

Fire Safety Engineering: evacuation management in emergency conditions

*Original*

Fire Safety Engineering: evacuation management in emergency conditions / Vancetti, Roberto; Angelini, Sara. - In: TEMA. - ISSN 2421-4574. - ELETTRONICO. - Vol. 4, No. 1 (2018):(2018), pp. 127-136.

*Availability:*

This version is available at: 11583/2782473 since: 2020-01-20T10:54:02Z

*Publisher:*

EDICOM edizioni

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

# Fire Safety Engineering: evacuation management in emergency conditions

Roberto Vancetti\*, Sara Angelini

---

## Highlights

The strategies to adopt, both in risk evaluation and in emergency-procedure planning, should be established on the basis of performance-based criteria of design and management, which are the same used in Fire Safety Engineering. This paper is meant to show that the principles behind the performance-based approach used during a fire emergency may be successfully used, with the necessary amendments, also in other kinds of emergencies.

---

## Abstract

The disruptive events that occurred in Italy in 2016 have increased the attention to the evaluation of the evacuation procedures in emergency conditions. The strategies to adopt should be established on the basis of performance-based criteria of design and management, which are the same used in Fire Safety Engineering. In the specific case of the evacuation plan, the latter should be designed according to certain variables that may be successfully used also in other kinds of emergencies related to earthquakes or hydrogeological instability.

---

## Keywords

Fire, Safety, Evacuation, Engineering, Emergency

---

## 1. INTRODUCTION

One of the key ways to guarantee people's safety in dangerous situations is knowing how to manage emergencies, which in *extrema ratio* translates into managing evacuations. Depending on the nature of the event (accidental or incidental) and on their consequences, there are different types of emergencies which have to be recognized and dealt with accordingly. Emergency situations have to be defined following a risk analysis related to the specific case. For each situation it is necessary to use the right resources and to activate a series of different operating procedures found in the various emergency plans that may also involve building evacuations. To this purpose, the fire prevention legislation sets the standard for the characteristics that an

### Roberto Vancetti

DISEG - Dipartimento di  
Ingegneria Strutturale, Edile  
e Geotecnica, Politecnico di  
Torino, C.so Duca degli Abruzzi  
24, 10129, Torino, Italia.

### Sara Angelini

FOR Engineering Architecture  
| Ingegneria Integrata - Junior  
Associate, Piazzetta Lagrange 1,  
10123, Torino, Italia.

\* Corresponding author  
Tel.: +39-0110905313/5313;  
e-mail:  
roberto.vancetti@polito.it

evacuation system should have in order for all the occupants to evacuate the building and reach a safe place in case of fire. In Italy the fire regulations are the only ones that officially regulate the evacuation procedure, therefore they are used to manage evacuations during other types of emergencies. The most common approach when it comes to evacuation route design is the prescriptive approach. This translates into designing the exit routes according to the number of people who will use them without taking into account the time required for the evacuation, yet meeting the requirements set in terms of maximum distances to be covered or number and length of the exit routes. The introduction of the new Fire Prevention Code (D.M. 3 August 2015) has formalized what is called a performance approach to fire prevention design. With this in mind, the design of the evacuation routes is based on the study of the behavior of different individuals in case of emergency with the aim of calculating the time required for the exodus. The latter depends on the behavior of the occupants which in turn is influenced by the characteristics of the building, by the psychophysical conditions of the individual and by their interactions with the others. From the analysis of the interaction between men and environment we can predict the design solutions that should be adopted to manage the emergency procedure. The purpose of the next paragraphs is to try to demonstrate how it is possible to obtain general criteria that can also be applied to other emergency conditions like those listed in the first lines of the next paragraph starting from the criteria that can be used in an engineering approach for the design of emergency procedures in case of fire.

## 2. STATE OF THE ART

In the field of fire prevention, the fundamental criterion to be used for the ideal design of an evacuation system is to ensure that most occupants can reach a safe place. This criterion could be generalized and used for evacuation system design of all emergencies. In case of fire the safe place is a place outside the building with adequate distance from it, for flooding it is a room located above the floor affected by the accidental event, and for an earthquake it is a place outside the building with adequate distance both from it and other elements or structures such as trees or power lines which could still be dangerous. In a fire prevention performance-based approach, meeting this fundamental criterion translates into making sure that the ASET (Available Safe Escape Time) is more than the RSET (Required Safe Escape Time). Evaluating ASET means identifying the gravest fire scenario for the case study and assessing the phenomena of development and diffusion of that fire and its combustion products in the environment.

## 1. INTRODUZIONE

*Uno degli aspetti più importanti per garantire la sicurezza delle persone in condizioni di pericolo è la gestione delle situazioni di emergenza, che in « estrema ratio » potrebbe tradursi nella gestione dei processi di evacuazione. In funzione degli eventi accidentali e/o incidentali e dei loro effetti dannosi, esistono diverse tipologie di emergenze, ognuna delle quali va prima riconosciuta e poi affrontata in modo diverso.*

*Le situazioni di emergenza devono essere definite a seguito di un'analisi dei rischi relativa al caso specifico e per ognuna delle situazioni è necessaria l'attivazione delle risorse necessarie alla gestione dell'evento e l'avviamento di una serie di procedure operative diverse e riportate nei vari piani di emergenza che possono implicare anche l'evacuazione degli edifici.*

*A tal proposito la normativa di prevenzione incendi fornisce una serie di indicazioni sulle caratteristiche che deve avere un sistema d'esodo affinché si permetta l'evacuazione di tutti gli occupanti dall'edificio interessato da un incendio e il raggiungimento di un luogo sicuro. La normativa antincendio essendo in Italia l'unica normativa che disciplina e regola le procedure di evacuazione viene utilizzata in generale per gestire anche le evacuazioni associate ad altri tipi di emergenza.*

*L'approccio maggiormente utilizzato per la progettazione dei percorsi d'esodo è un approccio di tipo prescrittivo che si traduce nel dimensionare le vie di uscita in funzione del numero di persone che le devono utilizzare senza alcun riferimento al tempo richiesto per l'evacuazione stessa, soddisfacendo requisiti dettati in termini di valori fissi come distanze massime da percorrere o numero e lunghezze delle vie di uscita.*

*L'introduzione del nuovo Codice di Prevenzione Incendi (D.M. 3 agosto 2015) ha formalizzato in Italia quello che viene chiamato un approccio prestazionale alla progettazione antincendio. In quest'ottica la progettazione delle vie d'esodo prevede alla base uno studio delle caratteristiche di comportamento del singolo individuo in condizioni di emergenza con lo scopo di calcolare il tempo necessario all'esodo.*

*Quest'ultimo dipende dal comportamento degli occupanti che a sua volta è influenzato dalle caratteristiche dell'edificio, dalle condizioni psicofisiche dell'individuo e dalle interazioni con la collettività. Dall'analisi della reciproca interazione tra uomo-ambiente si deducono le soluzioni progettuali da adottare per gestire la procedura di emergenza.*

*Lo scopo dei paragrafi successivi è quello di provare a dimostrare come, partendo dai criteri utilizzabili in un approccio ingegneristico per la progettazione delle procedure di emergenze in caso di incendi, si riescano ad ottenere dei criteri generali che possano essere applicati anche ad altre condizioni di emergenza come quelle elencate nelle prime righe del presente paragrafo.*

The aim is to calculate for how long the environment remains safe for occupants and rescuers. In order to calculate for how long a room will have a two-meter smoke-free height from the floor and for how long the smoke's temperature will remain below 200°C, statistical data and numerical calculation models are used. These allow to estimate the variation over time of the concentration of toxic products, temperatures and smoke density in the environment. Evaluating RSET means to calculate the amount of time people will take to safely evacuate, taking into account that this time is the sum of four factors, namely the detection time ( $T_{\text{detection}}$ ); the alarm time ( $T_{\text{alarm}}$ ); the pre-movement time ( $T_{\text{pre-movement}}$ ); and the travel time ( $T_{\text{travel}}$ ).  $T_{\text{detection}}$  is the time between the moment the fire starts and the moment the fire prevention system detects it, which is around 1-1.5 minutes.  $T_{\text{alarm}}$  is the time between the detection of the fire and the moment the general alarm goes off. In ideal condition  $T_{\text{alarm}}$  should equal 0 seconds. In more complex cases, the revealing system generates a pre-alarm that, if not blocked, sends out the alarm in no more than 5 minutes. If the pre-alarm is blocked then the person in charge of the safety of the building has to check the actual presence of a fire and eventually activate the general alarm. As a consequence, time assessment depends strongly on how emergency situations are handled and on how workers intervene and therefore it is impossible to estimate the time necessary a priori.  $T_{\text{pre-movement}}$  takes into account a whole series of activities that individuals play from the moment they perceive the alarm to the moment they start moving. Therefore,  $T_{\text{pre-movement}}$  is the most complex to evaluate as it depends on the characteristics of the occupant, for example if they are awake or familiar with the building. In offices, where the occupants are supposedly trained for emergency procedures, the  $T_{\text{pre-movement}}$  time is rather short. On the other hand, if the occupants are for example asleep or if they are not familiar with the building,  $T_{\text{pre-movement}}$  may be considerable and represent the largest share of total evacuation time. Occupants of a hotel, for example, may also take 30-40 minutes to evacuate the building at night.

A situation similar to that of the hotels is that of the care facilities where most of the occupants are non-ambulatory and as such need to be helped for the evacuation. In this case too pre-movement time could be quite long and in both cases it is difficult to assess it a priori as it depends on how the operational procedures in case of emergency are managed. The time taken to find the shortest route to evacuate a building, generally referred to as the way-finding term, must also be considered in the pre-movement time, especially in cases where the occupants are not familiar with the building. It is in these cases that properly designed emergency signs and an adequate lighting system

## 2. STATO DELL'ARTE

*Nell'ambito delle prevenzione incendi il criterio fondamentale da impiegare per la progettazione ideale di un sistema d'esodo è assicurare alla maggior parte degli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza e come tale potrebbe essere generalizzato ed impiegato per la progettazione dei sistemi d'esodo di tutte le emergenze. Se per l'incendio il luogo sicuro è un luogo esterno all'edificio con adeguata distanza dallo stesso, per un allagamento è un locale posto al di sopra del piano interessato dall'evento accidentale e per un sisma è un luogo esterno all'edificio con adeguata distanza sia da esso che altri elementi o strutture come alberi o linee elettriche i cui crolli potrebbero essere ulteriormente deleteri.*

*In un approccio prestazionale di prevenzione incendi, il soddisfacimento del criterio fondamentale si traduce nel garantire che il tempo disponibile per l'esodo ASET (Available Safe Escape Time) sia maggiore del tempo richiesto per l'esodo RSET (Required Safe Escape Time), con un adeguato margine di sicurezza. Valutare ASET significa individuare lo scenario di incendio più gravoso per il caso di studio e valutare i fenomeni di sviluppo e diffusione di quell'incendio e dei suoi prodotti di combustione nell'ambiente con lo scopo di calcolare per quanto tempo permangono delle condizioni ambientali di sicurezza per gli occupanti e per i soccorritori. Nella pratica si utilizzano dati statistici o modelli di calcolo numerico che permettono di stimare la variazione nel tempo delle concentrazione dei prodotti tossici, le temperature e la densità di fumo negli ambienti con lo scopo di calcolare per quanto tempo si garantisce un'altezza dal pavimento libera dai fumi pari a 2 m e una temperatura dello strato caldo dei fumi minore di 200°C. Valutare RSET significa valutare il tempo che le persone impiegano per allontanarsi in sicurezza, tenendo presente che per Tempo Richiesto per l'Esodo non si intende solo il tempo effettivamente impiegato dal momento in cui si inizia a muoversi fino al raggiungimento del luogo sicuro, ma si intende la somma di 4 termini. In particolare, quest'ultimi sono il tempo di rivelazione ( $T_{\text{detection}}$ ), il tempo di allarme ( $T_{\text{alarm}}$ ), il tempo di pre-movimento ( $T_{\text{pre-movement}}$ ) e il tempo di movimento ( $T_{\text{travel}}$ ).*

*Il primo esprime il tempo che intercorre dal momento in cui si innesca l'incendio al momento in cui il sistema di rivelazione percepisce la presenza dell'incendio. Il tempo necessario dipende dal tipo di impianto di rivelazione scelto ma normalmente se, progettato ed installato a regola d'arte, in 1-1.5 minuti rivela la presenza dell'incendio. Il secondo è il tempo che intercorre dal momento in cui l'impianto di rivelazione percepisce la presenza dell'incendio al momento in cui è diffuso l'allarme generale. Se il sistema di rivelazione è direttamente collegato al sistema di allarme si deve assumere un  $T_{\text{alarm}}$  pari a 0. In casi più complessi, il sistema di rivelazione genera un pre-allarme che se non viene tacitato diffonde l'allarme*

can positively influence the evacuation time by reducing it. In evaluating pre-movement time, a series of behavioral aspects also come into play. They are related to the type and specific characteristics of the occupants, whose evaluation is linked to multiple and difficult to evaluate, variables.

When the occupants hear the alarm they tend to “understand” the situation better before starting to move and often wait for other indicators such as the smell of smoke, the screams of people or someone who expressly tells them to go out. This phase is called milling. Drills in the workplace have provided interesting data for the assessment of the above mentioned time. Unfortunately not entirely reliable as drills often completely lacks of the surprise effect, the stress and the panic effect that could instead occur simultaneously in a real situation.

*T travel* is the time actually taken from the moment when the occupants start moving until when they reach the safe place. To calculate it, it is necessary to resort to simulation models of the movement of people, and among these the most performing are those Agent-Based or those that take into account behavioral aspects and in which the speed and the path of each individual is linked to the speed and the path of neighboring individuals.

The software allows to vary the speed of travel of individuals by decreasing it in correspondence of ramps or stairs or by reducing it to zero in correspondence of the narrow spaces or the doors where the “funnel effect” or “bottleneck” occur.

generale solo dopo un determinato intervallo di tempo solitamente pari a non più di 5 minuti. Diverso invece il caso in cui il pre-allarme viene tacitato poiché spetta all'addetto incaricato la valutazione dell'effettiva presenza dell'incendio e la successiva diffusione dell'allarme generale. Di conseguenza la valutazione dei tempi dipende fortemente dalla modalità di gestione delle situazioni di emergenza e dalle modalità operative di intervento degli addetti e, pertanto, è impossibile stimare a priori il tempo necessario.

Il terzo tempo tiene conto di tutta una serie di attività che gli individui svolgono dal momento in cui percepiscono l'allarme al momento in cui iniziano a muoversi e pertanto è il più complesso da valutare in quanto dipende dalle caratteristiche degli occupanti. Se quest'ultimi sono svegli e hanno familiarità con l'edificio, come potrebbe avvenire in edifici destinati ad attività di ufficio o ad attività produttive in cui si presume che siano stati addestrati sulle procedure di emergenza, il tempo di pre-movimento è piuttosto breve.

Se gli occupanti sono invece addormentati e non hanno familiarità con l'edificio il tempo di pre-movimento potrebbe essere non trascurabile e rappresentare la quota maggiore del tempo totale di evacuazione. Gli occupanti di un attività alberghiera potrebbero impiegare anche 30-40 minuti dal momento in cui sentono l'allarme durante la notte al momento in cui iniziano a muoversi. Situazione simile a quella degli alberghi è quella delle strutture assistenziali dove la maggior parte degli occupanti sono non deambulanti e come tali è necessario che siano aiutati per l'esodo.

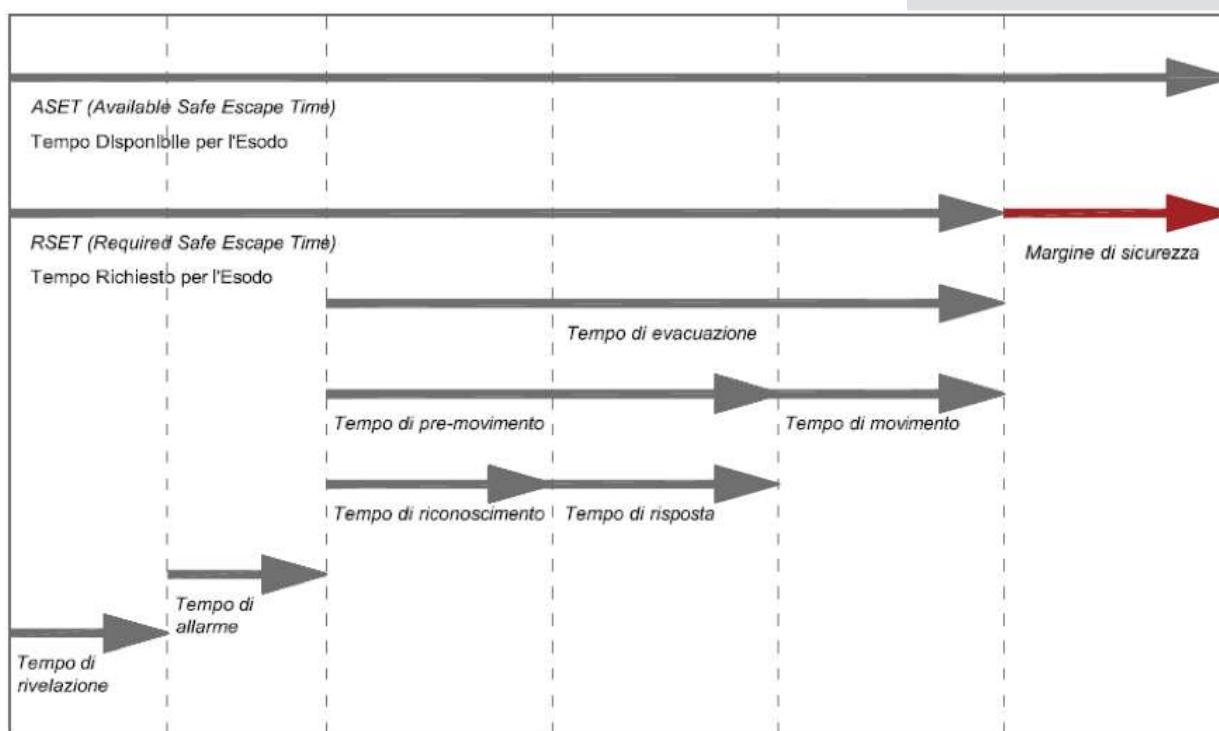


Figure 1. Comparison between ASET and RSET.



In such situations the travel speed and the density of people moving can be calculated using an equation of fluid dynamics which must be adjusted to take into account behavioral aspects. As a matter of fact the feeling of panic and people pushing can make the evacuation very difficult, especially in case of tumbles. Another aspect that can slow down the evacuation is the social attachment: when people stop, go back or look among the neighboring individuals to find their close ones causing further delays. The sum of  $T_{pre-movement}$  and  $T_{travel}$  is commonly called evacuation time and by adding the latter to the first two times, RSET is obtained. If the latter is smaller than ASET with a safety margin, usually 100% RSET, the evacuation system is shown. The comparison between ASET and RSET must be carried out according to the indications as shown in Fig.1.

### 3. METHODOLOGY

Once the operating procedure has been illustrated, it is necessary to evaluate the evacuation time for an office building. The aim is to define the design criteria of an evacuation system in order to outline the evacuation strategies in emergency conditions that will guarantee an adequate safety margin. In particular, the model building is a 23-storey building, each floor has an area of 800 m<sup>2</sup> and has two vertical evacuation paths characterized by two stairwells. The transition from one floor to the other takes place with 3 flights of stairs with five steps of 17 cm riser and 30 cm tread each. By estimating a maximum of 100 people per floor, a “populated” three-dimensional model has been implemented in a simulation software for the movement of people.

The software used is called Mass Motion, developed by Oasys, ARUP software house. The Network (the schematization of the environment using some basic elements) is planned first, then the profile of the individuals is created and finally the simulation can start. For the “population” of the model, it was decided that all individuals were to be randomly distributed on the floor surfaces with the intention of representing a real situation. A different color was also assigned to the agents of the various surfaces in order to study the interactions among the individuals of the different planes.

The results obtained are shown in Fig.2. The result of the calculations makes it possible to generate the  $T_{travel}$  necessary for the calculation of RSET and for the subsequent design and verification of the exodus system according to ASET calculated using other automatic models.

For the calculation of the time actually taken by the occupants to move from the place where they are to the safe place, in the present study it has been

*I tempi di pre-movimento potrebbero pertanto diventare piuttosto lunghi e in entrambi i casi fortemente dipendenti dalle modalità di gestione delle procedure operative in situazione di emergenza e pertanto difficili da valutare a priori. Si deve considerare nel tempo di pre-movimento, specialmente nei casi in cui gli occupanti non hanno familiarità con l'edificio, anche il tempo impiegato a trovare il percorso più breve per evacuare un edificio, generalmente indicato con il termine wayfinding. In quest'ultimo aspetto una segnaletica di emergenza progettata a regola d'arte e un sistema di illuminazione adeguato possono influenzare positivamente, riducendo, o negativamente, incrementando, i tempi di evacuazione. Nella valutazione dei tempi di pre-movimento entrano in gioco anche una serie di aspetti comportamentali legati alla tipologia e alle caratteristiche specifiche degli occupanti, la cui valutazione è legata a molteplici, e difficilmente valutabili, variabili. Quando gli occupanti sentono un allarme sonoro tendono a “voler capire” meglio la situazione prima di iniziare a muoversi e spesso aspettano altri indicatori come l'odore del fumo, le urla delle persone o qualcuno che gli dica espressamente di uscire e tale fase è chiamata “milling” letteralmente “girovagare come un mulino”.*

*Le esercitazioni negli ambienti di lavoro hanno fornito dati interessanti per la valutazione del suddetto tempo, tuttavia non del tutto attendibili in quanto spesso manca completamente l'effetto sorpresa, lo stress e l'effetto panico che invece potrebbero manifestarsi contemporaneamente in una situazione reale. L'ultimo tempo è il  $T_{travel}$  ovvero il tempo effettivamente impiegato dal momento in cui gli occupanti iniziano a muoversi fino al momento in cui raggiungono il luogo sicuro. Per calcolarlo è necessario far ricorso a dei modelli di simulazione del movimento delle persone, e tra questi i più performanti sono quelli Agent-Based ovvero quelli che tengono conto di aspetti comportamentali e in cui la velocità e il percorso di ogni individuo è legata alla velocità e il percorso degli individui vicini.*

*I software permettono di variare la velocità di percorrenza degli individui, diminuendola, in corrispondenza di rampe o scale o annullandola completamente in corrispondenza dei restringimenti o delle porte in cui si forma l'effetto imbuto” o “collo di bottiglia”. In tale situazioni la velocità di percorrenza e la densità di passaggio delle persone è calcolabile ricorrendo ad equazione delle fluidodinamica che devono per essere aggiustate per tener conto di aspetti comportamentali. La sensazione di panico e l'effetto del pushing infatti può rendere l'attraversamento molto difficile, soprattutto in caso di cadute. Ulteriore aspetto che può rallentare l'esodo è l'attaccamento sociale ovvero quel sentimento che spinge i singoli individui a ricercare la vicinanza dei familiari o colleghi e pertanto i passeggeri potrebbero fermarsi, tornare indietro o cercare tra gli individui vicini determinando ulteriori rallentamenti. La somma del tempo di pre-movimento e del tempo di viaggio è comunemente chiamato*

taken into account the travel time required to the last occupant to reach the safe place, and not as the average time of journey of the individual occupants. Typically, the walking speed of an obstacle-free walk is 1.2 m/s which must be increased or decreased depending on the age and gender of the individual considered. On the stairs the travel speed is equal to 80% of that assumed for the horizontal routes and the software applies different reductions depending on the type of stairs and the characteristics of the riser and tread.

According to the results of the model, it has been found that the travel time required to evacuate a 23-storey building, with a crowding of just over 2,000 people, is 30 minutes. The output of the program used is shown in Fig. 3.

Various other times were added to T travel: the detection time equal to 1.5 minutes, the alarm time equal to 5 minutes and finally the pre-movement time of 3.5 minutes, as the occupants were assumed to be awake and familiar with the building and taking into account that it takes about 50 seconds to hear the fire alarm and about 3 minutes for the first response behavior. Therefore the RSET obtained is 35 minutes.

*tempo di evacuazione e sommando quest'ultimo ai primi due tempi si ottiene RSET. Se quest'ultimo è minore di ASET con un margine di sicurezza, solitamente e cautelativamente pari al 100% di RSET, il sistema d'esodo risulta dimostrato. Il confronto tra ASET e RSET deve essere svolto in accordo a quanto indicato in Fig. 1.*

### 3. METODOLOGIA

*Illustrata la procedura operativa, ci si propone di valutare il tempo di evacuazione per un edificio a destinazione d'uso uffici con lo scopo di definire i criteri progettuali di un sistema d'esodo e per delineare di conseguenza le strategie di evacuazione in condizioni di emergenza che garantiscano un adeguato margine di sicurezza per la salvaguardia della vita umana.*

*In particolar modo l'edificio ipotizzato è di tipologia a torre e si sviluppa per 23 piani fuori terra, ogni piano ha una superficie di 800 m<sup>2</sup> e ha a disposizione due percorsi d'esodo verticali caratterizzati da due vani scala tali per cui il passaggio da un piano all'altro avviene con 3 rampe di scala con 5 gradini l'una, di altezza pari a 17 cm e pedata pari a 30 cm. Assumendo un affollamento massimo pari a 100 persone per piano si è provveduto a realizzare un modello*

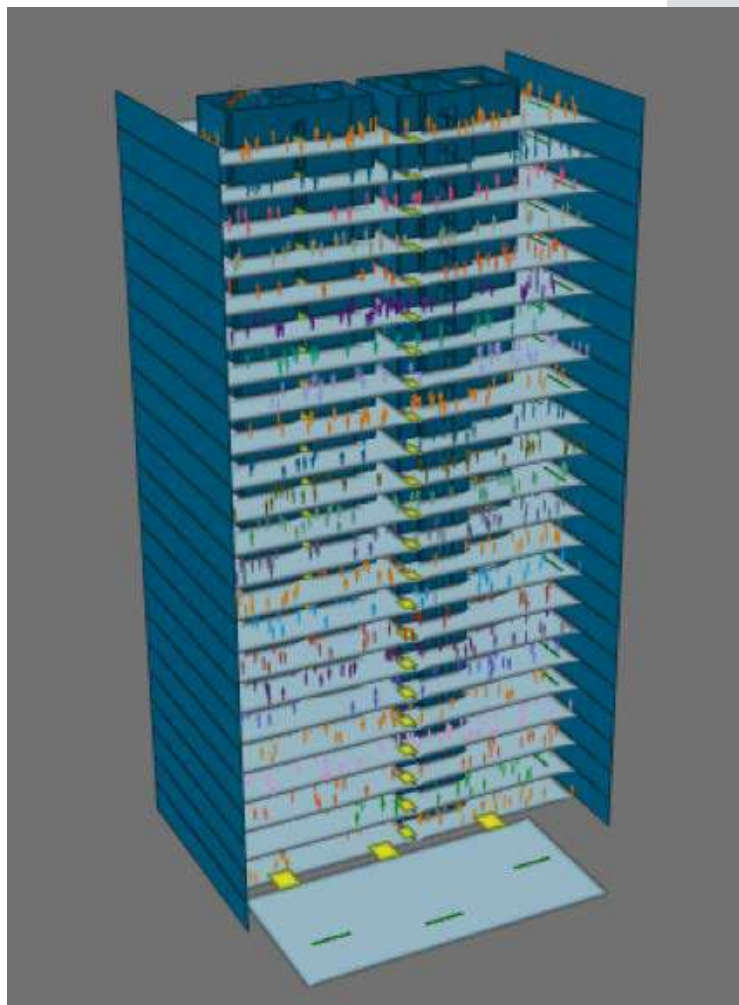


Figure 2. Populated three-dimensional model.

Although we did not go into the details of the elaboration we want to underline how the calculation of the times and the subsequent determination of the evacuation system comes from taking into account many factors, namely the actual characteristics of the building, the present protection systems, the architectural characteristics, the typology of occupants and above all the operative procedures. Making use of other calculation models that simulate the development of the fire inside a building, it must be calculated how long the building guarantees the security conditions for the occupants, i.e. the ASET must be calculated. If the contrast measures envisaged for a tower building are such that ASET is greater than RSET with an adequate safety margin, the exodus system is satisfied and verified independently of the prescriptive impositions. The performance approach for the design of the evacuation system does not therefore only translate into a method other than the prescriptive one, but it consists of a new philosophy in which the behaviors of the occupants must be evaluated according to the calamitous event and the characteristics of the building.

#### 4. RESULTS

Due to the disruptive events that occurred in Italy in 2016, the authors have investigated the performance procedures of emergency management aiming at guaranteeing a sufficient degree of security.

In the light of what has been said in the previous chapters, it would be useful to rethink in a performance-based way not only emergency strategies related to fire risk, but also other types of risks such as seismic risk or weather-hydrogeological risk.

tridimensionale "popolato" all'interno di un software di simulazione del movimento delle persone. Il software utilizzato si chiama MassMotion, sviluppato da Oasys, software house di ARUP in cui è prevista inizialmente la realizzazione del Network ovvero la schematizzazione dell'ambiente utilizzando alcuni elementi base, la successiva creazione del profilo degli individui presenti ed infine l'avvio della simulazione. In particolare modo si è deciso, per la "popolazione" del modello, che tutti gli individui fossero distribuiti in modo random sulle superfici di piano con l'intenzione di rappresentare la situazione reale. Si è inoltre assegnato un colore diverso agli agent dei vari piani con lo scopo di studiare quali sono le interazioni tra gli individui dei diversi piani ottenendo il risultato riportato in Fig.2.

Il risultato delle elaborazioni permette di calcolare il  $T_{travel}$  indispensabile per il calcolo di RSET e per la successiva progettazione e verifica del sistema d'esodo in funzione di ASET calcolato facendo ricorso ad altri modelli automatici. Per il calcolo del tempo effettivamente impiegato dagli occupanti per spostarsi dal luogo dove si trovano fino al raggiungimento del luogo sicuro si è considerato nel presente studio il tempo di viaggio richiesto all'ultimo occupante per raggiungere il luogo sicuro e non come la media dei tempi di viaggio dei singoli occupanti. Tipicamente la velocità di percorrenza di una camminata senza ostacoli è pari a 1.2 m/s che deve essere incrementato o diminuito in funzione dell'età e del sesso dell'individuo considerato.

In corrispondenza delle scale la velocità di percorrenza è pari all'80% di quella assunta per i percorsi orizzontali e il software applica riduzioni differenti in funzione della pendenza delle rampe e delle caratteristiche delle alzate e pedate. L'output del programma utilizzato è rappresentato in Fig. 3. In accordo ai risultati del modello, si è ottenuto che il tempo di viaggio necessario per evacuare un edificio di 23 piani,

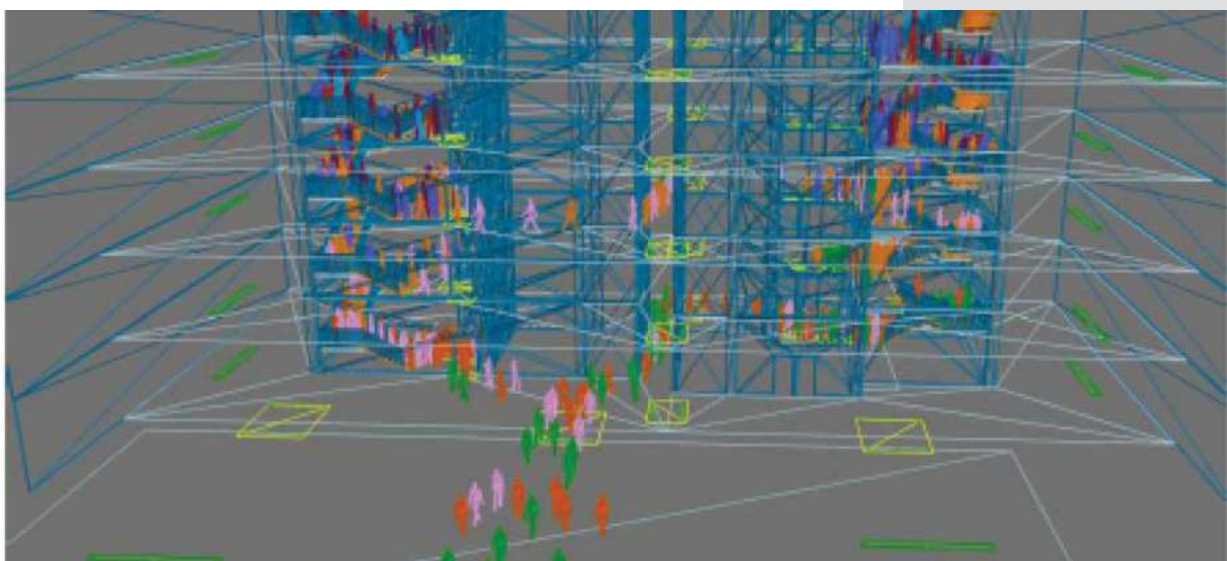


Figure 3. Output of the simulation software for the movement of people.



Studying the evacuation ASET and the RSET for different types of emergency, should lead to the identification of general and universally applicable criteria. Studying the ASET in case of seismic risk translates into assessing how long the building will be safe for, which is directly linked with the characteristics of the building and the site's seismic risk. Doing the same with the RSET is more complex as the differences between fire risk and natural earthquake are dramatic.

In case of a seismic event T detection and T alarm might not be there, and might even translate into the duration of the seismic event. The occupants of a site become collectively aware of the risk at same time. Moreover, before considering T pre-movement and T travel, another Time must be taken into account: in the final phase of an earthquake or at the end of it, occupants tend to seek safety in the doorways, in the corners of the walls and / or in the classic positions defined by the normal emergency procedures.

This Time is difficult to evaluate and certainly it depends on the intensity of the earthquake and a series of subjective aspects of the occupants of the building (physical characteristics of the individual, presence or absence of other individuals, etc.). Only at the end of this time one will eventually evacuate the building and even in this case the total evacuation time is given by a pre-movement time (which includes the collection of personal belongings, checking the other occupants' conditions and, if necessary, giving first aid) and by a T travel (which can be evaluated using the methods described in the previous chapters).

Even in the case of a comparison between the fire risk and the hydrogeological risk related to weather conditions, Times are different. In the case of a flood, estimating the ASET means to the time interval between the assessment of the dangerousness of the event and the time when the expected critical hydrometric levels are exceeded. In this case T detection depends on the controlling measures used by local authorities. T alarm depends on how the alarm state is communicate to the population (television, radio, sirens). T pre-movement takes into account the time used to organize defense measures such as securing the environments on the street level closing of basements or garages and the securing of property on the upper floors. T travel in case of a flood is the time necessary to reach the safe place which may not coincide with the exterior of the building but with the nearest place in an elevated position. Another type of risk whose Times might be calculated by using the same methods as the fire risk's, is the chemical industrial risk. As a matter of fact the toxic substances released in the atmosphere or in the soil may affect both people's health and the environment. Evaluating this type of ASET means

*imponendo un affollamento di poco più di 2000 persone, è pari a 30 minuti. Al tempo di viaggio si devono aggiungere i tempi già descritti nel paragrafo precedente: il tempo di rivelazione pari a 1.5 minuti, il tempo di allarme imposto pari a 5 minuti e infine il tempo di pre-movimento. Essendo gli occupanti considerati svegli ed avendo familiarità con l'edificio si decide di assumere un tempo di pre-movimento piuttosto breve e pari a 3.5 minuti tenendo conto che occorrono circa 50 secondi per la percezione dell'allarme di incendio e circa 3 minuti per i conseguenti primi comportamenti di risposta. Si ottiene un RSET complessivo pari a 35 minuti. Nonostante non si sia entrato nel dettaglio dell'elaborazione si vuole sottolineare come il calcolo dei tempi e quindi la successiva determinazione del sistema d'esodo sia scaturito dalle effettive caratteristiche dell'edificio, dagli impianti di protezione presente, dalle caratteristiche architettoniche, dalla tipologia di occupanti presenti e soprattutto dalla procedure operative previste.*

*Facendo ricorsi ad altri modelli di calcolo che simulano lo sviluppo dell'incendio all'interno di un edificio si deve calcolare per quanto tempo nell'edificio si garantiscono le condizioni di sicurezza per gli occupanti ovvero si deve calcolare il Tempo Disponibile per l'Esodo. Se le misure di contrasto previste per un edificio a torre sono tali per cui ASET sia maggiore di RSET con un adeguato margine di sicurezza il sistema d'esodo risulta soddisfatto e verificato indipendentemente dalle imposizioni prescrittive. L'approccio prestazionale per la progettazione del sistema d'esodo non si traduce pertanto solo in metodo diverso da quello prescrittivo, ma consiste in una filosofia nuova in cui si devono valutare i comportamenti degli occupanti in funzione dell'evento calamitoso e delle caratteristiche dell'edificio.*

#### **4. RISULTATI**

*Gli eventi calamitosi dell'anno 2016 che hanno colpito il centro Italia hanno spinto gli autori ad approfondire le procedure prestazionali della gestione dell'emergenza nell'ottica di garantire un sufficiente grado di sicurezza. Alla luce di quanto detto nei capitoli precedenti si propone di affrontare in modo prestazionale la definizione delle strategie di emergenza non solo per il rischio incendio ma anche per altre tipologie di rischi come rischio sismico o rischio meteo-idrogeologico. Si procede pertanto con delle considerazioni sulla valutazione dei tempi disponibili (ASET) e richiesti (RSET) per l'esodo, calibrate in funzione dell'emergenza considerata, con lo scopo di individuare dei criteri generali ed universalmente applicabili.*

*Valutare ASET nel caso di rischio sismico significa valutare per quanto tempo l'edificio garantisce condizioni di sicurezza tali da non comportare situazioni di pericolo per gli occupanti a seguito di un sisma e ovviamente ciò è legato alle caratteristiche dell'edificio e di sismicità del sito. Stimare RSET è più complesso. Volendo fare un parallelismo tra i tempi che si considerano per la sua*

to evaluate the population harming exposure durations according to the concentrations and the absorbed doses. In this case, evaluating RSET does not translate into evaluating only the time needed to evacuate the building, but it means extending the methodology and calculating the time needed to evacuate an entire city. Moreover in this type of emergency it is important to consider the criticalities related to building – building interactions, and no longer only the ones related to building and the occupants.

## 5. CONCLUSIONS

Ongoing researches have shown that emergency management procedures should refer to the performance-based approaches used in Fire Safety Engineering. The development of this study aims to construct specific scenarios for each type of emergency in order to identify the most accurate effects and parameters that will be used to set out the best safety conditions in order to save lives in case of emergency.

## 6. REFERENCES

- [1] Panebianco A., *L'automa e lo spirito: azioni individuali, istituzioni, imprese collettive*. Bologna: Il Mulino, 2009.
- [2] Curini L.; Martelli P., *I partiti nella Prima Repubblica: maggioranze e governi dalla Costituente a Tangentopoli*. Roma: Carocci, 2009.
- [3] Deaglio M. [et al.], *A cavallo della tigre*. Milano: Guerini e associati, 2007.
- [4] Ministero degli affari esteri. Direzione generale degli affari politici multilaterali e diritti umani. Comitato Interministeriale dei Diritti Umani, *L'Italia alla 58a sessione della Commissione per i diritti umani delle Nazioni Unite*. Roma: Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2003.
- [5] Agostini S., *La biblioteca della famiglia Ippoliti di Borgo Valsugana: un catalogo settecentesco* [tesi di laurea magistrale]. Trento: Università degli studi di Trento, 2013.
- [6] American Library Association, Policy concerning confidentiality of personally identifiable information about library users, <[http://www.ala.org/alaorg/oif/pol\\_user.html](http://www.ala.org/alaorg/oif/pol_user.html)>. (Ultima consultazione: 11/09/2013)
- [7] Bertrand A.-M., *Le biblioteche pubbliche in Francia oggi*, «AIB Studi», 53 (2013), n. 1, p. 109-116, <<http://aibstudi.aib.it/article/view/8877>>, DOI: 10.2426/aibstudi-8877.
- [8] D'Alfonso L.. Premessa. In: *Public library: la biblioteca provinciale: problemi di gestione e di formazione professionale: convegno nazionale*, Pescara, 24-25 settembre 1998, a cura di D. D'Alessandro. Roma: AIB, 1999, p. 9-10.
- [9] Panebianco G., *Processo a un'idea*, pref. di Mario Almerighi. Milano: Brioschi, 2010.
- [10] Pelzman F., *Washington observer*, «Wilson Library bulletin», 64 (1990), n. 5, p. 13-21.
- [11] Ricco S., *Scuola dell'infanzia ed elementari: crollo di iscrizioni per le paritarie*, «Giornale di Sicilia», 27 giugno 2013, p. 31.
- [12] Schiavone E. B., *Il viaggio in Europa nel Siècle des lumiere: da categoria dello spirito a categoria politica*. In: Atti della giornata interuniversitaria organizzata dall'Università di Siviglia e dall'Università di Roma Tre, Roma Facoltà di scienze politiche, 18 dicembre 2000, a cura di B. Consarelli. Padova: Cedam, 2012, p. 61-76.
- [13] Bernardini G., D'Orazio M. (2016) *Il processo di evacuazione nel Codice di Prevenzione Incendi: riflessioni sul tempo di pre-movimento*, Rivista ANTINCENDIO 1/68, pp 32-51.
- [14] Pontiggia M., Bovolenta D., Pezzo T., Paci T., Paci P., Uguccioni G. (2016) *Approccio ingegneristico nella sicurezza antincendio per la valutazione del tempo di evacuazione*, Conferenza Università di Pisa.
- [15] Marsella S., Sciarretta N., (2016) *Usi innovativi degli strumenti di simulazione dell'esodo*, Conferenza Valutazione e Gestione del Rischio, Roma, 13-15 settembre 2016
- [16] Maffei P., Marotta N., (2006) *L'evacuazione di emergenza negli edifici ad uso collettivo*

valutazione in caso di incendio e quelli che si dovrebbero considerare nel caso di un sisma, le modifiche non sarebbe poche. In questo caso, il tempo di rivelazione e il tempo di allarme non sono presenti ma potrebbero essere sostituiti dalla durata stessa del sisma. E' quest'ultimo infatti che rende cosciente tutti gli occupanti e nello stesso momento che è presente una situazione di emergenza.

Tuttavia prima della valutazione degli ultimi due tempi ovvero il tempo di pre-movimento e il tempo di movimento, se ne deve aggiungere un ulteriore che tenga conto del fatto che, nella fase terminale del sisma o alla fine di esso, gli occupanti tendono a cercare riparo nei vani delle porte, negli angoli delle pareti e/o nelle posizioni classiche definite dalle normali procedure di emergenza. Tale tempo è di difficile valutazione e sicuramente dipende dall'intensità del sisma e da una serie di aspetti soggettivi degli occupanti dell'edificio (caratteristiche fisiche dell'individuo, presenza o meno di altri individui, ecc.).

Alla fine di tale tempo si avvertirà la necessità di evacuare l'edificio e anche in questo caso il tempo totale di evacuazione è dato da un tempo di pre-movimento, in cui si raccolgono gli effetti personali, ci si assicura dello stato di salute delle persone attorno e, se necessario, si prestano i primi soccorsi, e da un tempo di movimento, valutabile con i metodi descritti nei capitoli precedenti. Altro confronto può essere quello tra il rischio incendio e il rischio meteorologico: anche in questo caso i tempi da valutare sarebbero differenti. Ad esempio, nel caso di un evento alluvionale, stimare ASET si traduce nel valutare l'intervallo di tempo che si ha a disposizione a seguito della definizione della situazione di emergenza fino al momento in cui si superano i livelli idrometrici critici previsti. In questo caso, il tempo di rivelazione dipende dalle misure di controllo adottate dalle Autorità locali e il tempo di allarme dipende dalla metodologia di comunicazione scelta come messaggio televisivo, avviso radiofonico o sirene di allerta. Il tempo di pre-movimento tiene conto dei tempi impiegati per l'organizzazione delle operazioni di difesa ovvero protezione con paratie dei locali che si trovano a piano strada, chiusura di seminterrati o garage e la messa in sicurezza di beni materiali ai piani alti. Infine il tempo di movimento è il tempo necessario per raggiungere il luogo sicuro che, in questo caso, può non coincidere con l'esterno dell'edificio ma con il luogo più vicino in posizione elevata. Ulteriore rischio, i cui tempi, potrebbero essere calcolati con la stessa metodologia prestazionale del rischio incendio, è il rischio industriale.

In caso di incidente infatti le sostanze tossiche rilasciate nell'atmosfera o nel suolo possono avere effetti sulla salute e sull'ambiente. Valutare ASET significa valutare qual è la durata dell'esposizione, in funzione della concentrazioni e delle dosi assorbite, che provoca danni alla popolazione. Valutare RSET in questo caso non si traduce nel valutare solo il tempo necessario per evacuare l'edificio ma significa estendere la metodologia e calcolare i tempi necessari per evacuare un'intera città tenendo

- ospedali, scuole, complessi ricettivi e per lo spettacolo*, Conferenza Università di Pisa.
- [17] Ministero dell'Interno, Decreto Ministeriale G.U. n. 117 del 22 maggio 2007, Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio.
- [18] Ministero dell'Interno., Decreto Ministeriale G.U. n.192 del 20 agosto 2015, Approvazione di norme di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del D.Lgs. 8 marzo 2006, n. 139.
- [19] Ministero dell'Interno., Decreto Ministeriale G.U. n.51 del 2 marzo 2006, Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di edifici e/o locali destinati ad uffici..
- [20] BSI., The application on fire safety engineering principles to the design of buildings - Part 6: human factors: life safety strategies - occupant evacuation, behaviour and condition (sub-system 6) - PD7974-6:2004.

*anche conto delle criticità legate all'uso intensivo e contemporaneo delle infrastrutture e non più delle sole interazioni edificio-occupante.*

## 5. CONCLUSIONI

*Le ricerche in corso stanno dimostrando che l'estensione della progettazione della gestione delle emergenze in generale, può prendere riferimento dagli approcci prestazionali propri delle Fire Safety Engineering. L'evoluzione del lavoro in essere, punta alla delineazione degli scenari propri di ogni singola emergenza con lo scopo di individuare gli effetti e quindi i parametri su cui confrontare le tempistiche per il raggiungimento della possibile condizione di sicurezza nell'ottica della salvaguardia della vita umana.*