

SLIDE COMMENTATE USATE NELLA LEZIONE TENUTA IL 16 GIUGNO 2016  
PRESSO L'ORDINE DEGLI INGEGNERI DI ROMA



# Introduzione



© AFR/GETTY IMAGES

## **Premessa generale**

Questa pubblicazione è nata con l'idea di aggiungere un breve commento alle *slide* proiettate dell'intervento che l'Autore ha svolto presso l'Ordine degli Ingegneri di Roma il 16 giugno 2016 per illustrare i principi di base dell'applicazione dell'approccio ingegneristico alla redazione dei piani di emergenza che riguardano la scala urbana o territoriale. Non si tratta quindi di un esame approfondito di una materia. Al suo interno, invece, c'è solo un breve commento a delle immagini esposte secondo un certo ordine per avviare un dibattito su un argomento che riguarda la sicurezza di grandi gruppi di persone.

L'Autore, dopo aver approfondito e pubblicato analisi sull'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendi, da alcuni anni si occupa di applicazione delle tecnologie della comunicazione e dell'informazione alla gestione dell'emergenza. Proprio da questa branca dell'attività di ricerca sta emergendo, secondo l'Autore, l'opportunità di innalzare il livello qualitativo delle pianificazioni dell'emergenza attraverso l'uso di strumenti e di un approccio culturale analoghi a quelli dell'ingegneria della sicurezza antincendi.

La lezione presso l'Ordine degli Ingegneri di Roma e questo contributo possono essere letti come la proposta di un nuovo metodo di approccio alla pianificazione dell'emergenza su scala urbana o territoriale. Essa si basa sul fatto che ormai sono disponibili ed accessibili ai professionisti strumenti adeguati per pianificare anche le emergenze a scala urbana in modo molto più preciso ed affidabile di quanto non avvenga con l'attuale metodo empirico seguito nella maggior parte dei casi. Da

questa disponibilità nasce l'obbligo morale di usare gli strumenti nuovi, tenendo conto che qualche difficoltà in più rispetto all'ingegneria antincendio ancora esiste, dovuta essenzialmente al fatto che non esista una formalizzazione del metodo. Un tentativo in tale senso è partito dalla NFPA (*National Fire Protection Association*) che ha attivato un comitato sulla pianificazione dell'esodo di massa (1616 - *Common Mass Evacuation and Sheltering*).

## **Premessa tecnica**

Predisporre la pianificazione dell'emergenza di un edificio è un obbligo sancito da norme vigenti nel settore della sicurezza dei luoghi di lavoro e della prevenzione degli incendi. Normalmente, stabilire chi e cosa deve fare in caso di emergenza è uno dei passaggi che il responsabile o il titolare compie nel processo di progettazione e verifica di un edificio. In particolare si pianifica l'emergenza dopo aver valutato i rischi e aver progettato le misure di sicurezza (di tipo edilizio, impiantistico e gestionale). La pianificazione dell'emergenza, intesa come la descrizione delle azioni da compiere dal momento in cui viene rilevata una situazione di potenziale pericolo al momento in cui tutte le persone sono state portate in sicurezza, pertanto, ricade tra le misure gestionali, insieme alla pianificazione dei controlli, alla formazione e all'informazione del personale dipendente, va considerata.

Nel caso di situazioni che coinvolgono non singoli edifici ma un ambito territoriale più ampio, vale lo stesso principio appena descritto per i singoli edifici. Anche sotto il profilo degli obblighi normativi infatti, esistono alcune disposizioni che prevedono la redazione di pianificazioni di emergenza. Si può ricor-



dare a questo proposito il decreto legislativo numero 105 del 2015 che ha recepito l'ultimo aggiornamento della direttiva Seveso, ma anche le attribuzioni ai comuni in materia di protezione civile che prevedono la redazione di piani comunali di emergenza le quali devono essere indicate le azioni che la popolazione deve mettere in atto in caso di calamità, tra le quali in alcuni casi va prevista l'evacuazione.

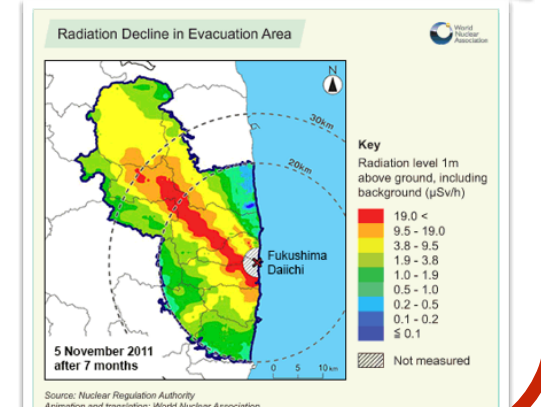
### La normativa di riferimento

L'applicazione più immediata della valutazione ingegneristica dell'esodo di massa è quello del settore della Protezione civile ed in particolare dei piani di emergenza comunale. In questo caso, infatti, il decreto-legge n. 59 del 15 maggio 2012 convertito dalla legge n. 100 del 12 luglio 2012 - "disposizioni urgenti per il riordino della protezione civile, per quanto riguarda i piani di protezione civile" stabilisce un obbligo preciso di redazione dei piani di emergenza.

Un piano di protezione civile, infatti, sulla base dell'analisi dei rischi a cui un determinato territorio esposto, deve definire le modalità di allarme alla popolazione e le azioni che la popolazione stessa deve adottare in relazione agli specifici rischi. Ovviamente, non è assolutamente detto che ad ogni evento oggetto di considerazione da parte di un piano di protezione civile corrisponda un esodo di massa. Al contrario, esistono molti casi nei quali una delle scelte più critiche che deve essere fatta in sede di pianificazione e di gestione l'emergenza è quella di



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



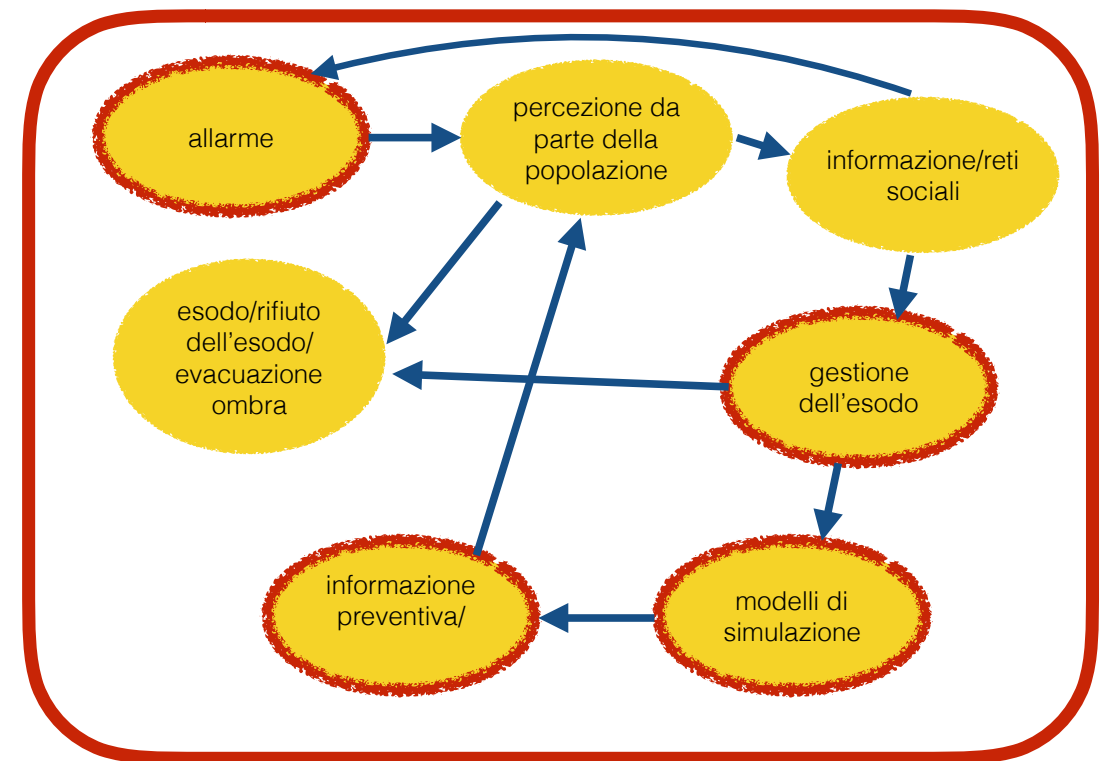
Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

stabilire se sia più sicuro rimanere sul luogo o allontanarsi, da-

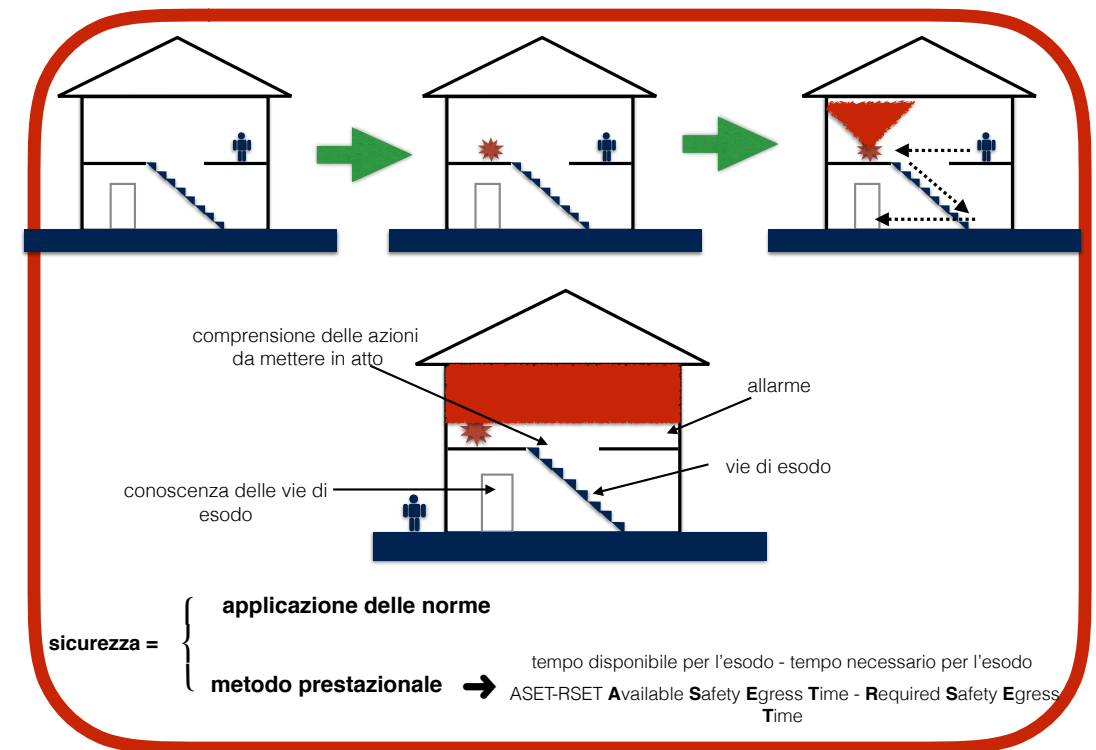
to che ogni evacuazione di massa di per sé comporta una esposizione al rischio.

Un altro provvedimento normativo che può richiedere l'applicazione delle conoscenze trattate in questa breve presentazione è il decreto legislativo 26 giugno 2015, n. 105 "Attuazione della direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose". In particolare, per quanto riguarda i piani di emergenza esterni da predisporre per la sicurezza delle aree circostanti gli impianti a rischio di incidente rilevante, appare evidente l'importanza di disporre di strumenti di analisi per una valutazione oggettiva dei termini dell'esodo. Analogamente, la previsione del decreto legislativo 6 febbraio 2007, n. 52 - "Attuazione della direttiva 2003/122/CE Euratom sul controllo delle sorgenti radioattive sigillate ad alta attività e delle sorgenti orfane", sulla pianificazione delle emergenze nucleari e radiologiche, appare essere pienamente ricadente nel campo di interesse di questa disciplina.

Da ultimo, si cita il decreto-legge 7 settembre 2001, n. 343 convertito dalla legge 9 novembre 2001, n. 401 recante: "Disposizioni urgenti per assicurare il coordinamento operativo delle strutture preposte alle attività di protezione civile e per migliorare le strutture logistiche nel settore della difesa civile", che riguarda i grandi eventi e, quindi, la sicurezza di grandi numeri di persone concentrate in luoghi definiti.



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



## **Ipotesi di metodo di valutazione**

La tesi che l'Autore sostiene in questo documento è che anche i piani di emergenza esterni ed i piani di protezione civile debbano essere ormai studiati e valutati secondo tecniche già disponibili ed utilizzati nell'attività di prevenzione degli incendi a protezione degli edifici e delle persone che li utilizzano.

Sebbene molti degli aspetti della sicurezza antincendio negli edifici non abbiano nulla a che fare con gli elementi di cui si deve tenere conto nelle pianificazioni di emergenza su larga scala, il metodo di valutazione a parere dell'Autore non differisce nei due casi. La questione di fondo, infatti, dovrebbe essere quella di mettere in grado il professionista di confrontare il tempo necessario per mettere in una condizione di sicurezza le persone con il tempo disponibile per mettere in atto le azioni necessarie. Indipendentemente dagli scenari e dai fattori di rischio, quindi, una pianificazione dell'emergenza su scala urbana dovrebbe partire dall'analisi del rischio, dalla valutazione degli effetti, dalla capacità di calcolare gli effetti della minaccia a cui persone e beni sono soggetti, anche nella sua dimensione temporale, e verificare se la risposta che ci si aspetta dalle persone sia realistica. Tradotto nelle questioni pratiche il professionista si trova ad affrontare, questo vuol dire essere in grado di simulare, ad esempio, la severità e la velocità di propagazione di un incendio boschivo per poi valutare se i tempi di allarme alla popolazione ed il suo eventuale allontanamento dall'area a rischio possa avvenire in condizioni di sicurezza adeguata entro tempi compatibili con la minaccia. A sua volta, questo implica che il professionista sia in grado di valutare il tempo necessario alla popolazione per acquisire la con-

sapevolezza del rischio a cui è esposta e delle azioni da adottare (che si tratti di fuggire o rimanere in un luogo protetto) in relazione al mezzo usato per dare l'allarme e veicolare le informazioni. Da questa considerazione emerge l'importanza delle reti sociali e, più in generale, delle tecnologie dell'informazione, che hanno già fatto la loro irruzione nel mondo della gestione dell'emergenza senza però essere state ancora oggetto, nello specifico settore, di una trattazione sistematica o di un dibattito multidisciplinare.

Questo breve testo cerca di illustrare alcuni dei diversi aspetti di cui tenere conto nella valutazione di un piano di emergenza, inquadrando i diversi passaggi secondo una visione di ingegnerizzazione

del metodo di lavoro, cioè di giustificazione delle scelte sulla base di numeri, in tutti i casi in questo sia possibile. Negli altri casi, invece, deve essere il giudizio esperto a guidare le scelte.



*La festa di Sant'Ubaldo a Gubbio il 15 maggio di ogni anno raccoglie decine di migliaia di persone nella piazza della cittadina umbra*

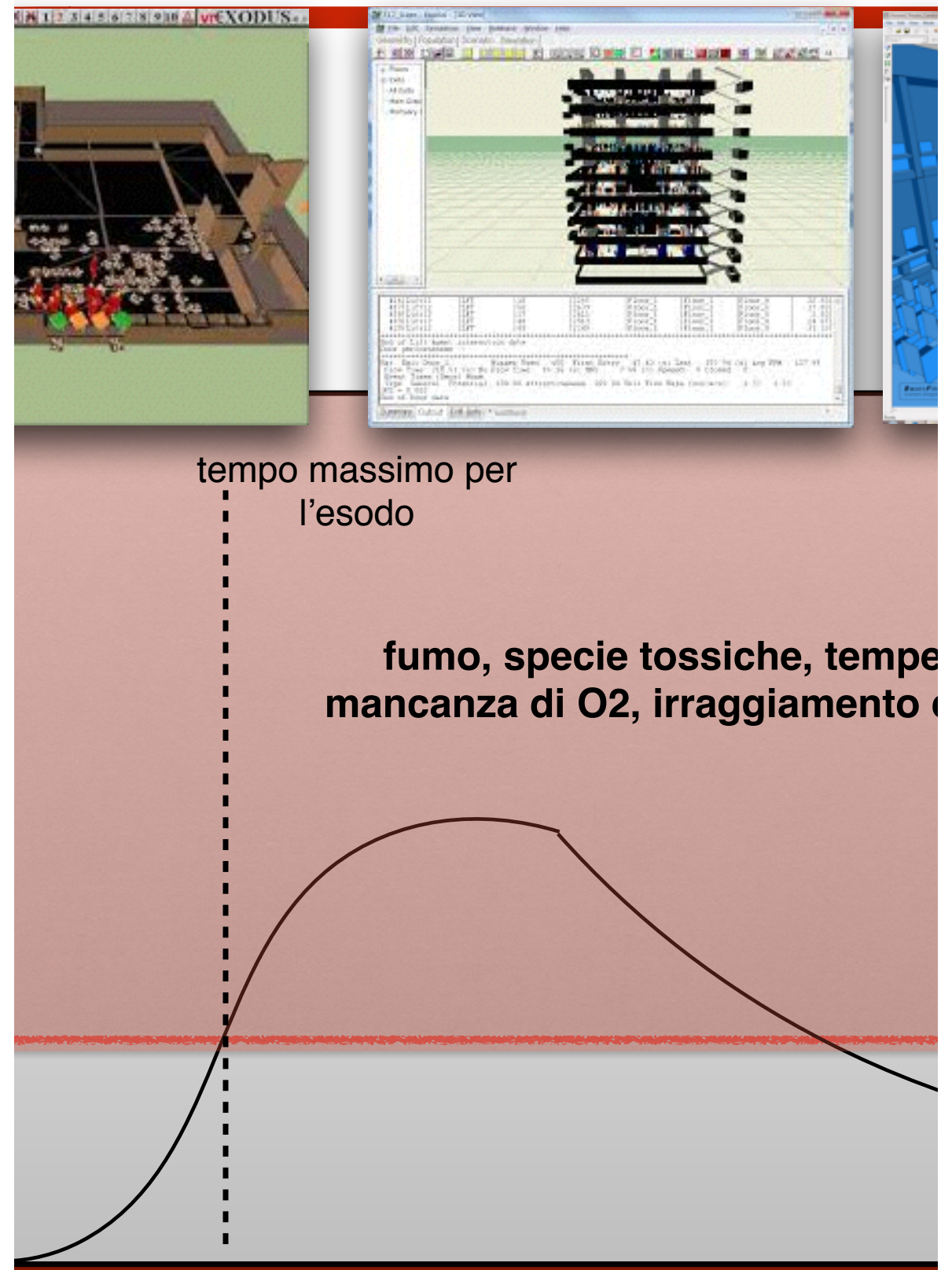
## **Notizie sull'Autore**

Stefano Marsella è un ingegnere, dirigente del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Nel corso degli anni ha avuto la possibilità di affiancare alle attività operative, di prevenzione incendi e di dirigente presso sedi centrali e territoriali del Corpo, lo studio e la ricerca nei settori dell'ingegneria antincendio a livello nazionale e delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione applicate allo scambio dati in emergenza ed europeo.

Oltre a seguire all'impegno legato agli incarichi di istituto, segue il Comitato NFPA 1616 (*Common Mass Evacuation and Sheltering*) e coordina la partecipazione del Corpo di progetti di ricerca finanziati dalla UE per innovare l'uso delle tecnologie di gestione dell'emergenza.

# Valutazione del rischio e misure di sicurezza dell'esodo



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri



## **1. Dal metodo convenzionale al metodo ingegneristico**

Per introdurre i principi di pianificazione dell'esodo su larga scala conviene partire dalle considerazioni utilizzate nella sicurezza in caso di incendio degli edifici alle quali, quindi, va dedicato un breve accenno.

L'attuale impostazione permette di risolvere il problema di stabilire se la sicurezza di un edificio sia accettabile attraverso due metodi del tutto diversi. Un modo, quello nato prima e più diffuso, si basa sull'applicazione di norme prescrittive che prendono in considerazione diversi aspetti che concorrono a incidere sulla sicurezza dell'esodo, quali ad esempio la larghezza, lunghezza e conformazione dei corridoi, delle porte e delle scale, la reazione al fuoco dei materiali di rivestimento ed arredo, le caratteristiche degli impianti di allarme e di illuminazione.

Il metodo più recente, sviluppato a partire da ricerche iniziate negli anni '60 ma formalizzato e diffuso fino ad arrivare ad un uso effettivo negli ultimi quindici anni, si basa sulla valutazione ingegneristica di tutti i parametri che, secondo l'esperienza del professionista che compie la valutazione, permettono di arrivare a confrontare il tempo necessario per l'esodo con il tempo che l'incendio (più precisamente, i diversi scenari di incendio selezionati sulla base dell'analisi del rischio) lascia a disposizione delle persone che si trovano nell'edificio per allontanarsi (o rimanere in luoghi protetti in attesa dei soccorsi) in condizioni di sicurezza accettabile.

Questi concetti, espressi in modo sicuramente sintetico e probabilmente incompleto, possono essere resi graficamente nei disegni che mostrano, nel primo caso, la tavola riepilogativa delle norme sulla sicurezza dell'esodo, in cui in cinque riquadri sono indicati i principali (ma non tutti) controlli da compiere quando si applica il metodo tradizionale.

La curva di evoluzione dell'incendio, invece, è esplicativa del modo di trattare la sicurezza secondo l'approccio ingegneristico, che introduce il tempo nella trattazione della sicurezza a differenza dell'approccio tradizionale che non lo considera mai quando si valuta l'esodo delle persone. Sebbene questa considerazione possa apparire paradossale, la sua motivazione ha delle basi solide sotto il profilo dell'applicabilità della norma. Le ricerche svolte dall'Autore hanno portato ad individuare la prima applicazione del metodo attuale, che risolve la sicurezza delle vie di esodo nel rapporto tra affollamento di un dato ambiente e larghezza delle vie di esodo, nel primo regolamento edilizio della città di New York (USA). In particolare, a seguito di incendi di una certa gravità che avevano interessato i primi edifici alti che esistevano al mondo (in particolare, destò particolare impressione la strage di numerosi lavoratori in un laboratorio tessile posto ad un piano alto), la città decise di imporre la seguente regola: tutte le rampe che servivano un dato piano dovevano essere in grado di contenere tutte le persone ivi presenti. Le misure prese all'epoca portarono a definire una larghezza di 22 pollici per ogni persona, misura molto vicina a 60 cm, che si disponeva sulla scala accanto ad un'altra. Da questa regola, che aveva il pregio di essere molto semplice da imporre e altrettanto semplice da controllare, è nata

l'impostazione attuale delle norme di prevenzione incendi sull'esodo.

Ovviamente, questo tipo di risposta è inutilizzabile ai fini della valutazione dell'esodo su larga scala, perchè non tiene conto del fattore tempo. La sua parziale inadeguatezza iniziò a divenire chiara dopo qualche decennio, tanto che già negli anni trenta, sempre negli Stati Uniti, ebbero inizio degli studi che miravano a integrare il modello capacitivo (vie di esodo calcolate come contenitori di persone e quindi valutati in base alla loro capacità) con considerazioni sul tempo di esodo, e quindi sul flusso di persone. Questi studi, soprattutto quelli degli successivi agli anni '50, sono ancora utilizzabili da parte di chi intende verificare in modo più puntuale l'adeguatezza della sicurezza delle persone in un edificio, aprendo la porta all'approccio dell'ingegneria della sicurezza antincendio.

Una riflessione sul passaggio dal metodo capacitivo al metodo di flusso, che merita di essere richiamata in questa descrizione sintetica, riguarda aver dato la possibilità alla comunità che si occupa di questa materia di considerare nelle valutazioni di sicurezza le esigenze delle persone con capacità diversa. Questo tema sarà importante anche nella trattazione sull'esodo su larga scala in quanto dirimente per diverse scelte da compiere in fase di pianificazione del sistema che va dall'allerta pubblica alla messa in sicurezza della popolazione.

## **2. Classificazione dei metodi di valutazione della sicurezza dell'esodo**

Per introdurre i principi di pianificazione dell'esodo su larga scala conviene partire dalle considerazioni utilizzate nella sicurezza in caso di incendio degli edifici alle quali, quindi, va dedicato un breve accenno.

L'attuale impostazione permette di risolvere il problema di stabilire se sia accettabile il livello di sicurezza che un edificio può garantire sulla base di come è stato realizzato e di come è gestito attraverso due metodi del tutto diversi.

Il metodo più diffuso (che è stato introdotto prima nelle norme degli ultimi due secoli), si basa sull'applicazione di prescrizioni, che prendono in considerazione i diversi aspetti che concorrono a incidere sulla sicurezza dell'esodo. Queste norme, quindi specificano la larghezza minima dei corridoi, delle porte e delle scale, la loro lunghezza massima e in taluni casi la loro conformazione. Inoltre vincolano la reazione al fuoco dei materiali di rivestimento e di arredo, le caratteristiche degli impianti di allarme e di illuminazione.

Un metodo che si è andato affermando in tempi più recenti si basa, invece, sul controllo delle prestazioni che l'edificio deve assicurare. In un certo senso è più recente, dato che è stato introdotto nei regolamenti nazionali solo negli ultimi venti anni. dal punto di vista storico, però, questa impostazione è sicuramente la più antica, dato che se ne trova traccia nel codice di Hammurabi. Il suo uso attuale, comunque, è consentito dalla larga disponibilità di dati attendibili sulla combustione dei materiali e sulla disponibilità di applicativi di simulazione degli

incendi affidabili e di capacità di calcolo adeguate a prezzi accessibili ai professionisti.

Ai fini della valutazione dell'esodo di massa è essenziale che sia compresa la differenza tra i due approcci, dato che il metodo tradizionale è sempre meno utile quanto più ci si allontana dalle condizioni di esodo in un edificio e ci si avvicina a quelle degli spazi aperti e di grandi numeri di persone.

Il passaggio concettuale dal metodo tradizionale a quello prestazionale è netto. Nel primo caso si fa riferimento a vie di esodo che devono essere in grado di contenere un numero di persone commisurato all'ambiente che servono (uno o più piani di un edificio, un compartimento ecc.), mentre nel metodo prestazionale sono forniti gli strumenti per valutare il tempo necessario al passaggio di un certo numero di persone attraverso percorsi di una data larghezza, scale con un dato rapporto alzata/pedata, corrimano che sporgono di una certa distanza dalle pareti e così via.

Questi metodi, soprattutto quando sono sostenuti da programmi di calcolo, consentono di affinare la simulazione del movimento in emergenza in modo sempre più aderente alle reali sollecitazioni a cui l'individuo è soggetto, dando luogo ad una classificazione specifica che vede tra i sistemi più complessi i modelli comportamentali.

Una notazione importante riguarda il tema della valutazione dell'esodo delle persone con difficoltà di movimento o di tipo sensoriale. Anche su questo specifico aspetto nella trattazione prestazionale della sicurezza è già disponibile un'ampia quantità di dati che permettono di valutare in modo accurato rispo-

ste di progettazione e di gestione che riguardano una parte rilevante della popolazione. In un certo senso, l'approccio prestazionale permette di avvicinarsi molto di più alle esigenze delle fasce vulnerabili della popolazione di quanto non permetta l'approccio tradizionale.

**critéri di esodo nella prevenzione incendi**

**Il Flusso specifico**  
Per rendere omogenei i dati che rappresentano l'affollamento e la larghezza delle vie di esodo si utilizza il flusso specifico, che rappresenta il numero di persone che oltrepassano un punto della via di esodo per unità di tempo e di larghezza effettiva. È l'analogo del flusso specifico in idraulica

$$F_s = Dv$$

Sostituendo i termini della relazione precedente:  
Per densità maggiori di 0,55 p/m  $F_s = Dv = (1-aD)kD$   
Per densità minori di 0,55 p/m  $F_s = 0,85 kD$

La larghezza è intesa come larghezza effettiva, e cioè quella reale diminuita di un valore variabile B, *boundary layer*

componente	B (mm)
Sedie poltrone teatri	0
corrimano	89
ostacoli	100
Scale, porte	150
Corridoi, muri per rampe	200

Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



## Modelli parzialmente comportamentali

I modelli parzialmente comportamentali calcolano in primo luogo lo spostamento delle persone, anche se prevedono l'influenza del comportamento in un modo semplificato, simulando il tempo di pre-movimento (distribuito tra le persone presenti), le difficoltà motorie, il sorpasso e l'effetto di fumo e calore.

La maggior parte di questi modelli ricorre alla legge che della correlazione tra velocità e densità per calcolare il movimento delle persone. Rispetto ai modelli comportamentali quelli parzialmente comportamentali introducono le differenze tra le persone in termini fisici (dimensioni del corpo, ritardo nel movimento ecc.) piuttosto che sotto il profilo cognitivo.

## Modelli comportamentali

I modelli comportamentali prendono in considerazione le decisioni ed il comportamento delle singole persone, oltre al movimento verso l'uscita.

Le regole di comportamento in base alle quali le persone si muovono (ad esempio, se una persona nota del fumo nel vano scala non vi entrerà e cercherà un'altra uscita) sono definite in ciascun modello.

Quasi tutti i modelli comportamentali hanno la possibilità di assegnare probabilità alle attività svolta da ogni persona. Queste sono associate sia alla verosimiglianza di effettuazione che alla distribuzione dei tempi per ogni azione secondo la probabilità di accadimento.

Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

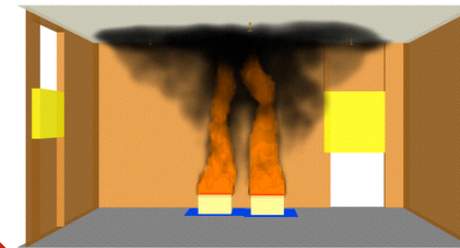
## Norme di sicurezza

verifica del rispetto da parte del progetto delle misure (normalmente di tipo prescrittivo)

## Metodo prestazionale

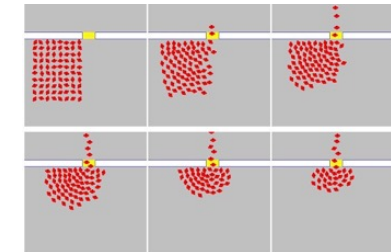
### tempo disponibile per l'esodo

- modelli di propagazione dell'incendio
- simulazione dell'incendio
- definizione degli scenari



### tempo necessario per l'esodo

- tempo per l'allarme
- tempo di pre-movimento
- tempo di esodo



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

## Il Modello di flusso

La capacità di esodo dei componenti approssima una funzione lineare della larghezza effettiva della porta.

Il tempo di movimento è determinato dalla distanza da percorrere e dalla velocità, secondo la relazione tempo (s) = distanza (m) / velocità (m/s).

Sia la distanza che la velocità non sono determinati a priori. Sulla prima, infatti, è determinante la scelta della persona, mentre la seconda è funzione della densità di persone e delle loro caratteristiche. Influenzano la velocità, inoltre, il fumo e la visibilità dei percorsi, la larghezza e la pendenza degli elementi, il tipo di superficie di muri e pavimenti.

Nel modello di flusso le informazioni di base devono disporre dei dati su:

- **velocità** (su corridoi, rampe, scale – per queste ultime si calcola la velocità diagonale tra le testate delle rampe);
- **flusso**: il numero di persone che passa attraverso una particolare sezione del sistema di esodo per unità di tempo (persone/sec che oltrepassano una porta, una linea immaginaria in un corridoio ecc.);
- **flusso specifico**: il flusso per unità di superficie del componente di esodo (persone/sec-m di larghezza di un determinato elemento).

Componente di esodo		k (m/s)
Corridoi, rampe, passaggi, porte		1,40
Alzata (mm)	Pedata (mm)	
190	254	1,00
172	279	1,08
165	305	1,16
165	330	1,23

individuo	Larghezza al torace (m)	Profondità del corpo (m)	Velocità normale (m/s)
Media	0,50	0,30	1,30
Maschio adulto	0,54	0,32	1,35
Femmina adulta	0,48	0,28	1,15
Bambino	0,42	0,24	0,90
Anziano	0,50	0,30	0,80

caratteristiche	Velocità in piano	Scale in discesa	Scale in salita
Sedia a ruote elettrica	0,89		
Sedia a ruote manuale	0,69		
Stampelle	0,94	0,22	0,22
Bastone	0,81	0,32	0,34
Bastone o appoggio	0,51		
rollator	0,61		
Nessun aiuto	0,93		0,41
Senza disabilità	1,24	0,70	0,70

Ingegneri - 2003

Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

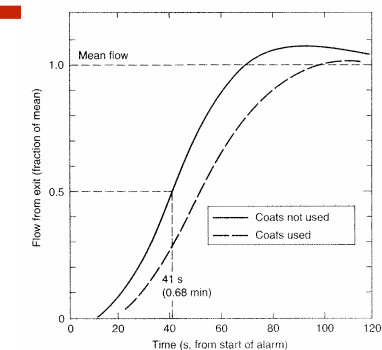
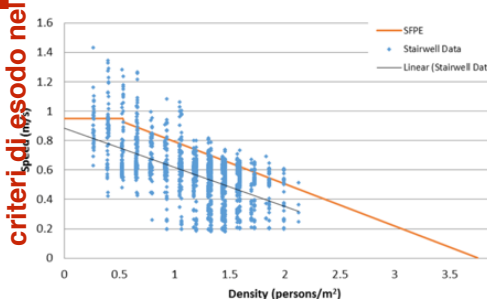
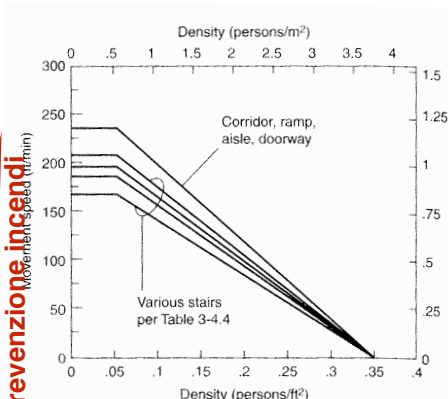
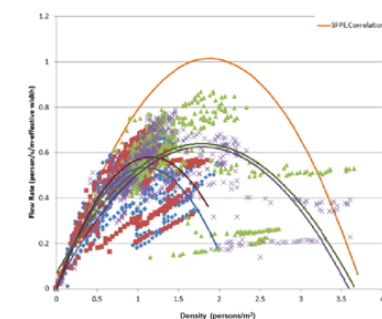
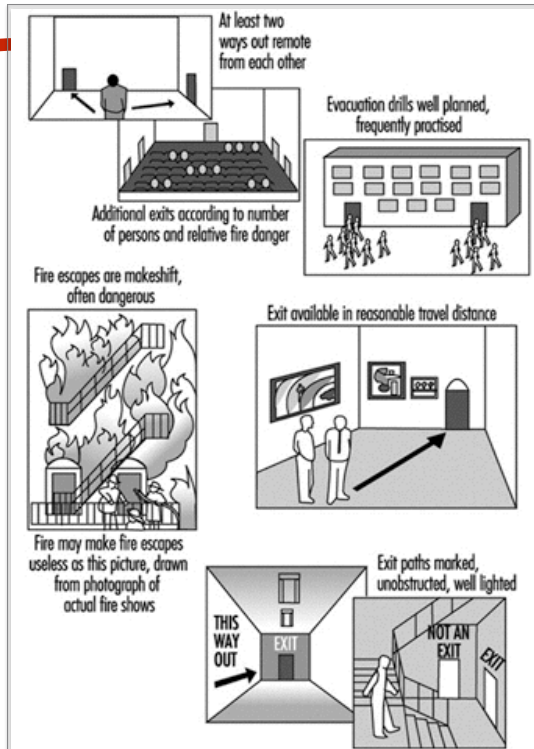


Figure 3-13.7. Buildup of flow from exits in uncontrolled total evacuations of tall office buildings.



[http://www.sfrpe.org/page/FPE\\_FT\\_Issue\\_85/An-Overview-of-Research-on-Occupant-Movement-in-Building-Stairwells.htm](http://www.sfrpe.org/page/FPE_FT_Issue_85/An-Overview-of-Research-on-Occupant-Movement-in-Building-Stairwells.htm)

Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



[http://www.iloencyclopaedia.org/component/k2/item/759-passive-fire-protection-measures#FIR\\_fig5](http://www.iloencyclopaedia.org/component/k2/item/759-passive-fire-protection-measures#FIR_fig5)

Esodo in emergenza: alcune considerazione generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

In risposta a queste esigenze, esiste un grande numero di valori che possono essere calcolati per prevedere il tempo totale di esodo

- Tempo necessario per abbandonare l'edificio;
- Tempo necessario per abbandonare il piano;
- Tempo necessario per liberare le scale;
- Tempo per compiere il percorso più lungo;
- Calcolo dell'esposizione degli individui;

$$t = t_1 + t_2 + t_3$$

In cui

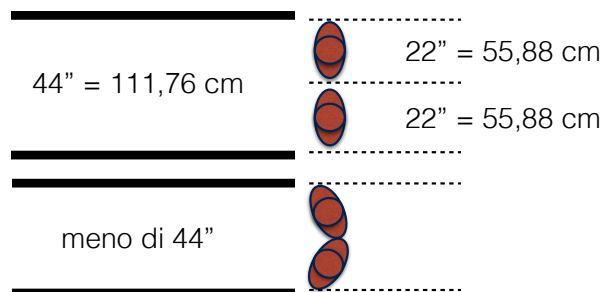
- $t_1$  = tempo necessario per la prima persona per raggiungere un elemento di sicurezza
- $t_2$  = tempo necessario al gruppo per attraversare un elemento di sicurezza
- $t_3$  = tempo necessario per l'ultima persona per lasciare un dispositivo di allarme o sicurezza e raggiungere uno spazio sicuro

Esodo in emergenza: alcune considerazione generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

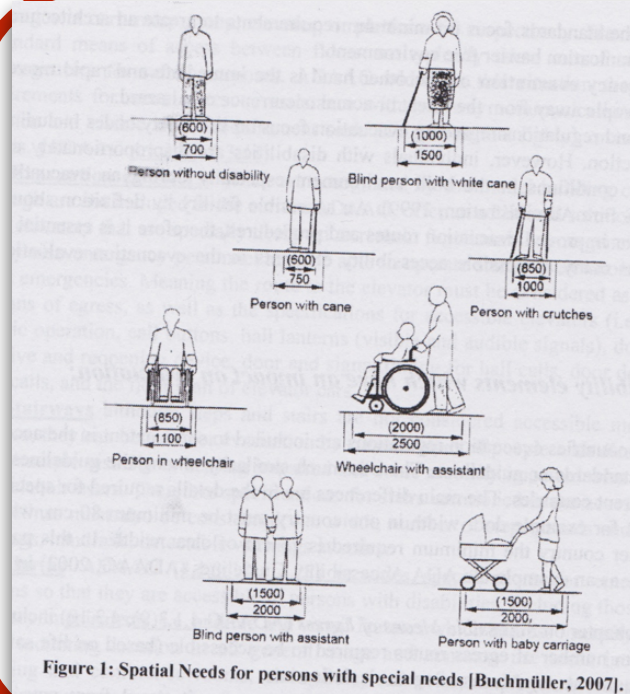
## nascita del modello prescrittivoattuale di esodo

### Regolamento edilizio di New York, 1913

They further characterize the New York laws' stair geometry (7 ¾ in riser height by 10 in tread) as "good", and that they recommend a minimum 44 inch wide stair for new buildings as this width is "reported sufficient to prevent three persons from forming an arch and blocking traffic."



Esodo in emergenza: alcune considerazione generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma



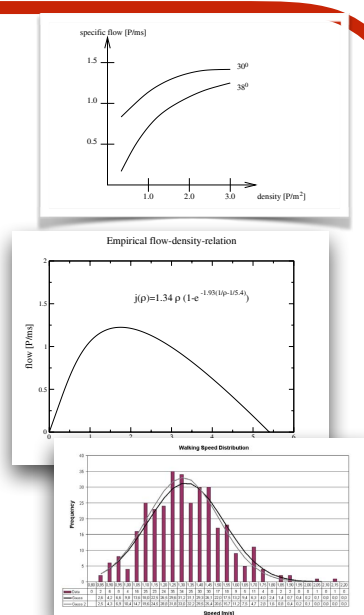
24% della popolazione mondiale (US Census Bureau, 2005) può essere considerata disabile, cioè si trova nella necessità di utilizzare misure di accesso speciali per svolgere le attività quotidiane. Questo dato si riflette anche sulla sicurezza

J. Bendel, H. Klupfel – Accessibility and evacuation planning - similarities and differences– Pedestrian and evacuation dynamics – Springer– New York 2011 - pp. 701-711

Esodo in emergenza: alcune considerazione generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

### I modelli di movimento

- Si concentrano sullo **spostamento delle persone da un punto ad un altro dell'edificio**. La legge che governa il movimento nella maggior parte dei modelli è quella della correlazione tra velocità e densità.
- In alcuni casi i modelli prevedono la possibilità di **ottimizzare i risultati dell'esodo**, e cioè considerano la possibilità che non tutte le persone si spostano lungo il percorso più breve ma che si distribuiscono in modo da realizzare la densità che produce il tempo di esodo più breve. In assenza di questa tecnica, i modelli di movimento seguono il criterio di spostare le persone con la minima distanza possibile.
- La maggior parte dei modelli di movimento utilizza una **griglia grossolana**, costituita da nodi (i locali) ed archi (la distanza tra i punti mediani dei nodi).
- La rappresentazione dell'esodo considera le **persone come un gruppo omogeneo** con le stesse capacità di movimento e che, quindi, si spostano fino all'uscita nel modo più rapido. Quindi, non si considerano le differenze dovute al comportamento delle persone.

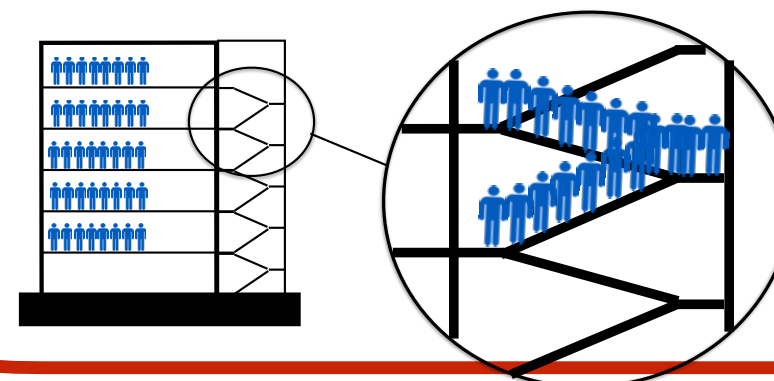


Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

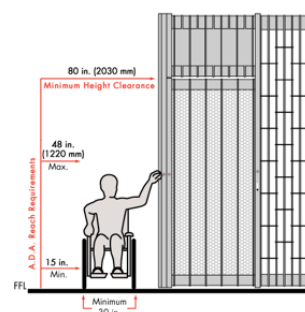
### nascita del modello prescritto attuale di esodo

#### Regolamento edilizio di New York, 1913

- "a. For buildings erected in the future, a minimum of 22 inches of stair width shall be required for not to exceed 14 persons on any one floor.*  
*b. On buildings already erected this figure is reduced to 18 inches as a minimum.*  
*c. A 44-inch stair in new buildings permits 28 persons to be housed on each floor above the first one.*  
*d. In arriving at this decision the idea has been that all of the persons on all floors shall be able to remain in the stair tower without any movement, a person requiring about 22 inches in width, and one person to stand on every other stair."*



Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

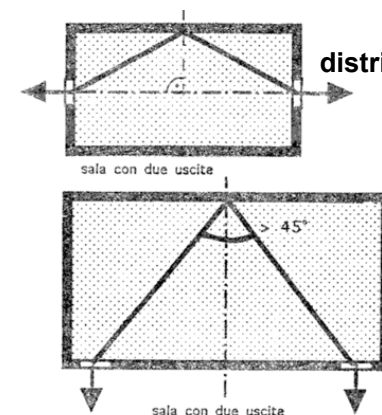


Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma

### i modelli di valutazione/simulazione dell'esodo

#### Modello capacitativo

**larghezza totale delle uscite = affollamento/numero di moduli**  
**+ numero minimo di uscite**  
**+ distribuzione uniforme delle uscite**



$$L = \frac{A}{m} \leftarrow \text{variabile (60/33)}$$

Esodo in emergenza: alcune considerazioni generali - Stefano Marsella - Ordine degli Ingegneri di Roma