

POLITECNICO di TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di laurea magistrale:

Risoluzione di criticità dell'esodo da un impianto sportivo mediante approccio prestazionale con l'ausilio di software di simulazione

Relatore: Prof. Ing. Fabio Manzone

Correlatore: Prof. Ing. Roberto Vancetti

Candidato: Fabrizio Bettarello

ABSTRACT

Durante la progettazione di un impianto sportivo quale uno stadio, si dà oggi giorno notevole importanza al tema della sicurezza; sono sempre più numerose, infatti, le normative che regolamentano tale aspetto influenzando non solo le scelte progettuali dell'impianto, ma anche le condizioni di esercizio dello stesso, valutando le criticità e le possibili fonti di rischio e cercando di limitare, per quanto possibile, il generarsi di condizioni di pericolo.

La presente tesi si inserisce proprio in questo ambito analizzando uno degli aspetti della sicurezza, ovvero l'esodo dall'impianto sportivo in condizioni di normale esercizio e di emergenza.

L'elaborato farà riferimento ad un caso studio, ovvero lo stadio Luigi Ferraris di Genova, e sarà virtualmente separato in due parti: una prima parte in cui viene analizzato l'esodo dall'impianto mediante un approccio prescrittivo, presentando le normative di riferimento nazionali ed internazionali per gli stadi ed analizzando i requisiti imposti in tema di tempo di deflusso degli spettatori; una seconda parte, maggiormente incentrata sul caso studio in esame, in cui verrà invece applicato un approccio prestazionale; sarà, cioè, utilizzato un software di simulazione di movimentazione delle folle per calcolare i tempi effettivi (simulati) di deflusso.

Infine, da un'analisi dei risultati ottenuti si valuterà la sicurezza dell'impianto in questione nelle condizioni di esercizio o se invece sarebbero consigliabili interventi migliorativi.

ABSTRACT

During the design of a sports facility such as a stadium, a great importance is given today to the issue of safety; in fact, nowadays there is a large number of rules that regulate this aspect influencing not only the design choices of the facility, but also the operating conditions of the same, assessing the criticality and possible sources of risk trying to limit, as far as possible, the occurrence of hazardous conditions.

This thesis is part of this area by analyzing one of the aspects of safety, namely the exodus from the sports stadium in normal operating and emergency conditions.

The paper will refer to a case study, namely the Luigi Ferraris stadium in Genoa, and will be virtually separated into two parts: a first part in which the exodus from the facility will be analyzed through a prescriptive approach, presenting the reference national and international standards for stadiums and analyzing the requirements imposed on the time of outflow of spectators; a second part, more focused on the case study itself, in which, instead, will be applied a performance approach, using simulation software for crowd handling to calculate the actual (simulated) outflow times.

Finally, an analysis of the obtained results will assess the safety of the stadium under operating conditions or whether improvements would be advisable.

Sommario

1	Introduzione	1
1.1	Obiettivo della tesi	1
2	Normative di riferimento	3
2.1	“Norme di sicurezza per la costruzione e l’esercizio degli impianti sportivi”	4
2.1.1	Definizioni.....	5
2.1.2	Ubicazione.....	6
2.1.3	Area di servizio annessa all’impianto.....	6
2.1.4	Spazi riservati agli spettatori e all’attività sportiva.....	7
2.1.5	Sistema di vie di uscita.....	7
2.1.6	Distribuzione interna.....	8
2.1.7	Manifestazioni occasionali.....	8
2.2	“Green guide – Guide to safety at sports ground”	8
2.2.1	Introduzione.....	8
2.2.2	The (P) and (S) factors.....	10
2.2.3	Zoning of circulation routes.....	14
2.2.4	Vertical circulation.....	16
2.2.5	Concourses and vomitories.....	17
2.2.6	Egress and emergency evacuation.....	18
2.2.7	Rates of passage – method of calculation.....	18
2.2.8	Egress time.....	19
2.2.9	Emergency evacuation time.....	20
2.2.10	Characterization of fire risk.....	20
2.2.11	Use of the pitch or area of activity for emergency evacuation.....	21
2.2.12	Alternative events at sports grounds.....	22
2.3	“FIFA – Stadium safety and security regulation” e “UEFA – Guida agli stadi di qualità” ...	22
3	Caso studio: stadio Luigi Ferraris di Genova	25
3.1	Ubicazione e contesto esterno	25
3.2	Descrizione interna	26
3.3	Vie di allontanamento	29
3.4	Area di servizio annessa	30
4	Approccio prestazionale	35
5	Modellazione e simulazione dell’esodo	37
5.1	Creazione del modello	37
5.2	Software di simulazione: Pathfinder	41

5.2.1	Importazione del modello	42
5.2.2	Definizione degli utenti	45
6	Svolgimento delle simulazioni.....	49
6.1	Simulazioni condotte all'interno dell'impianto.....	49
6.1.1	Scenario 1: configurazione di default	51
6.1.2	Scenario 2: indicazione sui percorsi da seguire	55
6.1.3	Scenario 3: sfollamento verso il campo da gioco	61
6.1.4	Scenario 4: innalzamento scale esistenti.....	63
6.2	Simulazioni condotte sull'area di servizio annessa.....	65
6.2.1	Scenario 1: configurazione di default	66
6.2.2	Scenario 2: indicazione sui percorsi da seguire	69
6.2.3	Scenario 3: sfollamento verso il campo da gioco	72
6.2.4	Scenario 4: innalzamento scale esistenti.....	72
6.2.5	Scenario 5: aggiunta di moduli	74
6.2.6	Scenario 6: riduzione della capienza	77
7	Conclusioni.....	79
8	Bibliografia e sitografia.....	82

Indice delle figure

Figura 2.1 Curva di visibilità (Green Guide).....	12
Figura 2.2 Effetti della presenza di spettatori in piedi (Green Guide).....	13
Figura 2.3 Zonizzazione di uno stadio (Green Guide).....	15
Figura 2.4 Indicazioni di approccio ad una scala degli spettatori (Green Guide).....	17
Figura 2.5 Tempo limite di deflusso secondo regolamentazione FIFA (Stadium safety and security regulation).....	23
Figura 2.6 Tempo limite di deflusso secondo regolamentazione UEFA (Guida agli stadi di qualità).....	23
Figura 3.1 Ubicazione dello stadio Luigi Ferraris.....	25
Figura 3.2 Indicazioni dei varchi di accesso allo stadio e del numero di tornelli.....	26
Figura 3.3 Divisione in settori degli spalti.....	27
Figura 3.4 Rappresentazione di un vomitorio (Tavole di progetto).....	28
Figura 3.5 Area di servizio annessa lato est (Tavole di progetto).....	31
Figura 3.6 Area di servizio annessa lato ovest (Tavole di progetto).....	32
Figura 3.7 Area di servizio annessa lato sud (Tavole di progetto).....	32
Figura 3.8 Area di servizio annessa lato nord (Tavole di progetto).....	33
Figura 5.1 Esempio di planimetria estratta dal piano di evacuazione ed importata in Revit (AutoCAD).....	37
Figura 5.2 Estratto dalla fase di modellazione (Revit).....	38
Figura 5.3 Sezione della gradinata del II anello (Revit).....	38
Figura 5.4 Solidi di sottrazione per la modellazione dei vomitori (Revit).....	39
Figura 5.5 Modello completo della gradinata del II anello del settore est (Revit).....	39
Figura 5.6 Settore est nella sua totalità (Revit).....	40
Figura 5.7 Sovrapposizione spalti-pareti verticali (Revit).....	40
Figura 5.8 Schema di interoperabilità.....	41
Figura 5.9 Risultato dell'importazione (Pathfinder).....	42
Figura 5.10 Mesh di navigazione ottenute dalla conversione del modello Revit (Pathfinder).....	43
Figura 5.11 Errore nella creazione della Mesh di navigazione (Pathfinder).....	43
Figura 5.12 A. scalinata su modello Revit (Revit); B. scalinata successivamente all'importazione in Pathfinder (Pathfinder).....	44
Figura 5.13 Procedura per la corretta modellazione delle scalinate: A. create stairs between two edges by choosing a point on each; B. add a thin wall; C. merge; D. door.....	45
Figura 5.14 Esempio di scheda di definizione dei Profili (Pathfinder).....	47
Figura 5.15 Elenco di comportamenti (Pathfinder).....	48
Figura 6.1 Il tempo per cui uno spettatore rimane volontariamente all'interno dello stadio non rientra nel tempo d'esodo (Green Guide).....	49
Figura 6.2 Schede per l'aggiunta di occupanti (Pathfinder).....	50
Figura 6.3 Modello finale pronto per lo svolgimento delle simulazioni (Pathfinder).....	51
Figura 6.4 Situazione iniziale con distinzione degli occupanti in base all'anello di appartenenza (Pathfinder).....	52
Figura 6.5 Gli occupanti si dirigono verso i vomitori (Pathfinder).....	52
Figura 6.6 Alcuni vomitori vengono ignorati perché non rappresentano la via più breve verso le uscite (Pathfinder).....	53
Figura 6.7 Mappa cromatica basata sulla densità (Pathfinder).....	53
Figura 6.8 Fasi finali dell'esodo, ultimi spettatori rimasti (Pathfinder).....	54
Figura 6.9 Mappa cromatica basata sull'utilizzo delle superfici (Pathfinder).....	55
Figura 6.10 Assegnazione dei Waypoint (Pathfinder).....	56

Figura 6.11 Elenco behavior (Pathfinder).....	56
Figura 6.12 Scelta iniziale dei vomitori (Pathfinder).	57
Figura 6.13 La distribuzione degli occupanti sui vomitori (Pathfinder).....	57
Figura 6.14 Fasi finali (Pathfinder).....	58
Figura 6.15 Mappa cromatica di utilizzo delle superfici (Pathfinder).	58
Figura 6.16 Fasi finali, gli ultimi spettatori ad uscire sono del secondo anello (Pathfinder).	59
Figura 6.17 Identificazione degli ultimi occupanti ad abbandonare l'impianto (PATHfinder).	60
Figura 6.18 Occupanti impossibilitati a muoversi per un non corretto riconoscimento delle mesh di navigazione (Pathfinder).	61
Figura 6.19 Classificazione del campo come area di ragionevole sicurezza (Pathfinder).	62
Figura 6.20 Alcuni spettatori si dirigono verso il campo da gioco (Pathfinder).	62
Figura 6.21 Fasi finali (Pathfinder).....	63
Figura 6.22 Innalzamento del vano scala (Pathfinder).....	64
Figura 6.23 Ridistribuzione degli occupanti sulle nuove scale (Pathfinder).....	64
Figura 6.24 Fasi finali dell'esodo (Pathfinder).	65
Figura 6.25 Aggiunta delle vie di allontanamento esterne (Pathfinder).	66
Figura 6.26 Fase iniziale: gli spettatori non si distribuiscono su tutte le vie di allontanamento (Pathfinder).	67
Figura 6.27 Fasi finali: sovraffollamento in corrispondenza di un'uscita (Pathfinder).....	67
Figura 6.28 Mappa cromatica connessa alla velocità degli occupanti (Pathfinder).....	68
Figura 6.29 Difficoltà di esodo per gli spettatori del II anello (Pathfinder).	68
Figura 6.30 A. Assegnazione waypoint; B. distribuzione degli utenti su comportamenti diversi dopo il change behavior (Pathfinder).	70
Figura 6.31 Maggiore uniformità nell'utilizzo delle vie di allontanamento (Pathfinder).	70
Figura 6.32 Mappa cromatica di densità (Pathfinder).....	71
Figura 6.33 Ultimi utenti a lasciare l'area (Pathfinder).	71
Figura 6.34 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).....	72
Figura 6.35 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).....	73
Figura 6.36 Fase finale dell'esodo con gli ultimi spettatori (Pathfinder).	73
Figura 6.37 Identificazione delle vie di allontanamento dallo stadio.....	74
Figura 6.38 Aggiunta di una via di allontanamento (Pathfinder).	75
Figura 6.39 Nuova ridistribuzione degli spettatori (Pathfinder).	75
Figura 6.40 Mappa cromatica del level of service (Pathfinder).	76
Figura 6.41 Tempo impiegato dagli spettatori a lasciare l'impianto (Pathfinder).	77
Figura 6.42 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).....	78
Figura 6.43 Tempo impiegato dagli spettatori a lasciare l'impianto (Pathfinder).	78

1 Introduzione

Quello della sicurezza negli impianti sportivi, è un tema che a partire dagli anni '80, ha avuto e continua ad avere notevoli sviluppi. Gli stadi sono luoghi pesantemente suscettibili a situazioni di pericolo a causa della varietà di attività che possono accogliere (eventi calcistici, manifestazioni di altri sport, concerti ecc...) e a causa del grande affollamento (quasi sempre si tratta di un numero di spettatori pari a qualche decina di migliaia di persone), al quale va ad aggiungersi la variabile del rischio di scontri e violenze tra componenti di tifoserie opposte o rivali durante una partita di calcio.

Nel corso degli anni si sono quindi sviluppati regolamenti e normative atte a progettare uno stadio in modo da limitare le fonti di rischio. Progettisti, proprietari e organi di competenza quali forze dell'ordine, vigili del fuoco ed addetti steward, devono perciò agire nel rispetto di tali normative ed assicurarsi che anche in fase di esercizio l'impianto rispetti le prescrizioni imposte.

1.1 **Obiettivo della tesi**

All'interno del più ampio tema della sicurezza degli impianti sportivi, la presente tesi tratterà l'aspetto inerente il deflusso dagli stessi applicando le normative vigenti ad un caso studio: lo stadio Luigi Ferraris in Genova, ponendo particolare attenzione sul settore esposto ad Est, ovvero quello dei Distinti.

Qui, infatti, sono presenti delle criticità dovute alla localizzazione urbana dello stadio, il quale si trova nelle immediate vicinanze di abitazioni private che impediscono la presenza di un'area di servizio annessa allo stadio così come definita dal D.M. 18 Marzo 1996. Tale superficie dovrebbe essere sufficiente a contenere tutti gli spettatori di un settore con una densità di 2 persone/m², condizione che, come si vedrà nei capitoli successivi, nel caso studio in esame non viene soddisfatta.

L'obiettivo di questa tesi sarà, quindi, quello di dimostrare con un approccio prestazionale che l'esodo degli spettatori dallo stadio avverrà comunque entro i limiti imposti dalle normative vigenti, e, qualora questo non si verificasse, suggerire qualche intervento migliorativo.

2 Normative di riferimento

Nel corso della trattazione verranno elencate le principali normative di riferimento per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi; queste non saranno solo nazionali ma verranno valutate anche normative europee, in quanto tutti gli stadi devono anche sottostare a regolamenti redatti da FIFA e UEFA. Le principali sono:

- *“Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi” (D.M. 18 Marzo 1996 con modifiche ed integrazioni introdotte dal D.M. 6 Giugno 2005):* questo decreto riporta tutte le prescrizioni di prevenzione incendi per gli impianti sportivi distinguendo tra strutture al chiuso (decreto applicabile a strutture con capienza superiore alle 4.000 unità) e strutture all'aperto (decreto applicabile a strutture con capienza superiore alle 10.000 unità). I temi trattati spaziano dalla zonizzazione dell'impianto, alla definizione delle aree, delle caratteristiche che i percorsi di esodo devono possedere, alle strutture ed agli impianti;
- *“Green Guide – Guide to safety at sports grounds” (quinta edizione, 2008):* si tratta di linee guida britanniche usate come riferimento a livello internazionale per la progettazione di complessi sportivi in cui le competizioni avvengono in spazi all'aperto. Sono un aiuto alla progettazione e alla gestione della sicurezza sia per opere di nuova costruzione o esistenti, ma non hanno carattere coercitivo in quanto non sono normative con valore di legge. Si specifica come stabilire la capienza massima di contenimento, come valutare il rischio all'interno dell'impianto, come progettare le vie di circolazione interne e quelle che portano direttamente all'esterno;
- *FIFA – Stadium safety and security regulation (Luglio 2008):* si tratta di un regolamento redatto dalla FIFA (Federation Internationale de Football Association), ovvero la federazione internazionale che governa gli sport del calcio, calcio a 5 e beach soccer. Lo “Stadium safety and security regulation” è un documento nel quale la FIFA stabilisce quali siano gli standard minimi che ogni organizzatore deve rispettare nel proprio impianto al fine di poter ospitare un evento ufficiale FIFA;
- *UEFA – Guida agli stadi di qualità:* l'UEFA (Union of European Football Associations) è l'organo che regola il calcio europeo. Così come per il regolamento redatto dalla FIFA, anche questo documento indica quali siano i

requisiti da rispettare affinché uno stadio possa ospitare manifestazioni calcistiche.

2.1 “Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi”

Le “Norme di sicurezza per la costruzione e l'esercizio degli impianti sportivi” (D.M. 18 Marzo 1996 con modifiche ed integrazioni introdotte dal D.M. 6 Giugno 2005), è la norma nazionale di riferimento per la progettazione e l'esercizio di impianti sportivi sia all'aperto, con capienza maggiore di 10.000 persone, sia al chiuso, con capienza maggiore di 4.000 persone.

La normativa contiene tutte le informazioni riguardo spazi di gioco, spazi per il pubblico, materiali, sistemi antincendio, vie di allontanamento ecc... Nel dettaglio, gli articoli di cui si compone sono:

- art. 1: campo di applicazione;
- art. 2: definizioni;
- art. 3: norme di procedura per la costruzione o modificazione di impianti sportivi;
- art. 4: ubicazione;
- art. 5: area di servizio annessa all'impianto;
- art. 6: spazi riservati agli spettatori e all'attività sportiva;
- art. 7: settori;
- art. 8: sistema di vie di uscita;
- art. 9: distribuzione interna;
- art. 10: servizi di supporto della zona spettatori;
- art. 11: spogliatoi;
- art. 12: manifestazioni occasionali;
- art. 13: coperture pressostatiche;
- art. 14: piscine;
- art. 15: strutture, finiture ed arredi;
- art. 16: depositi;
- art. 17: impianti tecnici;
- art. 18: dispositivi di controllo degli spettatori;
- art. 19: gestione della sicurezza antincendio;

- art. 20: complessi ed impianti con capienza non superiore a 100 spettatori o privi di spettatori;
- art. 21: norme transitorie;
- art. 22: deroghe;
- art. 23: commercializzazione CEE;
- art. 24: disposizioni finali.

Nei paragrafi successivi verranno trattati gli articoli maggiormente inerenti alle finalità della presente tesi.

2.1.1 Definizioni

Qui vengono proposte alcune tra le principali definizioni in tema di sicurezza negli stadi per il calcio. Viene citato fedelmente il D.M. 18 Marzo 1996, ma definizioni analoghe sono ricorrenti in tutte le normative utilizzate.

Impianto sportivo: insieme di uno o più spazi di attività sportiva dello stesso tipo o di tipo diverso, che hanno in comune i relativi spazi e servizi accessori, preposto allo svolgimento di manifestazioni sportive.

L'impianto sportivo comprende:

- lo spazio o gli spazi di attività sportiva;
- la zona spettatori;
- eventuali spazi e servizi accessori;
- eventuali spazi e servizi di supporto.

Area di servizio annessa: area di pertinenza dell'impianto o complesso sportivo recintata per controllarne gli accessi.

Area di servizio esterna: area pubblica o aperta al pubblico, che può essere annessa, anche temporaneamente, all'impianto o complesso sportivo mediante recinzione fissa o mobile.

Zona esterna: Area pubblica circostante o prossima all'impianto o complesso sportivo che consente l'avvicinamento allo stesso, e lo stazionamento di servizi pubblici o privati.

Via d'uscita: percorso senza ostacoli al deflusso che conduce dall'uscita dello spazio riservato agli spettatori e dallo spazio di attività sportiva all'area di servizio annessa o all'area di servizio esterna.

Spazio calmo: luogo sicuro statico contiguo e comunicante con una via di esodo verticale od in essa inserito. Tale spazio non deve costituire intralcio alla fruibilità delle vie di esodo ed avere caratteristiche tali da garantire la permanenza di persone con ridotte o impedito capacità motorie in attesa dei soccorsi.

Percorso di smistamento: percorso che permette la mobilità degli spettatori all'interno dello spazio loro riservato.

2.1.2 Ubicazione

L'ubicazione dell'impianto deve essere tale da consentire, ai fini della sicurezza, il rapido deflusso degli spettatori; inoltre deve essere possibile l'avvicinamento e la manovra dei mezzi di soccorso in caso di emergenza. A tal fine si deve fare in modo che in occasione di una partita di calcio, le vie di accesso all'area siano prive di ostruzioni, agendo sulla chiusura al traffico delle strade che conducono all'impianto.

2.1.3 Area di servizio annessa all'impianto

Stando a quanto imposto dal D.M. 18 Marzo 1996 e successive integrazioni, ogni impianto sportivo deve essere dotato un'area di servizio annessa esterna alla struttura che sia tale da contenere la capienza massima dello stadio con una densità non superiore a 2 persone/m² e deve essere diversa ed indipendente per ogni settore in modo che tifosi situati in settori diversi non entrino in contatto; in questo modo si può raggiungere una migliore gestione delle persone presenti non correndo il rischio dello scoppio di violenze tra le opposte tifoserie.

Da qui le persone potranno poi allontanarsi e perciò si rende necessario anche avere cura che l'area di servizio abbia varchi in numero sufficiente all'uscita di tutti gli spettatori. Tale superficie, infine, deve essere libera da ostacoli per garantire il deflusso in sicurezza di tutti gli utenti.

2.1.4 Spazi riservati agli spettatori e all'attività sportiva

Gli spazi riservati al pubblico pagante ed agli atleti devono essere separati tramite l'installazione di un parapetto di altezza non inferiore a 1.1 m conforme alla *UNI 10121-2 "Impianti sportivi. Separazione di spazi. Separatori per stadi per il calcio. Caratteristiche e prove"*, oppure tramite la realizzazione di un fossato tra le due zone di profondità non inferiore a 2,5 m dal piano di calpestio del pubblico e larghezza non inferiore a 2.5 m, protetto da un parapetto di altezza non inferiore a 1.1 m conforme alla *UNI 10121-2*. Le vie di uscita verso l'esterno dello stadio, inoltre, devono essere indipendenti.

Tuttavia, di concerto con le più recenti normative, le due aree destinate a pubblico ed attività sportiva devono poter essere messe in comunicazione attraverso varchi apribili in caso di necessità (in numero minimo di due); il campo da gioco può, infatti, essere considerato un luogo di ragionevole sicurezza motivo per il quale diventa possibile defluire verso quest'ultimo in caso di emergenza.

2.1.5 Sistema di vie di uscita

Per quanto riguarda il sistema delle vie di uscita, il decreto fornisce importanti istruzioni su come questo debba essere organizzato. Le principali sono:

- il sistema di vie di allontanamento dallo spazio riservato agli spettatori deve essere diverso da quello riservato alla zona di attività sportiva;
- deve essere previsto almeno un ingresso per ogni settore;
- deve essere garantito l'esodo senza ostacoli per la massima capienza ammessa;
- la larghezza di ogni via di uscita deve essere non inferiore a moduli 2 (1.20 m);
- la capacità di deflusso è assunta come 250 persone/modulo;
- per ogni settore il numero delle uscite deve essere non inferiore a 2;
- per gli ambienti interni di un impianto all'aperto, configurazione di uno stadio per il calcio, la lunghezza massima delle vie di uscita non deve essere superiore a 40 m (50 m con gli adeguati sistemi antincendio);
- devono essere previsti spazi calmi ogni 30 m (40 m nel caso sia possa scegliere tra due vie di allontanamento differenti);

- le scale devono avere gradini a pianta rettangolare con alzata e pedata costanti non superiori a 17cm e 30 cm rispettivamente;
- porte, serramenti e materiali devono rispettare i criteri imposti dal *D.M. 19 Agosto 1996: “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, costruzione ed esercizio dei locali di intrattenimento e di pubblico spettacolo”*.

2.1.6 Distribuzione interna

Tra gli spalti, ed in tutti i settori, vi sono i percorsi di smistamento, i quali non possono avere larghezza inferiore a 1,20 m e servire più di 20 posti per fila e per parte; ogni 15 file di gradoni deve essere realizzato un passaggio, parallelo alle file stesse, di larghezza non inferiore a 1,20 m; è consentito non prevedere tali passaggi quando i percorsi di smistamento adducono direttamente alle vie di uscita.

I percorsi di smistamento devono essere rettilinei con gradini dotati di una pedata non inferiore a cm 23 ed un'alzata non superiore a cm 25.

2.1.7 Manifestazioni occasionali

Uno stadio per il calcio può anche essere utilizzato per lo svolgimento di manifestazioni occasionali a carattere non sportivo come ad esempio concerti. In configurazioni di questo tipo e *“nel caso in cui le zone spettatori siano estese alla zona di attività sportiva o comunque siano ampliate rispetto a quelle normalmente utilizzate per l'impianto sportivo, la capienza, la distribuzione interna e il dimensionamento delle vie di uscita devono rispondere alle prescrizioni di cui ai precedenti articoli” (D.M. 18 Marzo 1996)*.

2.2 **“Green guide – Guide to safety at sports ground”**

2.2.1 Introduzione

La “Green Guide” è una linea guida e non una normativa vigente, il che significa che non ha carattere coercitivo ma fornisce agli addetti ai lavori suggerimenti, indicazioni ed

istruzioni al fine di una corretta progettazione di un impianto sportivo di nuova costruzione o la corretta gestione e manutenzione di un impianto esistente.

Gli argomenti trattati sono tutti quelli inerenti alla sicurezza degli spettatori, o più in generale degli occupanti, intendendo anche dipendenti di attività di ristorazione o commerciali all'interno della struttura, atleti ed addetti alla sicurezza, di un impianto sportivo durante un evento in esso locato; solitamente si tratta di manifestazioni calcistiche in uno stadio ad esse destinato ma vengono trattate anche occasioni differenti in un capitolo chiamato "Alternative uses at sports ground".

I destinatari della Linea Guida sono sia coloro i quali si avviano alla progettazione di un nuovo stadio, sia chi, invece, deve occuparsi della gestione di uno stadio esistente, ma anche gli addetti alla sicurezza durante una manifestazione (forze dell'ordine, steward, addetti antincendio, addetti di primo soccorso).

Nonostante, come detto, questo documento non sia una normativa vigente, vi sono alcune indicazioni ed alcuni accorgimenti che riprendono quanto espresse dalle normative nazionali, e perciò non trascurabili; tra questi:

- rispettare le larghezze minime: nonostante la capacità di sfollamento sia definita al metro lineare di larghezza, la guida impone che la larghezza minima delle vie di allontanamento sia 1.2 m, pari cioè a moduli 2. Per le porte, invece, la larghezza minima è 0.8 m. Nell'analisi dell'esodo questo è un vincolo imposto anche a livello normativo (*D.M. 18 Marzo 1996*) e, perciò, non può essere trascurato;
- la velocità di passaggio, ovvero il numero di persone che attraversa una determinata sezione del sistema di allontanamento, in un intervallo di tempo dato; alcuni dei fattori che influenzano tale velocità sono: categoria di persone (adulti, bambini, uomini, donne...); l'attività svolta nell'ambiente preso in considerazione; il fattore progetto, identificativo della qualità dell'opera, indicato con (P), e la familiarità che gli spettatori hanno con il luogo;
- il tempo di uscita ed il tempo di evacuazione;
- la rete di percorsi che identificano una via di allontanamento: è necessario, infatti, che una volta entrati in un percorso di allontanamento, questo conduca effettivamente verso l'esterno della struttura senza dover cambiare percorso;
- nonostante quanto precedentemente detto, nel caso in cui un percorso non sia fruibile, deve esserne immediatamente presente un altro; questo corrisponde al

principio di ridondanza, ovvero viene previsto un maggiore numero di vie di allontanamento in modo che in caso di impossibilità di prenderne una si possa comunque raggiungere la configurazione di un esodo in sicurezza di tutte le persone presenti dentro lo stadio;

- tutti i percorsi devono essere mantenuti puliti e mantenuti, e devono essere immediatamente e facilmente riconoscibili attraverso apposita segnaletica.

2.2.2 The (P) and (S) factors

I fattori (P) e (S) sono due delle variabili principali che entrano in gioco nella definizione della massima capienza ammissibile dello stadio, parametro che deve essere l'elemento di partenza nella validazione del sistema di vie di allontanamento; la capienza deve, infatti, essere non superiore al numero massimo di persone che possono allontanarsi attraverso i varchi di uscita presenti. Sono quindi fattori moltiplicativi da applicare alla formula per la determinazione della capienza e sono entrambi valori compresi tra 0 e 1 a seconda delle condizioni in cui vertono lo stadio e gli spalti, secondo la seguente classificazione:

- quando la condizione delle tribune è ottimale si deve applicare un fattore (P) pari a 1;
- quando le condizioni sono molto negative, invece, deve essere applicato il valore 0; questo significa che nell'area considerata non ci sono le condizioni di sicurezza per il contenimento di persone e la capienza della zona sarà conseguentemente nulla;
- in casi intermedi si applica un valore del fattore (P) pari a 0.6 e del fattore (S) pari a 0.8.

Entrambi i fattori sono da rivalutare ogni anno.

È importante anche sottolineare come i seggiolini danneggiati o distrutti non debbano essere tenuti in considerazione nel calcolo della capienza in quanto non possono essere utilizzati.

Fattore (P): questo fattore dipende dalla condizione fisica in cui vertono i seggiolini e le tribune dello stadio. In base a questo fattore la capienza di contenimento dell'impianto

può variare rispetto a quella di progetto; viene quindi utilizzato per calcolare la capacità di tenuta dell'area.

I parametri che influiscono il fattore (P) sono:

- condizione fisica: questa non comprende la condizione dei posti a sedere, in quanto quelli danneggiati o rotti non vengono inclusi nel calcolo, ma quelle delle vie di distribuzione, delle file dei posti a sedere, delle scale e dei corrimani;
- strutture: i responsabili della gestione dello stadio deve garantire che qualsiasi struttura adibita a spazio riservato agli spettatori sia sicura fornendo periodicamente i documenti di stabilità statica che lo attestino;
- curva di visibilità: se i punti di vista sono inadeguati, incoraggiando così il pubblico ad una visione in piedi, devono essere considerate misure in favore della sicurezza delle persone e questo andrà ad inficiare (P). Come si vede dalle immagini successive la visibilità è un elemento di valutazione importante per la sicurezza soprattutto considerando che se ci sono persone in piedi, queste inficiano la visibilità di chi è alle loro spalle creando moti tra gli spettatori e riducendo la sicurezza del settore.

Diagram 12.1 Sightlines for seated spectators

Key to diagram:

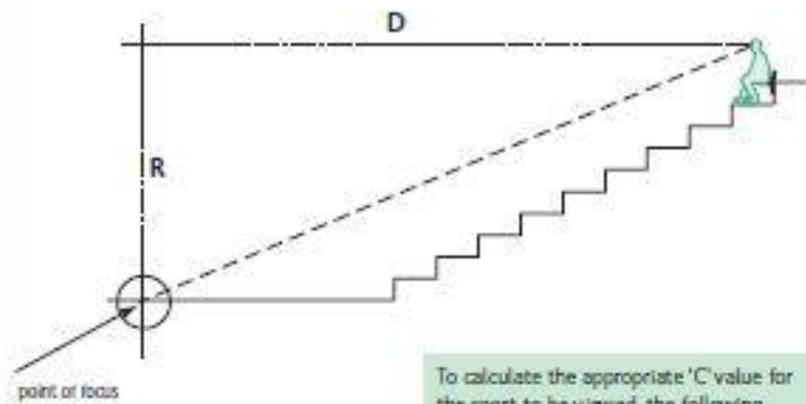
C = the 'C' value

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

N = the riser height

R = the vertical height to the point of focus

T = the seating row depth



point of focus

typically the nearest touchline,
or outside lane of running track,
or boundary or area of activity

To calculate the appropriate 'C' value for
the sport to be viewed, the following
formula applies:

$$C = \frac{D(N+R)}{D+T} - R$$

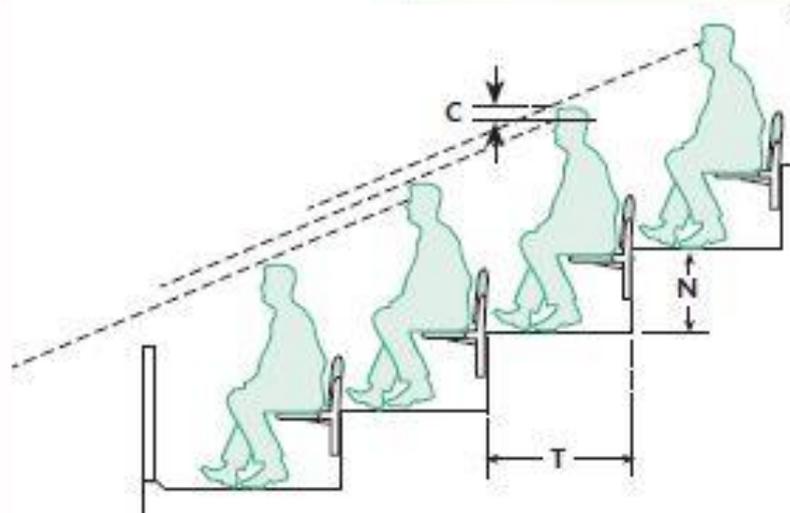


Figura 2.1 Curva di visibilità (Green Guide).

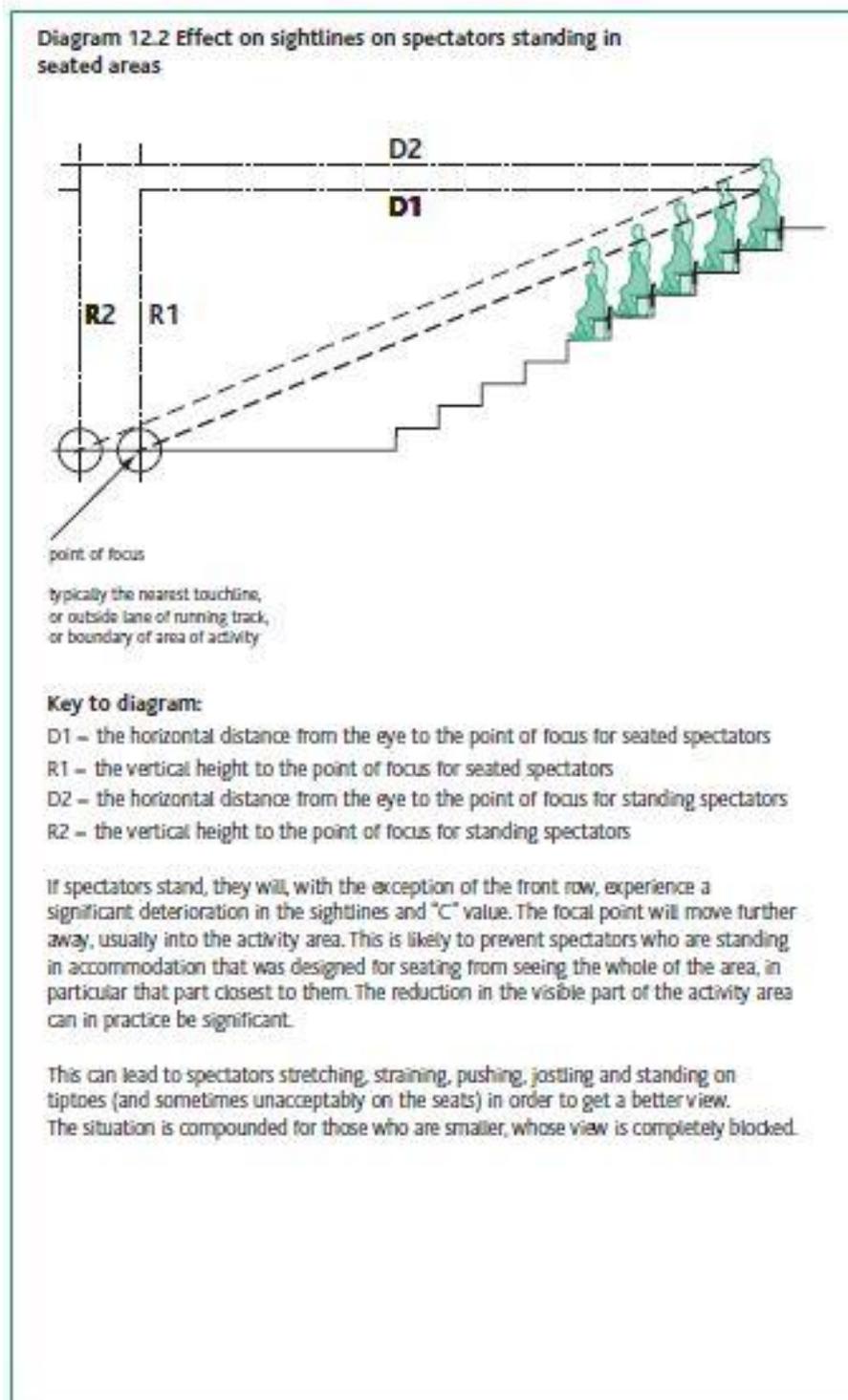


Figura 2.2 Effetti della presenza di spettatori in piedi (Green Guide).

Fattore (S): tale fattore, una volta stabilito (P), indica quale sia il livello di gestione di ogni settore dello stadio; anche la manutenzione ordinaria e, se necessario, straordinaria, sono aspetti fondamentali della ricerca della massima sicurezza per il pubblico. I parametri che influiscono (S) sono:

- biglietti: il proprietario dello stadio dovrebbe garantire che i biglietti siano emessi solo per posti utilizzabili; una buona prassi sarebbe anche quella di segnalare sul biglietto stesso se il posto acquistato non gode di una buona visibilità, in modo che lo spettatore ne sia già informato;
- buona pulizia: avere aree pulite e prive di ostruzioni quali spazzatura è fondamentale ai fini di un esodo senza il verificarsi di problematiche;
- steward: gli addetti steward devono avere familiarità con l'impianto per poter guidare gli spettatori ai posti loro assegnati e soprattutto per poterli guidare verso le vie di esodo in caso di emergenza;
- persone in piedi sugli spalti: è un comportamento che può essere pericoloso perché si generano situazioni non previste, come descritto nelle precedenti immagini inerenti la curva di visibilità;
- separazioni tra i settori: nel caso ci siano separazioni mobili o removibili, è previsto che ci si accerti che prima e durante qualsiasi evento, queste siano collocate correttamente nell'impianto.

Avendo perciò attribuito i valori compresi tra 0 ed 1 ai fattori (P) ed (S), la capacità di contenimento totale finale risulta pari a:

$$\text{capacità di contenimento} = \text{numero di seggiolini utilizzabili} * (P) \text{ o } (S)$$

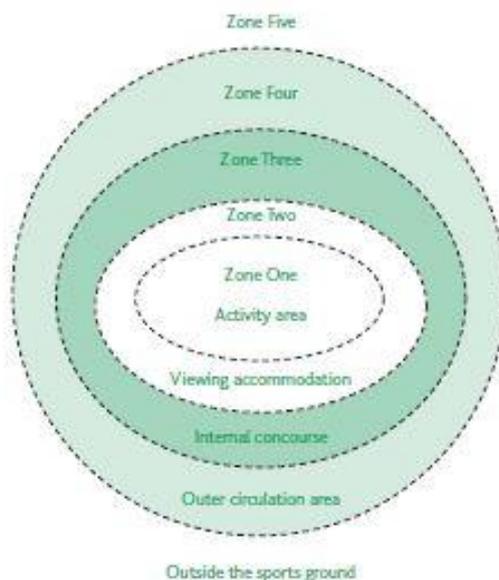
avendo cura di non moltiplicare sia per (P) che per (S) ma solo per il minore dei due ponendosi a favore di sicurezza.

2.2.3 Zoning of circulation routes

Un impianto sportivo è essere composto da diverse aree, oltre a campo da gioco e spalti dai quali vedere la partita. Così come il D.M. 18 Marzo 1996 introduce e definisce l'area di servizio annessa e l'area di massima sicurezza, anche la Green Guide fornisce una chiara classificazione e diversificazione delle aree di cui si compone un impianto sportivo, come è possibile vedere nell'immagine seguente.

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.

Figura 2.3 Zonizzazione di uno stadio (Green Guide).

Zona uno: è la zona di attività sportiva destinata agli atleti. In caso di evacuazione di emergenza può anche essere un'area di ragionevole sicurezza ed utilizzata per portare in salvo gli spettatori.

Zona due: è la zona riservata agli spettatori per la visione dell'evento, ovvero le tribune.

Zona tre: è la zona interna all'impianto nella quale si trovano i vomitori ed i percorsi di allontanamento che conducono all'area esterna.

Zona quattro: la quarta zona è la zona che contiene i percorsi di allontanamento esterni, similmente all'area di servizio annessa del D.M. 18 Marzo 1996; anche quest'area può essere considerata area di ragionevole sicurezza prima dell'esodo verso la zona cinque.

Zona cinque: è l'area esterna all'impianto sportivo.

2.2.4 Vertical circulation

Le vie di distribuzione verticale, ovvero scale e passerelle laterali agli spalti, devono rispettare alcuni requisiti suggeriti al fine di rendere il loro utilizzo privo di rischi in caso di allontanamento di emergenza. Le prerogative che una via di allontanamento di questo tipo deve avere sono:

- larghezza costante lungo tutto il suo sviluppo e non inferiore a m 1.2 (per impianti sportivi esistenti è accettabile una larghezza minima di m 1.1);
- alzate e pedate devono avere dimensioni costanti, ed in particolare le alzate devono essere comprese tra mm 150 e mm 170 (mm 180 per scale di emergenza e mm 190 per impianti esistenti), mentre le pedate devono essere comprese tra mm 280 e mm 305 (scelta consigliata);
- i pianerottoli devono avere la stessa larghezza della rampa;
- devono essere evitate ostruzioni al passaggio;
- si devono evitare sovrapposizioni di rampe per evitare congestioni e colli di bottiglia durante il deflusso;
- devono essere realizzate con un materiale che non sia scivoloso nemmeno in caso di pioggia.

Il flusso di persone alla testa della scala è uno degli aspetti più critici nella progettazione di un sistema di vie di allontanamento e bisogna perciò attuare qualche accorgimento quali:

- evitare che le persone si avvicinino alle scale diagonalmente rispetto alla stessa ma parallelamente o al più lateralmente;
- una scala di grosse dimensioni deve essere divisa in rampe di larghezza conforme a quanto detto nella Guida ed il suo utilizzo deve essere omogeneamente distribuito.

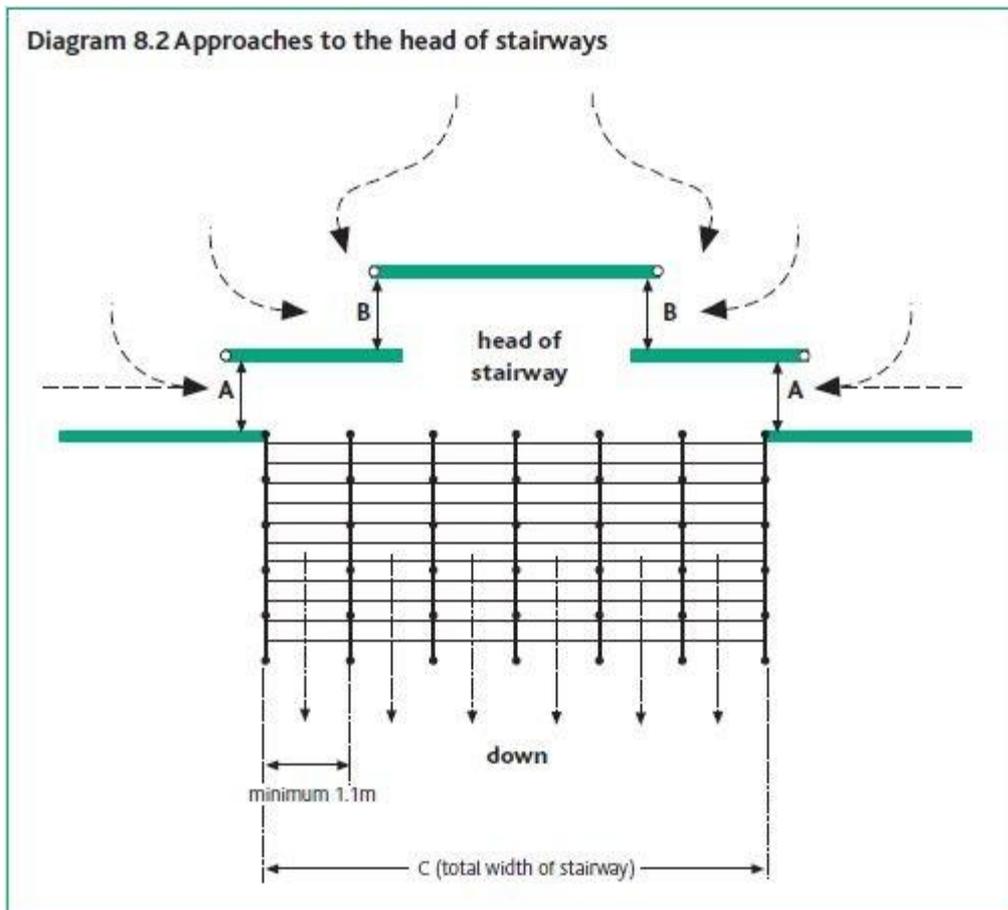


Figura 2.4 Indicazioni di approccio ad una scala degli spettatori (Green Guide).

La presenza di barriere alla testa della scala è necessaria per indirizzare i flussi di persone e per non avere un avvicinamento alla scala con moti del tutto disordinati.

2.2.5 Concourses and vomitories

I corridoi collegano il catino dello stadio ad un luogo sicuro, sia esso già esterno allo stadio oppure ancora all'interno; la loro dimensione non è di semplice calcolo in quanto è difficile prevedere quale sia il loro tasso di occupazione. Per questo motivo si stima che l'affollamento presente sia pari ad una percentuale compresa tra il 30% ed il 50% di quello massimo relativamente al settore che deve servire; in ogni caso, si deve garantire che nel momento di massimo affollamento si abbia una densità non superiore a 2 persone/m².

Qualora il limite di massima densità non venga rispettato, la dirigenza dello stadio dovrebbe intervenire rimuovendo eventuali ostruzioni come ad esempio i cestini per i

rifiuti, o magari spostando punti food and beverage mobili, se presenti; come precedentemente detto la gestione e manutenzione dei corridoi va ad incidere sul fattore (S), riducendolo se non adeguata.

Può verificarsi la situazione che i corridoi vengano utilizzati come luoghi di ragionevole sicurezza, ed in questo caso devono essere progettati per avere una resistenza al fuoco di almeno 30 minuti.

2.2.6 Egress and emergency evacuation

Il capitolo 10 della Green Guide tratta l'argomento dell'uscita dall'impianto sportivo sia in condizioni di normale esercizio sia in caso di emergenza. L'amministratore dello stadio dovrà assicurarsi che ci siano sufficienti uscite per tutte le persone presenti all'interno della struttura nel momento del massimo affollamento, che le larghezze rispettino quanto precedentemente detto e che tutti i percorsi di esodo e tutte le uscite siano facilmente ed immediatamente riconoscibili attraverso apposita segnaletica ed illuminazione.

Quanto detto per le vie di distribuzione interne allo stadio, deve necessariamente valere anche per le vie di allontanamento, avendo attenzione che, nel caso in cui un'arteria non fosse percorribile la massima capienza del settore di riferimento dovrà essere ridotta.

2.2.7 Rates of passage – method of calculation

La Green Guide, a differenza della normativa italiana sugli impianti sportivi, fornisce anche alcune indicazioni sul tempo di uscita dall'impianto da parte di tutti i presenti all'interno della struttura sia in situazione ordinaria, sia in situazione di emergenza.

Come prima cosa bisogna calcolare il tasso di passaggio, cioè il numero di persone che possono passare da una generica sezione delle vie di distribuzione in un intervallo di tempo. I fattori che influiscono il suddetto tasso sono:

- il tipo di pubblico presente: se hanno familiarità o meno con il posto, se vi sono bambini o anziani;
- la presenza e la quantità di punti food and beverage lungo i percorsi;
- le condizioni fisiche e la qualità del sistema di vie di uscita.

I tassi di passaggio consigliati dalla guida sono 79 persone/min lungo le scale e 100 persone/min lungo vie piane (per larghezza della via pari a m 1.2).

2.2.8 Egress time

Il Tempo di uscita è il tempo totale in cui tutti gli spettatori possono, in condizioni normali, lasciare un'area di visibilità dell'attività sportiva in atto ed entrare in un sistema di uscita a flusso libero; non comprende il tempo necessario per percorrere l'intera via di uscita ed arrivare all'esterno dell'impianto (traduzione Green Guide).

La Green Guide esegue una distinzione del tempo di esodo massimo consentito in base al rischio incendio, il quale può essere basso, medio o alto, ed in base alla condizione in cui ci si trova, ovvero condizioni ordinarie o di emergenza; in condizioni ordinarie il tempo massimo consentito per immettersi nelle vie di allontanamento è di 8 minuti (escluso il tempo per percorrerle), mentre in caso di emergenza, a seconda del tipo di rischio incendio, può variare dai 2 minuti e 30 secondi agli 8 minuti.

Nel caso il management dello stadio si rendesse conto che l'intero impianto non riesce a svuotarsi entro questo limite, ed essendo impossibili altri tipi di precauzioni o interventi, la capienza di contenimento totale dovrà essere ridotta.

La direzione dell'impianto dovrà, inoltre, garantire:

- movimento: una volta imboccato un percorso di allontanamento, questo deve condurre fino alla zona sicura;
- vie di allontanamento alternative: nel caso una via fosse inagibile ci deve essere una immediata possibilità alternativa;
- via diretta verso l'uscita: la via di esodo deve condurre verso la via di uscita senza diramazioni che potrebbero confondere gli spettatori;
- mantenere le uscite libere da ogni ostruzione;
- segnaletica, anche luminosa, chiara e sempre visibile: in questo caso diventa necessaria la presenza di un sistema di illuminazione di emergenza.

In base a questo tempo fissato ed in base ai fattori (P) e (S) viene definita la reale e finale capacità di contenimento.

2.2.9 Emergency evacuation time

Il Tempo di evacuazione di emergenza è un calcolo che, insieme alla velocità di passaggio, viene utilizzato per determinare la capacità del sistema di uscite di emergenza dalla struttura ad un luogo di sicurezza o di ragionevole sicurezza, in caso di emergenza (Traduzione Green Guide).

I percorsi di allontanamento in caso di emergenza devono rispettare le seguenti condizioni:

- essere più di uno per ogni settore;
- l'eventuale condizione di inagibilità di una via non deve precluderne altre;
- devono essere realizzate con una resistenza al fuoco di almeno 30 minuti;
- devono condurre ad un luogo sicuro, preferibilmente verso l'esterno;
- devono essere mantenute sempre libere da impedimenti ed in buone condizioni.

Nel paragrafo 15.5 della Guida vengono anche definiti i rischi di incendio, i quali, come detto in precedenza, influiscono su quale sia il limite massimo di tempo entro cui tutti gli spettatori debbano immettersi nelle vie di allontanamento.

2.2.10 Characterization of fire risk

In base alla tipologia strutturale dello stadio, ai materiali utilizzati ed alle condizioni di esercizio, la Green Guide indica una classificazione del rischio incendio all'interno della struttura.

- il rischio di incendio viene definito come basso se si verificano le seguenti condizioni:
 - bassa quantità di materiale incendiabile;
 - poca probabilità che il focolare si espanda diffondendo le fiamme;
 - basso rischio per la vita umana.

In questo caso il Massimo tempo di esodo consentito è 8 minuti.

- il rischio di incendio è moderato se:
 - basso rischio di propagazione delle fiamme;
 - incendio confinato nel luogo dove ha avuto origine;

- si verifica l'attivazione dei sistemi antincendio per lo spegnimento delle fiamme.

In queste condizioni il tempo di uscita massimo è 6 minuti.

- infine, il rischio di incendio è elevato se:
 - la struttura dell'impianto è composta da materiale combustibile;
 - gli elementi strutturali possono agevolare la diffusione non solo delle fiamme ma anche di fumi e calore;
 - rifiuti accumulati sugli spalti o nei corridoi;
 - non vi sono separazioni adeguate tra i locali dell'impianto e le vie di uscita;
 - rischio vita delle persone elevato.

Il tempo limite in questo caso è di 2 minuti e 30 secondi.

2.2.11 Use of the pitch or area of activity for emergency evacuation

In alcuni casi, è possibile che l'area del campo da gioco debba essere utilizzata come luogo ragionevolmente sicuro in quanto non si dispone di ulteriori spazi disponibili; in questo caso si dovrà essere certi di rispettare i seguenti accorgimenti:

- nella recinzione che divide il campo da gioco alla zona riservata agli spettatori devono essere previste delle porte apribili in caso se ne richieda l'utilizzo per un'evacuazione di emergenza; la loro dimensione deve essere non inferiore di m 1.1 (1.2 m per edifici di nuova costruzione), devono essere controllate da addetti steward e devono essere indicate e ben riconoscibili, utilizzando ad esempio un colore diverso da quello della recinzione restante;
- si dovrà porre particolare attenzione al materiale di cui è composto il campo da gioco, di concerto con le normative di prevenzione incendi, in quanto alcuni terreni sintetici che potrebbero essere utilizzati sono particolarmente vulnerabili; questo dovrà essere approvato dagli organi competenti;
- in ogni caso la extra-capienza derivante dall'utilizzo del campo da gioco non dovrà in nessun modo rientrare nel calcolo della capienza di contenimento totale dello stadio.

2.2.12 Alternative events at sports grounds

Sempre più spesso gli impianti sportivi vengono utilizzati anche per eventi occasionali non inerenti ad attività sportive, il caso più frequente è sicuramente quello dei concerti.

In questo caso il pubblico è disposto anche sul campo da gioco e la capienza dell'impianto, in questo caso, deve tenerne conto. Le vie di allontanamento che portano direttamente dal campo all'esterno dell'impianto devono, quindi, essere adeguate rispettando gli stessi vincoli imposti per le vie di esodo nelle altre zone dello stadio, e devono essere presenti varchi di dimensioni sufficienti al deflusso di tutti i presenti sull'area da gioco considerando sempre la dimensione di un modulo pari a 60 cm con una capacità di deflusso di 250 persone/modulo.

2.3 **“FIFA – Stadium safety and security regulation” e “UEFA – Guida agli stadi di qualità”**

Tutti gli stadi per il calcio devono rispettare, oltre le normative nazionali, anche i requisiti e gli standard imposti dal regolamento FIFA che è l'organizzazione che gestisce tutte le manifestazioni di calcio, calcio a 5 e beach soccer, e dal regolamento UEFA che è, invece, l'organizzazione che governa il calcio a livello europeo.

Il primo è un documento che, come il D.M. 18 Marzo 1996 e la Green Guide elenca i requisiti da rispettare in ambito della sicurezza, dalla definizione della massima capienza dello stadio che possa defluire nei tempi previsti, alla caratterizzazione delle vie di allontanamento, fino alle caratteristiche ed alle capacità che il personale addetto alla sicurezza deve avere. Gli addetti steward, infatti ricoprono un ruolo fondamentale nella gestione della folla che in caso di emergenza potrebbero rispondere al pericolo con uno stato di ansia ed agitazione, quali sarebbero controproducenti ai fini di un esodo rapido e sicuro.

Il secondo, invece, è un documento che mostra tutte le proprietà che uno stadio deve avere eccedendo l'ambito della sola sicurezza. Vengono trattati la struttura, le scelte tecnologiche ed impiantistiche, la tipologia di campo da gioco, la manutenzione e l'ecosostenibilità.

In ambito di questa tesi, i due documenti sono stati presi in considerazione soprattutto in quanto forniscono un'indicazione sui tempi limite entro i quali uno stadio debba potersi completamente svuotare, ovvero 10 minuti in caso di regolamento FIFA e 8 minuti in caso di regolamento UEFA.

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:

Figura 2.5 Tempo limite di deflusso secondo regolamentazione FIFA (Stadium safety and security regulation).

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

Figura 2.6 Tempo limite di deflusso secondo regolamentazione UEFA (Guida agli stadi di qualità).

Questi tempi, e quello proposto dalla Green Guide, verranno confrontati con le tempistiche di esodo ottenute con le simulazioni per il caso studio.

3 Caso studio: stadio Luigi Ferraris di Genova

A partire da questo capitolo viene trattato il caso studio ovvero lo stadio Luigi Ferraris di Genova, ed in particolare il settore Distinti Est.

In prima analisi verrà descritto l'impianto facendo riferimento alle normative vigenti ed in un secondo momento verranno utilizzati software di modellazione 3D e di simulazione del flusso di persone per poter sfruttare un approccio prestazionale e calcolare i tempi simulati di esodo, oltre che il comportamento degli spettatori una volta all'esterno dello stadio.

3.1 Ubicazione e contesto esterno



Figura 3.1 Ubicazione dello stadio Luigi Ferraris.

Lo stadio Luigi Ferraris si trova nel quartiere Marassi di Genova, delimitato da corso Alessandro De Stefanis a est, via Giovanni De Prà a ovest, via Casata Centuriona a sud e via Clavarezza a nord.

La struttura è facilmente raggiungibile dai mezzi pubblici, mentre in auto l'accesso alle zone limitrofe è più complicato in quanto l'impianto è sito in una zona fortemente urbanizzata, come si può vedere dall'immagine del contesto ed in accordo con la "Guida agli stadi di qualità" dell'UEFA citata precedentemente alla definizione "Siti urbani".

Per quanto riguarda gli accessi all'interno dello stadio, questi sono disposti lungo tutto il perimetro dello stesso e dotati di tornelli, in conformità con quanto previsto dal *D.M. 18 Marzo 1996* secondo cui i tornelli di accesso allo stadio devono avere larghezza di 60 cm e permettere il passaggio di una sola persona per volta, consentendo così una migliore gestione dei flussi ed un maggiore controllo sui biglietti. Il numero di tornelli deve essere tale da consentire l'ingresso a tutti gli spettatori in un tempo non maggiore all'ora e mezza e per far ciò si deve garantire un tornello ogni 1125 spettatori.



Figura 3.2 Indicazioni dei varchi di accesso allo stadio e del numero di tornelli.

3.2 Descrizione interna

Poiché la capienza dello stadio è maggiore delle 10.000 unità, il *D.M. 18 Marzo 1996* articolo 7, prevede che lo stesso venga diviso in settori. L'impianto è, quindi, così organizzato:

Settori	Capienza
Distinti Est	8.781
Tribuna Ovest	5.124
Gradinata Nord	9.215
Gradinata Sud	9.232
Settore Ospiti Nord	2.067
Settore Ospiti Sud	2.067
Settore Disabili	113
Stadio	36.599

Lo schema organizzativo dei settori è mostrato nella figura sotto riportata.



Figura 3.3 Divisione in settori degli spalti.

Gli spalti dei vari settori sono raggiungibili attraverso i corridoi ed i vomitori; all'interno del settore est ricadono anche due aree destinate e dedicate ad utenti diversamente abili.

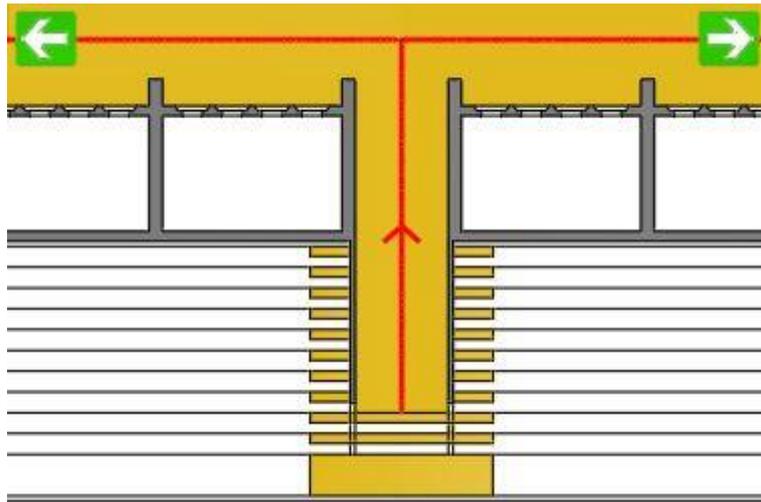


Figura 3.4 Rappresentazione di un vomitorio (Tavole di progetto).

Di concerto con il regolamento del CONI (Comitato Olimpico Nazionale Italiano) sono presenti anche due varchi di accesso all'area da gioco da poter essere utilizzati in caso di evacuazione di emergenza; le più recenti normative, infatti, considerano il campo da gioco come area di ragionevole sicurezza in cui gli spettatori possono recarsi prima di dirigersi verso l'esterno dell'impianto. Nello stadio di Genova lo spazio riservato all'attività sportiva e quello riservato agli spettatori sono separati da un fossato e si deve, perciò, ricorrere a due ponti levatoi che saranno abbassati in caso di necessità. Questi due varchi devono essere solitamente chiusi e presidiati con i ponti levatoi alzati per non incorrere in invasioni di campo.

Infine, sono previsti anche due accessi diretti per i mezzi di soccorso e sono locati a nord e sud.

Un ulteriore aspetto da tenere in considerazione ai fini della sicurezza dell'impianto è la separazione sia in fase di accesso all'interno dello stadio, sia in fase di visione della manifestazione, dei tifosi ospiti da quelli locali. In accordo con la normativa nazionale, infatti, le due tifoserie devono essere mantenute separate in modo da ridurre al minimo la componente di rischio dovuta a scontri e violenze tra le due fazioni.

Per quanto concerne lo sviluppo in altezza, invece, il L. Ferraris è dotato di due anelli per tutti i settori ad eccezione del settore est dove gli anelli sono tre.

3.3 Vie di allontanamento

Una volta inquadrata la configurazione interna dello stadio, si deve verificare che i vomitori siano in quantità e di dimensioni sufficienti a garantire il deflusso di tutti gli spettatori considerando la configurazione massimo affollamento.

Partendo dalle tavole di progetto si è quindi misurata l'ampiezza in moduli dei varchi considerando un modulo pari a 0.6 m con una capacità di deflusso di 250 persone/modulo.

In fase di allontanamento della zona di visione dell'evento calcistico, i moduli garantiti dai vomitori sono:

- distinti est:
 - capienza = 8.781 persone;
 - capacità di deflusso = 64 moduli * 250 persone = 16.000 persone > 8.781 persone;
 - verifica soddisfatta;
- tribuna ovest:
 - capienza = 5.124 persone;
 - capacità di deflusso = 74 moduli * 250 persone = 18.500 persone > 5.124 persone;
 - verifica soddisfatta;
- gradinata sud:
 - capienza = 9.232 persone;
 - capacità di deflusso = 51 moduli * 250 persone = 12.750 persone > 9.232 persone;
 - verifica soddisfatta;
- gradinata nord:
 - capienza = 9.215 persone;
 - capacità di deflusso = 43 moduli * 250 persone = 10.750 persone > 9.215 persone;
 - verifica soddisfatta.

I risultati ottenuti per il deflusso dall'area di servizio annessa verso l'esterno dell'impianto, invece, sono i seguenti (per la posizione dei moduli fare riferimento alle immagini 3.5, 3.6 ,3.7 ,3.8)

- distinti est:
 - capienza = 8.781 persone;
 - capacità di deflusso = 44 moduli * 250 persone = 11.000 persone > 8.781 persone;
 - verifica soddisfatta;
- tribuna ovest:
 - capienza = 5.124 persone;
 - capacità di deflusso = 56 moduli * 250 persone = 14.000 persone > 5.124 persone;
 - verifica soddisfatta;
- gradinata sud:
 - capienza = 9.232 persone;
 - capacità di deflusso = 58 moduli * 250 persone = 14.500 persone > 9.232 persone;
 - verifica soddisfatta;
- gradinata nord:
 - capienza = 9.215 persone;
 - capacità di deflusso = 48 moduli * 250 persone = 12.000 persone > 9.215 persone;
 - verifica soddisfatta.

Si può quindi concludere che i vomitori ed i varchi di uscita sono conformi con la normativa vigente.

3.4 Area di servizio annessa

Come definito nel capitolo 2, l'area di servizio annessa ad un impianto sportivo è un'area esterna alla struttura utile a controllare l'accesso dei tifosi ma anche necessaria, secondo la normativa nazionale, in tema di sicurezza. Ogni stadio dovrebbe essere dotato di un'area indipendente per ogni settore con superficie non inferiore a quella necessaria per contenere tutti gli spettatori del settore di riferimento con una densità non superiore a 2 persone/m². Inoltre, dovrebbe estendersi per almeno 6 m oltre il confine dell'impianto, oppure, venendo meno questa condizione, viene richiesto che i varchi di uscita dall'area

di servizio siano di dimensione almeno uguale a quelli di uscita dall'impianto in modo da non rallentare il deflusso.

Questo per far sì che l'esodo, in condizioni di normale esercizio o di emergenza, possa avvenire in sicurezza e rapidamente, evitando che si creino colli di bottiglia che costringerebbero alcuni occupanti a rimanere all'interno dello stadio per un tempo superiore ai limiti massimi imposti dalle normative.

Nel caso studio in esame, l'area annessa per i diversi settori rappresenta una criticità poiché la superficie ad essi destinata non è sufficiente al contenimento della massima capienza ammissibile, con l'eccezione del settore Ovest, ove invece l'area di servizio è conforme ai limiti normativi.

In particolare, la condizione di esercizio dello stadio è la seguente:

- distinti est:
 - capienza = 8.781 persone;
 - superficie area di servizio annessa: 1.939 m²;
 - superficie minima richiesta: $8.781/2 = 4.391 \text{ m}^2 > 1.939 \text{ m}^2$;
 - verifica non soddisfatta;

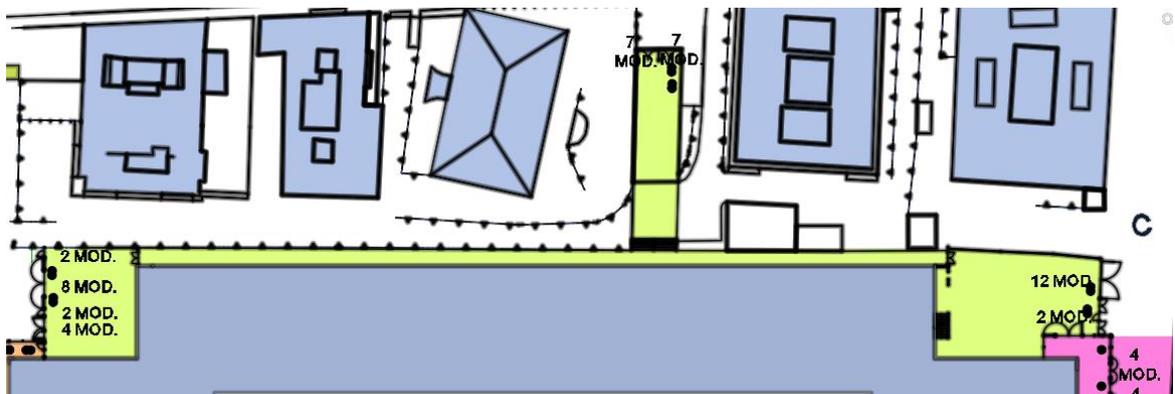


Figura 3.5 Area di servizio annessa lato est (Tavole di progetto).

- tribuna ovest:
 - capienza = 5.124 persone;
 - area di servizio annessa: 11.306 m²;
 - superficie richiesta: $5.124/2 = 2.562 \text{ m}^2 < 11.306 \text{ m}^2$;
 - verifica soddisfatta;

- gradinata nord:
 - capienza = 9.215 persone;
 - area di servizio annessa: 3.139 m²;
 - superficie richiesta: $9.215/2 = 4.608 \text{ m}^2 > 3.139 \text{ m}^2$;
 - verifica non soddisfatta;

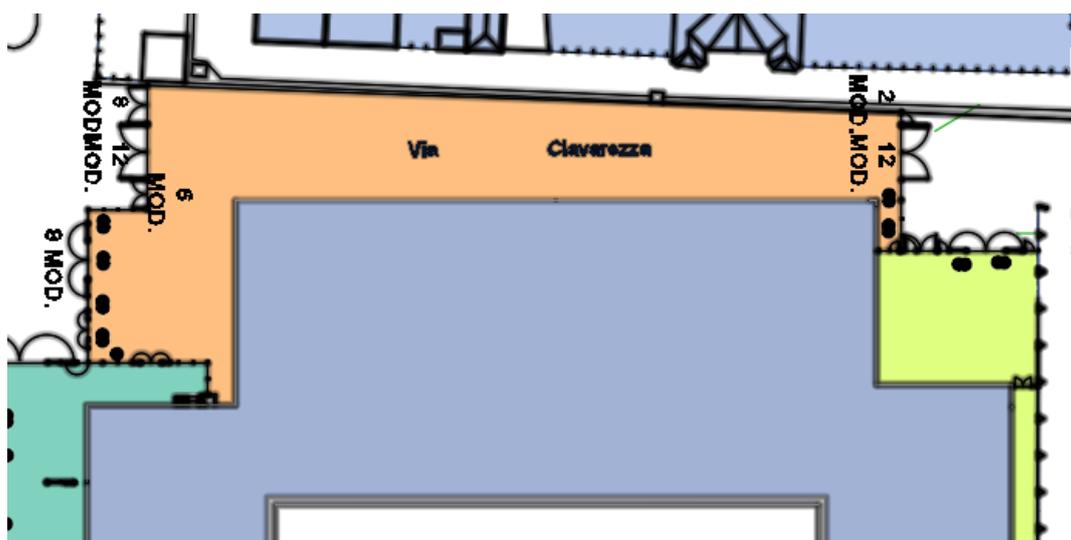


Figura 3.8 Area di servizio annessa lato nord (Tavole di progetto).

Sommando le superfici destinate ad aree di servizio per tutti i settori, si ottiene un'area annessa globale pari a 20.796 m² che è superiore alla superficie richiesta per una capienza di 36.599 persone ($36.599/2 = 18.299,5 \text{ m}^2$). Tuttavia, come detto, la normativa italiana chiede che le aree annesse dei diversi settori siano mantenute separate in modo da ridurre sia il sovraffollamento garantendo una migliore gestione della folla, sia il rischio di scontri tra tifoserie opposte.

Nei capitoli successivi saranno descritte le simulazioni effettuate con l'obiettivo di valutare il comportamento dell'area di servizio annessa nelle condizioni attuali di progetto e valutando se sia possibile suggerire qualche miglioramento.

Il caso studio in esame si riferisce al settore esposto ad est in quanto quello che presenta la maggiore criticità, sia in termini di dimensione dei vomitori, in quanto la differenza tra moduli richiesti e moduli effettivamente presenti è la minore tra tutti e quattro i settori,

sia in termini di area annessa, dove analogamente la differenza tra superficie richiesta e superficie presente è la maggiore tra tutti i settori.

4 Approccio prestazionale

Nello studio della sicurezza ingegneristica l'approccio prestazionale si contrappone dall'approccio prescrittivo in quanto non si occupa di verificare il rispetto di una norma e delle sue prescrizioni, ma prevede di realizzare una valutazione qualitativa di una struttura avendo precedentemente prefissato quali fossero i requisiti richiesti alla stessa.

Gli step necessari alla definizione del metodo prestazionale sono: obiettivo da raggiungere; soglie prestazionali; analisi; valutazione dei risultati.

Noto l'obiettivo che si vuole conseguire, il progettista deve cercare la soluzione ottimale per tale scopo proponendo diverse alternative e valutando quale sia la migliore a seguito di un'analisi critica dei risultati ottenuti.

Contrariamente all'approccio prescrittivo, che impone livelli minimi di sicurezza attraverso misure specificatamente prescritte, l'approccio prestazionale valuta il rispetto delle prestazioni che una struttura deve garantire senza imporsi valori limite. A questo scopo vengono in aiuto anche alcuni modelli di calcolo e software dedicati, ad esempio, in questo caso, Pathfinder.

Questo nuovo tipo di approccio mette il progettista nella condizione di poter agire in totale libertà per tutta la fase progettuale e permette una flessibilità ed una adattabilità alle situazioni di criticità che l'approccio prescrittivo non poteva garantire.

Inoltre, ci si può rendere più facilmente conto di problematiche che non sarebbero altrettanto agevolmente riscontrabili con un approccio prescrittivo. Ad esempio, facendo riferimento al caso studio, in un luogo soggetto a grande affollamento come uno stadio, il solo rispetto delle normative vigenti non garantisce la totale sicurezza degli occupanti, e nel caso ci fosse una problematica, questa non sarebbe riscontrabile mediante approccio prescrittivo; con l'approccio prestazionale, invece, le criticità quali code, sovraffollamento in zone precise della struttura, difficoltà di percorrenza di una via di allontanamento, sono molto più facilmente riconoscibili.

Nel caso studio in esame la criticità maggiore era legata all'area di servizio annessa perché, come mostrato nel capitolo precedente, di superficie inferiore a quella necessaria per contenere tutti gli spettatori con una densità massima non superiore a 2 persone/m².

Conducendo, quindi, una verifica prestazionale avendo come obiettivo quello di far allontanare le persone senza situazioni di code, sovraffollamento, inadeguatezza delle vie di allontanamento dall'area di servizio, si cerca di dimostrare che la carenza di cui prima non va ad inficiare i livelli di prestazione e che il deflusso delle persone avviene in maniera rapida e continua. In caso l'obiettivo non venisse altresì raggiunto, o il risultato ottenuto si ritenesse migliorabile, tramite approccio prestazionale si può identificare in quali zone agire ottenendo il massimo miglioramento possibile.

Per l'applicazione di questo metodo si è fatto ricorso all'utilizzo del software Pathfinder prodotto da Thunderhead, software di simulazione dei flussi e la cui spiegazione sarà maggiormente dettagliata nei capitoli successivi.

5 Modellazione e simulazione dell'esodo

Gli step per l'applicazione del metodo prestazionale sono stati la creazione del modello del settore dello stadio analizzato utilizzando un software di modellazione 3D, ovvero Revit prodotto da Autodesk, e successivamente esportare il modello creato ed importarlo in Pathfinder per la simulazione dei flussi e la fase di analisi e di verifica.

5.1 Creazione del modello

Come anticipato il modello del settore considerato è stato realizzato utilizzando Revit. Si è partiti dalle planimetrie di progetto relative al piano di evacuazione dello stadio in quanto il principale aspetto da considerare, ai fini degli obiettivi da raggiungere in questa sede, erano i percorsi di allontanamento che gli spettatori avrebbero dovuto seguire al termine di una partita o in caso di emergenza. La modellazione è stata, infatti, già direzionata verso gli obiettivi della tesi, ponendo maggiore attenzione alle superfici di calpestio o alla posizione e dimensione delle uscite e limitando il livello di dettaglio di altri elementi, come ad esempio le stratigrafie costituenti i muri, non necessarie allo scopo.



Figura 5.1 Esempio di planimetria estratta dal piano di evacuazione ed importata in Revit (AutoCAD).



Figura 5.2 Estratto dalla fase di modellazione (Revit).

Nella realizzazione delle gradinate si è scelto di modellare individualmente i tre anelli del settore e la soluzione adottata è stata quella di utilizzare il comando “*Componente*” per creare un nuovo pavimento. Tale procedimento consiste nella realizzazione di un solido di estrusione partendo dal suo sviluppo in pianta e dalla sua sezione: si è disegnato il percorso lungo il quale il nuovo pavimento si sarebbe dovuto sviluppare, ovvero l’intero settore in tutta la sua lunghezza, dopo di che si è disegnata la sezione utilizzando le informazioni presenti nelle tavole di progetto riguardo alla dimensione dei gradoni, ed infine si utilizza il comando “*estrusione su percorso*”.

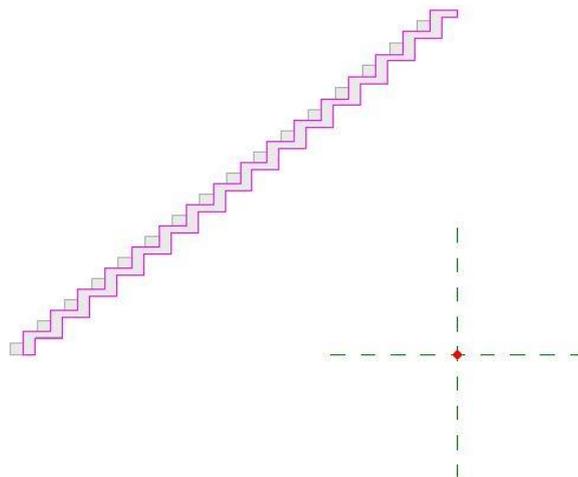


Figura 5.3 Sezione della gradinata del II anello (Revit).

Una volta realizzato il pavimento si sono costruiti solidi di estrusione di sottrazione per la realizzazione dei vomitori (evidenziati in figura).

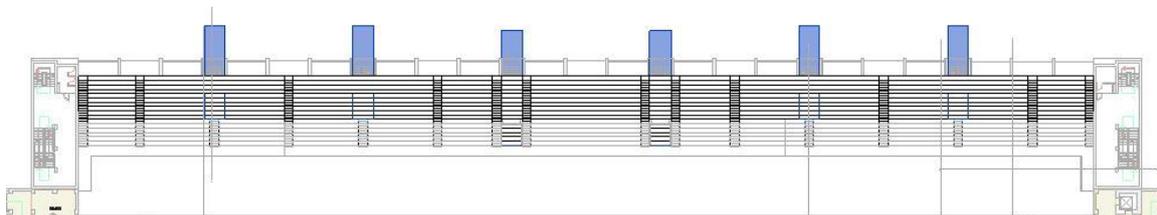


Figura 5.4 Solidi di sottrazione per la modellazione dei vomitori (Revit).

Il risultato finale per un singolo anello è mostrato nella figura sottostante.

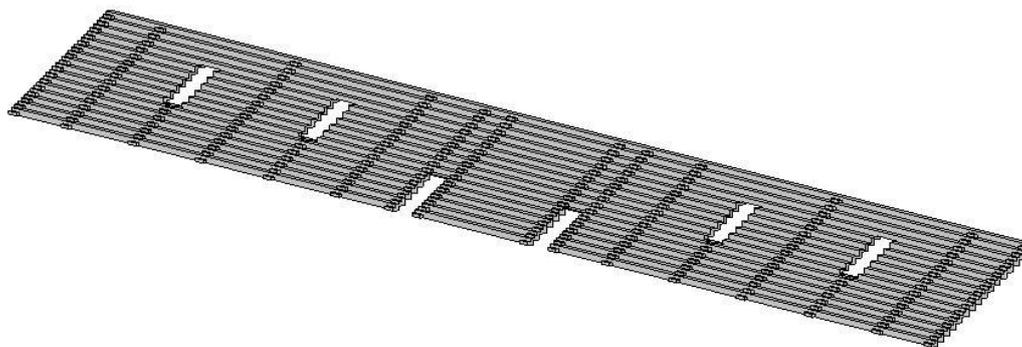


Figura 5.5 Modello completo della gradinata del II anello del settore est (Revit).

A seguito della realizzazione degli altri due anelli, dei muri e delle superfici di calpestio il risultato finale del settore est dello stadio è il seguente:

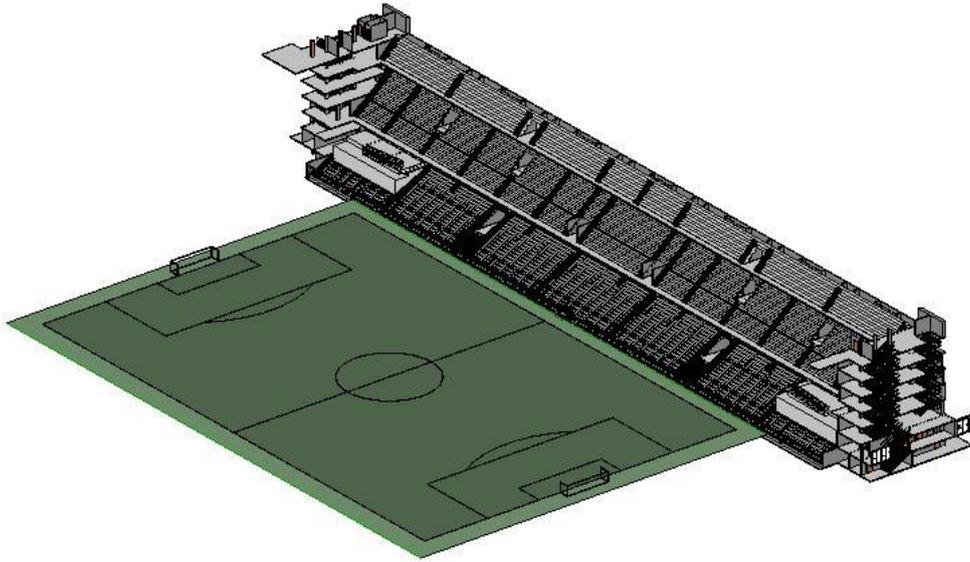


Figura 5.6 Settore est nella sua totalità (Revit).

La difficoltà maggiore riscontrata nella modellazione degli spalti è stata quella di gestire la loro intersezione con le pareti verticali dei piani sottostanti le tribune; capitava infatti che i muri si sovrapponevano ai gradoni come mostrato nell'immagine in basso.

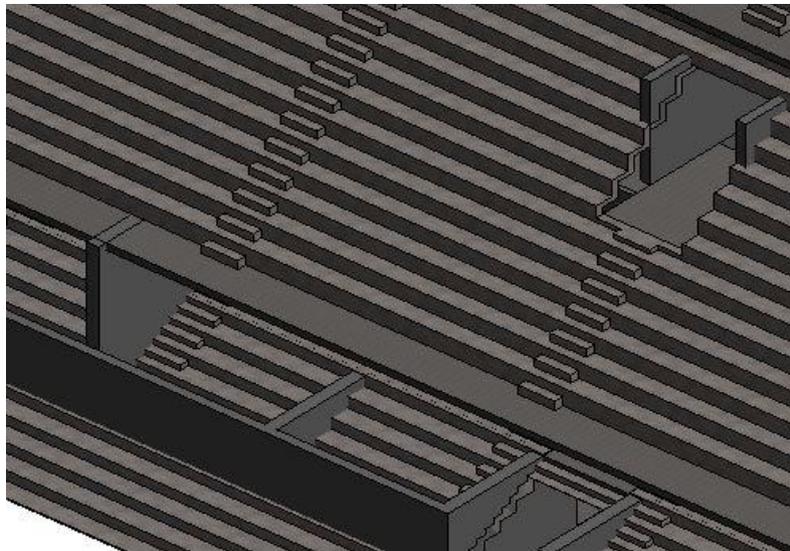


Figura 5.7 Sovrapposizione spalti-pareti verticali (Revit).

Il problema è stato risolto tramite il comando “*Associa parte superiore/base*”, che assegna ad un elemento l'altezza esatta fino al raggiungimento della quota della superficie orizzontale superiore (o, volendo, inferiore) intersecata. Nonostante questo, la

sovrapposizione di elementi ha generato qualche problema nel modello importato in Pathfinder, come verrà descritto nei paragrafi successivi.

Infine, come ultima operazione su Autodesk Revit si è esportato il file in formato IFC (Industry Foundation Classes). Grazie a questo formato si è reso possibile sfruttare l'interoperabilità tra i due software, in quanto il modello può essere ora importato su Pathfinder il quale sarà in grado di riconoscere i pavimenti, le scale, le pareti, e trasformarli in elementi leggibili ed utilizzabili per le analisi.

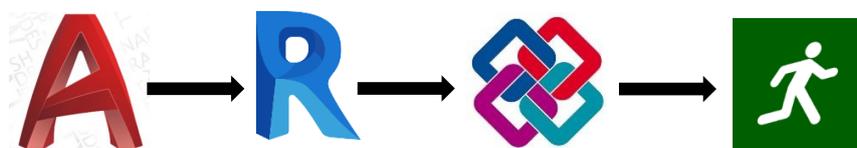


Figura 5.8 Schema di interoperabilità

In alternativa, si sarebbe potuto realizzare il modello direttamente su Pathfinder disegnando esclusivamente le superfici di calpestio, opzione sconsigliata vista la complessità del modello, oppure su AutoCAD importando poi un formato .dwg: si sarebbero dovute disegnare le superfici di calpestio come polilinee chiuse che, una volta inserite in Pathfinder, sarebbero state riconosciute come pavimenti.

Tuttavia, l'utilizzo di una modellazione 3D dava maggiore accuratezza al posizionamento di muri, porte ed ingombri, ed in generale alle geometrie.

5.2 Software di simulazione: Pathfinder

I primi studi sul tema dell'esodo risalgono agli anni '70-'80 ed erano basati sull'assimilazione del movimento della folla a quello di un fluido; la concezione del comportamento umano ancora non era entrata in gioco e queste ricerche affrontavano il problema del movimento delle persone assimilandole a particelle di un fluido ed applicando le leggi della fluidodinamica (*Modello idraulico*).

In seguito, si è iniziato a tenere in considerazione anche il comportamento delle persone e le interazioni tra individui e tra individui ed ambiente circostante. Nasce il *Modello*

basato sugli agenti che permette all'ingegnere di implementare all'interno del modello stesso le leggi comportamentali che regolano il moto delle persone.

Si distinguono, poi, *Modelli Macroscopici* e *Modelli Microscopici*: i primi identificano le persone come un insieme unico senza una distinzione individuale ed il moto è assimilato al movimento di un fluido; i secondi, invece, caratterizzano gli agenti come singoli individui con delle caratteristiche fisiche e comportamentali personali.

Nei modelli microscopici possono essere implementate leggi comportamentali differenti per ogni individuo rendendo la simulazione più assimilabile ad una situazione reale.

Pathfinder, della software house Thunderhead, è un simulatore di evacuazione che utilizza un modello agent-based microscopico in grado di simulare comportamenti complessi e interazioni tra occupanti; è costituito principalmente da tre componenti: un'interfaccia grafica, un simulatore ed un visualizzatore tridimensionale per gli output.

5.2.1 Importazione del modello

Come detto nel paragrafo inerente la creazione del modello, questo è stato esportato da Revit con il formato .ifc e non .rvt, incompatibile con Pathfinder. Il modello importato si presenta in modo del tutto analogo alla visualizzazione grafica di Revit, come mostrato nell'immagine successiva.

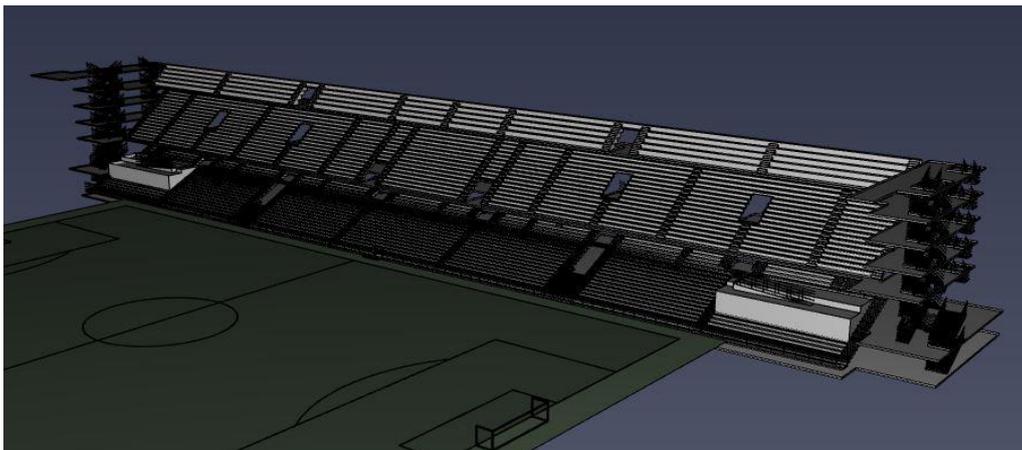


Figura 5.9 Risultato dell'importazione (Pathfinder).

A questo punto il software è in grado di riconoscere quali superfici siano calpestabili (*floor*), quali siano scale (*stair*) e quali siano pareti verticali (*obstruction*).

Per rendere però questi elementi effettivamente leggibili ai fini della simulazione dell'esodo, si deve convertire il modello in uno effettivamente utilizzabile dal software. Si procede quindi alla generazione di tale modello tramite il comando “*Generate model from BIM*”. Il risultato di questa conversione è la definizione delle superfici sui cui gli agenti si muoveranno come mostrato nella figura sottostante (*Mesh di navigazione*). Le “*obstruction*” sono tutti gli elementi tridimensionali caratterizzanti gli ingombri; il software elimina elementi 3D sostituendoli con dei vuoti nelle mesh di navigazione riducendo così la complessità di calcolo.

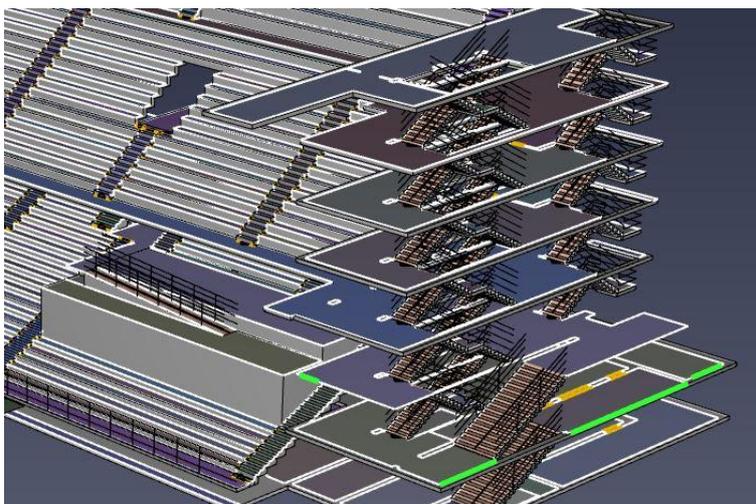


Figura 5.10 Mesh di navigazione ottenute dalla conversione del modello Revit (Pathfinder).

Nonostante il formato .ifc sia compatibile con Pathfinder, si sono riscontrati diversi problemi in seguito all'importazione, soprattutto nell'esatto riconoscimento delle superfici e nella creazione delle corrispettive “mesh”. La soluzione adottata è stata quella di eliminare le mesh inesatte e ridisegnare le superfici manualmente.

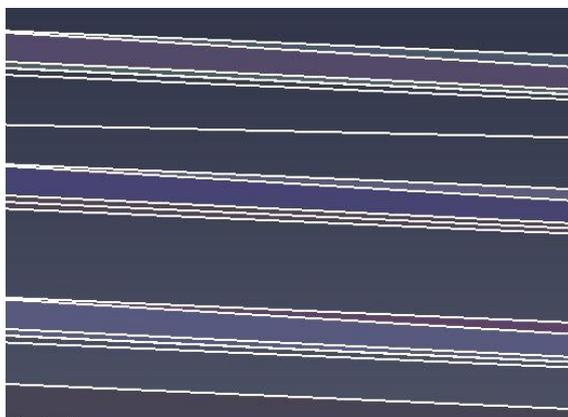


Figura 5.11 Errore nella creazione della Mesh di navigazione (Pathfinder).

L'immagine sopra riportata raffigura la superficie di calpestio di un solo pavimento dopo la generazione dal modello BIM: invece di essersi generata una sola superficie, se ne sono generate molteplici, il che rappresenta un problema per la futura simulazione in quanto ogni linea separatrice tra una superficie e quelle adiacenti, viene letta come invalicabile dagli utenti a meno della presenza di un'apertura o una porta; questo avrebbe portato ad una simulazione erronea dell'esodo, il che ha reso necessario un intervento manuale.

Altro elemento da modellare manualmente sono state le scalinate attraverso cui gli spettatori raggiungono i vomitori dai loro posti a sedere.

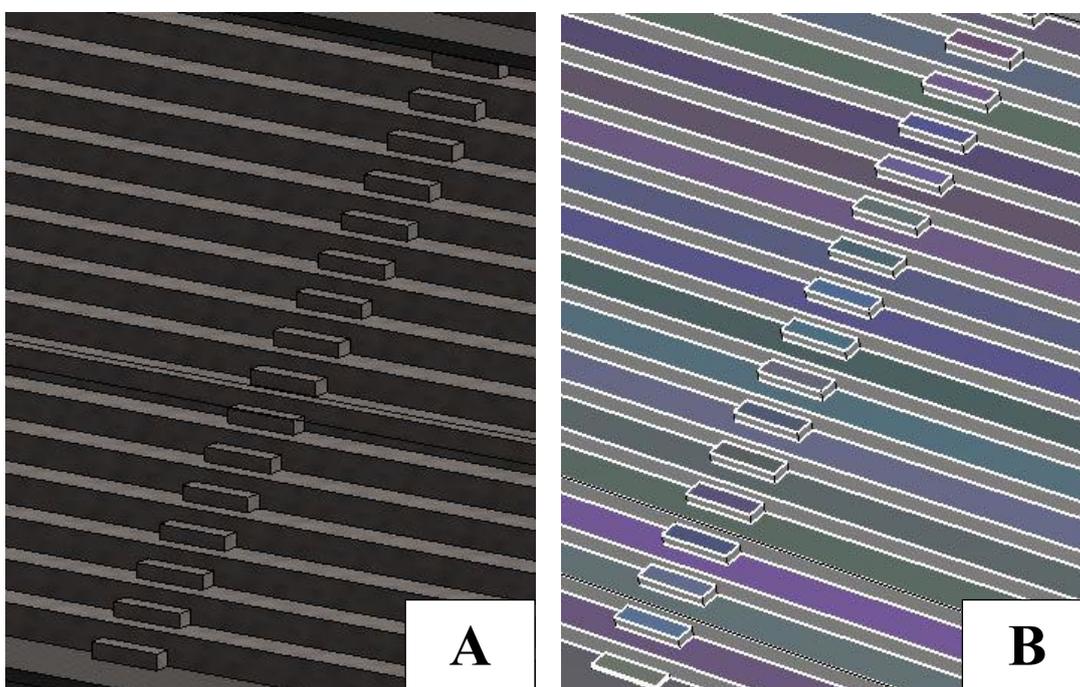


Figura 5.12 A. scalinata su modello Revit (Revit); B. scalinata successivamente all'importazione in Pathfinder (Pathfinder).

Nell'immagine sopra riportata vengono messe a confronto le scalinate prima e dopo l'importazione; come si può notare, Pathfinder ha riconosciuto le superfici orizzontali di calpestio anche dei gradini, ma non li ha collegati a formare una scala. Si sono perciò utilizzate le funzionalità di disegno del software secondo la seguente procedura:

- tramite il comando *“create stairs between two edges by choosing a point on each”* si è disegnata una scala per ogni alzata;

- poi, con il comando “*add a thin wall*” si è divisa la superficie di un gradone in tre superfici indipendenti (le due laterali alla scala e quella appartenente alla scala stessa);
- successivamente, con il comando “*merge*” si sono uniti tutti gli elementi componenti la scala, ovvero le alzate e le pedate ottenute con i passaggi precedenti;
- infine, usando il comando “*door*” si sono disegnate le porte che rappresentano le connessioni tra i gradoni e la scalinata.

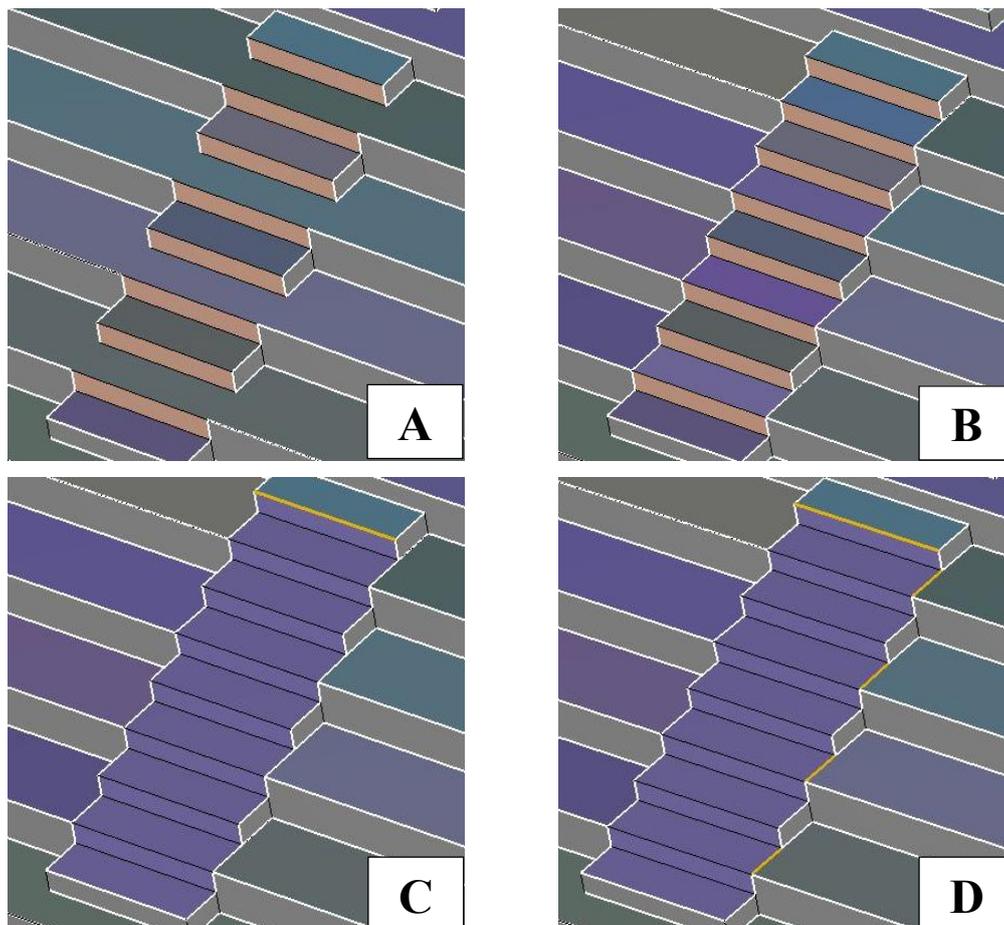


Figura 5.13 Procedura per la corretta modellazione delle scalinate: A. create stairs between two edges by choosing a point on each; B. add a thin wall; C. merge; D. door.

A questo punto il modello è pronto per l’esecuzione delle simulazioni di esodo.

5.2.2 Definizione degli utenti

Una volta completato il modello, si è potuto passare alla creazione e definizione degli occupanti.

Pathfinder è un software basato sugli agenti, perciò il modo in cui gli utenti vengono definiti e le leggi comportamentali a loro assegnate definiscono le modalità in cui l'esodo viene simulato.

Di default, ad ogni occupante vengono assegnati alcuni parametri utilizzati dal software per stabilire quale percorso si debba seguire per uscire dalla struttura in esame; i parametri in questione sono: tempi di attesa per le porte; tempo necessario per raggiungere ogni porta; tempo necessario per raggiungere l'uscita più vicina; la distanza finora percorsa. Grazie a queste indicazioni gli agenti rispondono dinamicamente alle code cambiando strada se quella intrapresa impiegasse troppo tempo per condurre all'uscita.

Per agire sugli occupanti, però, devono essere definiti i “profili” (*Profiles*) e i “comportamenti” (*Behaviours*).

Profili: definiscono aspetti fisico-geometrici come ad esempio altezza, ingombro in pianta, velocità massima, avatar e sistema di visualizzazione a video (gli occupanti possono essere visti come dischi, cilindri o con aspetti reale). Viene, inoltre, indicato se l'occupante dovesse avere bisogno di assistenza per muoversi, o se debba utilizzare una qualche uscita.

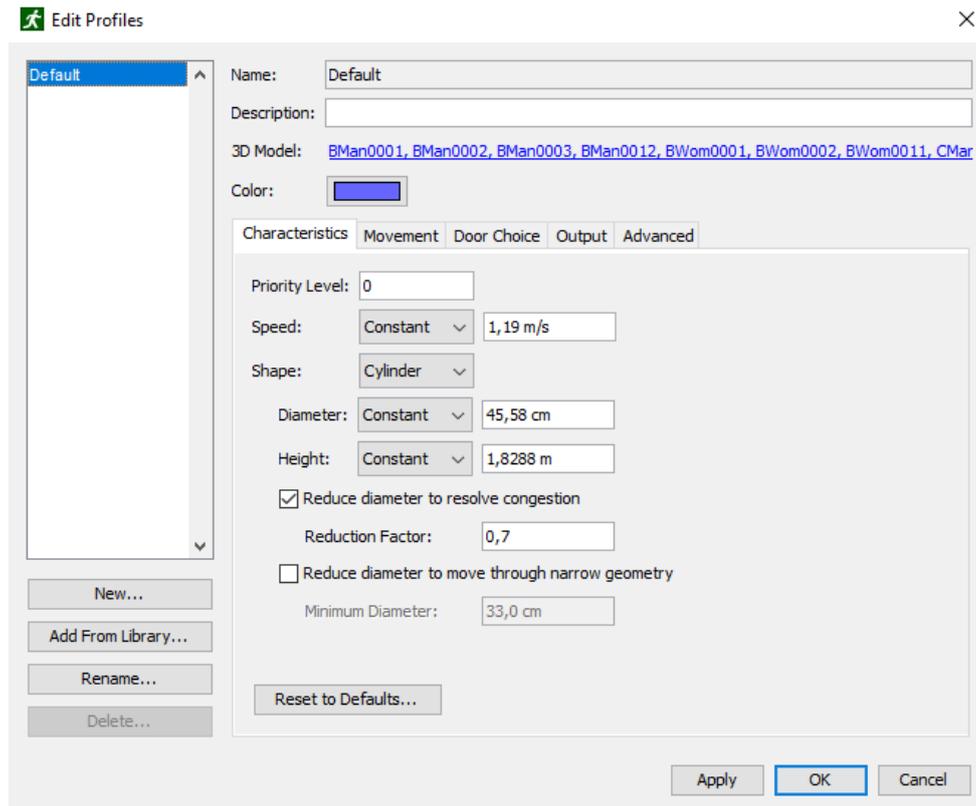


Figura 5.14 Esempio di scheda di definizione dei Profili (Pathfinder).

Comportamenti: definiscono le leggi comportamentali che gli occupanti seguono durante l'esodo. I possibili comportamenti implementabili in Pathfinder sono:

- *goto waypoint*: indica che l'occupante deve dirigersi verso un punto specifico prima di poter proseguir verso l'uscita;
- *goto rooms*: indica che l'occupante deve attraversare una specifica room;
- *goto elevators*: indica che l'occupante deve utilizzare un ascensore antincendio;
- *wait*: bisogna indicare un tempo in secondi che sarà il tempo per cui l'occupante deve restare fermo;
- *assist occupant*: indica che l'occupante deve assistere gli agenti che necessitano di assistenza:
- *wait for assistance*: indica all'occupante di attendere un assistente;
- *change behavior*: attribuendo questo comportamento si indica all'occupante cui era assegnato un comportamento di abbandonarlo e seguirne un altro;
- *detach from assistants*: indica all'occupante distaccarsi da un assistente per permettere a quest'ultimo di assistere un altro agente;

- *goto refuge room*: indica all'occupante di dirigersi verso un'area sicura:
- *go exits*: indica all'occupante di dirigersi verso le uscite indicate seguendo il percorso più breve.

Il comportamento di un occupante può essere una combinazione di indicazioni diverse tra quelle esposte.

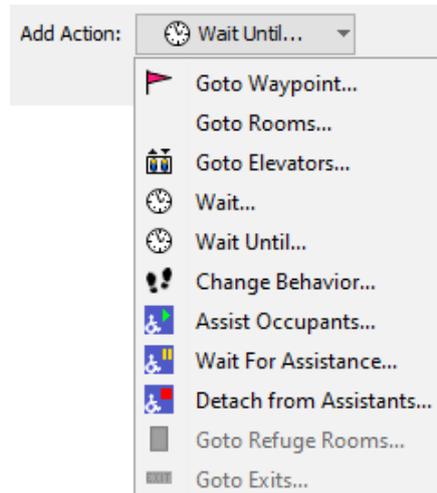


Figura 5.15 Elenco di comportamenti (Pathfinder).

6 Svolgimento delle simulazioni

6.1 Simulazioni condotte all'interno dell'impianto

Per il caso studio in esame si sono condotte simulazioni diverse sia considerando solo l'interno dell'impianto sportivo, sia considerando anche l'area di servizio annessa.

Come è stato già anticipato, l'obiettivo della presente tesi è quello di verificare l'assenza di problematiche all'esodo degli spettatori una volta all'esterno del catino nonostante la dimensione dell'area di servizio annessa non sia conforme alle indicazioni presenti nella normativa vigente.

Prima di svolgere questo tipo di analisi si è proceduto per step studiando prima l'interno dell'impianto per verificare il sistema di vie di allontanamento interno.

Per tutte le simulazioni svolte si è considerato che tutti gli spettatori inizino il deflusso esattamente allo stesso istante, condizione questa che corrisponde effettivamente a quella di maggiore criticità in quanto si considera il massimo affollamento dirigersi contemporaneamente verso le uscite. Inoltre, il tempo di attesa volontario delle persone al termine di un evento calcistico non deve essere tenuto in considerazione per il calcolo del tempo di uscita.

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.

Figura 6.1 Il tempo per cui uno spettatore rimane volontariamente all'interno dello stadio non rientra nel tempo d'esodo (Green Guide).

Per quanto riguarda la definizione dei profili, questi sono comuni a tutte le casistiche considerate, e sono:

- pubblico I anello;
- pubblico II anello;
- pubblico III anello;
- disabili;
- disabili assistiti;

- assistenti.

Questi profili sono stati generati per dividere le macrocategorie di spettatori presenti; inoltre, attraverso l’assegnazione di un colore diverso per ogni profilo, si riesce a capire anche da un’analisi prettamente visiva dei risultati quali settori siano eventualmente più a rischio.

I comportamenti, invece, vengono adattati ai diversi scenari, ad eccezione dei seguenti che sono invece comuni a tutti:

- pubblico;
- disabili;
- disabili assistiti;
- assistenti.

Le indicazioni fornite nell’implementazione di questi comportamenti riguardano esclusivamente le uscite, in quanto agli spettatori diversamente abili sono riservate uscite dedicate non utilizzate da altri. Per quanto riguarda il comportamento “assistenti” e “disabili assistiti”, questi vengono creati generando un “*assisted team*” attraverso cui si dice agli utenti che necessitano di assistenza per muoversi di aspettare gli assistenti assegnati.

Gli spettatori possono essere aggiunti singolarmente oppure si può selezionare una superficie e tramite il comando “add occupants” si indica quanti e quali agenti inserire, in quanto si indica al software il loro profilo e comportamento di appartenenza. Si possono inserire anche occupanti associati a comportamenti diversi indicando nella scheda *Profile* e/o *Behavior* le percentuali di inserimento.

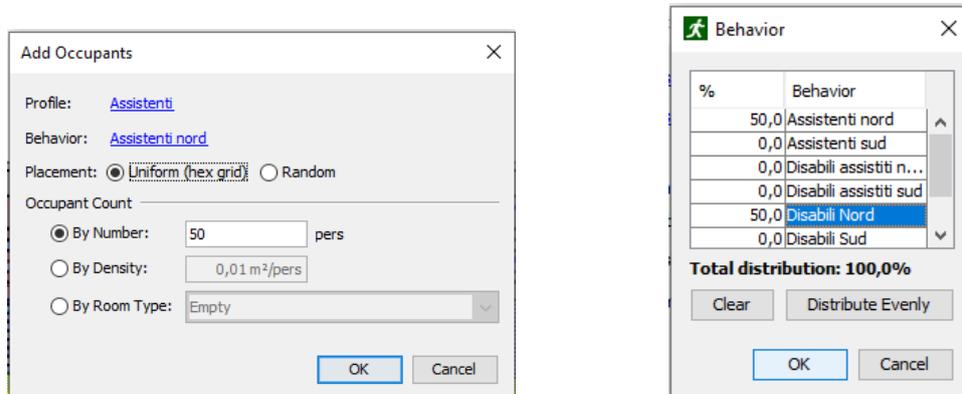


Figura 6.2 Schede per l’aggiunta di occupanti (Pathfinder).

Una volta inseriti tutti gli spettatori il modello finale è mostrato nella figura sottostante.



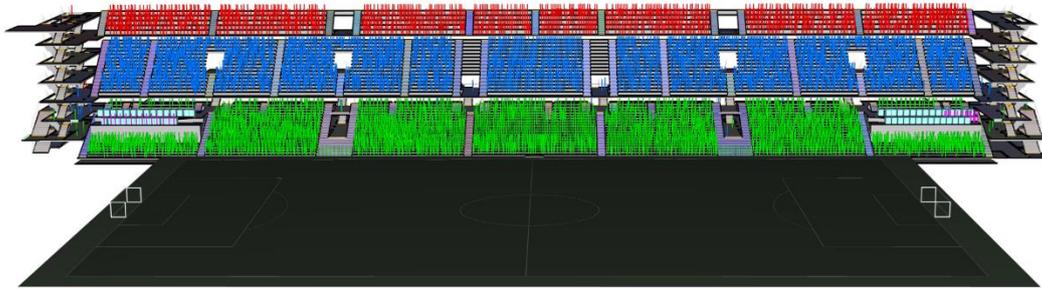
Figura 6.3 Modello finale pronto per lo svolgimento delle simulazioni (Pathfinder).

6.1.1 Scenario 1: configurazione di default

La prima simulazione effettuata rappresenta la configurazione in cui agli utenti non sono state fornite ulteriori indicazioni oltre a quelle presentate nel paragrafo precedente. Il comportamento degli occupanti sarà quindi quello di default imposto dal software, ovvero tenteranno di raggiungere l'uscita più vicina percorrendo la minore strada possibile.

Per uno studio più attento delle simulazioni d'esodo si è scelto di rappresentare nel modello 3D di output, gli occupanti con forma cilindrica e con colore diverso a seconda del profilo di appartenenza. In questo modo sarà più semplice capire i percorsi seguiti ed anche quali siano le zone dello stadio in cui è più facile si creino delle problematiche.

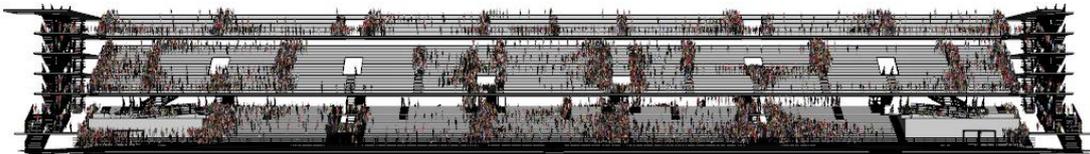
Nelle immagini sotto riportate vengono mostrati alcuni frame estratti dai video di output.



0,0

Figura 6.4 Situazione iniziale con distinzione degli occupanti in base all'anello di appartenenza (Pathfinder).

Exited: 211/8781



36,0

Figura 6.5 Gli occupanti si dirigono verso i vomitori (Pathfinder).

In una prima fase gli utenti si dirigono verso il vomitorio più vicino perché riconosciuto come il percorso più breve verso l'uscita, tuttavia gli utenti che non si trovano nelle immediate vicinanze di un vomitorio, si dirigono poi verso l'accesso più vicino all'uscita finale ignorando anche qualche percorso alternativo.



Figura 6.6 Alcuni vomitori vengono ignorati perché non rappresentano la via più breve verso le uscite (Pathfinder).

Questa scelta degli utenti provoca la formazione di grosse code e di zone di grosso sovraffollamento.

Pathfinder consente di visualizzare l'output anche in forma di mappa cromatica mostrando le zone a maggiore densità, o le zone soggette alla formazione di code, oppure in base al tempo che gli occupanti impiegheranno per uscire.

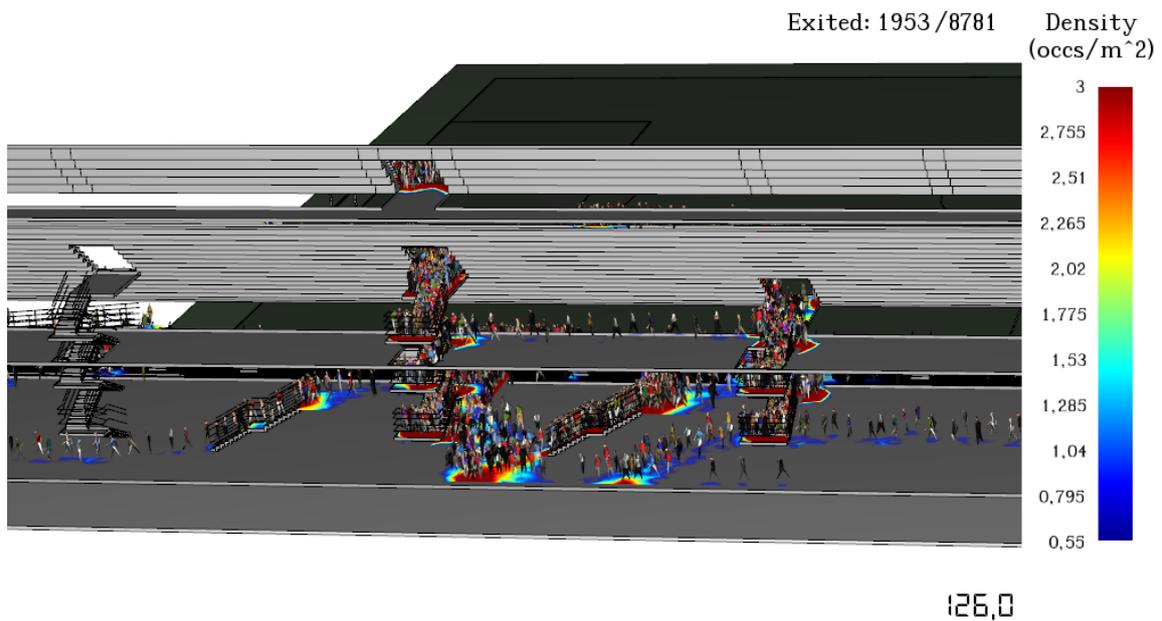
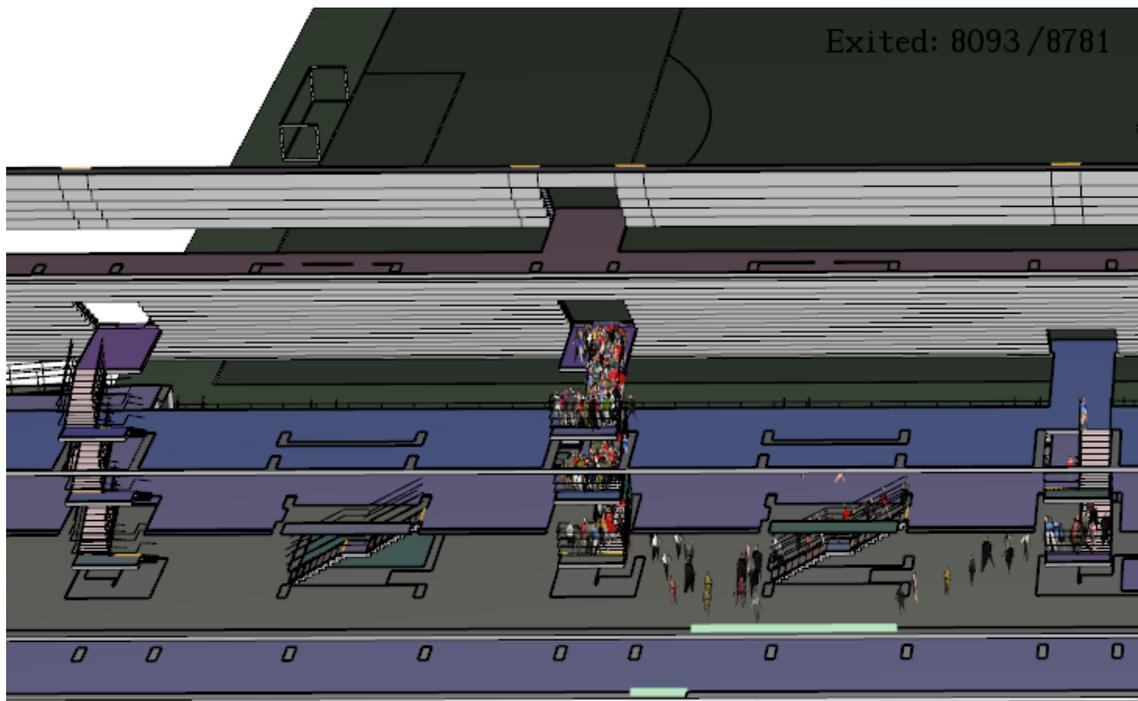


Figura 6.7 Mappa cromatica basata sulla densità (Pathfinder).

Dall'immagine precedente risulta evidente come i vomitori più vicini all'uscita vengano molto più utilizzati mentre quelli più lontani, seppur liberi, molto meno.



522,0

Figura 6.8 Fasi finali dell'esodo, ultimi spettatori rimasti (Pathfinder).

Il risultato è un vomitorio completamente ostruito che fa aumentare esponenzialmente i tempi di esodo.

A deflusso concluso si può vedere quali vie siano state più utilizzate tramite il comando “Usage (accumulated)”. Ciò che viene mostrato corrisponde con quanto detto finora, ovvero una grande disparità di utilizzo tra i vomitori.

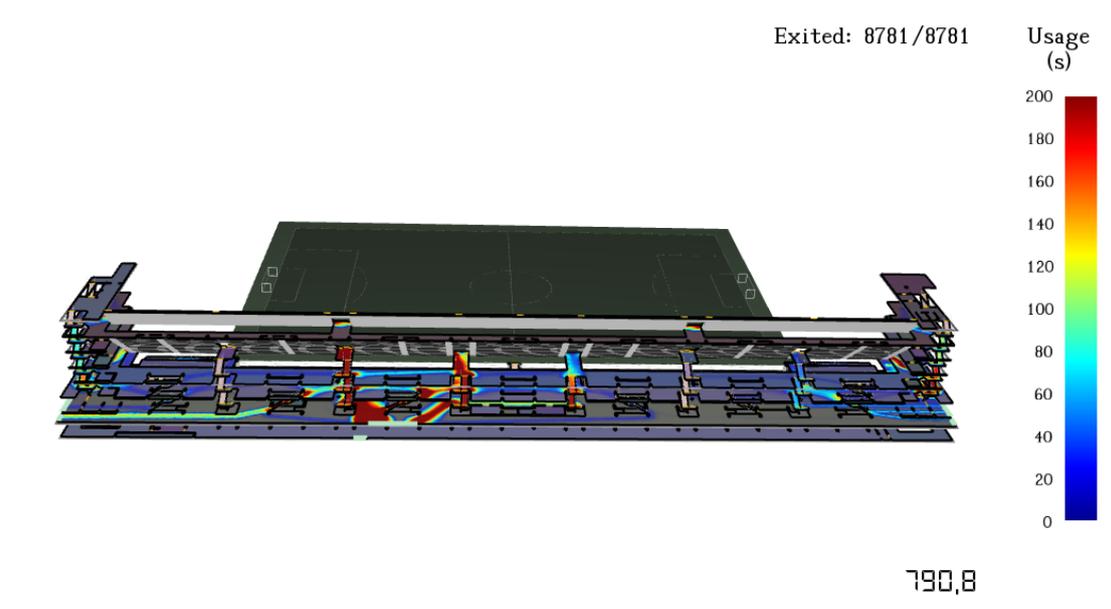


Figura 6.9 Mappa cromatica basata sull'utilizzo delle superfici (Pathfinder).

Il tempo totale di sfollamento è 13 minuti e 10 secondi.

6.1.2 Scenario 2: indicazione sui percorsi da seguire

Nel secondo test effettuato si sono definiti i comportamenti da attribuire a tutti gli spettatori, indicando loro i “waypoint”, ovvero alcuni punti per i quali devono transitare prima di dirigersi verso l’uscita; in questo modo è possibile controllare i percorsi di esodo di tutti gli occupanti potendoli suddividere per quanto possibile uniformemente tra i vomitori e le uscite disponibili.

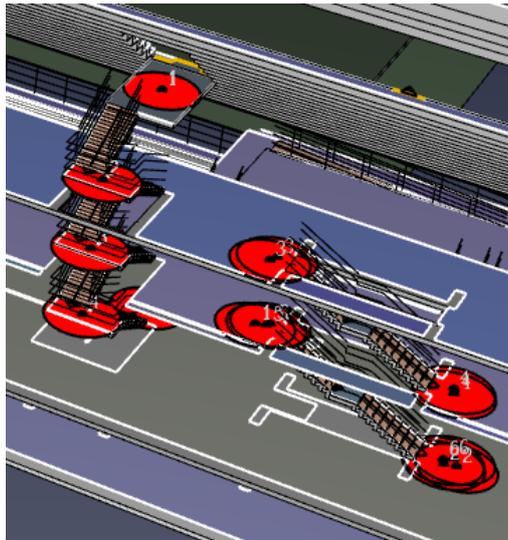
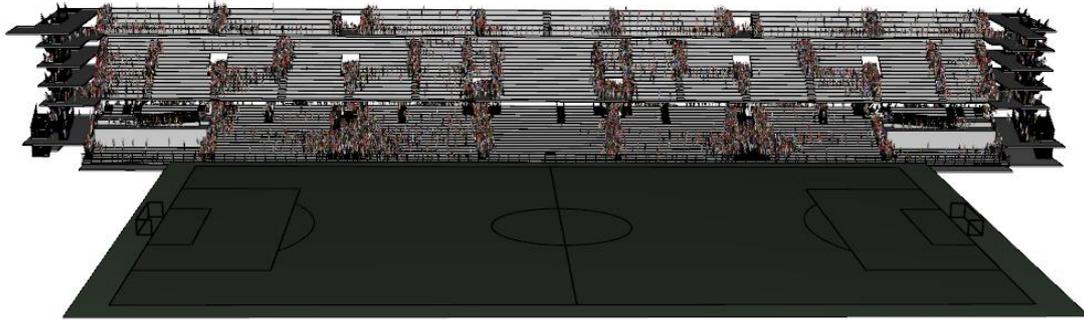


Figura 6.10 Assegnazione dei Waypoint (Pathfinder).

In particolare, sono stati suddivisi gli spettatori del III anello in quattro gruppi, gli spettatori del II anello in diciassette gruppi, e quelli del primo anello in dodici; ad ognuno di questi è stato assegnato un comportamento.

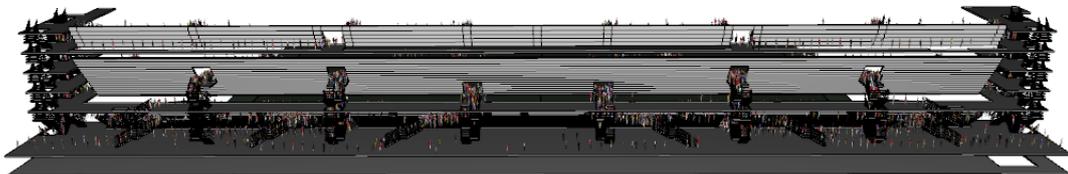
- Behaviors
 - Disabili Sud
 - Goto Any Exit
 - Disabili Nord
 - Pubblico
 - III anello 1
 - Goto (180,5, 127,0, 18,0) m
 - Goto Room933
 - Change Behavior <Waypoint sud 2>
 - III anello 2
 - Goto (139,5, 131,2, 18,0) m
 - Goto (180,2, 130,6, 16,5) m
 - Goto (179,9, 130,6, 13,5) m
 - Goto (179,9, 130,7, 10,5) m
 - Goto (179,9, 130,7, 7,5) m
 - Goto (183,1, 124,1, 6,0) m
 - Goto Room933
 - Change Behavior <Waypoint sud 2>
 - III anello 3
 - III anello 4
 - II anello 1
 - II anello 2
 - II anello 3
 - II anello 4
 - II anello 5
 - II anello 6
 - II anello 7
 - II anello 8
 - II anello 9
 - II anello 10
 - II anello 11
 - II anello 12
 - II anello 13
 - II anello 14
 - II anello 15
 - II anello 16

Figura 6.11 Elenco behavior (Pathfinder).



36,0

Figura 6.12 Scelta iniziale dei vomitori (Pathfinder).



36,0

Figura 6.13 La distribuzione degli occupanti sui vomitori (Pathfinder).

Come si può vedere dall'estratto del video, ora i vomitori vengono utilizzati in modo più adeguato ed uniforme.

Anche nelle fasi finali dell'esodo gli spettatori sono distribuiti il più possibile uniformemente per evitare la formazione di code, infatti gli utenti rimanenti non sono in attesa per una sola uscita ma sono in una condizione di movimento libero verso due di queste.



488,0

Figura 6.14 Fasi finali (Pathfinder).

Anche svolgendo un'analisi analoga a quanto fatto per lo scenario 1 sull'utilizzo dei percorsi di smistamento si può confermare l'utilizzo uniforme di tutti i vomitori e le scale presenti.

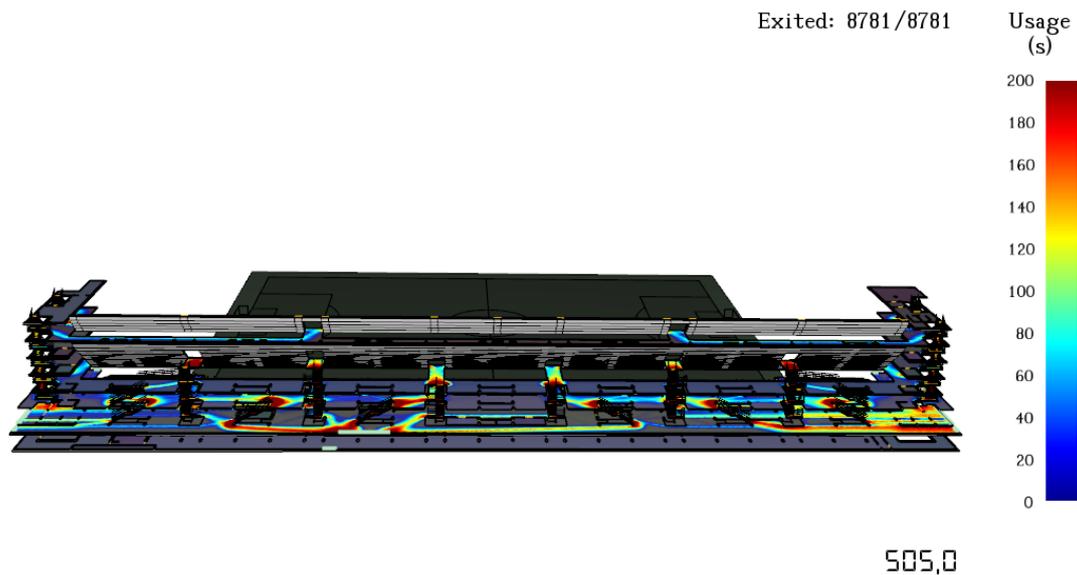


Figura 6.15 Mappa cromatica di utilizzo delle superfici (Pathfinder).

Nonostante questo, però, si vede come gli spettatori del secondo anello siano gli ultimi a lasciare l'impianto, pur non essendo i più lontani dalle uscite essendo anche presente un terzo anello. Gli spettatori del terzo anello sono, però, in numero decisamente inferiore

ed in più sono diretti su vani scala usati in quantità minore dagli spettatori del secondo anello.

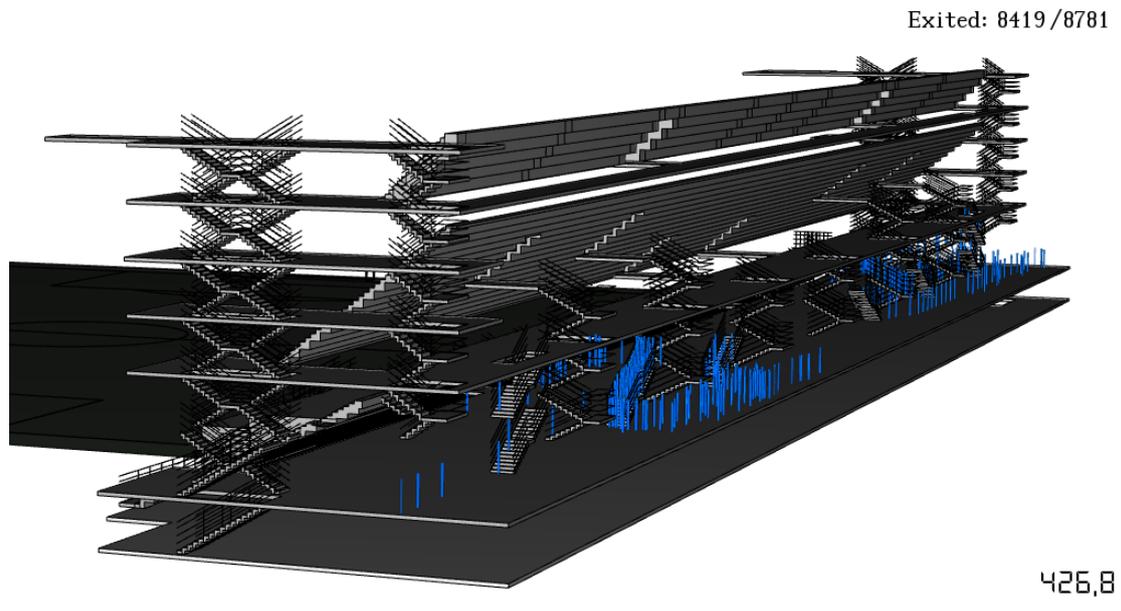


Figura 6.16 Fasi finali, gli ultimi spettatori ad uscire sono del secondo anello (Pathfinder).

Il tempo totale di esodo in queste condizioni è di 8 minuti e 25 secondi.

Prima di ottenere questo risultato, decisamente migliore avendo ridotto il tempo d'esodo rispetto al primo caso di quasi 5 minuti, sono state fatte numerose prove, che sono servite per stabilire su quali occupanti e comportamenti intervenire.

Altra funzionalità grafica di Pathfinder è, infatti, quella di visualizzare gli occupanti con colori diversi in base ai comportamenti, e grazie a questo, si sono usate le diverse prove per stabilire le zone che si svuotavano per ultime, sapendo, quindi, dove agire.

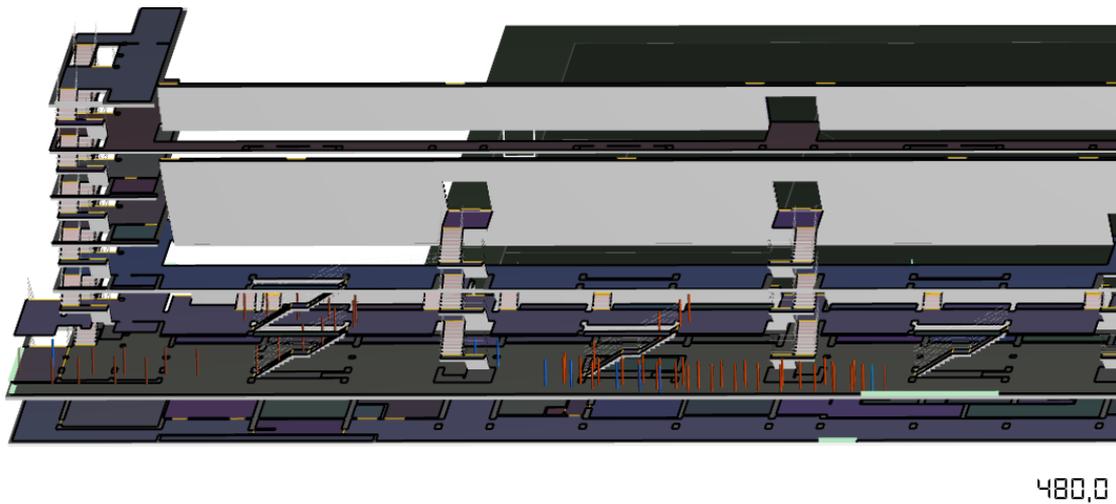


Figura 6.17 Identificazione degli ultimi occupanti ad abbandonare l'impianto (PAthfinder).

Dall'immagine precedente si può vedere come gli utenti dei comportamenti cui sono associati i colori arancione, azzurro e marrone siano gli ultimi ad uscire; si è quindi modificato il comportamento oppure una percentuale degli occupanti ad esso associati sono stati assegnati ad un altro comportamento.

Un altro errore riscontrato in alcune simulazioni è il seguente: gli utenti rimanevano “intrappolati” nel modello a causa di difficoltà nel riconoscere un collegamento. Pur essendo un numero minimo di occupanti questo errore avrebbe inficiato la simulazione e si è risolto ridisegnando le superfici manualmente evitando problemi di sovrapposizione tra le mesh di navigazione.

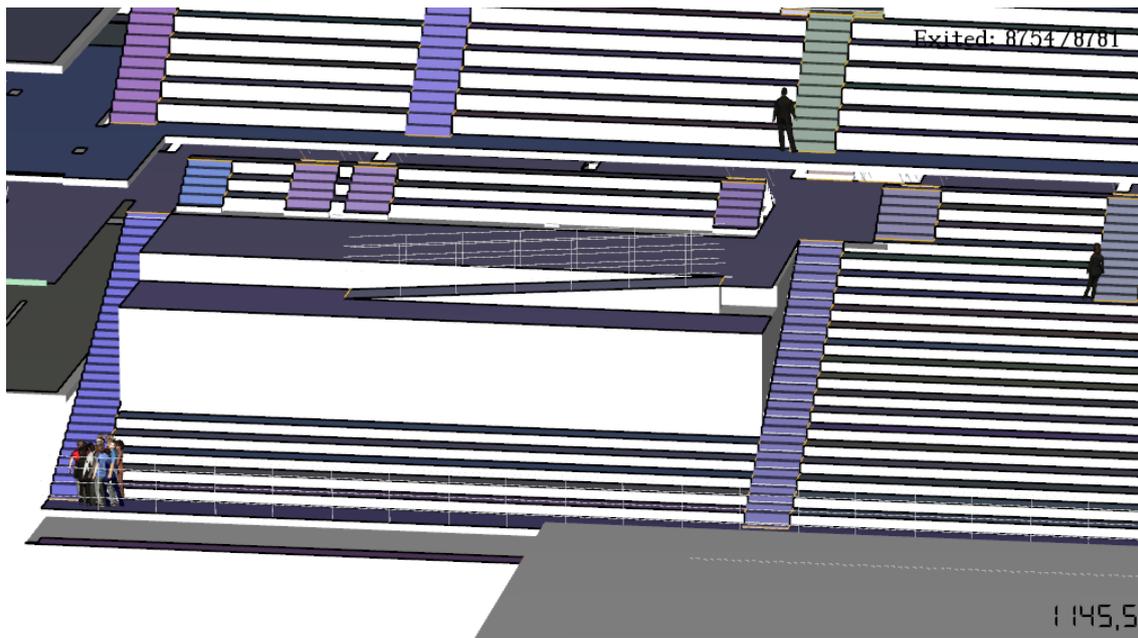


Figura 6.18 Occupanti impossibilitati a muoversi per un non corretto riconoscimento delle mesh di navigazione (Pathfinder).

Le simulazioni successive saranno effettuate con l'obiettivo di apportare migliorie a questo scenario.

6.1.3 Scenario 3: sfollamento verso il campo da gioco

Nel terzo scenario simulato è stata aggiunta la possibilità agli spettatori di dirigersi verso il campo da gioco; il campo può, infatti, essere considerato luogo di ragionevole sicurezza, a patto che vengano rispettate le prescrizioni imposte dalle normative vigenti quali regolamento FIFA e D.M. 18 Marzo 1996.

Impostando una *Room* come luogo sicuro spuntando il comando "*Refuge area*", gli spettatori che si dirigono in quella zona non hanno bisogno di ricercare poi un'uscita ma per il prosieguo della simulazione rimangono fermi. Attuando questo scenario ad una situazione reale, gli spettatori possono sostare nel campo da gioco per non più di 30 minuti ed infatti il loro esodo proseguirebbe attraverso varchi che dal campo portano direttamente verso l'esterno.

X Bounds:	47,89 m, 161,71 m	Area:	8567,254728 m ²	<input checked="" type="checkbox"/> Refuge Area	
Y Bounds:	33,57 m, 108,84 m	Pers:	0	Speed Modifier	Always 1,0
Z Bounds:	1,40 m, 1,40 m	Density:	0,0 pers/m ²	<input type="checkbox"/> Capacity:	50 pers

Accepted Profiles: [Assistenti](#); [Disabili...](#)

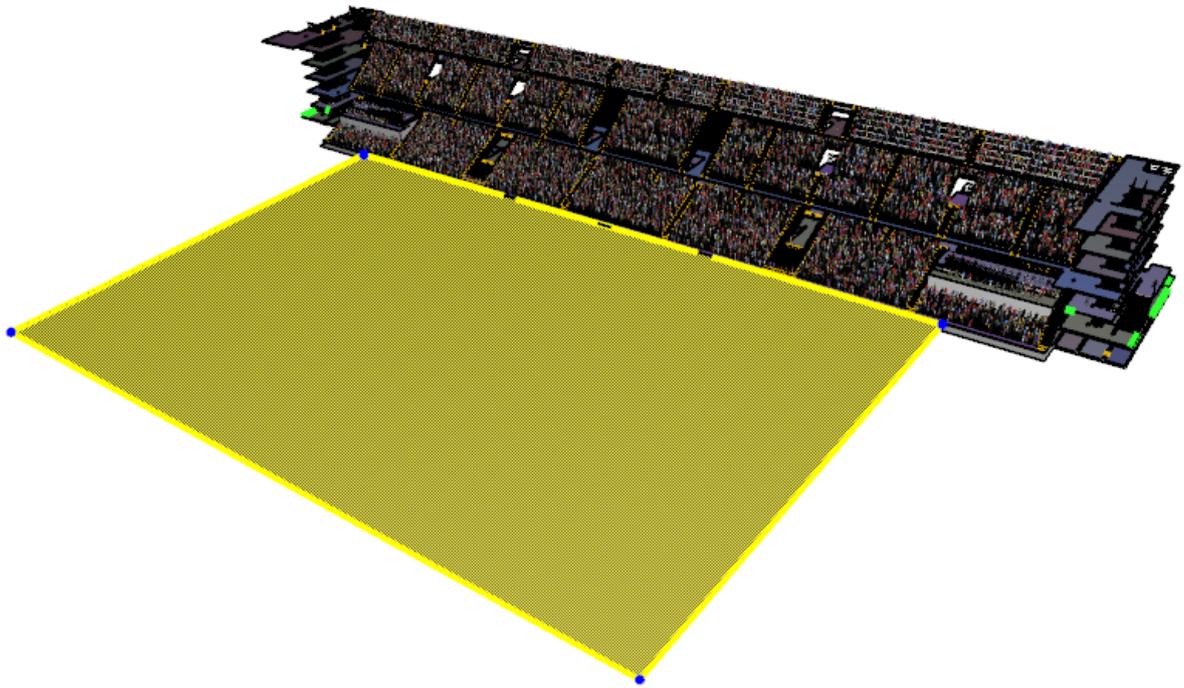


Figura 6.19 Classificazione del campo come area di ragionevole sicurezza (Pathfinder).

Exited: 1325 / 8781



103,0

Figura 6.20 Alcuni spettatori si dirigono verso il campo da gioco (Pathfinder).

L'esito di questa simulazione non è troppo distante dal risultato ottenuto nel caso precedente, poiché verso il campo da gioco sono diretti esclusivamente alcuni occupanti del primo anello ma tutto il secondo anello continua a svuotarsi sui vomitori e dirigersi verso le uscite.

Inoltre, non tutti gli occupanti del primo anello possono dirigersi verso il campo, in quanto con solamente due varchi i tempi sarebbero stati troppo elevati.

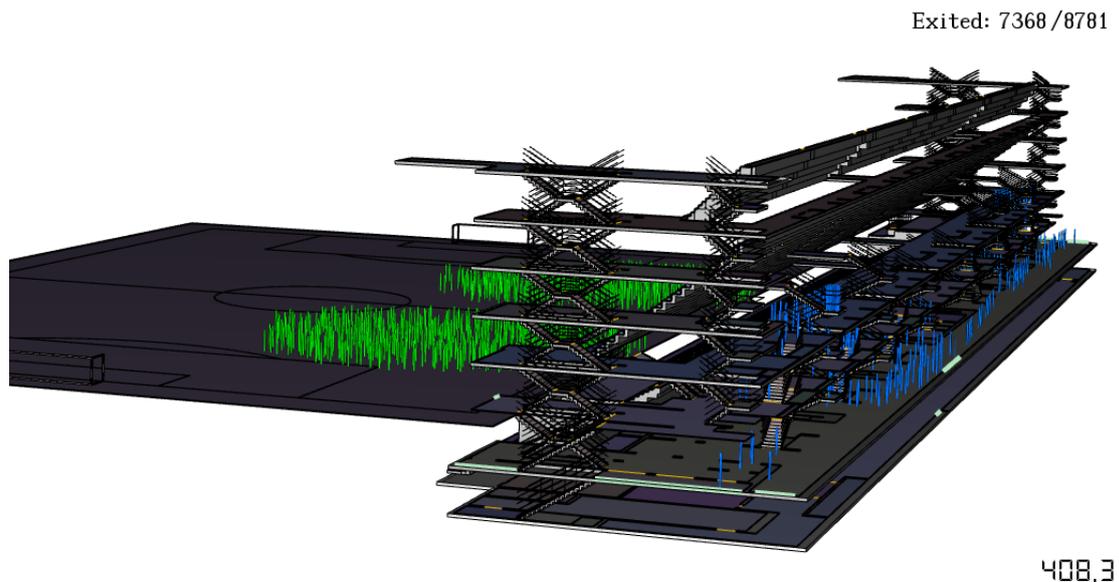


Figura 6.21 Fasi finali (Pathfinder).

Il tempo di esodo si riduce parzialmente perché a quota +16 gli utenti del secondo anello incontrano un minor numero di persone provenienti dal primo quindi possono mantenere una velocità maggiore; rimangono tuttavia gli ultimi a poter uscire.

Il tempo totale di deflusso è 8 minuti e 13 secondi.

6.1.4 Scenario 4: innalzamento scale esistenti

A questo punto si è cercata qualche possibilità di intervento sull'impianto per cercare di accorciare ulteriormente i tempi e ridurre i colli di bottiglia dei vomitori del secondo anello.

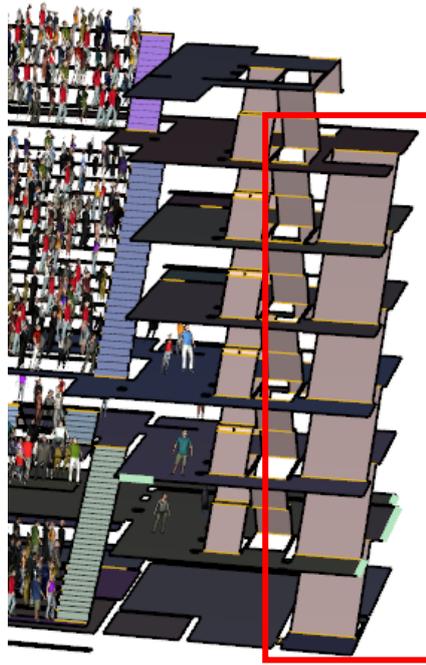


Figura 6.22 Innalzamento del vano scala (Pathfinder).

La prima ipotesi fatta è stata quella di innalzare il vano scala esterno alle torrette laterali fino a quota +31 per smistare parte degli spettatori degli anelli due e tre anche in questa direzione. L'obiettivo era quello di ridurre l'affollamento sui vomitori centrali dal momento che erano i maggiormente suscettibili a sovraffollamento.

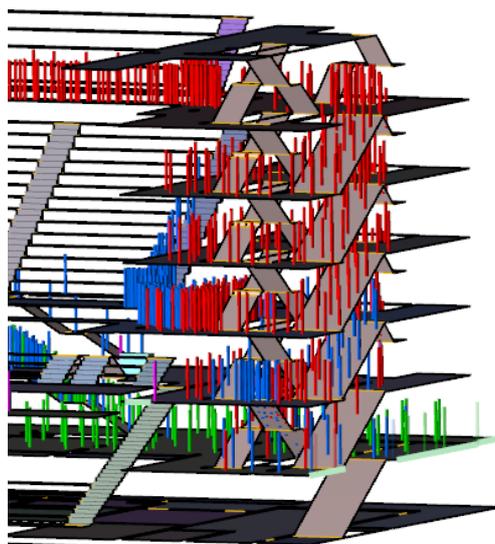


Figura 6.23 Ridistribuzione degli occupanti sulle nuove scale (Pathfinder).

Tuttavia, il risultato non è molto diverso in quanto gli occupanti troppo distanti dalle nuove scale continuano ad imboccare le stesse vie di allontanamento mentre coloro che si dirigono verso le nuove rampe aumentano l'affollamento andando a mischiarsi con gli spettatori del terzo anello. Come risultato si ha che questi ultimi aumentino considerevolmente il tempo di uscita, come si evince dall'immagine sottostante.

Exited: 8667 /8781

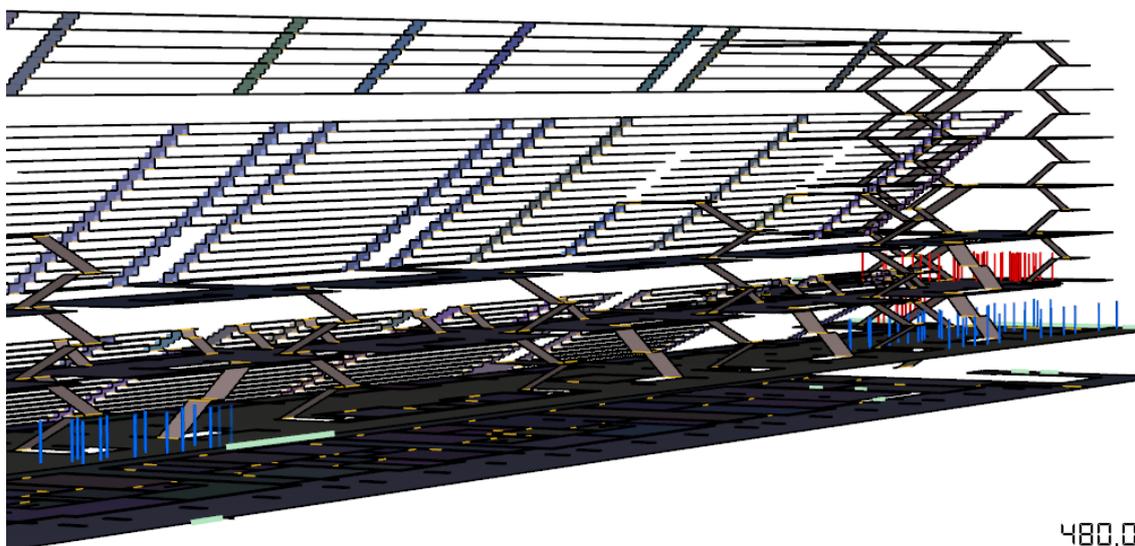


Figura 6.24 Fasi finali dell'esodo (Pathfinder).

Il tempo totale è 8 minuti e 30 secondi.

6.2 Simulazioni condotte sull'area di servizio annessa

Prima di proseguire con ulteriori simulazioni proponendo soluzioni alternative, si è valutato il flusso delle persone all'esterno dell'impianto, ovvero sull'area di servizio annessa, prendendo come punto di partenza le simulazioni svolte per l'interno dello stesso. I profili e i comportamenti degli utenti non sono stati cambiati per mantenere coerenza tra le simulazioni, pur avendo aggiunto le indicazioni comportamentali una volta all'esterno dello stadio.

La modellazione del contesto è stata realizzata direttamente su Pathfinder disegnando le superfici calpestabili utilizzabili dagli utenti corrispondenti alle vie di uscita, ovvero Via

Clavarezza, Via Casata Centuriona ed una passerella sovrastante i cortili delle abitazioni adiacenti e che conduce direttamente a Via De Stefanis.



Figura 6.25 Aggiunta delle vie di allontanamento esterne (Pathfinder).

6.2.1 Scenario 1: configurazione di default

Svolgendo questo tipo di simulazione sull'area esterna viene messa in mostra la principale criticità dell'impianto: le vie di uscita non sono uniformemente distribuite lungo il perimetro a causa delle abitazioni vicine.

Come nella simulazione analoga svolta per l'interno dell'impianto, gli spettatori non si dirigono su tutte le uscite ma prediligono quelle a distanza minore; così facendo, però tutte le zone centrali delle tribune tendono a svuotarsi verso l'uscita locata sulla passerella generando code e rallentamenti (alcuni spettatori sono addirittura fermi).

Exited: 614/8781



Figura 6.26 Fase iniziale: gli spettatori non si distribuiscono su tutte le vie di allontanamento (Pathfinder).

Exited: 7490/8781

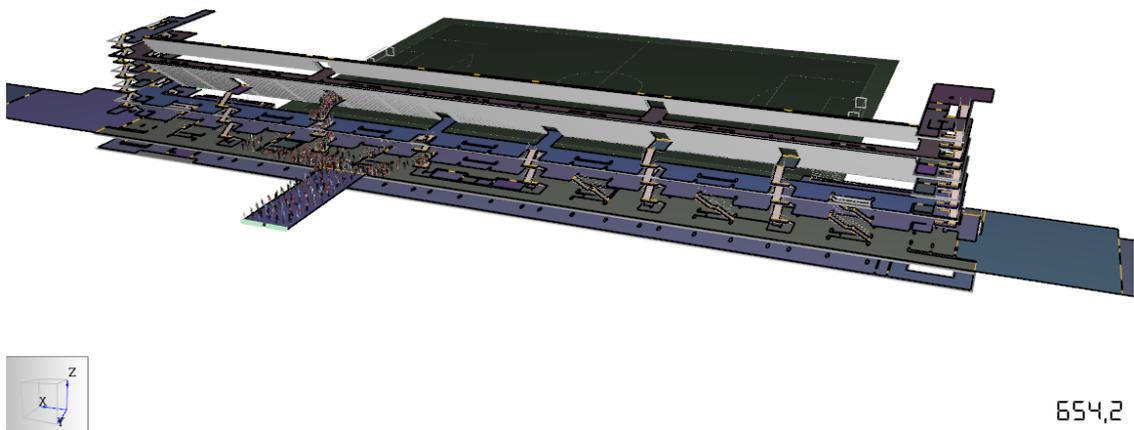


Figura 6.27 Fasi finali: sovraffollamento in corrispondenza di un'uscita (Pathfinder).



Figura 6.28 Mappa cromatica connessa alla velocità degli occupanti (Pathfinder).

Anche questa simulazione, comunque, conferma che gli ultimi spettatori a lasciare l'impianto sono quelli del secondo anello, come mostrato nell'immagine seguente.

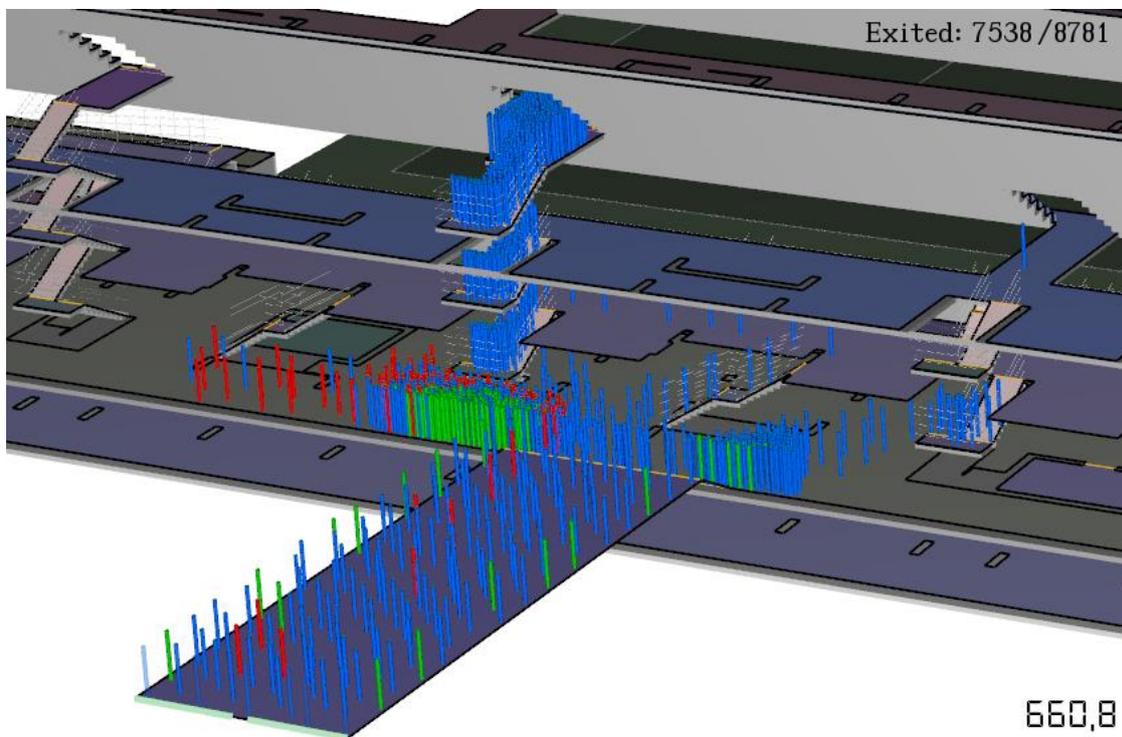


Figura 6.29 Difficoltà di esodo per gli spettatori del II anello (Pathfinder).

Il tempo di esodo è in questo caso, decisamente elevato, ovvero 17 minuti e 48 secondi.

6.2.2 Scenario 2: indicazione sui percorsi da seguire

Analogamente a quanto fatto nel paragrafo 6.1.1. si sono qui direzionati gli occupanti sulle diverse vie di uscita e verso i diversi varchi. In questo scenario ai comportamenti già definiti per la valutazione del deflusso interno sono stati aggiunti alcuni *waypoint* per direzionare gli utenti anche all'esterno della struttura.

I tempi si sono effettivamente ridotti ma la presenza di così tanti *waypoint* ravvicinati per comportamenti diversi ha generato degli errori. Definendo un *waypoint* con un determinato diametro si obbligano tutti gli utenti cui è stato assegnato quel comportamento a passare esattamente entro quel diametro; si creavano quindi moti disordinati che provocavano grossi rallentamenti, oltre che non rappresentare una situazione reale.

Per eliminare questo errore si è proceduto alla definizione di due nuovi comportamenti, uno per direzionare alcuni utenti verso l'uscita in corrispondenza della torretta sud ed uno per direzionarli verso l'uscita corrispondente alla torretta nord. Su questi due comportamenti sono stati convogliati gli altri precedentemente definiti utilizzando l'opzione di comportamento *change behavior*.

Inoltre, per ogni comportamento la totalità degli occupanti è stata suddivisa in percentuali diverse e direzionata su uscite diverse per rendere il sistema di esodo il più uniforme possibile.

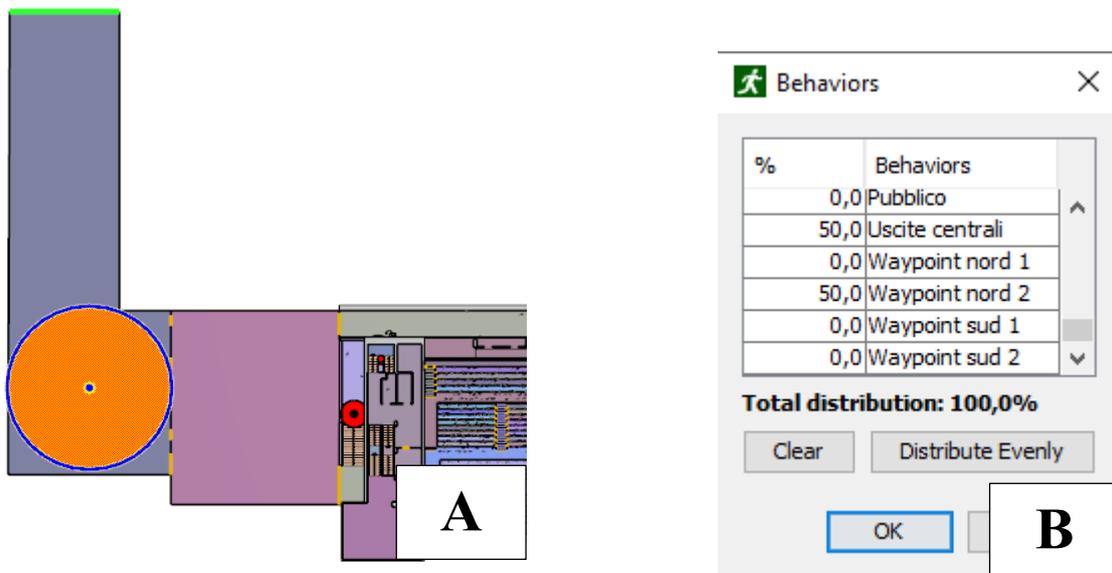


Figura 6.30 A. Assegnazione waypoint; B. distribuzione degli utenti su comportamenti diversi dopo il change behavior (Pathfinder).

Il risultato finale è un flusso di persone decisamente più ordinato e distribuito sulle vie disponibili.

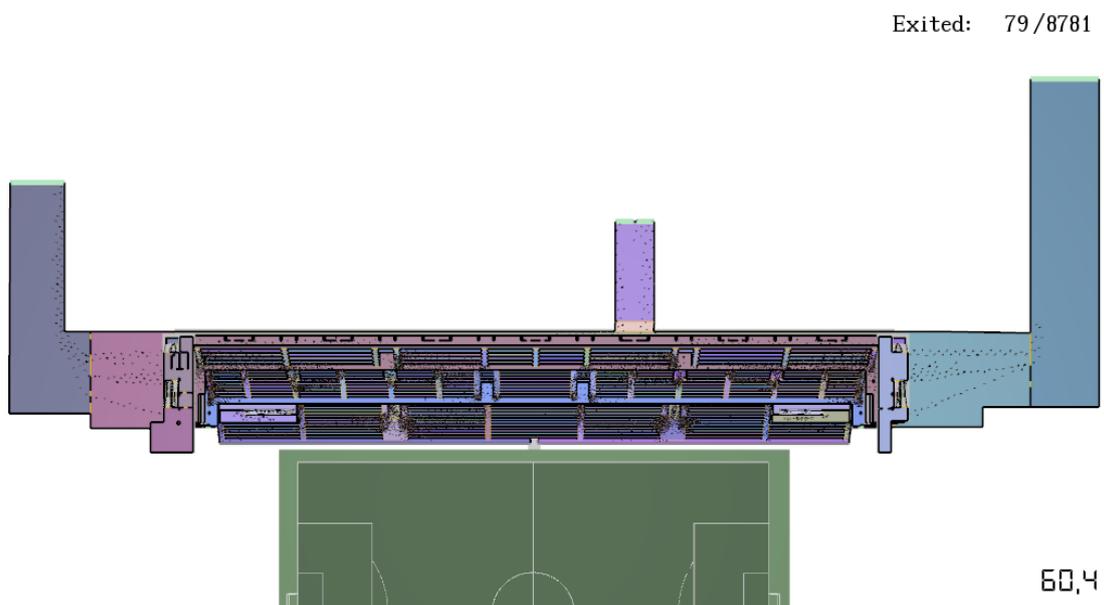


Figura 6.31 Maggiore uniformità nell'utilizzo delle vie di allontanamento (Pathfinder).

Questa simulazione deve far porre l'attenzione sul formarsi di un leggero sovraffollamento in corrispondenza dei varchi di uscita ed in corrispondenza dell'angolo con esposizione nord, ma mentre il primo può essere dovuto alla difficoltà di passaggio

di tutti gli utenti contemporaneamente, il secondo dipende dalla volontà degli utenti di percorrere la strada più breve, seppur non la più rapida.



Figura 6.32 Mappa cromatica di densità (Pathfinder).

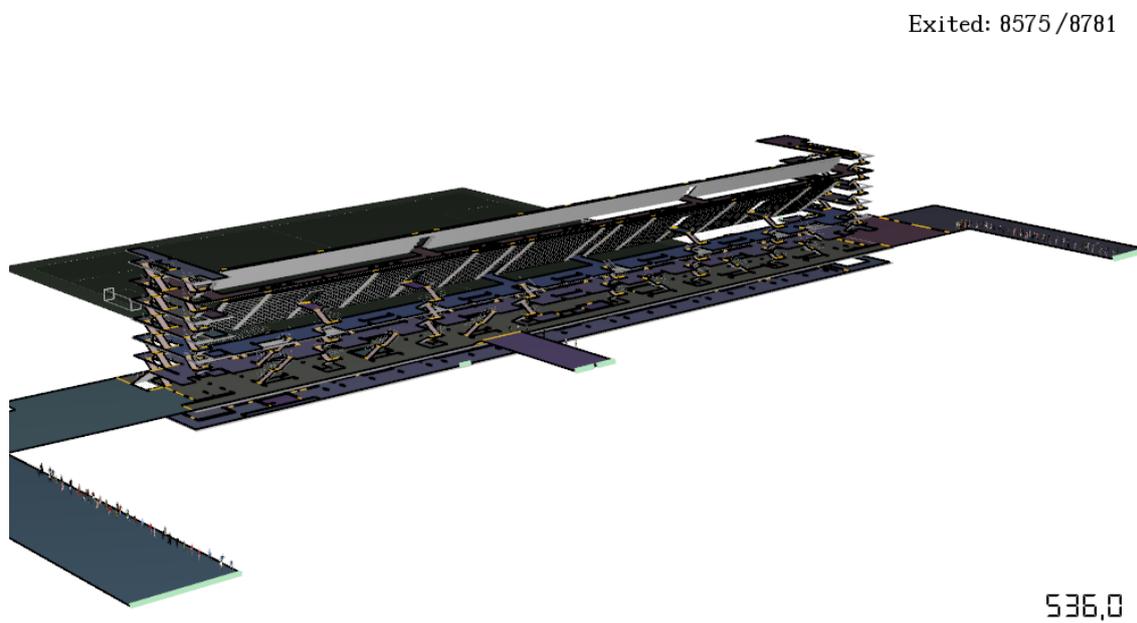


Figura 6.33 Ultimi utenti a lasciare l'area (Pathfinder).

Il tempo di esodo con questa configurazione è di 10 minuti e 08 secondi.

6.2.3 Scenario 3: sfollamento verso il campo da gioco

Questo terzo caso non si discosta di tanto dal precedente: i tempi si riducono di circa mezzo minuto ma in generale le modalità di deflusso sono le stesse, considerando che sul campo da gioco si dirigono solamente spettatori del primo anello.

Le problematiche riscontrate nel caso precedente sono presenti anche in questa situazione seppur in maniera leggermente minore.



Figura 6.34 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).

I tempi di esodo sono 9 minuti e 38 secondi.

6.2.4 Scenario 4: innalzamento scale esistenti

Nel caso esposto nel paragrafo 6.1.4. si è visto che l'innalzamento delle due rampe di scale esterne non portavano a rimarchevoli vantaggi sulle tempistiche di esodo, ed anche sull'area annessa gli effetti sono minimi.

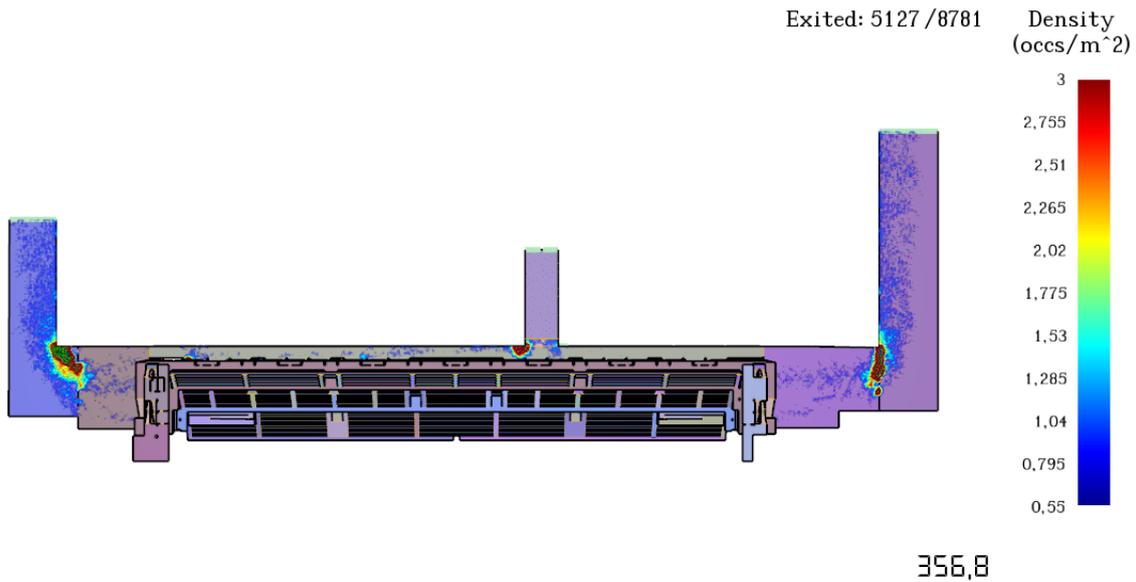


Figura 6.35 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).

Anche in questo caso sull'angolo nord e sulle porte verso sud si forma sovraffollamento, che comunque non inficia pesantemente il deflusso globale. Quello che si deve maggiormente sottolineare è che tale affollamento non è diverso da quello che viene a generarsi nel caso 2; questo significa che un intervento di questo tipo non porta a grossi vantaggi rispetto alle condizioni di esercizio in cui verte lo stadio. Non è quindi un intervento consigliabile.

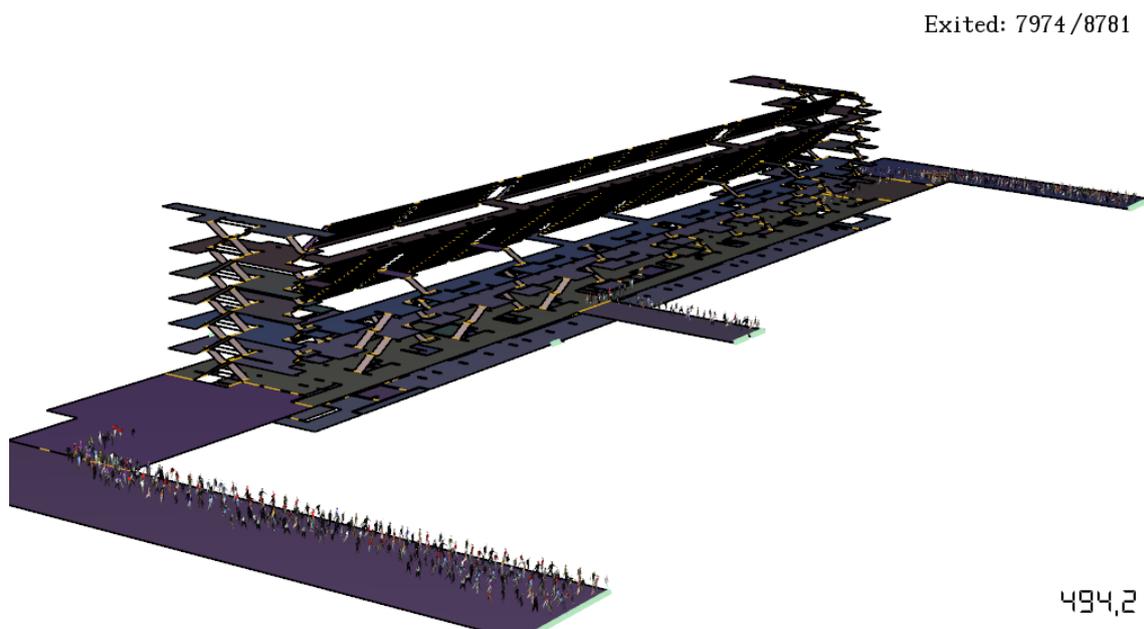


Figura 6.36 Fase finale dell'esodo con gli ultimi spettatori (Pathfinder).

Anche la fase finale è del tutto analoga allo scenario precedente.

Il tempo di uscita è 10 minuti e 12 secondi.

6.2.5 Scenario 5: aggiunta di moduli

In questo quinto scenario si è cercato di agire ove possibile sul contest circostante lo stadio.

Come detto nei capitoli precedenti lungo il lato est lo stadio è molto vicino alle abitazioni, ed in particolare è confinante con i loro cortili privati, i quali, in aggiunta, si trovano ad una quota di 3 m inferiore. Per cercare di migliorare la fase d'esodo dello stadio si potrebbe pensare di realizzare una passerella simile a quella già presente e porla alla stessa quota, ovvero 1.2 m superiore alla quota cui si trova l'area di servizio annessa, che conduca direttamente dall'impianto a via De Stefanis, in modo del tutto analogo a quella già utilizzata

Nell'immagine sotto riportata sono rappresentate in verde le vie di allontanamento attualmente presenti ed in arancione l'ipotesi di passerella addizionale.



Figura 6.37 Identificazione delle vie di allontanamento dallo stadio.

Lo spazio disponibile un condominio presente ed il giardino di Villa Piantelli, storica dimora di Genova, è di 4.2 m corrispondenti a 7 moduli aggiuntivi per il deflusso (ricordando sempre che un modulo corrisponde a 0.6 m).

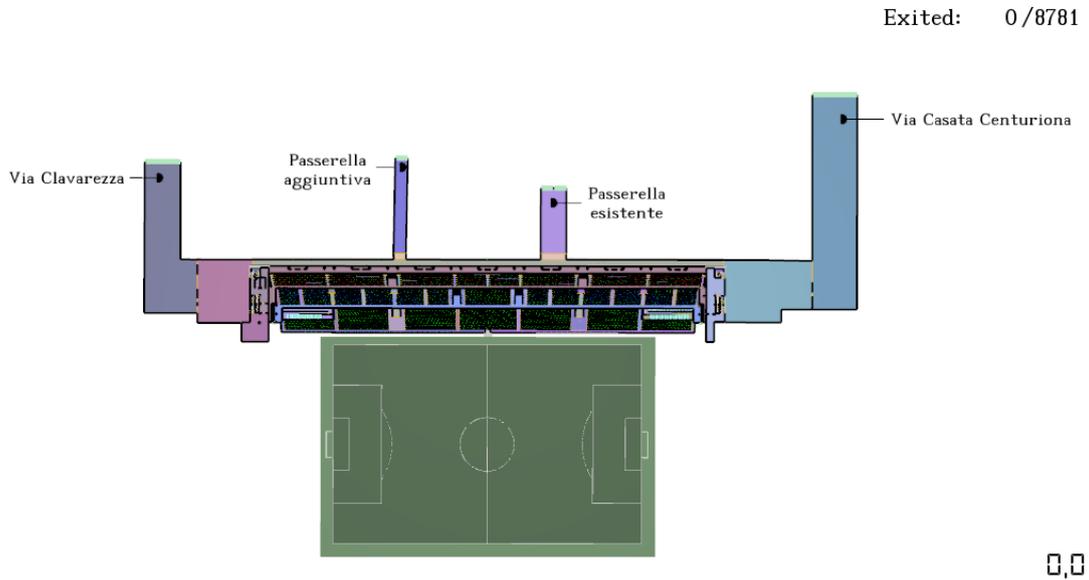


Figura 6.38 Aggiunta di una via di allontanamento (Pathfinder).

In queste condizioni il flusso delle persone risulta più fluido rispetto alle configurazioni precedenti in quanto avendo la possibilità di suddividere gli utenti diretti verso l'uscita centrale in due uscite differenti, si è potuto anche aumentare l'afflusso a tali uscite riducendo quello alle uscite verso nord e sud, limitando così gli intasamenti.

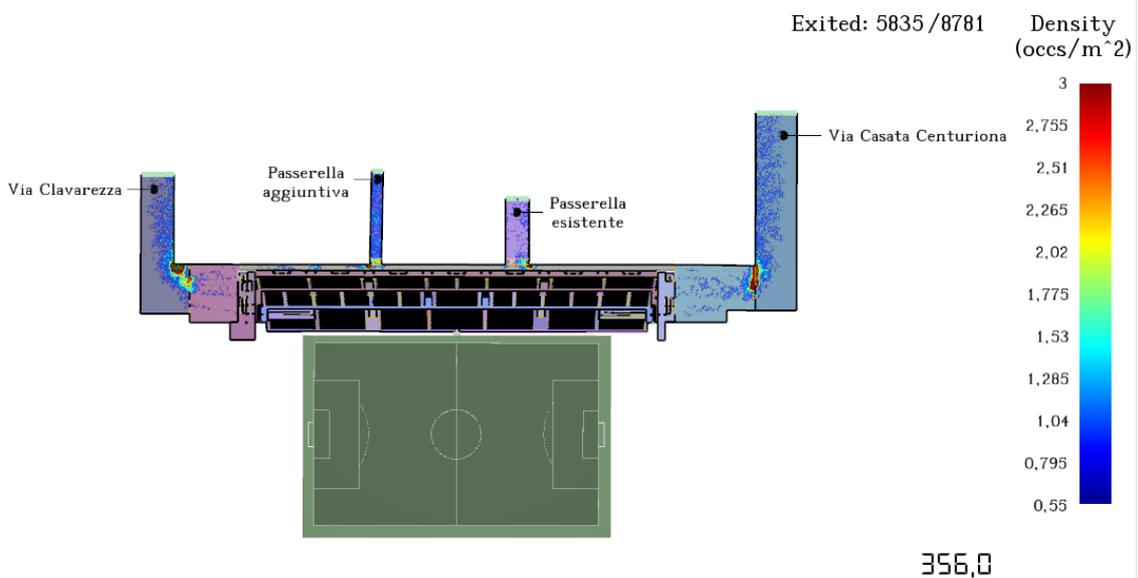


Figura 6.39 Nuova redistribuzione degli spettatori (Pathfinder).

Dall'immagine precedente si può notare come la densità nei punti di maggiore affollamento sia meno critica rispetto agli scenari precedenti.

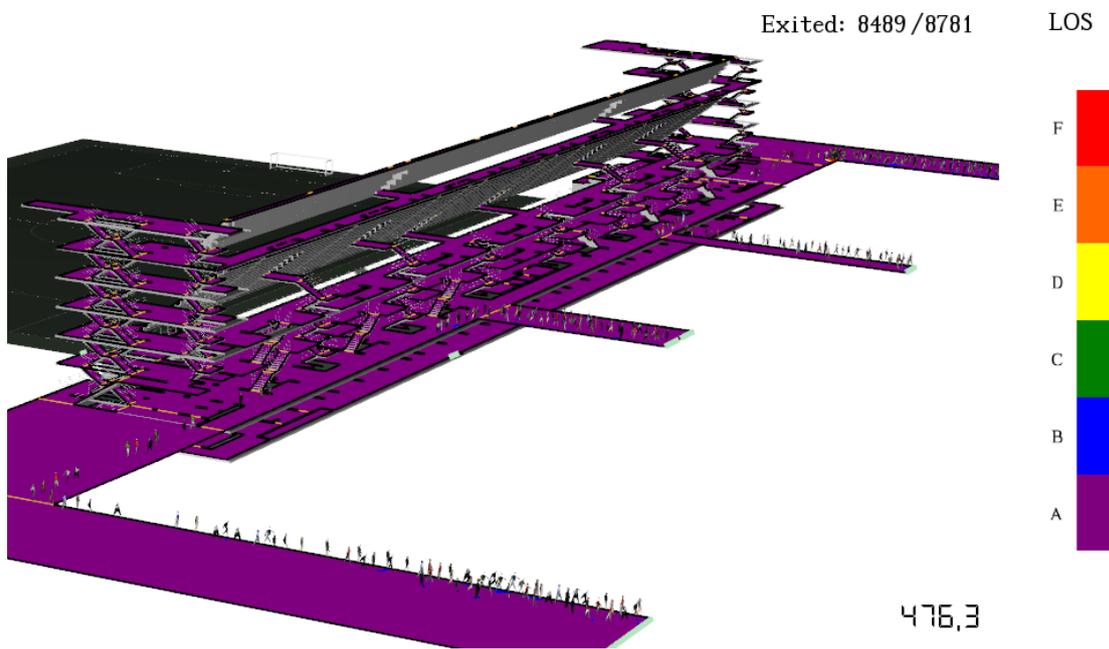


Figura 6.40 Mappa cromatica del level of service (Pathfinder).

Nell'immagine sopra riportata vien mostrato parametro LoS (*Level of Service*), ovvero un indicatore che rappresenta la relazione che intercorre tra volume, velocità e comfort delle persone. Il LoS viene classificato con lettere dalla A alla F dove A corrisponde alla condizione qualitativamente migliore, in relazione alla possibilità di scelta dell'occupante del percorso da seguire e dalla probabilità di conflitti in quel percorso, ed F la condizione peggiore.

I tempi subiscono una riduzione infatti il tempo totale di esodo è di 9 minuti e 23 secondi.

Si è poi valutata questa soluzione anche per l'esodo dall'interno dell'impianto per stabilire se portasse vantaggi anche sotto questo aspetto. Per farlo non si è lanciata una nuova simulazione ma si sono analizzati gli output di questa. Pathfinder, infatti, fornisce diversi tipi di output tra cui valori graficati per mettere in relazione il tempo della simulazione con il numero di occupanti che già hanno lasciato l'impianto o che devono ancora uscire, oppure il numero di occupanti che transitano per una porta oppure il numero di occupanti in una "Room". Per verificare quale fosse il tempo entro cui tutti gli spettatori lasciassero lo stadio, si è cercato il grafico riferito al piano di calpestio a quota

+16 (quello con i varchi verso l'esterno) che mettesse in relazione il tempo trascorso ed il numero di occupanti.

Applicando questa modifica tutti gli spettatori riescono a lasciare l'impianto in 8 minuti e 07 secondi, che rappresenta una situazione migliorativa rispetto alla situazione attuale.

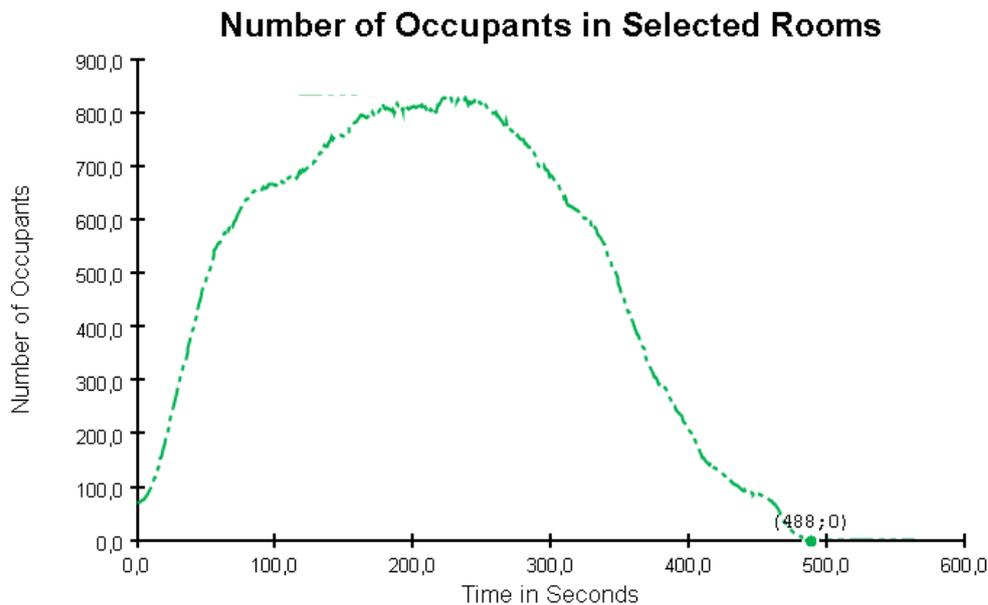


Figura 6.41 Tempo impiegato dagli spettatori a lasciare l'impianto (Pathfinder).

6.2.6 Scenario 6: riduzione della capienza

Infine, come ultimo scenario analizzato, si è pensato ad una riduzione della capienza del settore.

All'interno degli spalti del settore est, infatti, ci sono zone di scarsa visibilità sulle quali si potrebbe intervenire per rendere l'esodo più sicuro. Inoltre, dalle simulazioni svolte, si può capire qual è la zona che impiega più tempo a sfollare; ridurre la capienza in queste zone significherebbe agire in favore di sicurezza non solo per quanto riguarda l'esodo ma anche durante l'evento.

Partendo dalla simulazione descritta nel paragrafo 6.2.2 si è visto che riducendo la capienza massima di circa 1.200 persone, l'allontanamento avviene in modo più rapido ed inoltre la sicurezza dell'impianto aumenterebbe, pur non eliminando completamente il formarsi di rallentamenti.

Svolgendo la simulazione per questa configurazione il tempo di esodo è 9 minuti e 07 secondi.



Figura 6.42 Mappa cromatica della densità (Pathfinder).

Inoltre, dai grafici di output si ricava il tempo dopo il quale l'impianto è completamente svuotato.

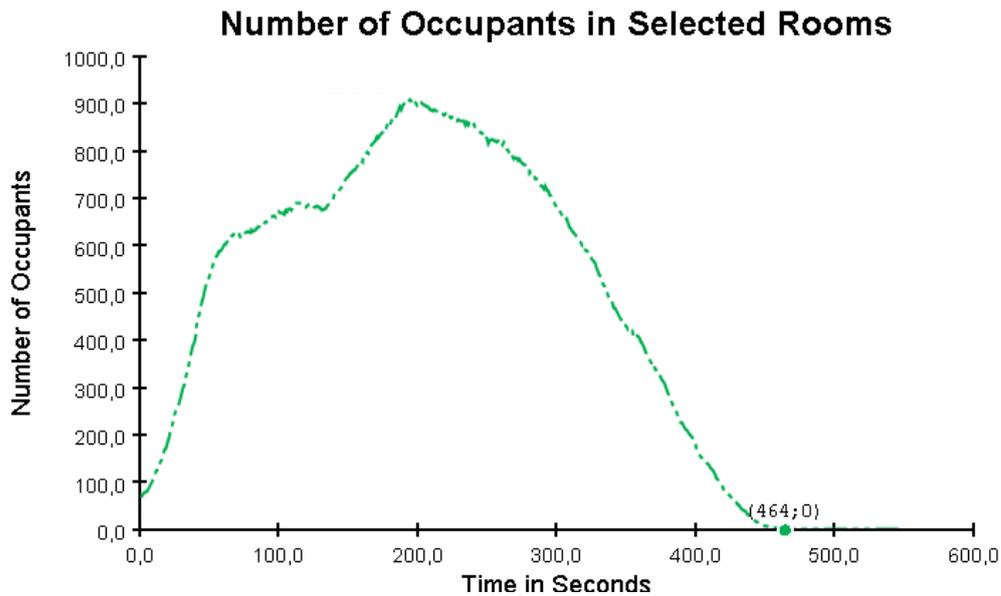


Figura 6.43 Tempo impiegato dagli spettatori a lasciare l'impianto (Pathfinder).

Il tempo di esodo dall'impianto è 7 minuti e 44 secondi.

7 Conclusioni

Il lavoro svolto in questa tesi doveva essere atto all'analisi dell'esodo di un impianto sportivo valutandone le criticità ed eventualmente suggerendo ipotesi migliorative.

L'applicazione di tale analisi ad un caso studio come quello dello stadio Luigi Ferraris di Genova (limitatamente al settore est) ha permesso di confrontarsi con una situazione reale che non ottemperava a tutti i vincoli e le prescrizioni imposte dalla normativa italiana, spostando il metodo di analisi da prescrittivo a prestazionale.

Si è utilizzato, infatti, un software di simulazione per cercare di capire dove intervenire al fine di rendere l'impianto più sicuro.

In particolare, analizzando i risultati delle simulazioni svolte, si è visto che a causa della vicinanza dello stadio alle abitazioni limitrofe, le uscite dall'impianto non sono ben distribuite lungo tutto il perimetro. Il settore si sviluppa per una lunghezza di 160 m e presenta una sola via di allontanamento nella zona centrale.

Pur rispettando le prescrizioni imposte dal *D.M. 18 Marzo 1996* sulle massime distanze degli spettatori dalle uscite, un approccio prestazionale svolto con l'aiuto di un software come Pathfinder, permette di identificare questa come una criticità, in quanto un gran numero di persone si dirigeranno verso quell'uscita in quanto la più vicina o perché è lo stesso varco utilizzato per entrare nell'impianto. Molto spesso, infatti, le persone tendono ad uscire da una struttura dallo stesso punto da cui sono entrati perché hanno una maggiore familiarità con il percorso e ne conoscono la posizione esatta.

Nel caso dello stadio di Genova, però, per permettere a tutti gli spettatori di defluire in sicurezza dall'impianto è stato dimostrato che è necessario che tutti vengano informati su quale sia il percorso che devono seguire e verso quali uscite dirigersi, soprattutto in caso di un esodo di emergenza: se gli occupanti vengono indirizzati, infatti, si è visto che il tempo risparmiato per il deflusso è di quasi 5 minuti.

Per far ciò diventa fondamentale che la dirigenza dello stadio metta a disposizione degli spettatori tutte le informazioni riguardo la fase di uscita al termine di una partita e sono soprattutto necessarie segnaletica ed illuminazione per guidare tutti i presenti verso tutti i vomitori per garantire una distribuzione il più possibile uniforme. Altrettanto importante sarà disporre di addetti steward che siano ben formati ed informati sul piano di

evacuazione e sulla direzione da far prendere agli occupanti delle diverse zone dello stadio. D

Questo deve valere all'interno del catino ma ancora di più all'esterno in quanto l'area di servizio annessa non rispetta i limiti normativi. I tempi di esodo tra la situazione in cui gli spettatori non vengono direzionati e quella in cui, invece, vengono condotti sui percorsi si discostano di 7 minuti e 40 secondi, che è una differenza sicuramente non accettabile in termini di sicurezza.

Per cercare di aumentare ulteriormente le condizioni di sicurezza si sono proposte alcune soluzioni alternative: l'accesso al campo da gioco; l'aggiunta di due rampe di scale; l'aggiunta di un varco di uscita; la riduzione di capienza.

Mentre per i primi due i cambiamenti non sono significativi, per i secondi l'aumento in termini di sicurezza sarebbe rilevante. Le due soluzioni hanno però delle criticità: per la prima la criticità risiede nel fatto che si dovrebbe costruire una nuova via di allontanamento estremamente a ridosso degli edifici privati nelle vicinanze. Si garantirebbero però 7 moduli di allontanamento in più riducendo effettivamente l'affollamento nei pressi delle uscite esistenti; per la seconda, invece, si rinunciarebbe alla vendita di circa 1.200 biglietti riducendo i ricavi ma d'altra parte si è visto che il grado di sicurezza sarebbe decisamente maggiore, riuscendo a far defluire tutti gli spettatori dall'impianto in 7 minuti e 44 secondi.

Per quanto riguarda il confronto con i tempi imposti dalle normative analizzate, si può dire che i tempi indicati dalla Green Guide e dalla regolamentazione FIFA vengono sempre rispettati a patto di dirigere gli spettatori verso le uscite corrette. Gli 8 minuti imposti dalla regolamentazione UEFA, invece, vengono raggiunti con gli ultimi scenari migliorativi proposti.

Infine, da questa tesi si può anche evincere che Pathfinder è un software ancora migliorabile per quanto riguarda la sua interoperabilità con il formato .ifc estratto da Revit. La generazione diretta da un modello BIM quasi mai avviene senza errori e si deve intervenire manualmente per la loro correzione. Nonostante questo, si possono comunque manifestare situazioni erronee come ad esempio gli occupanti bloccati tra due mesh di navigazione mostrati in figura 6.18.

Un'analisi di questo tipo ha comunque grosse potenzialità per migliorare la progettazione e la gestione di un impianto sportivo: fornisce le conoscenze per intervenire esattamente sui punti di maggiore criticità riuscendo ad incrementare notevolmente le condizioni di sicurezza.

8 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);
- *Green Guide - Guide to safety at sports grounds*, 5th edition;
- *FIFA - Stadium safety and security regulation*, Luglio 2008;
- *FIFA – Football stadium. Technical recommendation and requirements*, 5th edition, 2011;
- *UEFA – Guida agli stadi di qualità*, 2011;
- *ISO/TR 16738 – Fire safety engineering. Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*, 1st edition, 2009;
- *Pathfinder – User manual*, 2014;
- *Dadone Luca, La sicurezza negli stadi per il calcio. Analisi dell'esodo degli spettatori presso lo stadio Olimpico di Torino*, tesi di laurea magistrale;
- Pathfinder - <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/>;
- Mappe stadio - <https://www.stadi.online/stadio-ferraris-genova/>;
- Famiglie Revit - <http://architectis.it/revit.html>;
- Famiglie Revit - <https://www.bimobject.com/it/dierre/product/ei2-120-db>;