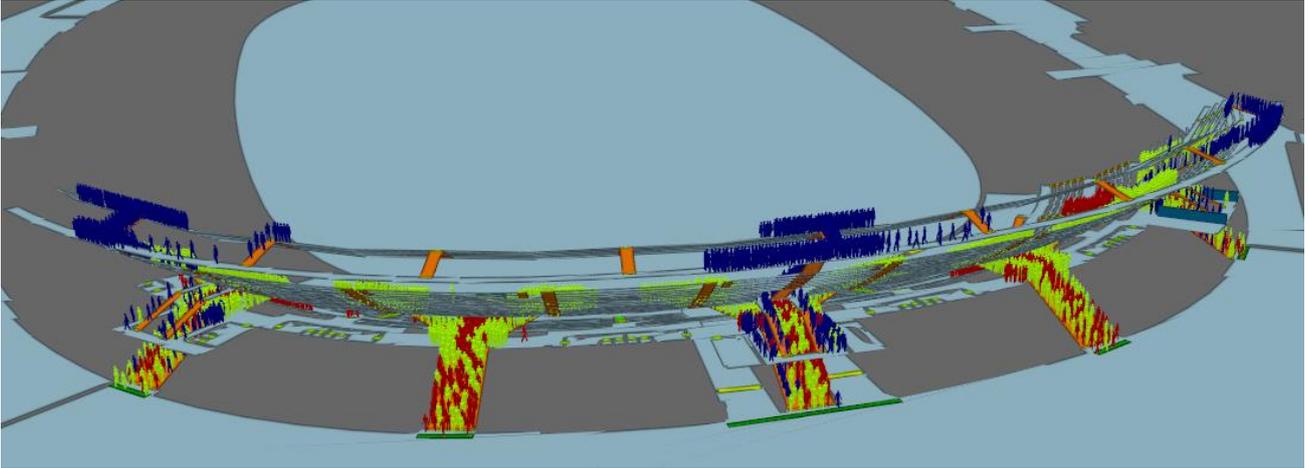


I. 73: 1° Simulazione: vista dall'alto degli agents durante l'esodo



I. 74: 1° Simulazione: vista frontale degli agents durante l'esodo

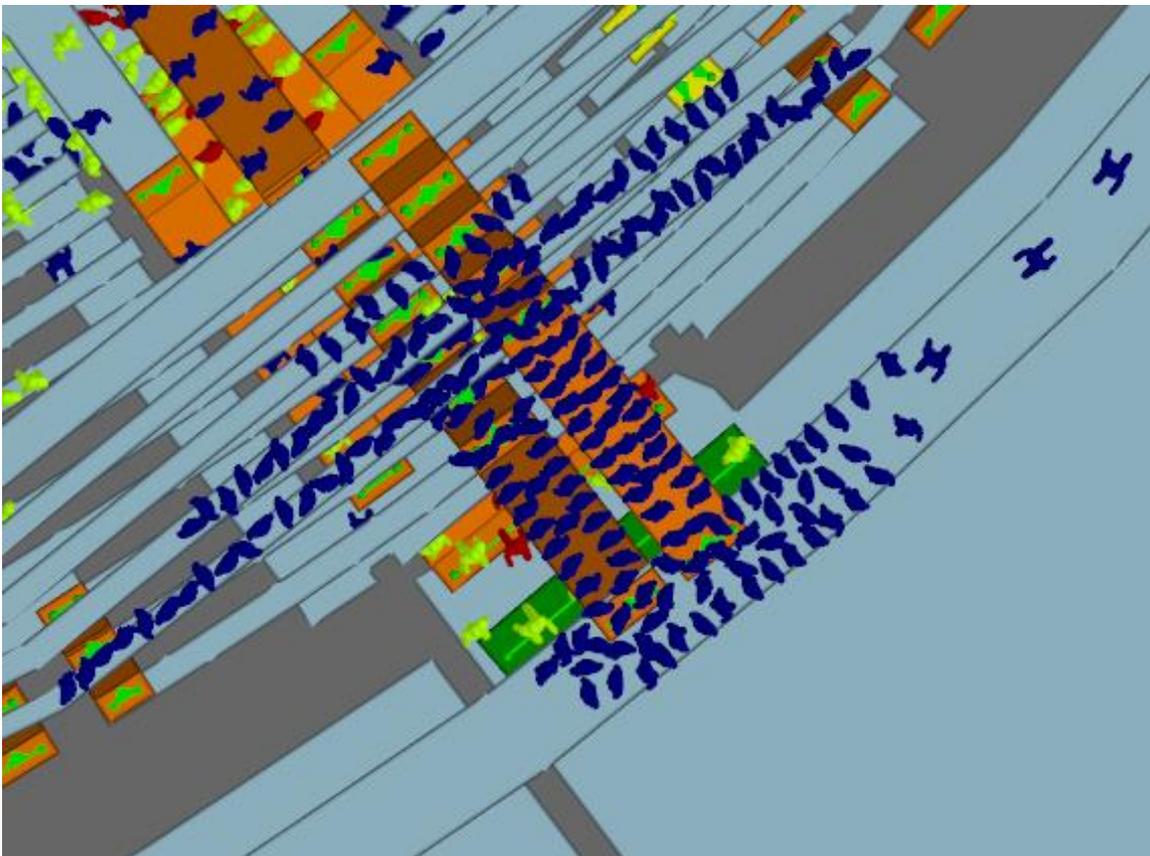
SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 75: 1° Simulazione: il flusso delle persone lungo i vomitori

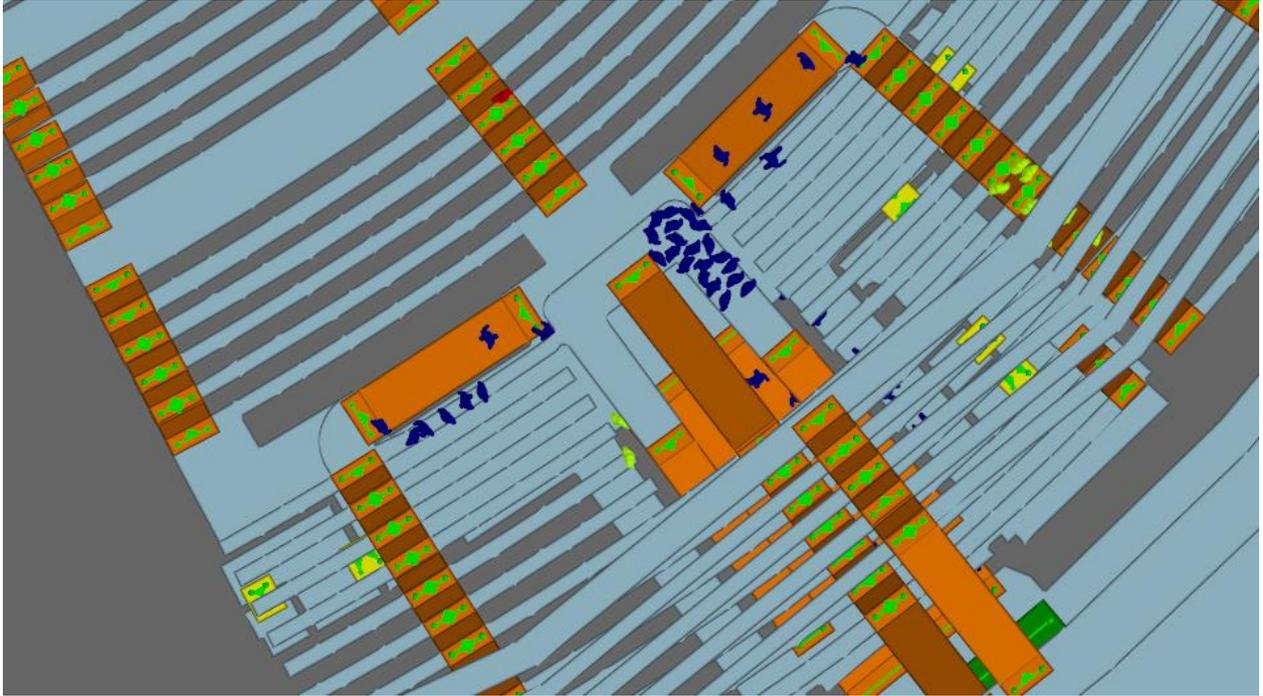
Le immagini I. 73 e I. 74 mostrano l'addensamento della popolazione nei pressi delle scale. Sono i punti in cui le persone rallentano e dove perdono più tempo. Questo dimostra che non è fondamentale stabilire l'esatta posizione di partenza degli utenti: in ogni caso essi tendono ad ammassarsi lungo le scale.

Le zone di maggior criticità risiedono nel terzo anello, nei punti in cui gli spettatori devono scendere verso il secondo anello. Da quest'analisi risulta che il numero di scale che collegano secondo e terzo anello non sono sufficienti. Gli agents del terzo anello sono gli ultimi ad abbandonare lo stadio e sono coloro che incrementano maggiormente il tempo di esodo.

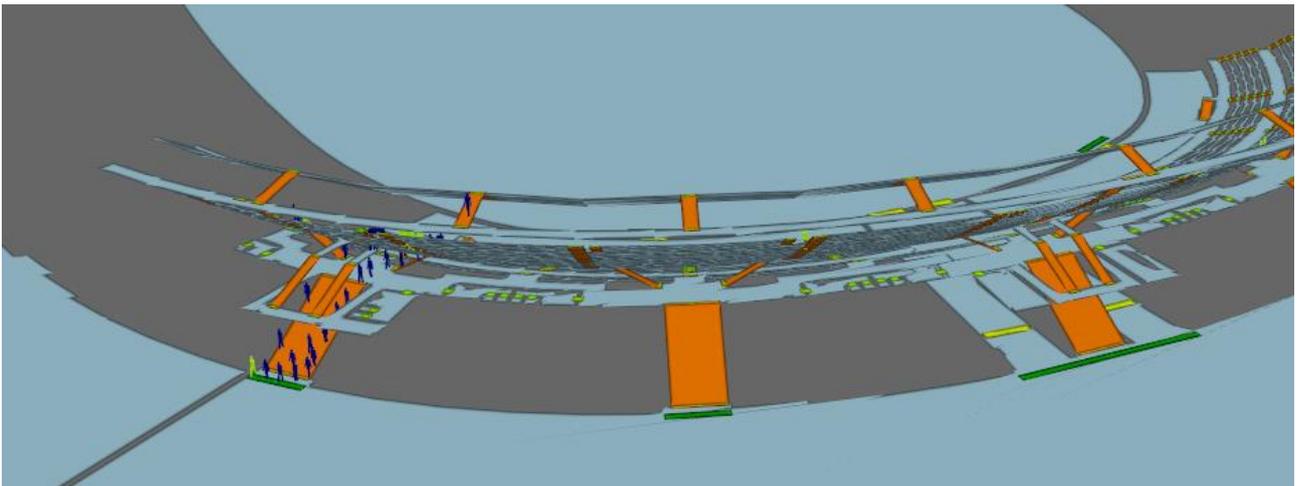


I. 76: 1° Simulazione: l'accumulo degli agents del terzo anello

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 77: 1 Simulazione: gli ultimi agents in moto verso l'uscita



I. 78: 1° Simulazione: le ultime persone in uscita presso i vomitori

Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 8 minuti e 15 secondi.

2° Simulazione: esodo generale in condizioni di emergenza

Questa simulazione riguarda l'esodo degli spettatori in condizioni generali di pericolo. Analogamente alla situazione precedente, le persone sono dirette verso l'area di servizio esterna e, quindi, sono convogliate verso i vomitori tramite i diversi percorsi di smistamento.

Le condizioni di partenza sono le medesime del caso precedente. Anche la fase di moto è molto simile, il flusso delle persone è leggermente più disordinato. I punti critici risiedono sempre nelle scale e specialmente nel terzo anello.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

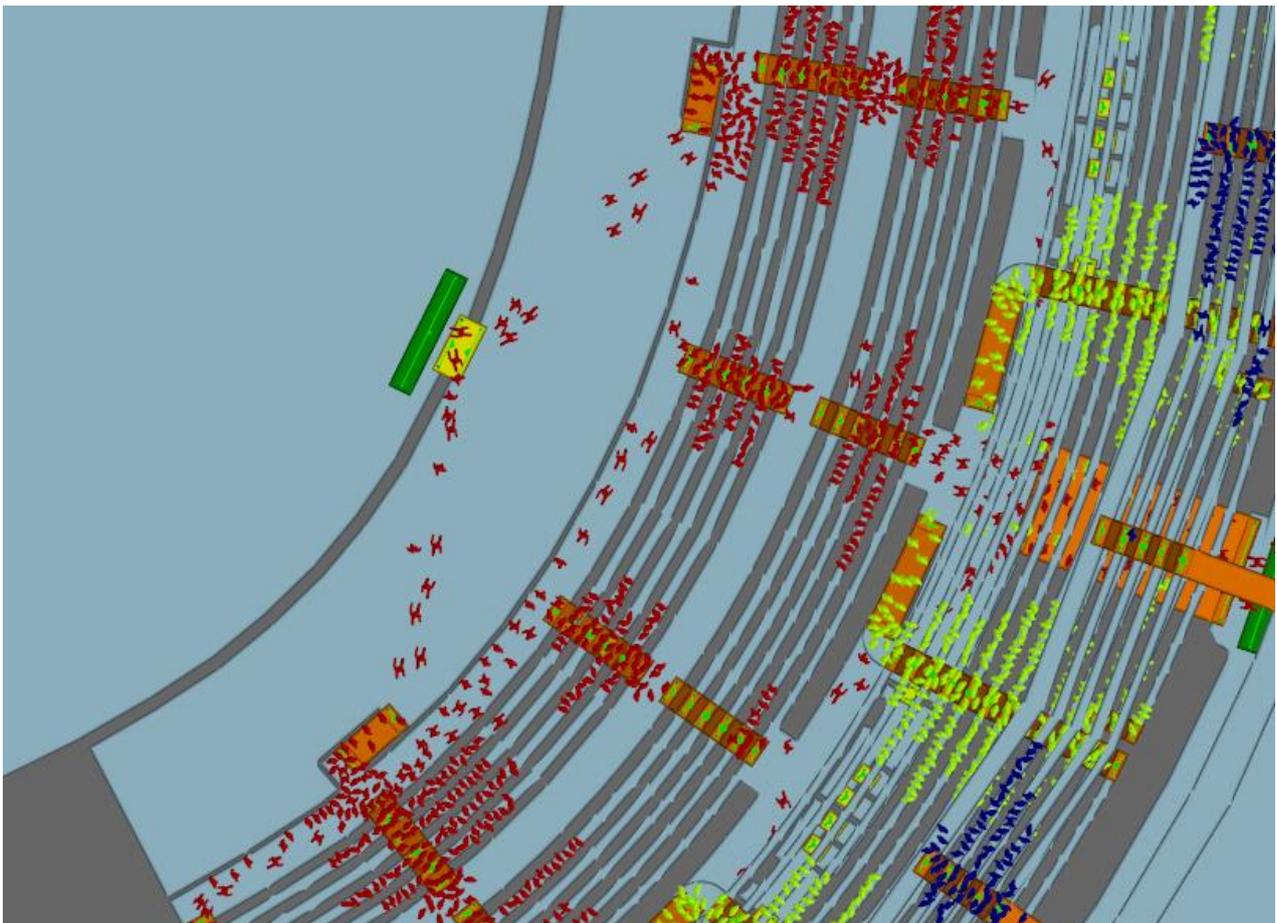
La somiglianza tra la prima e seconda simulazione mette in evidenza come le scale condizionino il flusso degli spettatori. Sono zone talmente addensate che vengono meno le differenze di velocità tra i due profili di agent.

Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 7 minuti e 41 secondi.

3° Simulazione: esodo generale in condizioni di emergenza con accesso al campo da gioco

Questa simulazione riguarda l'esodo degli spettatori in condizioni generali di pericolo, considerando però anche l'ipotesi di far defluire gli spettatori verso il campo da gioco (luogo di ragionevole sicurezza). La Green Guide, nel caso di opere già esistenti (come il caso dello Stadio Olimpico di Torino), consente l'accesso al campo per valutare il tempo di esodo.

Lo scopo di questa simulazione è di capire l'efficacia di questa soluzione rispetto al caso precedente. Le condizioni di partenza sono uguali alle precedenti, la fase di moto cambia perché sono presenti anche le uscite verso il campo da gioco.

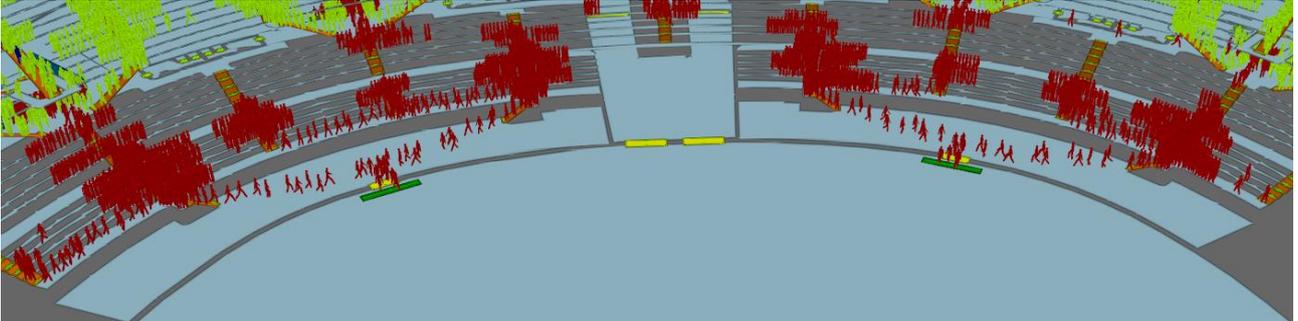


I. 79: 3° Simulazione: vista dall'alto del flusso gli agents verso il campo da gioco

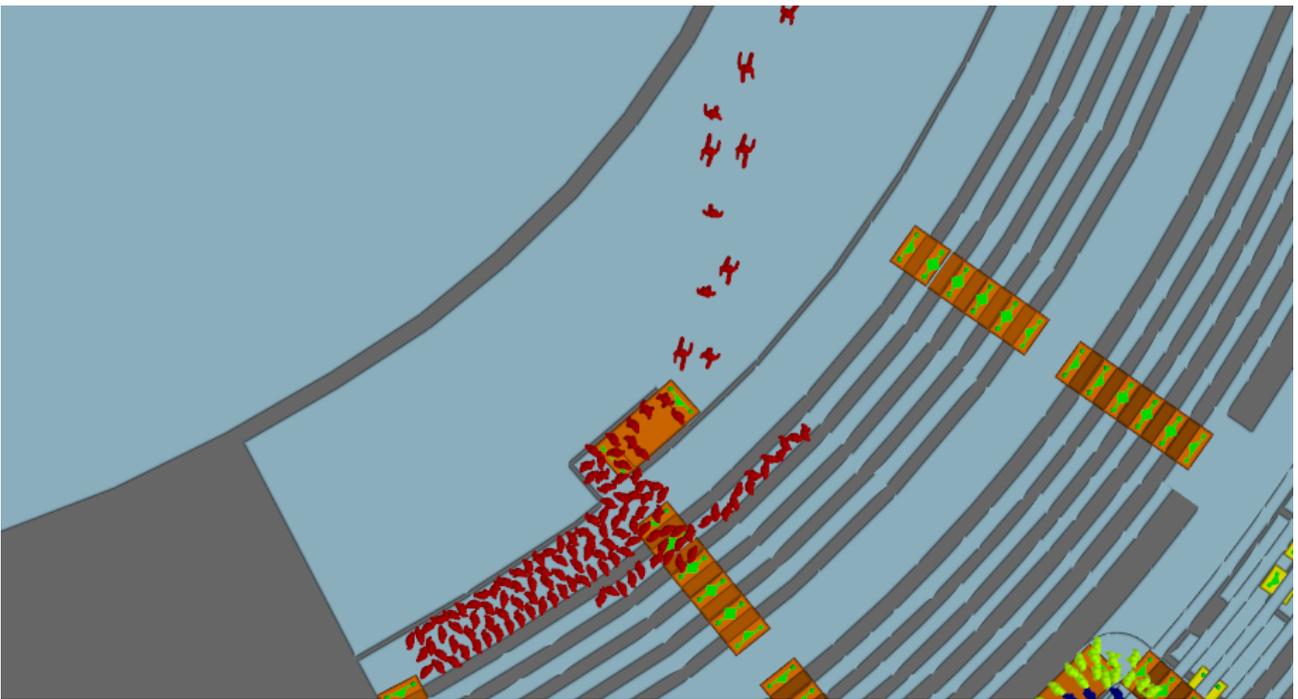
Si nota che solo gli spettatori del primo anello tendono ad andare verso il campo. Dato che si sono aggiunte delle vie di esodo ci si dovrebbe aspettare una riduzione del tempo di fuga. In realtà accadono i seguenti fatti:

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

- dato che le vie di esodo verso il campo sono di numero inferiore rispetto a quelle previste verso l'area di servizio esterna, gli agents del primo anello si accumulano nei pressi delle scale verso il campo e impiegano più tempo a raggiungere un luogo sicuro;
- il tempo finale della simulazione non è influenzato perché gli spettatori del terzo anello, ovvero coloro che impiegano il tempo maggiore, non tendono ad andare verso il campo da gioco.



I. 80: 3° Simulazione: vista frontale del flusso gli agents verso il campo da gioco



I. 81: 3° Simulazione: l'accumulo degli utenti del primo anello

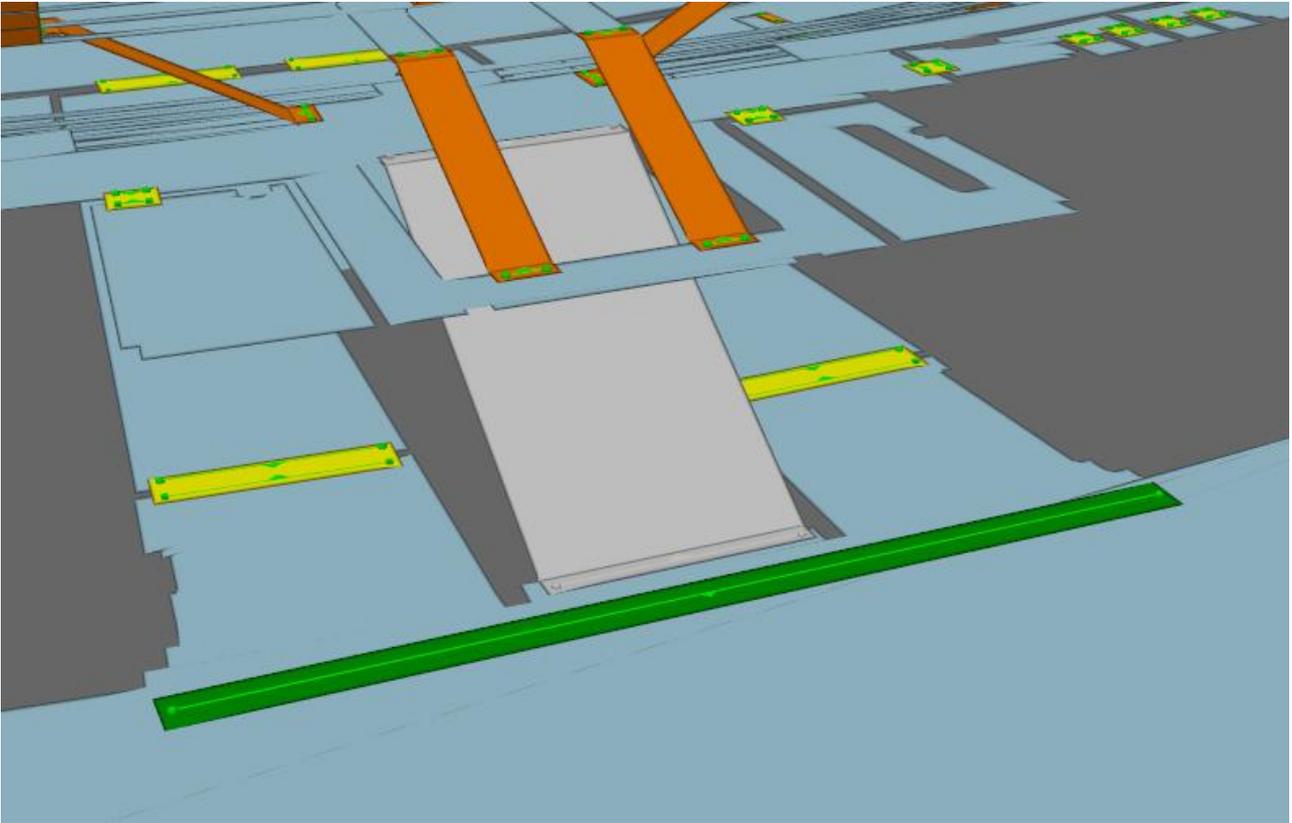
Come mostrato dall'immagine soprastante, gli agents sono tentati di andare verso il campo, così come in alcuni dei casi studio del capitolo 4.1, ma rimangono bloccati nei pressi delle scale verso il campo e riescono ad evacuare solo poche persone alla volta.

Questa dimostra che è bene non usare le uscite verso il campo da gioco qualora non sia strettamente necessario per cause di forza maggiore.

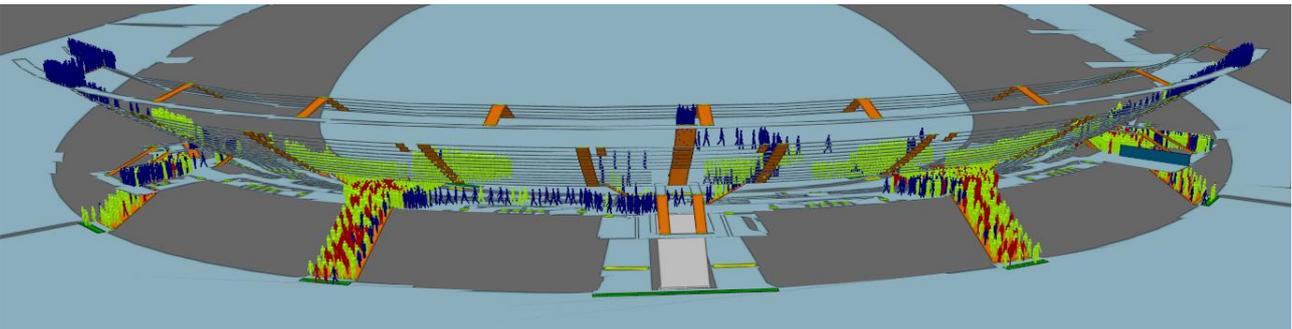
Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 7 minuti e 41 secondi.

4° Simulazione: esodo in condizioni di emergenza con vomitorio ostruito

In questa simulazione si impedisce l'utilizzo di uno dei vomitori: la causa può essere, ad esempio, un principio di incendio. Si valuta la variazione del flusso degli agents a causa dell'impedimento. Su MassMotion è possibile disattivare gli elementi del modello, con conseguente cambio di colorazione, in modo che non possano essere sfruttati dagli agents.



I. 82: 4° Simulazione: il vomitorio disattivato



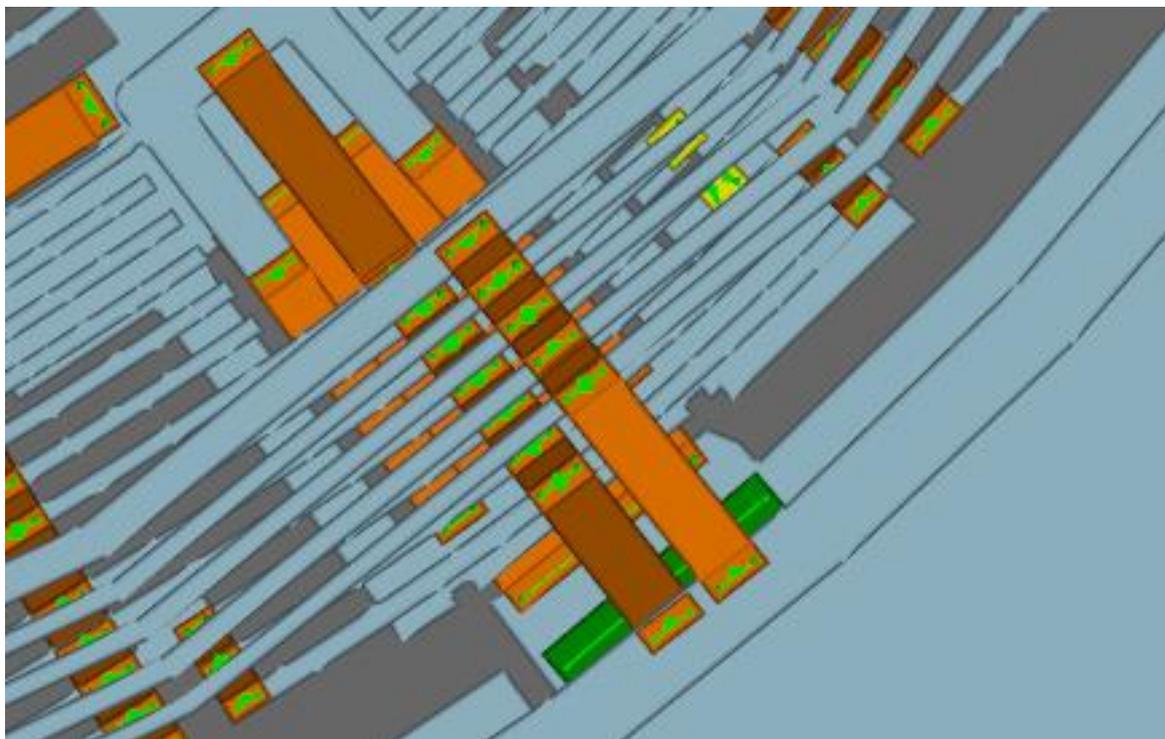
I. 83: 4° Simulazione: gli agents che evitano il vomitorio

Nonostante la mancanza di una via di esodo, il risultato finale non varia molto perché le vie di uscita che portano agli altri quattro vomitori sono adeguate sia in numero che in larghezza.

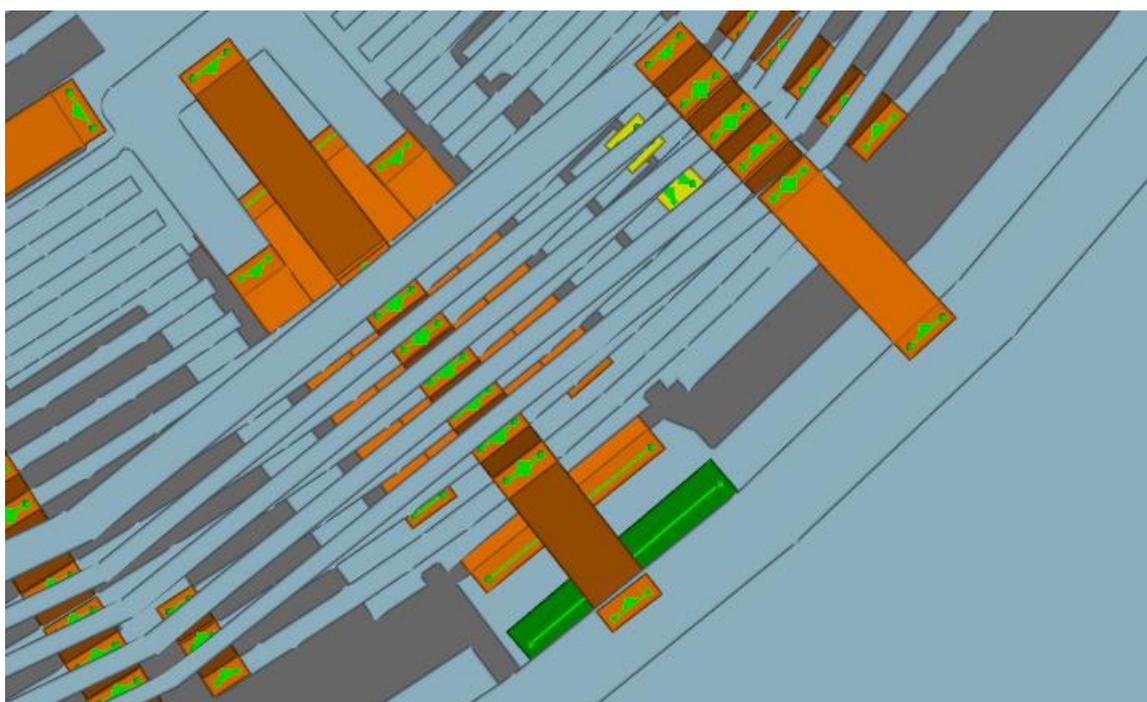
Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 8 minuti e 12 secondi.

5° Simulazione: esodo in condizioni di emergenza con diversa disposizione delle scale del terzo anello

Lo scopo di questa simulazione è quello di capire se lo spostamento di alcune scale del terzo anello possa influire sul risultato finale dell'esodo. In particolare si spostano le scale in adiacenza a quelle che collegano secondo e terzo anello.



I. 84: 5° Simulazione: le scale del terzo anello nelle posizioni di progetto



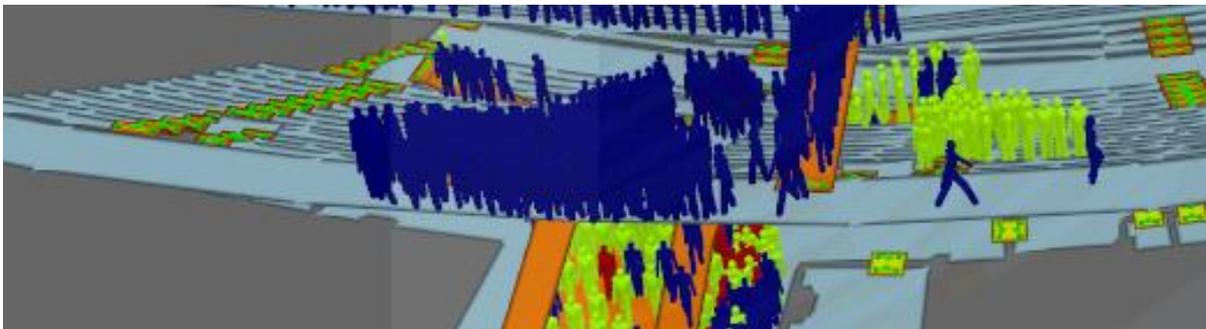
I. 85: 5° Simulazione: le scale del terzo anello nelle posizioni cambiate

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI

Si cerca di capire se i problemi di folla del terzo anello siano dovuti alla vicinanza tra le diverse coppie di scale del terzo anello, evidenziate nelle due immagini soprastanti. Dai risultati ottenuti lo spostamento di queste scale non ha comportato grandi differenze perché gli effetti di accumulo di persone sono ancora presenti.



I. 86: 5° Simulazione: l'accumulo di spettatori del terzo anello visto dall'alto



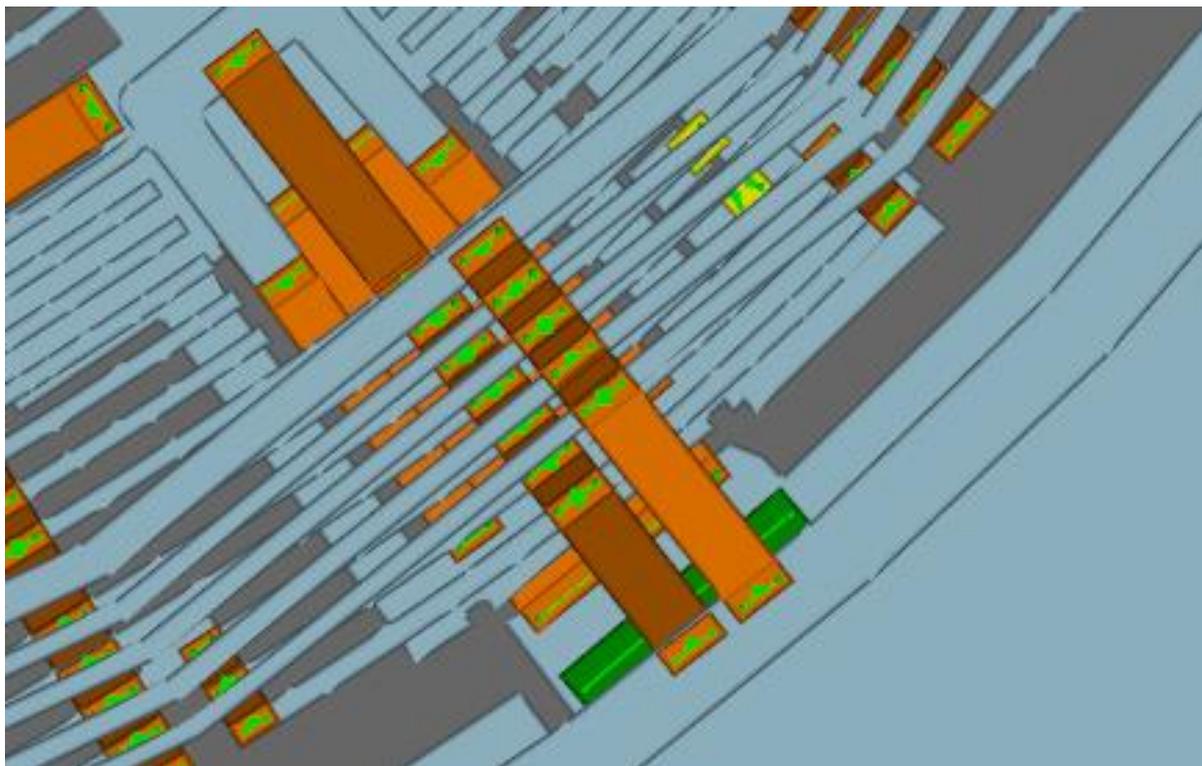
I. 87: 5° Simulazione: l'accumulo di spettatori del terzo anello visto frontalmente

Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 7 minuti e 54 secondi.

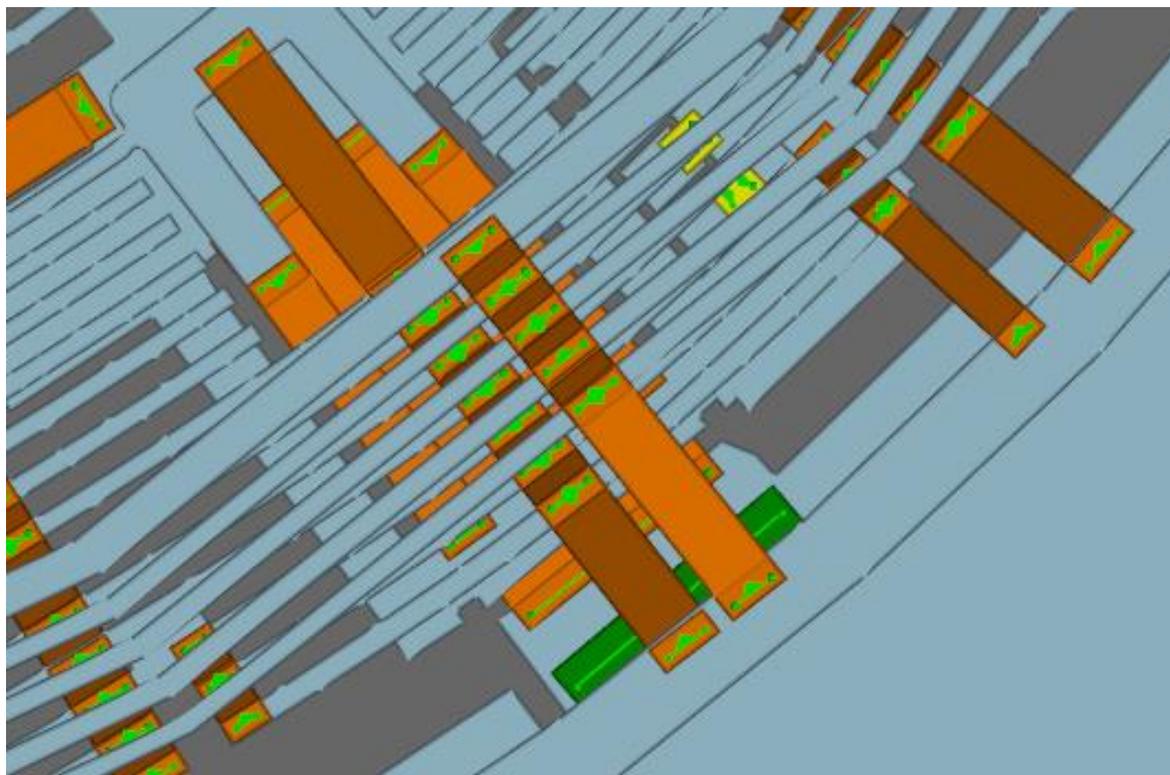
6° Simulazione: esodo in condizioni di emergenza con apertura di ulteriori scale verso il terzo anello

La precedente simulazione ha evidenziato che non è la posizione ma il numero delle scale verso il terzo anello che deve essere cambiato. Dato che esistono alcune rampe di scala potenzialmente estendibili verso il terzo anello si è scelto di prolungarle tutte per valutare se i problemi del terzo anello sono risolti.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



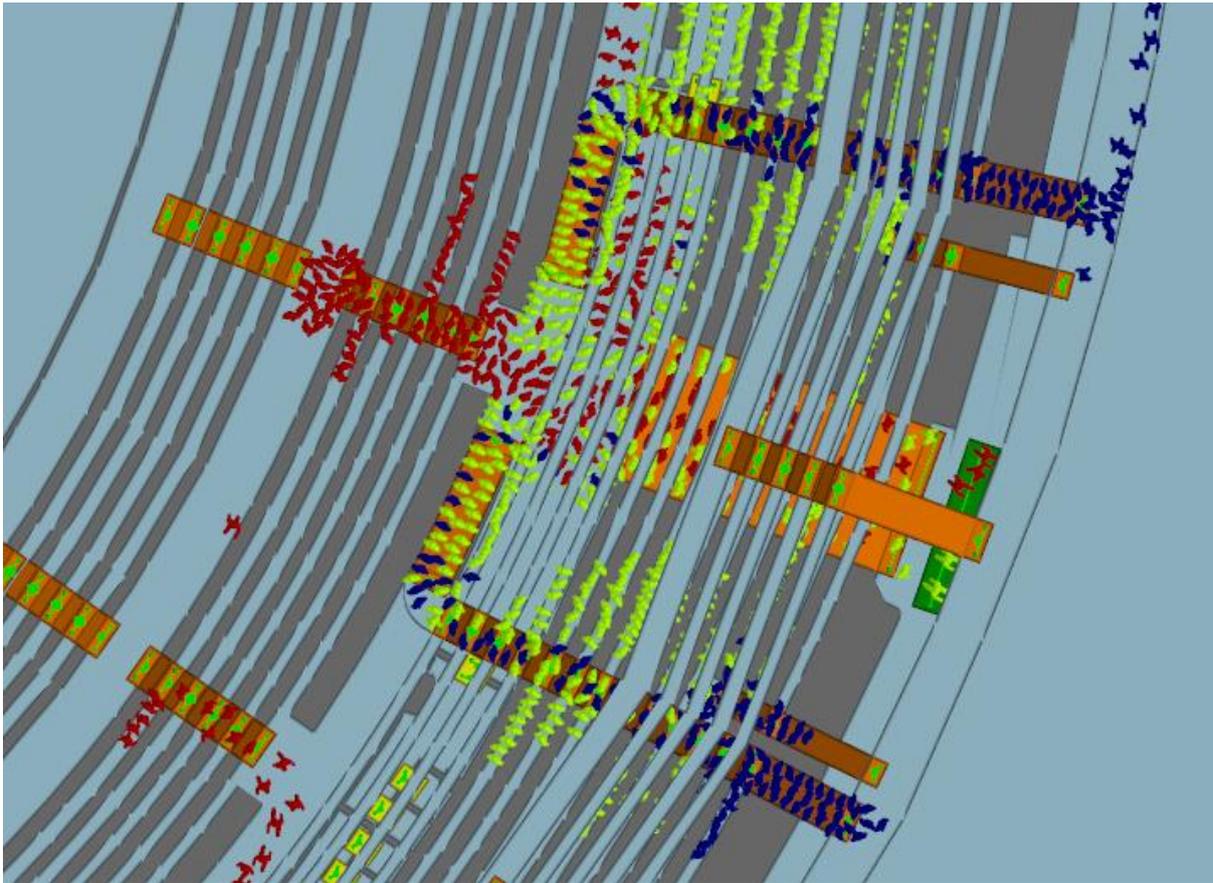
I. 88: 6° Simulazione: le scale del terzo anello nelle condizioni di progetto



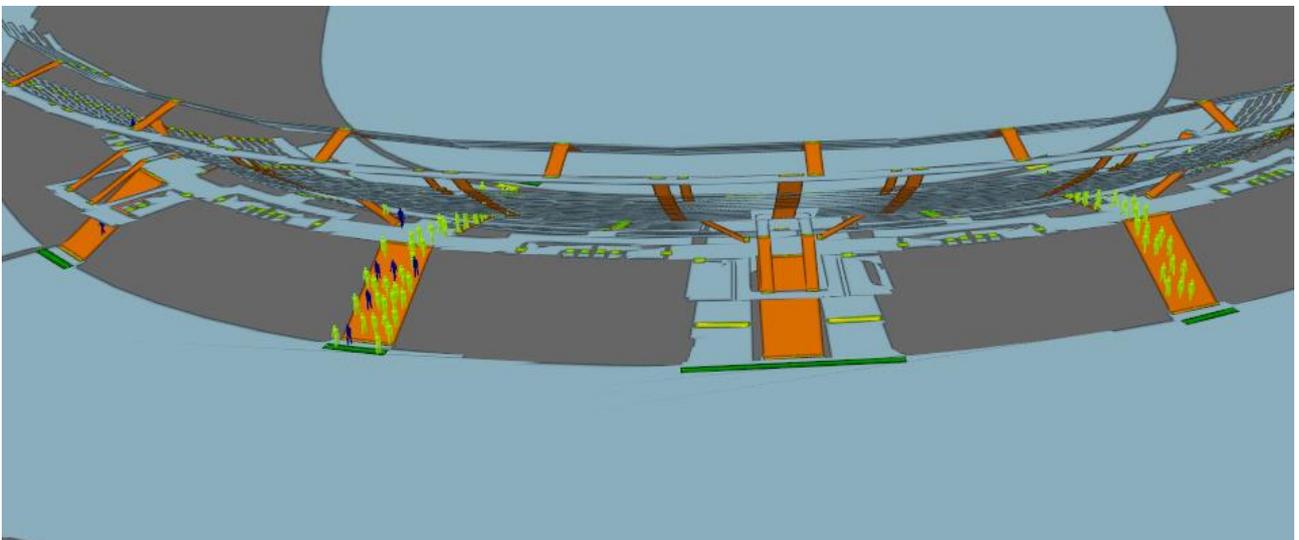
I. 89: 6° Simulazione: le scale del terzo anello nelle condizioni cambiate

I problemi di affollamento del terzo anello sono risolti. Tuttavia viene a generarsi un maggior affollamento lungo le nuove scale che collegano secondo e terzo anello perché sono presenti gli spettatori di entrambi gli anelli.

SIMULAZIONE DELL'ESODO DEGLI SPETTATORI



I. 90: 6° Simulazione: l'affollamento lungo le nuove scale ipotizzate



I. 91: 6° Simulazione: la nuova condizione di termine simulazione

Il tempo finale non varia in modo significativo perché l'accumulo di persone non è stato eliminato ma spostato. L'afflusso degli spettatori del terzo anello verso il secondo ostacola il raggiungimento delle scale da parte dei tifosi del secondo anello, che risultano gli ultimi a uscire.

Il tempo ottenuto dalla simulazione è di 8 minuti e 39 secondi.

5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

L'analisi dell'esodo degli spettatori presso lo Stadio Olimpico di Torino ha consentito di determinare le criticità relative ai percorsi dei tifosi lungo le tribune e ha messo in evidenza alcuni limiti del software Oasys MassMotion. Si è scelto di focalizzarsi su una delle due curve del complesso sportivo perché si tratta di un settore in cui è più probabile l'accadimento di casi di emergenza a causa delle tifoserie. Le simulazioni effettuate hanno mostrato che i tempi di esodo oscillano intorno agli 8 minuti, e quindi, se pur al limite, lo stadio si può considerare sicuro perché rispetta il valore massimo di tempo imposto dalle normative (fare riferimento all'inizio del capitolo 4.2.5.). Se si considerasse la costruzione come opera a medio rischio incendio, secondo la Green Guide, lo stadio non sarebbe considerato sicuro. Tuttavia, a differenza delle norme FIFA e UEFA, la Green Guide non è obbligatorio rispettarla. Infatti si tratta di linee guida di riferimento e la loro non coattività è esplicitata anche nel primo capitolo della guida stessa, di cui si riporta uno stralcio.

The *Guide* has no statutory force but many of its recommendations will be made statutory at individual grounds by their inclusion in safety certificates issued under the Safety of Sports Grounds Act 1975 or the Fire Safety and Safety of Places of Sport Act 1987. For guidance on safety certification see the Bibliography.

I. 92: Spiegazione della non coattività della Green Guide – Fonte: Guide to safety at sport grounds (5° edizione)

Le simulazioni sono state effettuate considerando sempre il massimo affollamento, che risulta la condizione più sfavorevole. Il massimo affollamento è sicuramente una situazione reale per le condizioni di emergenza; in caso di ordinarietà è possibile che alcuni tifosi scelgano di anticipare la loro uscita per evitare code, con la conseguente diminuzione della popolazione all'istante di inizio simulazione.

Nonostante i diversi scenari ipotizzati, non si è riusciti a trovare una soluzione in grado di ridurre in modo significativo i tempi di esodo: la concezione progettuale di questo stadio non è stata tale da poter essere adeguata a nuove esigenze senza dover stravolgere completamente la disposizione dei percorsi delle tribune. Comunque bisogna tenere conto che lo stadio ha avuto origine prima della Seconda Guerra Mondiale e gli ultimi interventi risalgono al primo decennio degli anni 2000: questo impianto non è stato concepito secondo l'approccio ingegneristico della sicurezza antincendio perché non ancora in vigore in Italia. Questo stabilimento sportivo è un esempio di come un'opera possa essere a norma dal punto di vista prescrittivo (secondo il D.M. 18 marzo 1996) ma possa mostrare criticità dal punto di vista di valutazioni dell'esodo.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Grazie allo studio dei flussi delle persone è stato possibile mettere in evidenza alcuni limiti del software, affrontati nei capitoli precedenti. Tra i problemi principali si ricorda:

- l'impossibilità di accedere trasversalmente alle scale, risolta con la creazione di diverse scale messe in fila;
- il problema relativo alla generazione degli utenti, risolto con la predisposizione di più portali di entrata;
- la modesta larghezza di alcuni piani di calpestio, problematica risolta diminuendo l'ingombro fisico delle persone e allargando qualche gradone.

Si precisa che MassMotion è un software che non punta sulla precisione geometrica perché l'esodo è caratterizzato da molte variabili e non avrebbe senso la ricerca accurata del dettaglio. Infatti le polilinee importate sono state leggermente semplificate, specialmente nei tratti a grande curvatura, senza però alterare la forma complessiva delle stesse. Nelle proprietà di oggetti quali pavimenti e scale è presente una voce chiamata *Map resolution*. Questa funzionalità consente di impostare il valore di risoluzione degli oggetti al fine di rendere più preciso il percorso degli agents. Tuttavia a una risoluzione più accurata corrisponde un aumento dei tempi di processo delle simulazioni. Nel caso in esame il valore di risoluzione è stato impostato a 0,1 m (valore di default). A causa dell'elevato numero di utenti e delle forme geometriche particolari i processi di calcolo delle simulazioni sono durati alcuni minuti, così come riportato nello stralcio di report sottostante:

```
[INFO] Agents Created           : 6667
[INFO] Agents Completed With Success : 6667
[ERROR] Agents Removed With Errors  : 0
[INFO] Agents Still In Sim         : 0
[INFO] Duration (Sim Time)         : 00:15:00 (900 seconds)
[INFO] Duration (Real Time)        : 00:02:06 (126.693 seconds)
[INFO] Date Completed              : 23:00:22, Tuesday, November 20, 2018
[INFO] MassMotion Version          : 9.0.17.0
```

I. 93: Stralcio di report di simulazione avvenuta correttamente

Il report afferma che il tempo di elaborazione è stato di 2 minuti e 6 secondi (*Real Time*).

Un aspetto che si potrebbe migliorare su Massmotion è il disegno geometrico degli elementi prendendo spunto da alcuni comandi di AutoCAD, come l'*offset*, che, per esempio, sarebbe stato molto utile per risolvere i problemi di poca larghezza dei pavimenti.

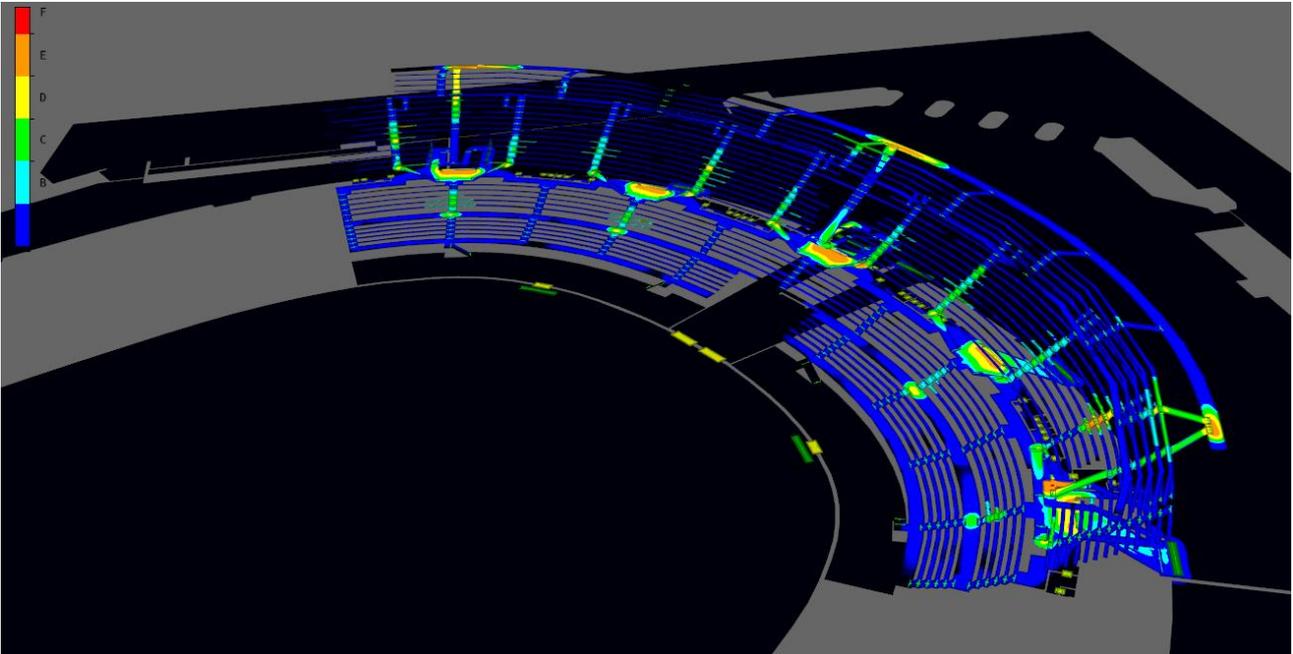
I vantaggi derivanti dall'importazione di modelli CAD risiede nella facilità di riconoscimento degli elementi. Il processo di importazione si complica nei casi di modelli più complessi come quelli derivanti da software di modellazione 3D quali Revit. Il motivo è la difficoltà che MassMotion ha nei confronti del riconoscimento di oggetti quali le porte e le scale. Su MassMotion non esiste il comando porta, l'oggetto più simile è il *link*: durante una importazione è probabile che il programma non riconosca i serramenti; la questione delle scale è complicata specialmente nei casi di elementi a più rampe parallele o con direzione differente.

Un altro aspetto positivo del software è la possibilità di simulare flussi di persone per più scopi:

- emergenze;
- ingressi e uscite da luoghi affollati;
- circolazione all'interno di un'opera per capire la bontà dei percorsi;
- individuazione di zone logistiche in cui si concentra la massa di persone al fine di ottimizzare la disposizione dei locali all'interno di una struttura.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Particolarmente interessante è quest'ultimo punto perché potrebbe essere un incentivo, da parte dei gestori di una certa attività, per aumentare la redditività dell'immobile disponendo nel modo migliore possibile, ad esempio, i locali di tipo commerciale e i cartelloni pubblicitari. L'utilizzo dell'approccio ingegneristico, e quindi lo studio degli esodi, rappresenta la filosofia del BIM: investire tanto all'inizio per avere molti vantaggi in futuro.



I. 94: Mappa interattiva che mostra la densità media degli utenti di una simulazione

In questa tesi ci sono stati dei fattori che non sono stati presi in considerazione:

- la possibilità di scavalco dei seggiolini da parte dei tifosi durante l'esodo;
- l'effetto panico.

Si tratta di due fattori che tutt'ora non è possibile implementare in un processo di simulazione.

Da questa tesi è possibile trarre degli spunti per lo studio e la valutazione di altri stadi o opere in cui è presente una forte concentrazione di pubblico. I risultati di più analisi su strutture simili consentirà di trarre dei nuovi criteri di progettazione eventualmente implementabili nelle normative. La Green Guide è un ottimo esempio di unione di criteri derivanti dall'esperienza di diversi studi, come essa stessa riporta:

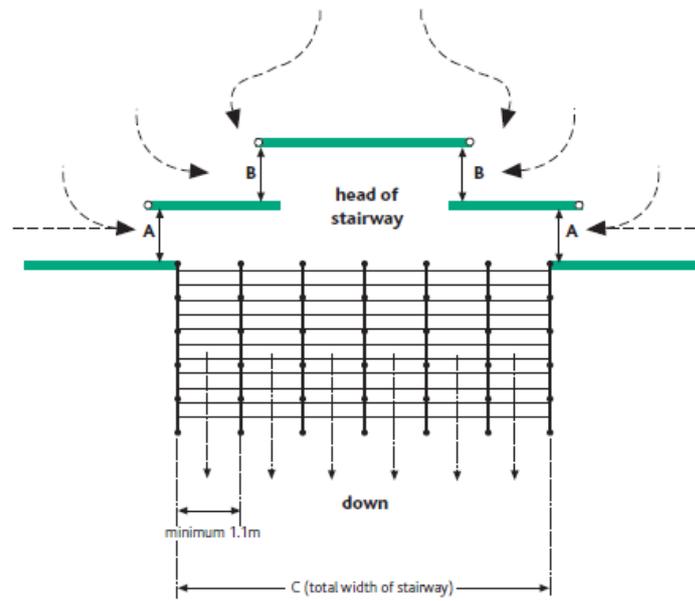
It is the distillation of many years of research and experience of the safety management and design of sports grounds.

I. 95: Definizione di Green Guide come risultato di anni di ricerca – Fonte: Guide to safety at sport grounds (5° edizione)

Queste linee guida riportano infatti alcuni consigli per la progettazione da abbinare alle simulazioni dinamiche al fine di massimizzare le soluzioni architettoniche. Si riportano alcuni stralci relativi a grafici utili alla progettazione:

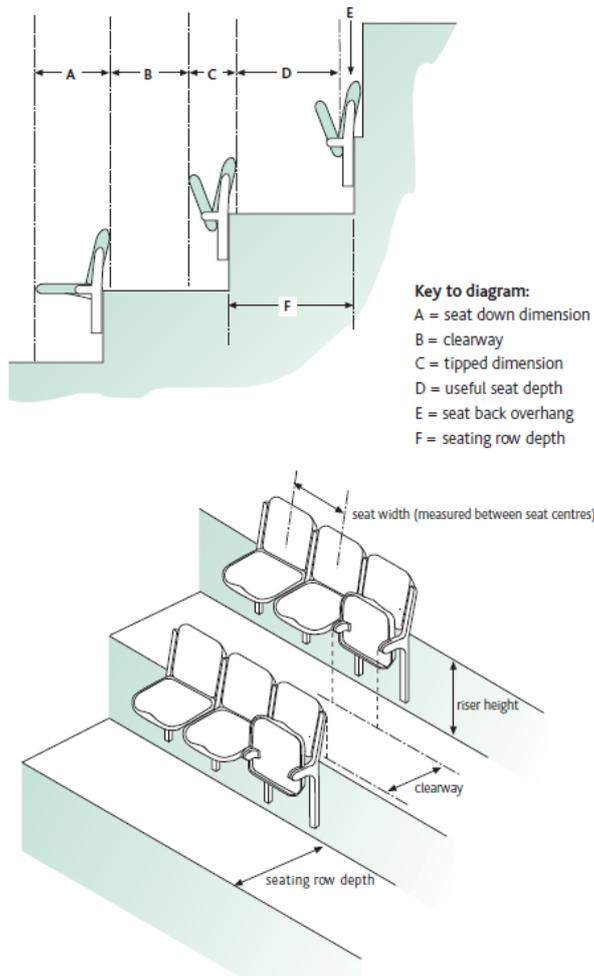
CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Diagram 8.2 Approaches to the head of stairways



I. 96: Grafico per la progettazione dell'accesso ad un corpo scala – Fonte: Green Guide

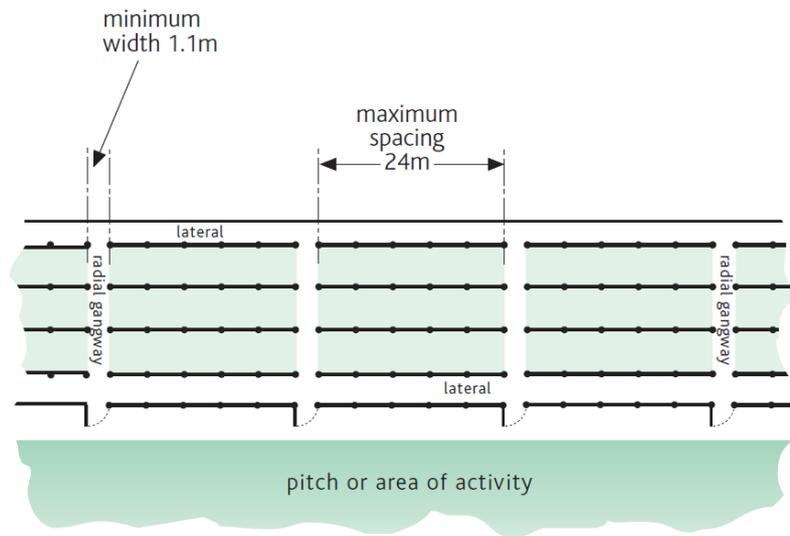
Diagram 12.4 Seat and seating row dimensions



I. 97: Predisposizione di seggiolini richiudibili – Fonte: Green Guide

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Diagram 11.3 Continuous crush barrier configuration

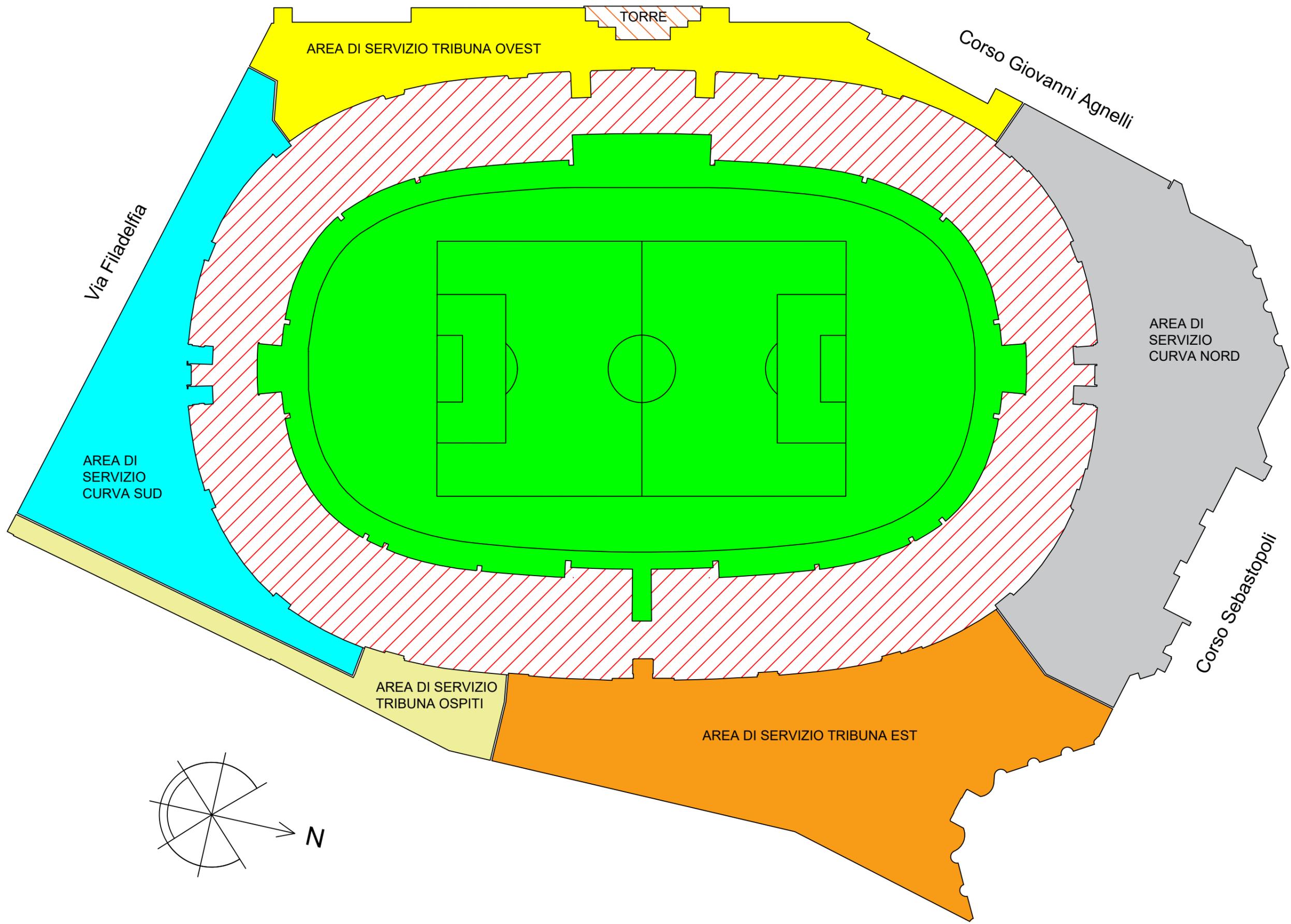


I. 98: Schema per l'organizzazione delle barriere – Fonte: Green Guide

Da questa tesi si possono trarre altri spunti relativi al miglioramento dei software di simulazione dei flussi delle persone, tra cui MassMotion, e relativi all'approfondimento del comportamento dell'uomo con lo sviluppo di nuovi algoritmi di calcolo sempre più sofisticati e sempre più interoperabili per poter essere implementati nel BIM: la metodologia di progettazione che governerà il futuro.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- **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
- **D.M. 3 agosto 2015** – Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139
- **Guide to safety at sport grounds** (5° edizione) 2008
- **FIFA, Football Stadiums** - Technical recommendations and requirements – 5th edition 2011
- **FIFA Stadium Safety and Security Regulations**
- **UEFA Guida agli stadi di qualità**
- **ISO/TR 16738 - Fire-safety engineering** - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people
- **MassMotion HelpGuide** 2017
- **Oasys MassMotion:** <https://www.oasys-software.com/>

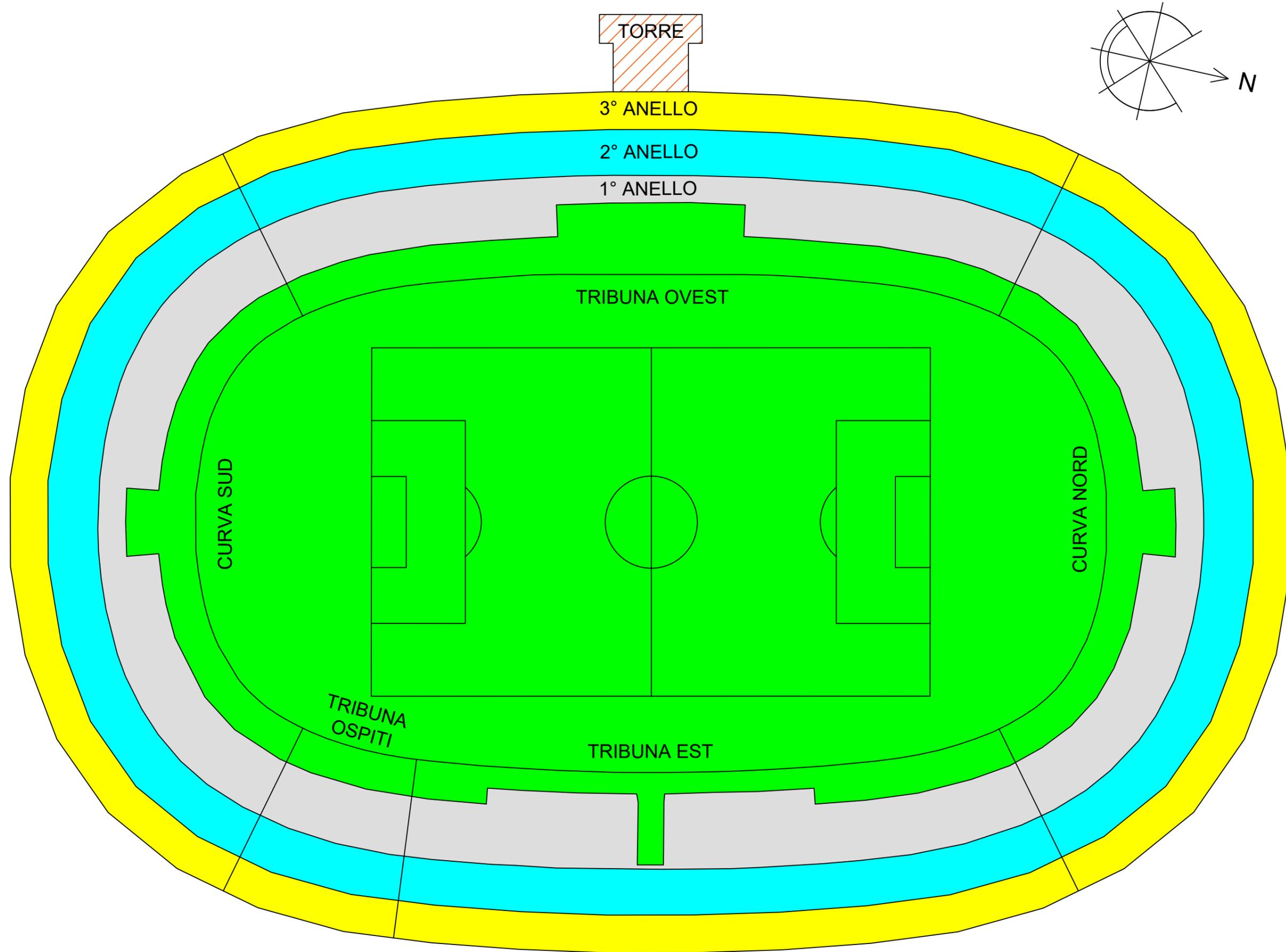


TAV.
1

SCHEMA PLANIMETRICO
DELLO STADIO

POLITECNICO DI TORINO
TESI DI LAUREA MAGISTRALE
Ingegneria Edile





TAV.
2

COMPOSIZIONE DELLE
TRIBUNE DELLO STADIO

POLITECNICO DI TORINO
TESI DI LAUREA MAGISTRALE
Ingegneria Edile

