

Analisi di rischio e modellazione matematica per la previsione e il controllo del comportamento delle folle in scenari emergenziali

RELATORE:
Luca Fiorentini

Vice Presidente Society of Fire Protection Engineers – SFPE Italy
Chair of Institute of Risk Management – Regional Interest Group RIG Italy



1



Word count da (Sidiropoulos et al. 2020).



2 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.



2



ALCUNI TERMINI IMPORTANTI



3 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.





3

Identificazione dei pericoli

Problemi legati agli eventi pubblici con grandi affollamenti






Fattore umano

Layout dell'ambiente

Circostanze esterne

4 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.

4

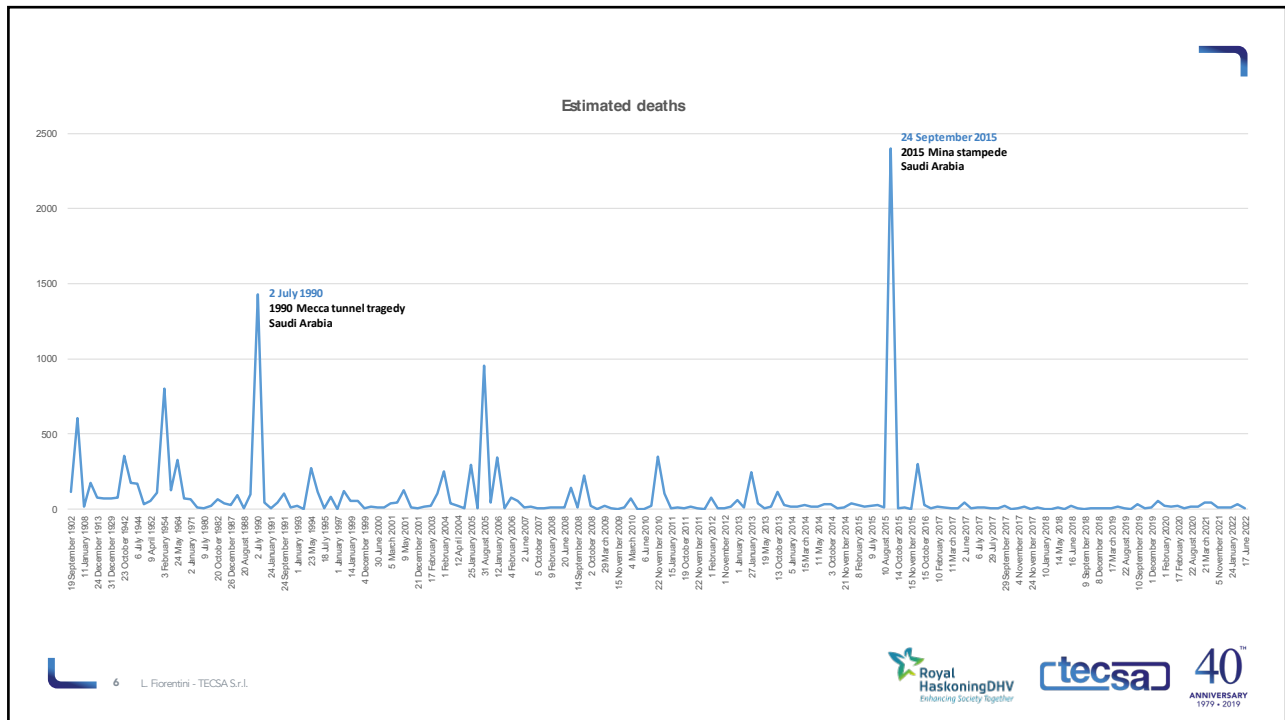
E' un problema nuovo?

L'evacuazione sicura, attraverso la predisposizione di piani, può essere studiata, per le situazioni più semplici, in modo molto efficace anche data la possibilità di effettuare delle sperimentazioni di validazione (eventualmente a sorpresa senza creare pregiudizio agli occupanti).

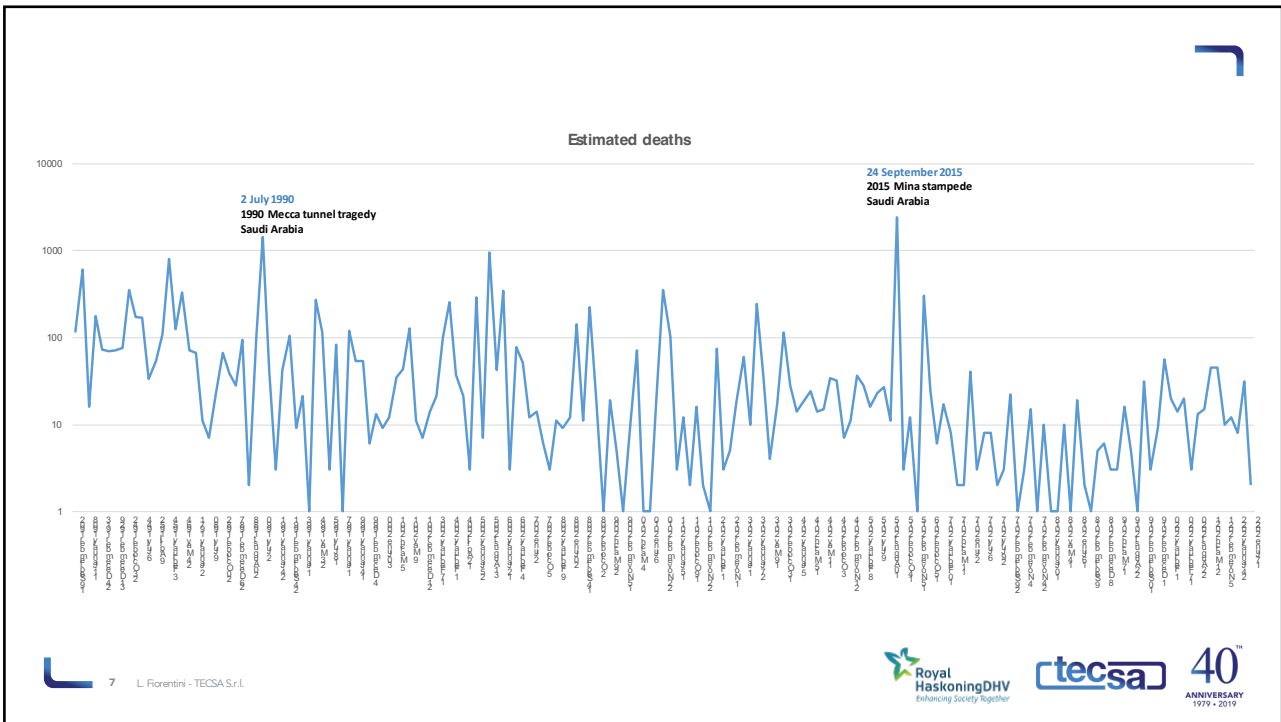
Nell'80 d.C., lo storico romano-ebraico Flavio Giuseppe raccontò che nel 66 d.C., all'inizio della prima guerra giudaico-romana, un soldato romano si avvicinò ai pellegrini ebrei del Tempio di Gerusalemme riuniti per la Pasqua ebraica e *"pronunciò le parole che ci si aspetterebbe da una simile posizione"*, provocando una sommossa in cui i giovani lanciarono pietre contro i soldati, che a quel punto chiamarono i rinforzi.

I pellegrini si fecero prendere dal panico e il conseguente fuggi-fuggi avrebbe provocato la morte di almeno diecimila ebrei.

5



6



7

IL CONTESTO DI RIFERIMENTO

Si opera nell'ambito di un contesto caratterizzato, al medesimo tempo, dalla presenza di ELEMENTI TECNICI e di PERSONE.

Tale contesto può essere individuato come un SISTEMA SOCIO-TECNICO in più domini applicativi caratterizzato da INCERTEZZA e COMPLESSITA'.

Per tali sistemi la comprensione deve essere sviluppata mediante un approccio multidisciplinare che può trarre beneficio dall'analisi di rischio, quale strumento di giudizio, secondo il paradigma proposto dalla ISO 31000 ed in una ottica orientata alla PRESTAZIONE per il raggiungimento di un obiettivo specifico.

8

La modellazione dell'evacuazione delle folle e l'analisi attraverso la simulazione ci consentono di comprendere i modelli di movimento.

Certamente risulta estremamente difficile validare i modelli mediante esperimenti su scala reale: tuttavia sono disponibili alcune considerazioni effettuate su eventi di diversa portata fondate su registrazioni disponibili dalla videosorveglianza.

La simulazione gioca un ruolo fondamentale nella definizione delle dinamiche di evacuazione delle folle (ottimizzazione dei tempi e sicurezza).

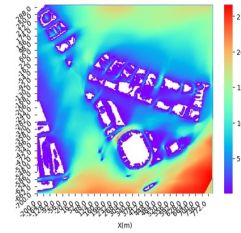
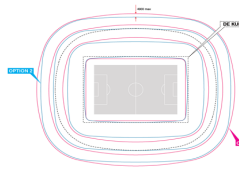
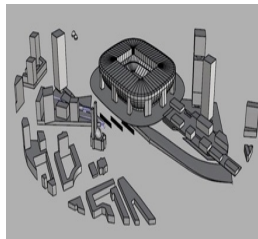
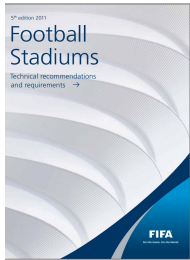
Attualmente è disponibile una serie molto estesa di modelli di evacuazione delle folle che tentano di riprodurre il comportamento dei pedoni così come osservabile nel mondo reale.

I modelli possono essere suddivisi in due categorie principali:

- **macro modelli** (che analizzano il pubblico come una entità unica avente delle proprietà caratteristiche con regole di movimento e di interazione rispetto ad una prospettiva complessiva, con una limitata definizione del comportamento individuale e delle interazioni a livello di singolo agente);
- **micro modelli** (che analizzano il comportamento di ciascun agente come rispondente ad una determinata situazione, spesso locale, in accordo ad un set di decisioni:
 - *discreti* (cellular automata) lavorano con un set di regole semplici;
 - *continui* (social force, velocity obstacle model, reciprocal velocity obstacle model, optimal reciprocal collision avoidance model) abbisognano della stima della funzione di interazione tra ciascuna coppia di agenti.

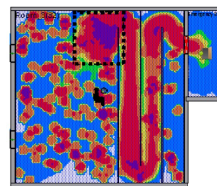
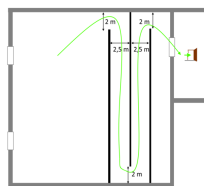
NON ESISTE UN «MIGLIOR MODELLO»

LIVELLO DI DETTAGLIO - Macro

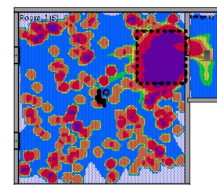
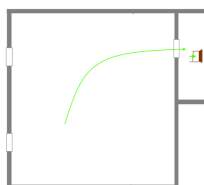


11

LIVELLO DI DETTAGLIO - Micro



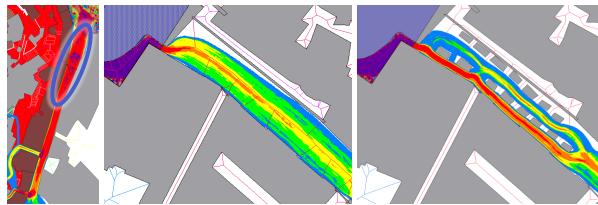
CASO 01 - PRESENZA DI PERCORSO OBBLIGATO



CASO 02 - ASSENZA DI PERCORSO OBBLIGATO

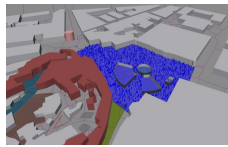
12

LIVELLO DI DETTAGLIO – Macro + Micro



ASSENZA DI OSTACOLI FISSI

PRESENZA DI OSTACOLI FISSI
(automobili parcheggiate)



F. Dattilo, S. Tafaro, L. Fiorentini – Matera 2019 – Article on «Crowd Magazine»

VARIABILITÀ “SEMPLICE”

Demographic characteristics	Classification
Age	16 and below
	17-25
	26-30
	31-40
	41-50
	51-60
Gender	61 and above
	Male
Education level	Female
	Primary and below
	Secondary school
	College
	Graduate students and above
Mobility level	Very poor
	Poor
	Neutral
	Good
	Very good
Experience on board	0
	1
	2-4
	5 or more
	Number of people travelling
Experience in evacuation education/ training	Alone
	1
	2-5
	6-10
	11 or more
Experience in evacuation education/ training	Never
	Have, but do not remember
	Once a year
	More than once a year

La variabilità anche solo delle caratteristiche demografiche pone una serie di importanti considerazioni (Wang et al. 2021).

I modelli sono stati utilizzati per la simulazione di differenti situazioni critiche:

- diffusione degli effetti di un incendio;
- attacchi terroristici;
- fenomeni naturali (alluvioni, terremoti);
- resse e calche.

Ogni situazione determina la necessità di specifici modelli che possono riprodurre una serie di comportamenti e di flussi decisionali individuali (e non) altamente complessi. In ciascun caso viene impiegata l'approssimazione migliore (es. il modello a tre stadi del comportamento in caso di attacco terroristico) anche considerando una differente modalità di gestione degli ostacoli.

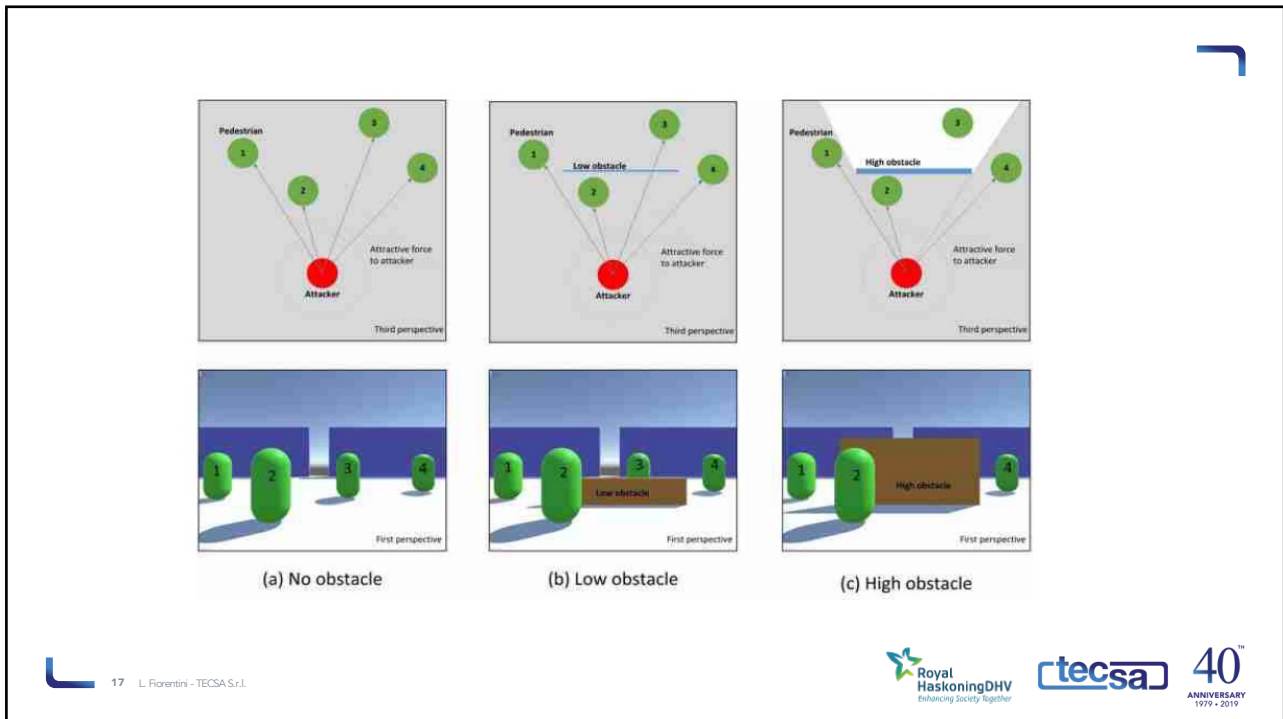
In certi casi il modello deve considerare diverse interazioni (es. quella dell'antagonista in un attacco rispetto alla interazione del bersaglio), andando a comprendere la linea di vista reciproca dei due agenti rispetto agli ostacoli presenti.

I modelli sono stati utilizzati per la simulazione di differenti situazioni critiche:

- diffusione degli effetti di un incendio;
- attacchi terroristici;
- fenomeni naturali (alluvioni, terremoti);
- resse e calche.

Ogni situazione determina la necessità di specifici modelli che possono riprodurre una serie di comportamenti e di flussi decisionali individuali (e non) altamente complessi. In ciascun caso viene impiegata l'approssimazione migliore (es. il modello a tre stadi del comportamento in caso di attacco terroristico) anche considerando una differente modalità di gestione degli ostacoli.

In certi casi il modello deve considerare diverse interazioni (es. quella dell'antagonista in un attacco rispetto alla interazione del bersaglio), andando a comprendere la linea di vista reciproca dei due agenti rispetto agli ostacoli presenti.



17

Le condizioni, che possono essere particolarmente estreme, ricomprendono differenti tipologie di spazi, anche particolarmente complessi. *L'ambiente di conseguenza gioca un ruolo fondamentale.*

Tra questi ambienti è possibile citare sia gli edifici sia i luoghi all'aperto.
Per essi devono essere considerati eventualmente casi d'uso differenti (stadio per evento sportivo/stadio per concerto, infrastruttura o edificio tutelato impiegato secondo quanto generalmente previsto, bene impiegato per una sfilata di moda)

All'ambiente chiaramente devono essere associati gli aspetti comportamentali che condizionano la strategia di evacuazione, ivi inclusa la percezione dell'ambiente e della sua complessità, il comportamento del "branco", il contagio emozionale (la tendenza verbale, fisica o comportamentale a mimare l'esperienza emozionale di altri al fine di far emergere la medesima tipologia emozionale).

La verifica di condizioni reali ha consentito e consente la validazione di alcuni modelli definiti empiricamente.

18 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

tecsa

40th
ANNIVERSARY
1979 - 2019

18



19

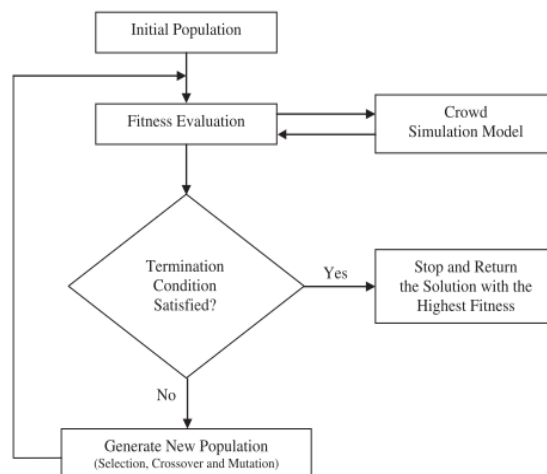


20

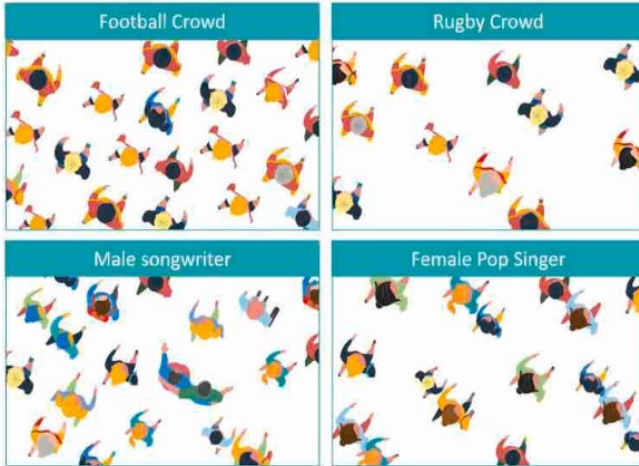


Si parla spesso di panico, ma esiste anche l'egocentrismo in situazioni difficili.

L'attività non si risolve, in ogni caso, con un "singolo run" (Abdelghany et al. 2014)



COMPOSIZIONE DELLA FOLLA (LARSSON ET AL. 2021)



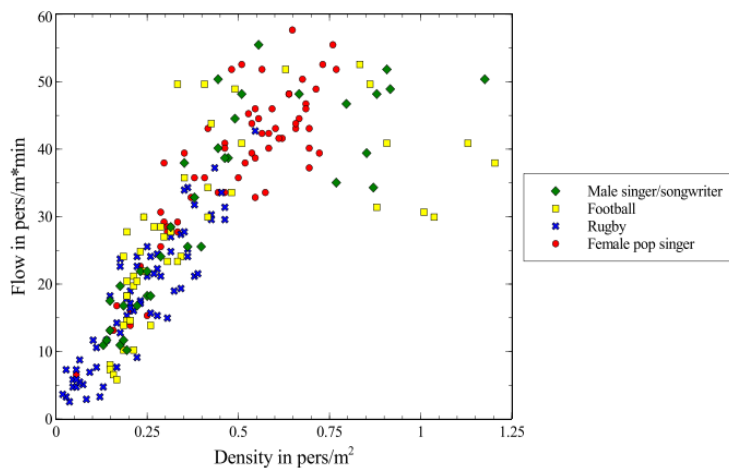
La composizione della folla può svolgere un ruolo importante nelle prestazioni di esodo e dovrebbe quindi essere presa in considerazione nella pianificazione dell'esodo e dell'evacuazione.

La differenza di prestazioni è probabilmente legata all'area corporea occupata da folle diverse (ad esempio, giovani ragazze adolescenti che assistono a un concerto pop femminile rispetto a maschi adulti che assistono a una partita di calcio) e all'interazione sociale tra i membri della folla (il numero di gruppi e il grado di coesione).

23 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.



23

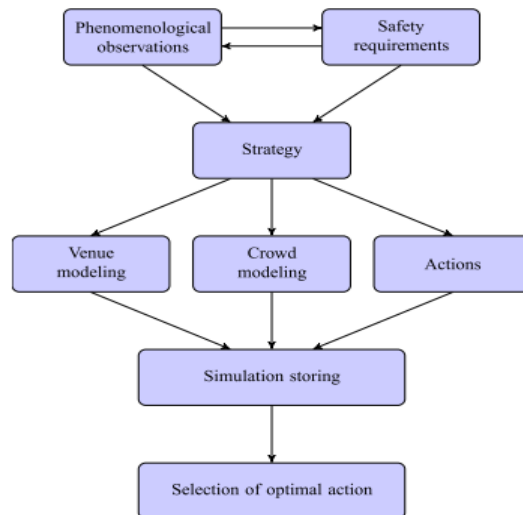


24 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.



24

Inoltre la simulazione rispetto ad una popolazione non esaurisce tutte le condizioni (Bellomo et al. 2016)



25

Le situazioni (tra cui anche gli eventi pubblici, statici o dinamici) in cui vi è una raccolta significativa di masse di persone pone ulteriori problemi rispetto alla gestione delle folle in contesti ed ambienti definiti (es. edifici o infrastrutture di trasporto ed hub intermodali), proprio in relazione alla numerosità delle persone, che possono occupare spazi normalmente destinati ad altro scopo (gli eventi pubblici di tipo statico peraltro individuano anche situazioni, come l'avvicinamento e l'allontanamento dei partecipanti che diventano delle condizioni particolari di tipo dinamico).

Anche in questi casi è necessaria la pianificazione rispetto a cause promotrici di eventi negativi sia di tipo umano sia di tipo naturale.

Tra questi eventi è molto conosciuto l'Hajj che attualmente rappresenta il più vasto evento annuale a livello internazionale.

Nell'ambito di questo importante pellegrinaggio si registrano due situazioni:

- affollamento in edifici;
- spostamento di differenti ampie masse di pellegrini.

Queste problematiche si sommano a quelle determinate dalla presenza di **persone anziane in condizioni ambientali estremamente sfavorevoli**.

26

JAMARAT BRIDGE



27 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.



27



28 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.



28

Nella tabella sono mostrati gli ultimi incidenti registrati al ponte di Jamarat, unitamente alla classificazione in termini di severità dell'evento (Alaska et al. 2017).

Il ponte di Jamarat è stato ridisegnato (completamento effettuato nel 2013) per poter gestire una portata di **300K pellegrini/ora**.

La nuova struttura, regolata per un traffico unidirezionale, sarà in futuro ulteriormente espansa per poter sfruttare 12 differenti livelli di passaggio arrivando a gestire **5M di pellegrini**.

Nell'ambito della riprogettazione sono stati inseriti due punti di atterraggio elicotteri e diversi sistemi di trasporto ambulanze al piano per la gestione delle emergenze mediche.

Nel 2015 il nuovo ponte registra in ogni caso la perdita di 769 pellegrini ed il grave ferimento di 934 pellegrini in una serie di occasioni a causa della violazione delle regole di accesso al sistema di ponti.

Table 1 Reported stampede events at Jamarat in recent years.

Year	Number of deaths	Number of pilgrims (million)	Classification ^a
1994 [3,6,9]	270	1.0	IV
1998 [9]	119	1.8	IV
2001 [3,9]	35	2.2	III
2003 [9]	14	2.0	III
2004 [6,9]	251	2.2	IV
2006 [6,9]	380	2.2	IV

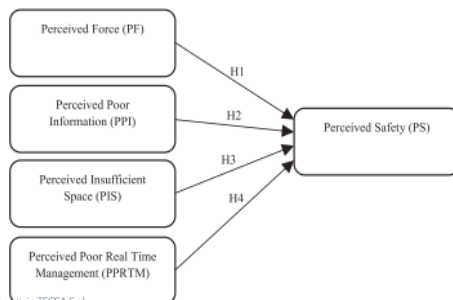
recorded mortality rates of each incident, using a scale from I to V, with class I being (mild): 0 deaths; class II (moderate): 1–10 deaths; class III (severe): 11–100 deaths; class IV (devastating): 101–1000 deaths, and class V (catastrophic): >1000 deaths [9]. Using this scale, most

FIST - (FORCE, INFORMATION, SPACE AND TIME) (ALKHADIM ET AL. 2018)

"each large space building used by a large number of people (crowd) is normally surrounded by diverse types and levels of risk requiring effective management" (Booty, 2009)

"risk management is a proactive approach to eliminate threats to an organization through anticipating, identifying, assessing and mitigating the possible risks" (Leopkey and Parent, 2009).

FIST si fonda sugli studi degli anni novanta circa i livelli di servizio (Fruin, 1993).



Nel modello la relazione tra la variabile dipendente e le tre variabili indipendenti viene influenzata da fattori che possono essere ricondotti a due aspetti principali:

- l'ambiente (environmental envolpe)
- l'utente (user).

SIMCD (SIMULATED CROWD DATA FOR ANOMALY DETECTION AND PREDICTION)

(BAMAQA ET AL. 2022)

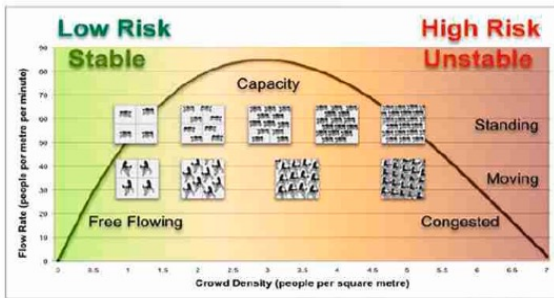


Fig. 1. Relationship between crowd density and flow rate (Still, 2011).

Table 7

Crowd state based on Level of crowdedness.

Density Persons/m ²	Crowd behaviour state	Level of Crowdedness
Less than 1.79	Normal Cases	Free walk 1
Between 1.79 and 2		Non-contact 2
Between 2 and 3.99		Average 3
Between 4 and 4.99	Abnormal Cases	Contact 4
5 and above		Critical 5

Table 8

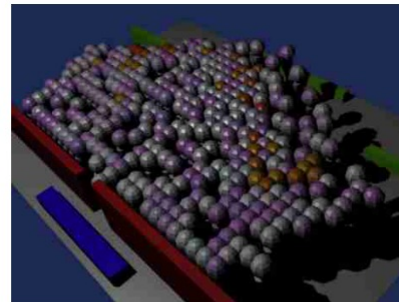
Crowd state based on severity levels.

Density Persons/m ²	Heading State	Crowd behaviour state	Level of crowdedness	Severity level
Less than 4	Planned	Normal Cases	1, 2 or 3	0
4 and more		Abnormal	4 or 5	2
Less than 4	Opposite	Cases	1,2 or 3	1
4 and more			4 or 5	3

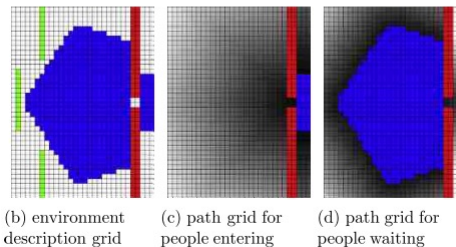
LIVELLI DI SEVERITÀ

(BANDINI ET AL. 2014)

Le situazioni caratterizzate dalla presenza di una alta densità di utenti coinvolti in interazioni negative (es. direzione opposta al senso pianificato) spesso rappresentano una criticità nella simulazione, specialmente nei casi in cui vengono impiegati modelli di tipo discreto.



(a) 3D representation



(b) environment description grid

(c) path grid for people entering

(d) path grid for people waiting

Fig. 17. The percolation scenario.

STREET (BERNER ET AL. 2015)

Tool generalizzato per la valutazione secondo criteri predefiniti dedicato agli eventi su larga scala con presenza di pubblico sviluppato secondo il paradigma delle HRO (High Reliability Organizations) tenendo conto della sovrapposizione dell'intervento di autorità differenti per specifici compiti di soccorso (RT, EM, PD).

La validazione del tool è stata effettuata considerando casi reali che hanno e che non hanno registrato la presenza di problematiche. Il tool, data la definizione del rischio, permette la stima delle risorse disponibili e individua la necessità di specifici approfondimenti.

Tale tool sottolinea l'importanza della condivisione delle informazioni tra agenzie di soccorso differenti (Bistaraki et al. 2019).

General factors of risk assessment.

C1: Type of events (Choose 1-2 factors)	P1: Expected number of spectators (Choose 1 factor)	R1: Disturbances/conflicts (Choose 1 factor)
Concert	<1000	1 Low risk
Exhibitions	<3000	2 Medium risk
Water sports/events	<5000	8 High risk
Motor sports	<10000	12 Rival groups
City festivals	<20000	16
Conferences/Conventions	<30000	20 R1: Mark your choice
Political (VIP) meetings	<40000	24
Music festivals	<60000	28 R2: Alcohol and drugs (Choose 1 factor)
Demonstrations/Riots	<80000	34 None
Stadium sports	100000 or more	42 Low
Marathons, cycle tournaments	P1: Mark your choice	42 Medium
		42 High
C1: Mark your choice		
C2: Area involved (Choose 1 factor)	P2: Density of mass gathering (Choose 1 factor)	R2: Mark your choice
Localised to one limited area	Low density	0
Localised to one couple of areas	Medium	4 R3: Threats such as terrorism (max 1 year assessment, Choose 1-2 factors)
Spread out in many areas	High density	8 None
C2: Mark your choice		
C3: Place/Local (Choose 1-2 factors)	P3: Predominating age group (Choose 1 factor)	R3: Mark your choice
Indoor	1-50	1
Stadium	31-50	4
Outdoor interspersed	15-30	1
Outdoor others	Mixed public	4
Street events	P3: Mark your choice	
Temporary buildings outdoor		
Included camping for night stay		
C3: Mark your choice		
C4: standing/sitting rooms (Choose 1 factor)		
Sitting room		
Mixed		
Standing		
No rooms, moving around		
C4: Mark your choice		
C5: Event coincides with (Choose 1-2 factors)		
New year and Midsummer		
End of month, salary payment		
Christmas and Easter		
Vacations, summer time		
None of above		
C5: Mark your choice		
Sum of Cs	Sum of Ps	Sum of Rs

C = Characteristic; P: Population; R: Risk.

EFFETTO «GREGGE»

Una serie di sperimentazioni hanno evidenziato come l'effetto gregge possa avere impatti anche particolarmente significativi, anche in situazioni particolarmente semplici (Chen et al. 2020; Haghani e Sarvi 2019).

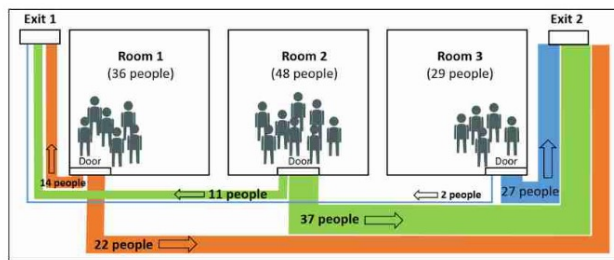


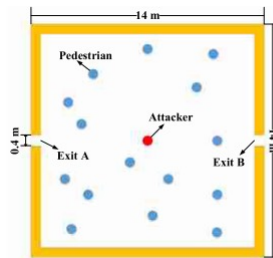
Table 3
Reasons for intended not willing to evacuate.

Reasons for not evacuating	Frequency	Percentage
Not trust in the warning	16	0.43
Thought it was only an evacuation drill	37	1
Works were unfinished	5	0.14
Wanted to know others response	17	0.46
Afraid of congestion	0	0
Laziness	4	0.11
Other reasons	2	0.05

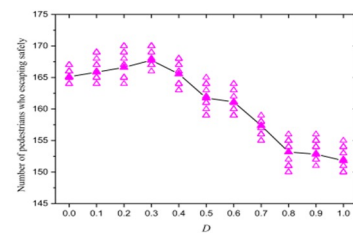
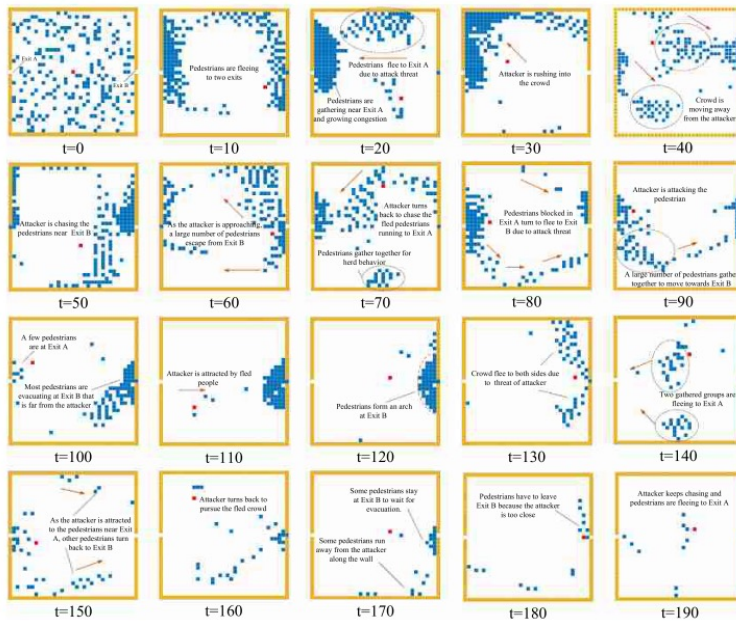
EFFETTO «PANICO»

La modellazione del panico, per una inclusione nelle simulazioni, è oggetto di una serie di studi che coinvolgono, in molteplici casi, gli approfondimenti connessi con attacchi artificiali.

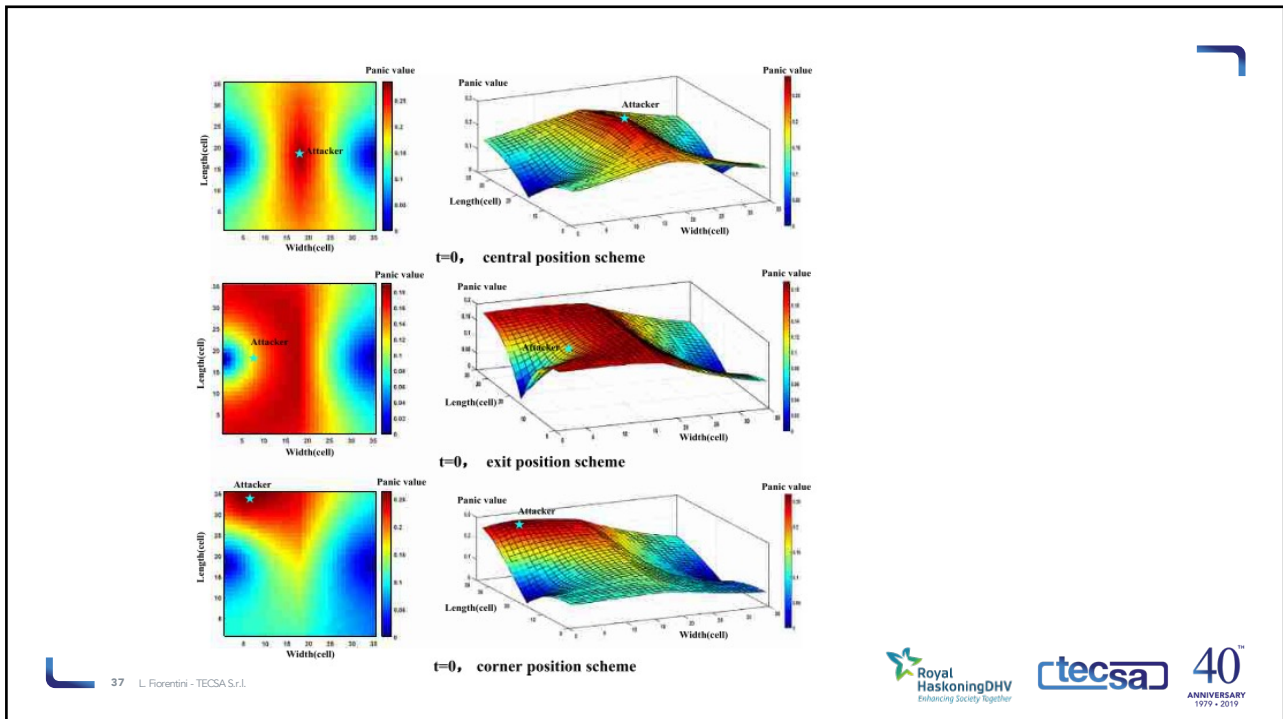
In (*Chen et al. 2021*) il panico degli occupanti viene semplificato con una funzione che considera la posizione dell'antagonista e la posizione delle uscite disponibili. Il "valore di panico" aumenta in modo esponenziale con la vicinanza dell'aggressore all'occupante, mentre diminuisce, attenuandosi, con la vicinanza dell'occupante ad una uscita. Chiaramente è una funzione dinamica che tiene conto dello spostamento dell'aggressore nel tempo.



35



36



37

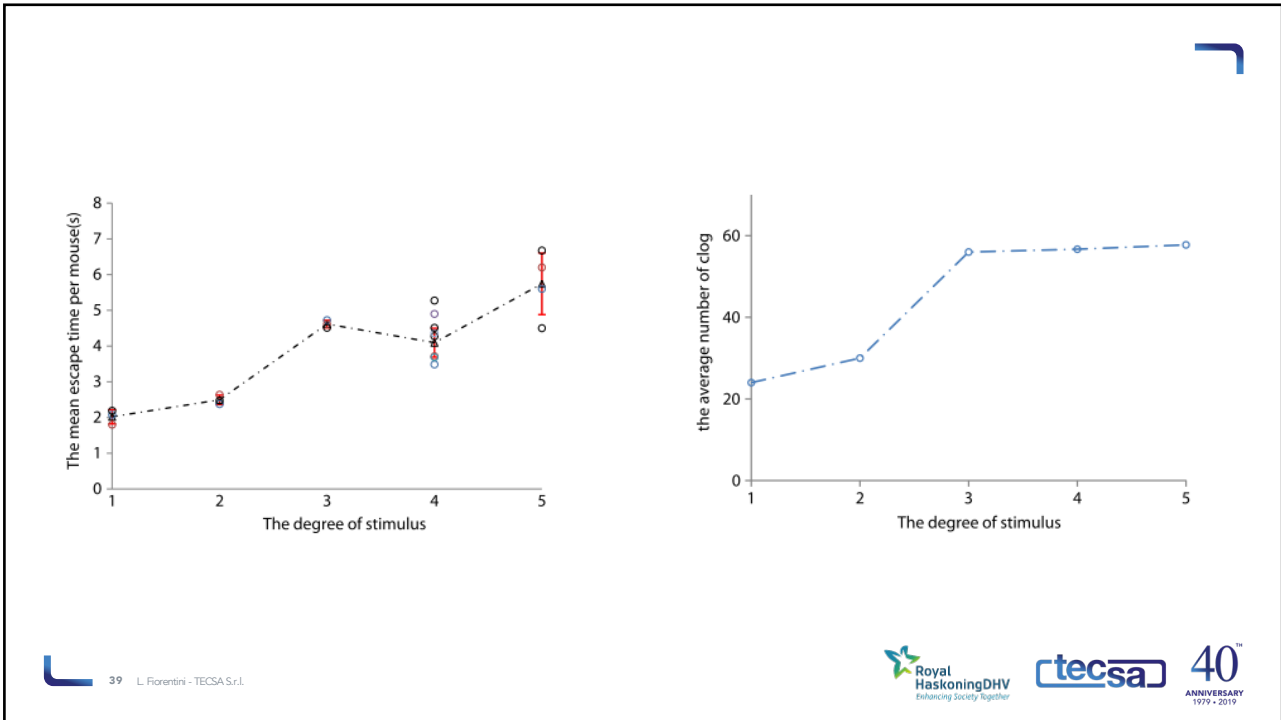
EFFETTO "FASTER-IS-SLOWER"

L'effetto "**più veloce è più lento**" si verifica quando le persone affollate si spingono l'un l'altra per uscire da un'uscita durante una situazione di emergenza.

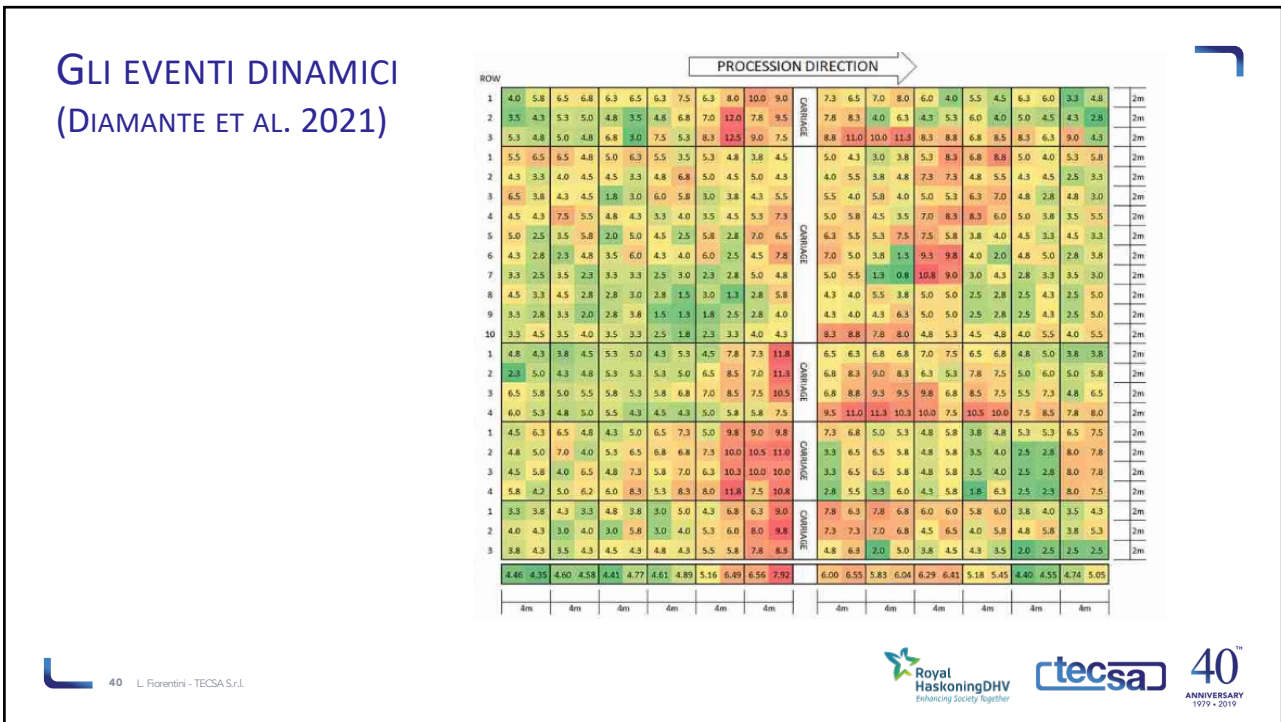
Quando gli individui spingono di più, si può ottenere un rallentamento statistico del tempo di evacuazione.

Il panico è definito come "una paura improvvisa e travolgente dovuta a uno stimolo, che produce un comportamento isterico o irrazionale e si diffonde rapidamente in un gruppo di animali" (Lin et al. 2016)

38



39



40

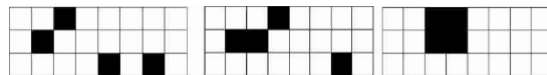
STIMA DELL'ENTROPIA E PUNTI DI AGGREGAZIONE SINGOLARI (GUO ET AL. 2020)

Risulta particolarmente importante misurare il grado di casualità o il grado di aggregazione della distribuzione della folla.

La misura dell'entropia può essere utilizzata per descrivere quantitativamente il numero di stati microscopici in un certo stato macroscopico.

Un modello di entropia della folla viene costruito per rivelare il grado di aggregazione della folla o il grado di deviazione dalla distribuzione casuale in base alla differenza di entropia.

La fluttuazione dell'entropia viene utilizzata per riflettere il disturbo causato dal movimento casuale degli individui. La variazione nella misura di entropia può evidenziare cambiamenti nel grado di aggregazione della folla.



41



(A) Crowd distribution at T1=15:02:53 (N=19)



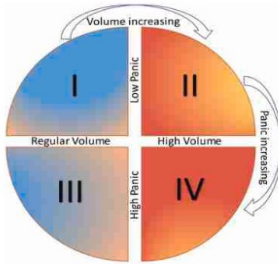
(B) Crowd distribution at T2=15:08:09 (N=21)



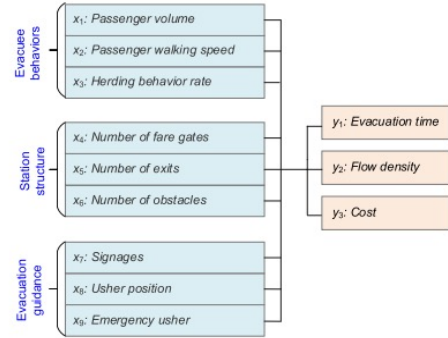
(C) Crowd distribution at T3=15:19:22 (N=27)

42

MOLTEPLICITA' DI SCENARI (GUO E ZHANG 2022)

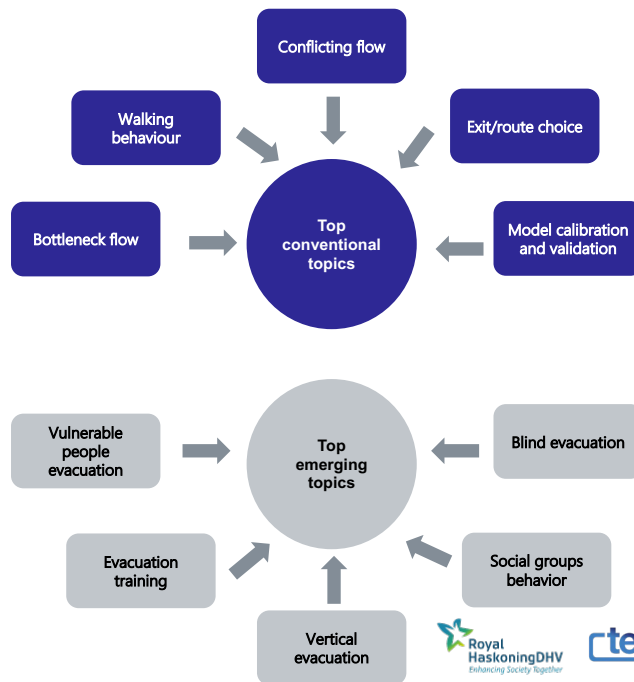


Factors	Scenarios			
	I	II	III	IV
x_1	1000	3000	1000	3000
x_2	Normal	Normal	Fast	Fast
x_3	Normal	Normal	High	High
x_4	20	20	20	20
$x_{5,1}$	3	3	3	3
$x_{5,2}$	4	4	4	4
x_6	All	All	All	All
x_7	Low	Low	Low	Low
x_8	External exits	External exits	External exits	External exits
x_9	4	4	4	4
Evaluation results				
Eva-time (y_1)	247	416	151	477
Max density (y_2)	3.4	5.4	3.9	6.2



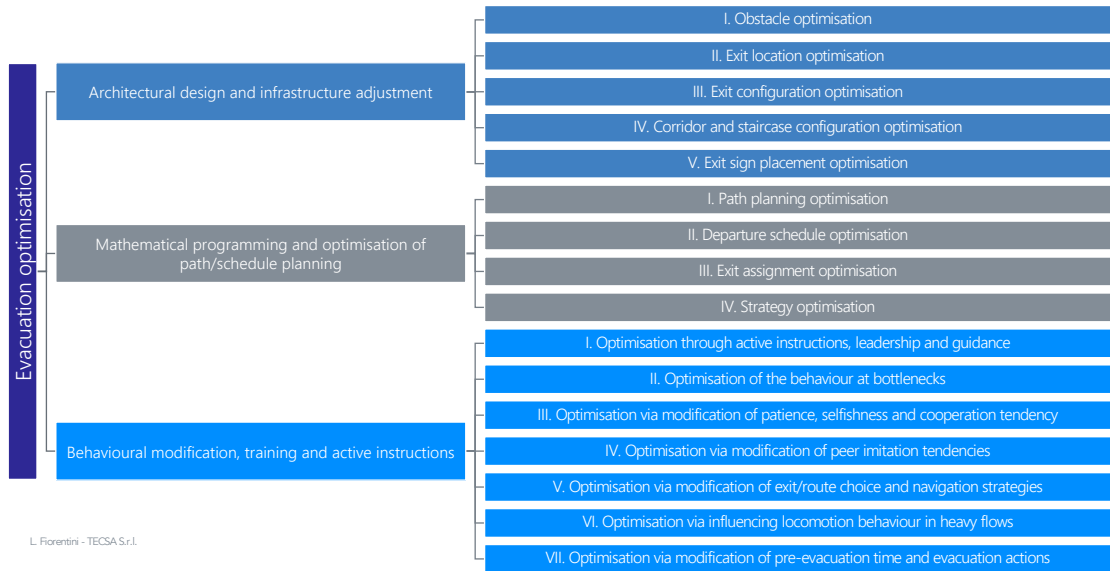
43

ASPETTI DI INTERESSE (HAGHANI 2020A)

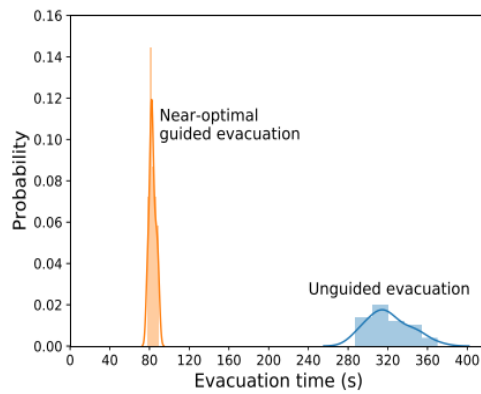


44

MISURE DA PORRE IN ESSERE (OTTIMIZZAZIONE) (HAGHANI 2020B)

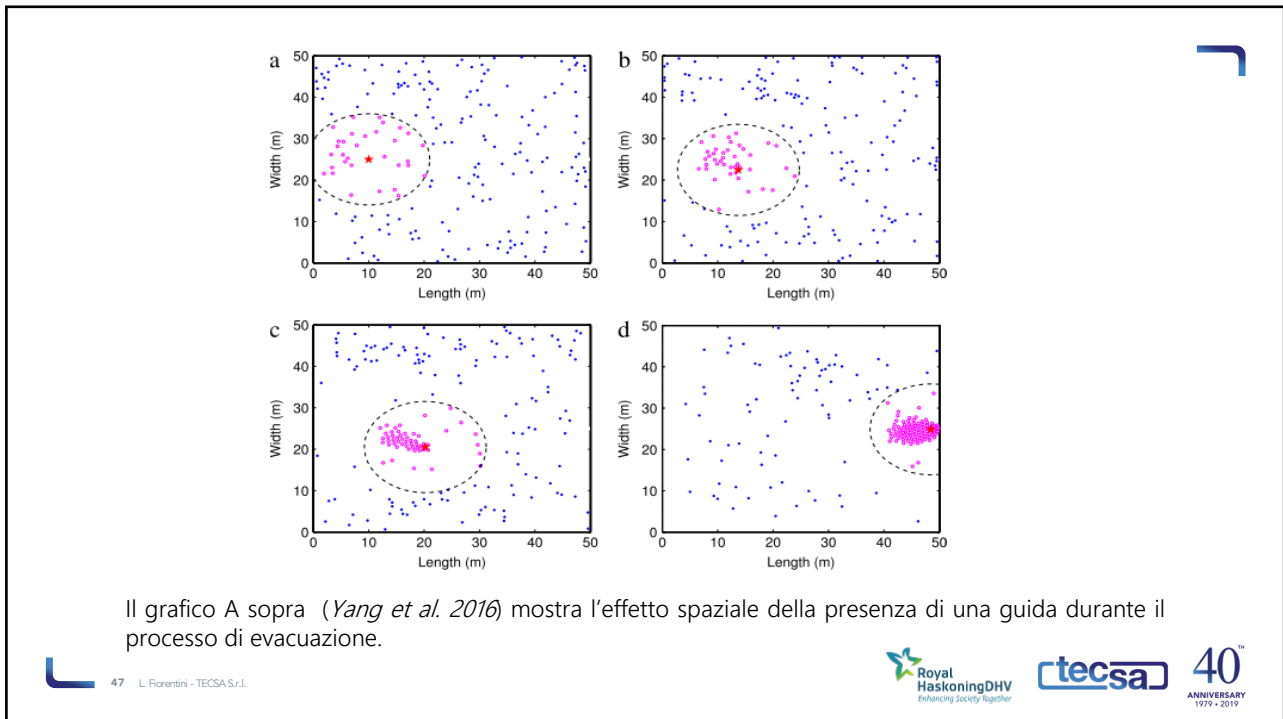


45

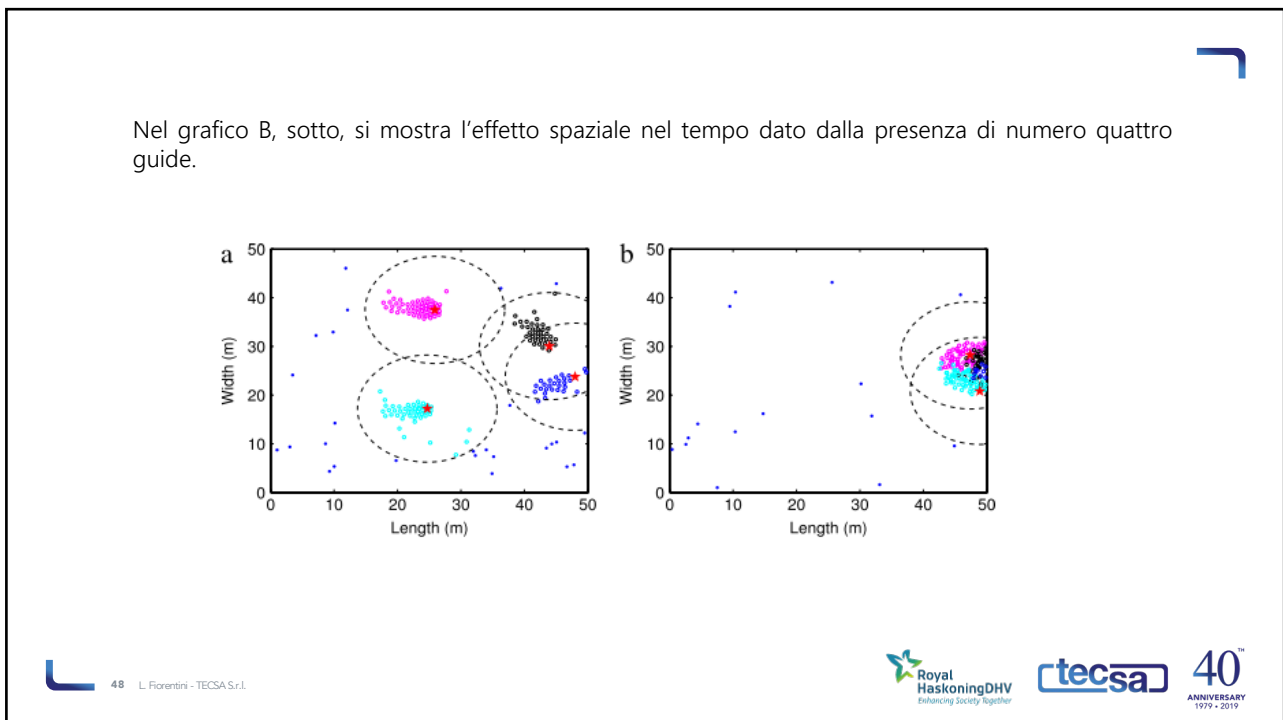


Il grafico sopra (Schantz e Ehtamo 2022) mostra come sia possibile ridurre il tempo complessivo di evacuazione impiegando misure di ottimizzazione di tipo organizzativo e gestionale (evacuazione guidata).

46



47



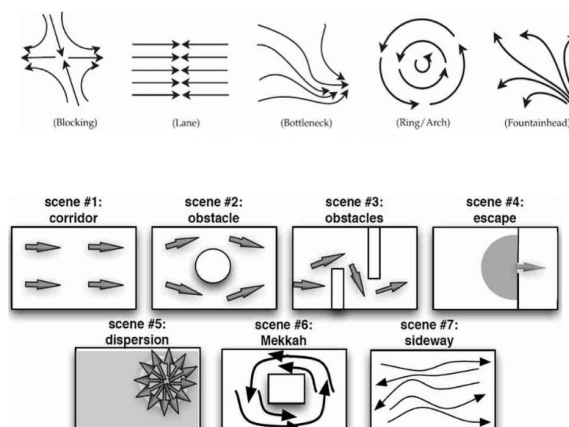
48

MATRIX APPROACH (STILL, 2013)

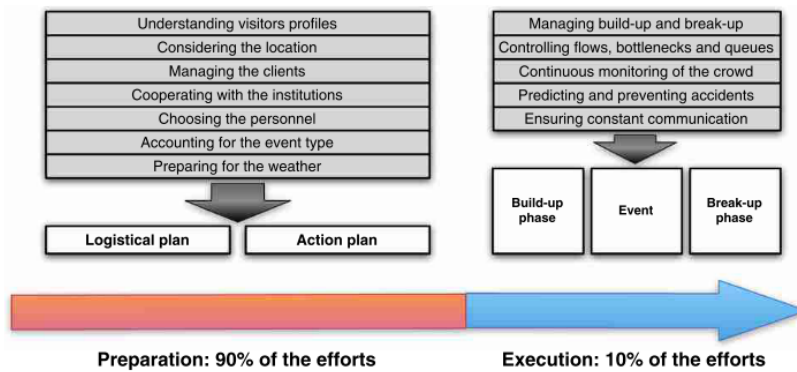
Normal	Ingress	Circulation	Egress
Design			
Information			
Management			

Emergency	Ingress	Circulation	Egress
Design			
Information			
Management			

PATTERN TIPICI (KOK ET AL. 2016)



IMPORTANZA DELLA PIANIFICAZIONE



51

Analisi del rischio – What-if?

I parametri che possono avere un impatto sulla sicurezza di un evento coinvolgente grandi affollamenti sono diversi:

cultura della sicurezza;

- layout;
- livello di addestramento dello staff;
- definizione di ruoli e responsabilità;
- piani e procedure di gestione degli affollamenti;
- livello di comunicazione etc.

Metodologia "What-if?" consiste in una sessione di 'brainstorming' partendo dalla domanda: 'Cosa accade se...?'

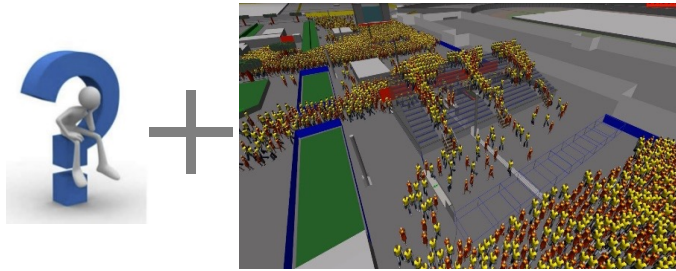
52

What-if? + Modellazione computazionale

La metodologia "What-if?" consente di effettuare una analisi dei rischi per la selezione delle misure di mitigazione e protezione.

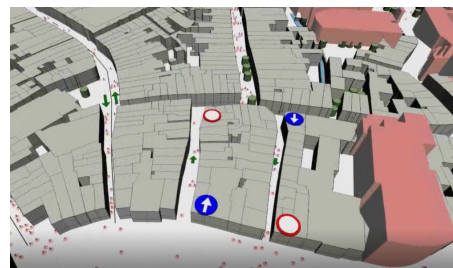
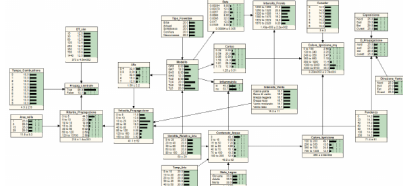
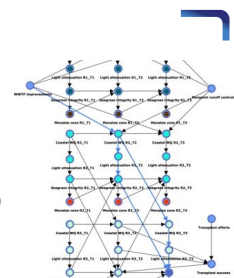
La metodologia può essere supportata dalla **modellazione computazionale**, che può essere utilizzata per valutare diverse alternative (strategie di esodo, layout etc.) e scegliere l'opzione di design più opportuna.

I risultati potrebbero essere utilizzati per supportare gli addetti dello staff nello addestramento in caso di emergenza



Approccio di analisi

- DEFINIZIONE DEGLI SCENARI MEDIANTE ANALISI «WHAT-IF?»
- CREAZIONE DEI DIAGRAMMI **BOW-TIE** DI RIFERIMENTO
- APPLICAZIONE DI UNA **RETE BAYESIANA** AL BOW-TIE DI RIFERIMENTO ATTRAVERSO **DIAGRAMMI DI INFLUENZA**
- CONDUZIONE DI UN PROCESSO **DOE** (DESIGN OF EXPERIMENTS)
- SVILUPPO DEGLI ESPERIMENTI MEDIANTE **TOPVENUE™**
 - INTEGRAZIONE DELL'ANALISI MONTE CARLO
- ANALISI DI SENSITIVITA'
- STESURA DEL «SAFETY CASE»



Il tool «speditivo»

57 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.

57

Misure di prevenzione e protezione

Esempi di misure che è possibile definire

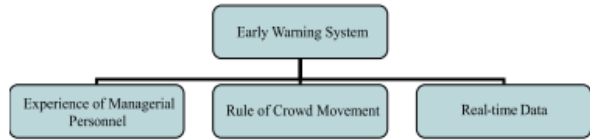
MISURE TECNICHE E GESTIONALI
Posizione di eventuali transenne per la suddivisione dei raggruppamenti di persone
Posizione della segnaletica di ingresso/uscita
Stabilire l'adeguatezza degli spazi adibiti al soccorso
Strumenti di comunicazione con la folla (Posizione altoparlanti)
Monitoraggio in continuo della folla (CCTV, comunicazioni interne)
Stabilire una strategia di esodo efficace
Posizioni cruciali per il personale dello staff

In base ai risultati dell'analisi di rischio il progettista può implementare delle misure per influenzare il comportamento della folla e ridurre il rischio

58 L. Fiorentini - TECSA S.r.l.

58

SISTEMI DI EWS



Fruin LoS	Density (ped/m ²)	Flow Rate (ped/min/m)	Flow Velocity (m/s)
LoS A	≤0.27	≤23	≥1.3
LoS B	0.43to0.31	23to33	1.27
LoS C	0.72to0.43	33to49	1.22
LoS D	1.08to0.72	49to66	1.14
LoS E	2.17to1.08	66to82	0.76
LoS F	> 2.17	Variable	≤0.76

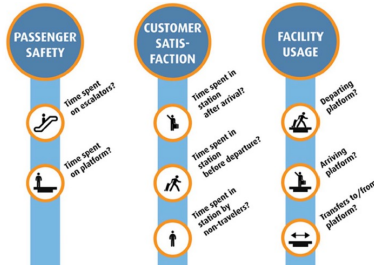
Classificazione tratta da (Li et al. 2016)

APPROFONDIRE PER COMPRENDERE

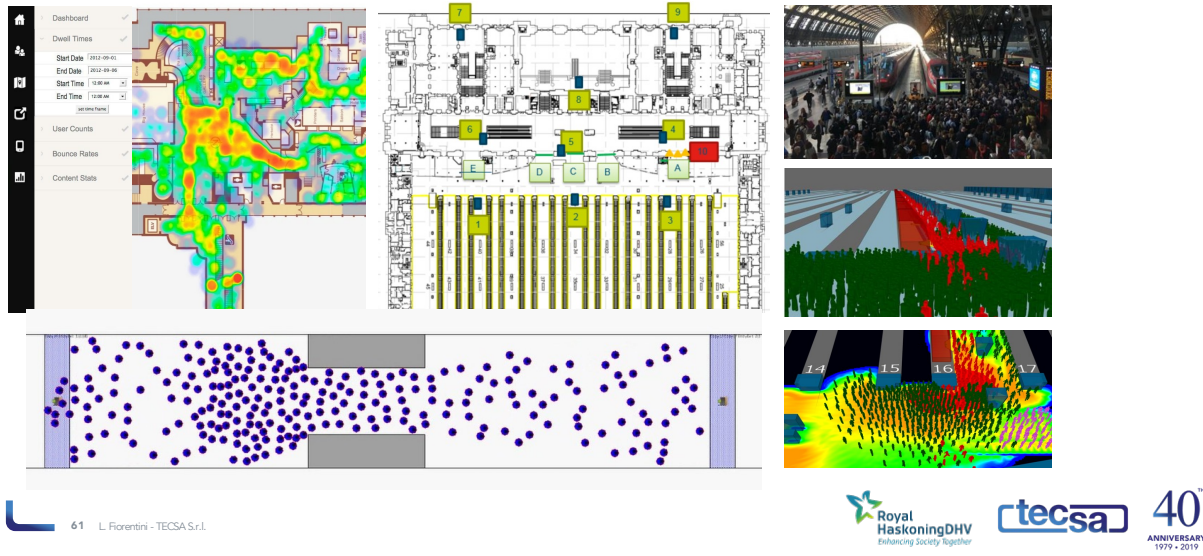


Fonti dati:

- sensori (WiFi/ Bluetooth, 3D infrared, lineari, contatori);
- train schedules;
- prenotazioni;
- tornelli
- informazioni commerciali (registratori di cassa)



INDICATORI E DASHBOARD



61

CONCLUSIONI

La complessità che caratterizza gli eventi pubblici impone rigore tecnico e scientifico, il coinvolgimento di tutti i portatori di interesse oltre che degli esperti di differenti discipline che operano all'interno di un percorso di valutazione consistente.

Approcci, metodi e strumenti sono selezionati in relazione agli obiettivi, al livello di dettaglio richiesto ed alle informazioni disponibili oltre che al livello di rischio individuato in una logica di assoluta proporzionalità diretta. In ogni caso la modellazione matematica, su scala opportuna, non può risolversi in singolari esercizi matematici.

L'incertezza deve essere **individuata e gestita**, non ignorata.

Il singolo evento può trovare il suo "digital-twin" nel suo "*piano di gestione della sicurezza*".

L'ampio margine di miglioramento che contraddistingue tutte le prospettive attraverso le quali è osservabile il contesto costituiscono oggi una assoluta opportunità per l'ingegnere.



62

BIBLIOGRAFIA (1/3)

- Abdelghany, Ahmed; Abdelghany, Khaled; Mahmassani, Hani; Alhalabi, Wael (2014): **Modeling framework for optimal evacuation of large-scale crowded pedestrian facilities**. In: European Journal of Operational Research n. 3, 237, pp. 1105–1118. DOI: 10.1016/j.ejor.2014.02.054.
- Alaska, Yasser A.; Aldawas, Abdulaziz D.; Algerian, Nawfal A.; Memish, Ziad A.; Suner, Selim (2017): **The impact of crowd control measures on the occurrence of stampedes during Mass Gatherings: The Hajj experience**. In: Travel medicine and infectious disease, 15, pp. 67–70. DOI: 10.1016/j.tmaid.2016.09.002.
- Alkhadim, Mohammed; Gidado, Kassim; Painting, Noel (2018): **Risk management: The effect of FIST on perceived safety in crowded large space buildings**. In: Safety Science, 108, pp. 29–38. DOI: 10.1016/j.ssci.2018.04.021.
- Bamaqa, Amna; Sedky, Mohamed; Bosakowski, Tomasz; Bakhtiari Bastaki, Benhur; Alshammari, Nasser O. (2022): **SIMCD: SIMulated crowd data for anomaly detection and prediction**. In: Expert Systems with Applications, 203, p. 117475. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117475.
- Bandini, Stefania; Mondini, Matteo; Vizzari, Giuseppe (2014): **Modelling negative interactions among pedestrians in high density situations**. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40, pp. 251–270. DOI: 10.1016/j.trc.2013.12.007.
- Bellomo, N.; Clarke, D.; Gibelli, L.; Townsend, P.; Vreugdenhil, B. J. (2016): **Human behaviours in evacuation crowd dynamics: From modelling to "big data" toward crisis management**. In: Physics of life reviews, 18, pp. 1–21. DOI: 10.1016/j.plrev.2016.05.014.
- Berner, Andreas; Alharbi, Tariq Saleem; Carlström, Eric; Khorram-Manesh, Amir (2015): **STREET: Swedish Tool for Risk/Resource Estimation at Events. Part one, risk assessment – face validity and inter-rater reliability**. In: Journal of Acute Disease n. 1, 4, pp. 37–43. DOI: 10.1016/S2221-6189(14)60080-9.
- Bistaraki, A.; McKeown, E.; Kyratsis, Y. (2019): **Leading interagency planning and collaboration in mass gatherings: public health and safety in the 2012 London Olympics**. In: Public health, 166, pp. 19–24. DOI: 10.1016/j.puhe.2018.09.031.
- Chen, Anying; He, Jingtao; Liang, Manchun; Su, Guofeng (2020): **Crowd response considering herd effect and exit familiarity under emergent occasions: A case study of an evacuation drill experiment**. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 556, p. 124654. DOI: 10.1016/j.physa.2020.124654.

BIBLIOGRAFIA (2/3)

- Chen, Changkun; Sun, Huakai; Lei, Peng; Zhao, Dongyue; Shi, Congling (2021): **An extended model for crowd evacuation considering pedestrian panic in artificial attack**. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 571, p. 125833. DOI: 10.1016/j.physa.2021.125833.
- Diamante, Darius Joseph R.; Ruiz, Alerik Ezekiel C.; Apad, Rex Emmanuel M.; Ferrer, John Paul Aloveel C.; Fillone, Alexis M. (2021): **Risk management assessment of mobile crowds: The case of the Black Nazarene procession in Manila, Philippines**. In: IATSS Research n. 4, 45, pp. 503–512. DOI: 10.1016/j.iatssr.2021.06.002.
- Guo, Hui; Guo, Xinyao; Lv, Wei; Song, Yinghua (2020): **Investigation of crowd's aggregation measurement based on an entropy model**. In: Safety Science, 127, p. 104714. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104714.
- Guo, Kai; Zhang, Limao (2022): **Simulation-based passenger evacuation optimization in metro stations considering multi-objectives**. In: Automation in Construction, 133, p. 104010. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104010.
- Haghani, Milad (2020a): **Empirical methods in pedestrian, crowd and evacuation dynamics: Part I. Experimental methods and emerging topics**. In: Safety Science, 129, p. 104743. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104743.
- Haghani, Milad (2020b): **Optimising crowd evacuations: Mathematical, architectural and behavioural approaches**. In: Safety Science, 128, p. 104745. DOI: 10.1016/j.ssci.2020.104745.
- Haghani, Milad; Sarvi, Majid (2019): **'Herding' in direction choice-making during collective escape of crowds: How likely is it and what moderates it?** In: Safety Science, 115, pp. 362–375. DOI: 10.1016/j.ssci.2019.02.034.
- Illiya, Faisal T.; Mani, Shibu K.; Pradeepkumar, A. P.; Mohan, Keshav (2013): **Human stampedes during religious festivals: A comparative review of mass gathering emergencies in India**. In: International Journal of Disaster Risk Reduction, 5, pp. 10–18. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2013.09.003.

BIBLIOGRAFIA (3/3)

- Kok, Ven Jyn; Lim, Mei Kuan; Chan, Chee Seng (2016): **Crowd behavior analysis: A review where physics meets biology**. In: Neurocomputing, 177, pp. 342–362. DOI: 10.1016/j.neucom.2015.11.021.
- Larsson, Anna; Ranudd, Elin; Ronchi, Enrico; Hunt, Aoife; Gwynne, Steve (2021): **The impact of crowd composition on egress performance**. In: Fire Safety Journal, 120, p. 103040. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103040.
- Li, Jianfeng; Wang, Lin; Tang, Sichuang; Zhang, Bin; Zhang, Yuanbao (2016): **Risk-based crowd massing early warning approach for public places: A case study in China**. In: Safety Science, 89, pp. 114–128. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.06.007.
- Lin, Peng; Ma, Jian; Liu, Tianyang; Ran, Tong; Si, Youliang; Li, Tao (2016): **An experimental study of the “faster-is-slower” effect using mice under panic**. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 452, pp. 157–166. DOI: 10.1016/j.physa.2016.02.017.
- Martella, C.; Li, J.; Conrado, C.; Vermeeren, A. (2017): **On current crowd management practices and the need for increased situation awareness, prediction, and intervention**. In: Safety Science, 91, pp. 381–393. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.09.006.
- Schantz, Anton von; Ehtamo, Harri (2022): **Minimizing the evacuation time of a crowd from a complex building using rescue guides**. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 594, p. 127011. DOI: 10.1016/j.physa.2022.127011.
- Sidiropoulos, George; Kiourt, Chairi; Moussiades, Lefteris (2020): **Crowd simulation for crisis management: The outcomes of the last decade**. In: Machine Learning with Applications, 2, p. 100009. DOI: 10.1016/j.mlwa.2020.100009.
- Wang, Xinjian; Liu, Zhengjiang; Wang, Jin; Loughney, Sean; Zhao, Zhiwei; Cao, Liang (2021): **Passengers’ safety awareness and perception of wayfinding tools in a Ro-Ro passenger ship during an emergency evacuation**. In: Safety Science, 137, p. 105189. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105189.
- Yang, Xiaoxia; Dong, Hairong; Yao, Xiuming; Sun, Xubin; Wang, Qianling; Zhou, Min (2016): **Necessity of guides in pedestrian emergency evacuation**. In: Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 442, pp. 397–408. DOI: 10.1016/j.physa.2015.08.020.





RELATORE

LUCA FIORENTINI

luca.fiorentini@tecsasrl.it






67


Thank you!





TECSA S.R.L.
Via Figino, 101 // 20016 Pero (Milano) ITALY

☎ t +39 02 33910484 // fax +39 02 33910737

✉ tecsa@tecsasrl.it

🌐 www.tecsasrl.it

FOLLOW US ON 

68