



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA DELLA SICUREZZA
CIVILE ED INDUSTRIALE

**Tesi di Laurea Magistrale in
Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale**

***LA PROGETTAZIONE DELL'ESODO:
MODELLAZIONE DELL'EVACUAZIONE DI
UNA STRUTTURA OSPEDALIERA***

Relatore: Prof. Ing. GUIDO CASSELLA

Correlatore: Ing. CATERINA TOLLOT

Correlatore: Ing. ANDREA BOSCO

Laureanda: GIORGIA RANGON

ANNO ACCADEMICO 2019/2020

Riassunto

La stesura di questa tesi si basa sullo studio di scenari di incendio ed evacuazione all'interno di una struttura ospedaliera, il fine è quello di cercare una dimostrazione all'aiuto che i modelli di simulazione possono dare in situazioni nelle quali le esercitazioni pratiche sono spesso impraticabili, o comunque solo parzialmente praticabili.

I modelli di simulazione sono uno degli strumenti di cui si avvale il progettista antincendio per mettere in pratica l'Ingegneria della Sicurezza Antincendio, *Fire Safety Engineering* (FSE) e, come vedremo, sono un aiuto non solo per valutare il comportamento della struttura in sé, ma anche un sostegno per implementare un miglioramento della gestione in fase di emergenza. Questi modelli sono infatti in grado di riprodurre le effettive condizioni che si incontrerebbero in situazioni reali, sia dal punto di vista strutturale che antropologico. Ovviamente è importante che si rimanga nell'ottica secondo cui è impossibile riprodurre con esattezza una situazione non ancora avvenuta, in particolare in un ambiente eterogeneo quale quello di una struttura ospedaliera.

Il lavoro è stato svolto con il supporto di *software* quali *Fire Dynamics Simulator* (FDS) e *Pathfinder*, questi sono in grado di simulare rispettivamente uno scenario di incendio e la procedura di evacuazione.

Sono state proposte, oltre alla modellazione dell'incendio, tre simulazioni d'esodo all'interno di un reparto di terapia intensiva. Una modellazione è creata in un contesto di affollamento massimo secondo il D.M. 19.03.2015, norma oggi in vigore per gli ospedali, una seconda simulazione prevede la riduzione di personale sanitario, che risulta essere una delle vulnerabilità più riscontrate nella gestione delle emergenze all'interno degli ospedali, mentre la terza ed ultima prevede la presenza di personale sanitario in un numero ritenuto standard dalla letteratura.

*“...Non perdere tempo con l’invidia.
A volte sei in testa, a volte resti indietro.
La corsa è lunga e alla fine è solo con te stesso...”*

The big Kahuna

Indice

Introduzione	1
Capitolo 1 - La sicurezza antincendio negli ospedali.....	3
1.1 Storia della normativa antincendio di riferimento in Italia.....	3
1.2 Approfondimento: concetto di esodo.....	7
1.2.1 L'esodo tradizionale.....	9
1.3 L'esodo negli Ospedali	11
1.3.1 Progettazione antincendio inclusiva	14
1.3.2 Comportamento antropologico	16
1.3.3 Gestione della sicurezza antincendio	19
Capitolo 2 - Incendi negli ospedali e criticità	21
2.1 Vulnerabilità degli ospedali.....	21
2.2 Alcuni eventi incidentali.....	23
2.3 Gestione delle criticità evidenziate.....	29
Capitolo 3 - I software di simulazione: un aiuto concreto	31
3.1 Ingegneria della sicurezza antincendio	31
3.2 Modellazione dell'incendio	35
3.2.1 FDS - Fire Dynamic Simulator	37
3.3 Modellazione dell'esodo.....	40
3.3.1 Pathfinder.....	43
3.4 La modellazione etica	46
Capitolo 4 - Caso studio: reparto di terapia intensiva di una struttura ospedaliera.....	49
4.1 Reparto di terapia intensiva	49
4.2 Piano di emergenza ed evacuazione	52
4.2.1 Piano di evacuazione di reparto degenze: terapia intensiva.....	55
Capitolo 5 - Simulazione d'incendio e modellazione dell'evacuazione	57
5.1 La simulazione dell'incendio e il calcolo di ASET	57
5.1.1 Caso 0 - scenario di incendio	57
5.2 La simulazione dell'esodo e il calcolo di RSET.....	62
5.2.1 Caso 1 - massimo affollamento consentito	66
5.2.2 Caso 2 - personale ridotto	75
5.2.3 Caso 3 - situazione ordinaria.....	80
5.3 Risultati.....	84
Conclusioni.....	87
Bibliografia.....	89

Introduzione

In questa tesi verrà affrontato il tema dell'esodo nelle strutture ospedaliere dovuto allo scatenarsi di un evento incidentale quale l'incendio. Questa necessità nasce a causa della natura intrinseca di una struttura ospedaliera, ovvero quella di essere un edificio strategico il cui funzionamento deve essere, in qualsiasi caso, garantito senza soluzione di continuità, al fine di garantire il supporto medico necessario, ancor più se a seguito di un'emergenza. Lo sviluppo tecnologico dagli anni '80 in poi ha comportato, come vedremo, un aumento considerevole di incidenti nelle strutture ospedaliere. Da quel momento è stata appresa l'importanza di prestare maggior attenzione alle problematiche che occorrono in tali strutture qualora vi sia un'emergenza. La sicurezza antincendio di tali attività non è minata solo dall'eterogeneità architettonica degli edifici che le ospitano, che comprende strutture nuove e vecchie suddivise in molte aree sanitarie e non, ma anche dalla presenza dei più svariati impianti tecnologici, di materiali combustibili in quantità importanti ed in diversi stati e dalla presenza di un numero consistente di occupanti di diversa tipologia, quali: dipendenti, pazienti parzialmente o totalmente non autosufficienti, pazienti autosufficienti, pazienti che hanno bisogno di soccorso immediato, personale esterno, studenti, visitatori, ecc. Queste condizioni così variabili e le eventuali conseguenze di un incendio, quali perdite ingenti di vite umane ed economiche, implicano la necessità di una corretta pianificazione e attuazione della gestione delle emergenze o meglio, più in generale, l'esigenza di investire risorse nella prevenzione e nella protezione. Il concetto della sicurezza, come quella antincendio, fonda le sue radici nella valutazione del rischio; questa prevede l'individuazione e la quantificazione dei fattori di rischio, seguiti dalla proposta di misure di prevenzione e protezione per ridurlo. La riduzione del rischio è possibile, come da Figura i, agendo sulla probabilità di accadimento dell'evento in analisi (P) e/o sulla quantità delle conseguenze derivanti dall'eventuale incidente (M – magnitudo):

$$R = P \times M$$

Prima di tutto si lavora sulla riduzione della probabilità attraverso la prevenzione attuata livello conoscitivo, gestionale e di controllo; è necessario poi considerare la riduzione della magnitudo in caso di accadimento, ciò avviene grazie ad una corretta protezione, attiva e passiva, che, nel caso in esame, controlla l'insorgere di incendio e la sua propagazione. A favore della tutela e salvaguardia

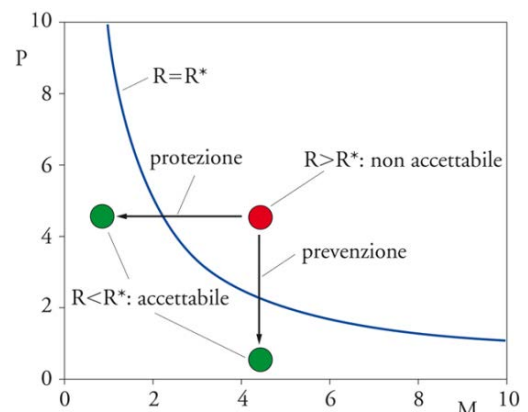


Figura i Effetti della prevenzione e protezione sul livello di rischio

della vita umana, l'obiettivo principale è quello di evacuare tutti gli occupanti della struttura soggetta all'evento incidentale in un luogo, così detto, sicuro ovvero un luogo dove gli occupanti possano permanere o transitare in sicurezza, in quanto il rischio d'incendio è permanentemente trascurabile. L'Ingegneria della sicurezza antincendio, come metodo prestazionale, e quindi flessibile, che garantisce comunque il raggiungimento dell'obiettivo, va a supportare la complessità del raggiungimento di quest'ultimo in una struttura ospedaliera, permettendo per esempio attraverso modelli di calcolo di riprodurre e produrre diversi scenari, andando a quantificare e valutare le misure di protezione in opera o in progetto, stabilendone l'efficacia in relazione alle reali necessità. In questa tesi verranno utilizzati due *software* per riprodurre l'incendio e l'esodo in più scenari ricreati all'interno di una struttura ospedaliera, verrà preso come esempio un reparto di terapia intensiva a puro scopo didattico. Infatti, l'obiettivo principale di questo lavoro non è quello di stravolgere o valutare lo stato di fatto di uno specifico ospedale, bensì lo studio per approcciarsi alla valutazione di un miglioramento della gestione e della protezione nelle fasi di emergenza attraverso l'uso di simulazioni in grado di generare risultati aderenti alla realtà; arginando così le problematiche di una prova di evacuazione reale che, per ovvie ragioni, è raramente o solo parzialmente realizzabile in queste strutture. Lo studio verrà effettuato a seguito dell'analisi di un set di casi incidentali, in questo modo si andranno ad evidenziare le principali criticità riscontrabili nelle strutture ospedaliere. È bene sottolineare infatti che le regole tecniche specifiche per gli ospedali ora in vigore (D.M. 18.09.2002 aggiornato al 19.03.2015) non sono totalmente inclusive, o meglio, analizzando gli edifici progettati con modalità prescrittiva, si possono riscontrare ancora molte criticità nell'evacuazione di persone con ridotta capacità motoria; ad oggi invece si va incontro ad una nuova dimensione di progettazione, con il nuovo Codice di prevenzione incendi e con l'integrazione della modalità prestazionale si hanno tutte le carte in regola affinché la salvaguardia della vita umana in qualsiasi condizione sia tutelata al meglio. Vi è inoltre un problema che prescinde da quanto appena esposto, che non è trascurabile e va affrontato con lo stesso rigore; infatti, al di là della progettazione antincendio a livello strettamente strutturale, vi è la necessità di una corretta gestione dell'attività e dell'emergenza; quest'ultima è alla base della prevenzione e protezione dagli incidenti e prevede ruoli, compiti, responsabilità e procedure che vanno pianificate e rispettate. Una falla nella gestione, sia in condizioni di pace che di emergenza, come vedremo, è spesso fonte di incidente. Verrà evidenziato in questo contesto gestionale il problema della formazione e informazione all'interno delle strutture ospedaliere: i pazienti si affidano totalmente alle istruzioni del personale, che deve essere messo nella condizione di gestire efficacemente l'emergenza, tuttavia, la formazione con esercitazioni pratiche dal vivo è di difficile attuazione, il personale è soggetto a una grande fatica psico-fisica nell'evacuazione dei pazienti oltre ad essere spesso in numero insufficiente, infine, vi è un *turn-over* molto consistente del personale che deve essere continuamente informato e formato.

Capitolo 1

La sicurezza antincendio negli ospedali

La sicurezza antincendio fa parte dei diritti fondamentali garantiti dalla costituzione italiana, che prevede, come principio assoluto, la tutela della persona umana nella sua integrità psico-fisica. La prevenzione e la protezione dagli incendi sono infatti dirette a conseguire gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone oltre che di tutela dei beni e dell'ambiente. In particolare, la prevenzione racchiude in sé le misure atte a limitare la probabilità di insorgenza dell'evento mentre la protezione ne limita le conseguenze.

Lo scopo principale della sicurezza antincendio è quello della riduzione del rischio, ovvero della riduzione della frequenza con cui si verifica l'incendio e/o delle misure delle conseguenze, attraverso una corretta progettazione, manutenzione e gestione della struttura e degli impianti. La sicurezza antincendio è molto importante negli edifici strategici in cui deve essere garantita la continuità di esercizio anche in condizioni di emergenza. Tra gli edifici strategici più rilevanti, in termini di salvaguardia della vita, vi sono certamente gli ospedali. In questi ultimi, un evento quale l'incendio, se non correttamente gestito, può compromettere la possibilità di prestare soccorso con conseguenze inevitabilmente tragiche in termini di perdite di vita umana. Per salvaguardare la sicurezza il primo passo è quello di un corretto approccio alle normative vigenti in materia.

1.1 Storia della normativa antincendio di riferimento in Italia

Il primo decreto che definì le procedure di prevenzione incendi risale al 1955 con il D.P.R. n° 547 del 27.04.1955: "Norme per la prevenzione di infortuni sul lavoro" con cui si introduce l'obbligo per alcune attività del controllo, ai fini della prevenzione incendi, da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. Tali attività erano individuate nel D.P.R. n° 689 del 26.05.1959 ma non comprendevano le strutture ospedaliere, e più in generale le strutture sanitarie.

Gli ospedali compaiono per la prima volta come attività soggette con il D.M. del 27.09.1965, recante un elenco di 100 attività soggette ai controlli di prevenzione incendi; due mesi prima veniva istituito il Certificato di Prevenzione Incendi. Con il D.M. 16.02.1982 questo elenco di attività soggette viene ridotto a 97 attività la cui ottantaseiesima è identificata in "ospedali, case di cura e simili con oltre 25 posti letto". Al tempo le norme che venivano utilizzate, in fase di progettazione, in campo ospedaliero erano costituite dall'uso di vari decreti consultati per analogia, quasi a seguire una linea guida più che una vera regola; ad esempio per le vie d'esodo venivano consultate le norme proprie dei luoghi pubblico spettacolo o degli alberghi, per la compartimentazione si faceva riferimento alla circolare n°91 del 14.09.1961 recante le

"Norme di sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile" e così via. Questo tipo di approccio evidentemente non è un metodo adeguato: un'evacuazione da un edificio di pubblico spettacolo non può essere paragonabile ad un esodo da struttura ospedaliera, tra le due cambiano moltissimo le dinamiche, le necessità delle persone e le capacità psico-fisiche degli ospiti nella struttura.

Solo nel settembre 2002 (D.M. 18.09.2002) entra in vigore la prima "Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private" a cui le strutture si dovevano adeguare entro il 26.12.2007. Furono però riscontrate molte criticità nell'adeguamento, la nuova normativa era molto severa e complicata da gestire. Un aiuto arriva con l'emanazione del D.M. 9.05.2007 "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio", che definisce i criteri da adottare per valutare il livello di rischio delle attività e progettare le misure compensative utilizzando, a discrezione del richiedente e del progettista, l'approccio ingegneristico; in tal modo la progettazione viene affrontata in forma meno prescrittiva, con soluzioni comparabili in termini di sicurezza e basate sul giudizio esperto di un professionista. Nello stesso periodo i processi amministrativi, non solo per le attività ospedaliere, cominciarono a divenire molto onerosi per i Vigili del Fuoco. Si rese quindi necessario, con il D.P.R. n°151 del 01.08.2011, un "Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi". Tra i vari cambiamenti di quest'ultimo decreto si ha una riduzione delle attività soggette da 97 a 80 e una suddivisione delle stesse in 3 categorie (A, B, C) in funzione del rischio. Quest'ultimo decreto vede coinvolte anche le strutture ospedaliere che rientrano nell'elenco di tali attività, alla posizione n°68 e la cui categoria che ne identifica il grado di rischio è differenziata in funzione del numero di posti letto, comunque oltre i 25 posti letto.

Si cercò una soluzione al difficile adeguamento alla nuova regola tecnica del 2002 e venne approvata nel 2012 la cosiddetta Legge Balduzzi che prevede semplificazioni e soluzioni di minor costo a parità di sicurezza.

Infine, nel 2015 con il D.M. 19.03.2015 si ha un "aggiornamento della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private di cui al decreto 18.09.2002". Si inizia con questo decreto a ragionare in funzione del singolo caso, agevolando l'adeguamento delle strutture ospedaliere esistenti.

Principi cardine di questo decreto sono infatti: proporzionalità rispetto al livello e alla tipologia di rischio individuata, progressività intesa come adeguamento progressivo delle attività, flessibilità nell'adeguamento che può avvenire per aree nelle strutture organizzate a padiglioni, continuità rispetto alle normative precedenti per agevolare adeguamenti già cominciati ed equivalenza che garantisce il mantenimento degli standard di sicurezza e prevede misure compensative gestionali per le fasi transitorie di adeguamento.

Importantissimo in questo decreto è proprio l'introduzione del sistema di gestione per la sicurezza antincendio.

Tutti gli adeguamenti per le strutture ospedaliere con oltre 25 posti letto devono essere completati entro il 24.04.2025, data termine per la presentazione della Segnalazione Certificata di Inizio Attività (SCIA) e, insieme alle nuove costruzioni, seguono la procedura dettata dal D.P.R 151/2011 come da Figura 1.1.:

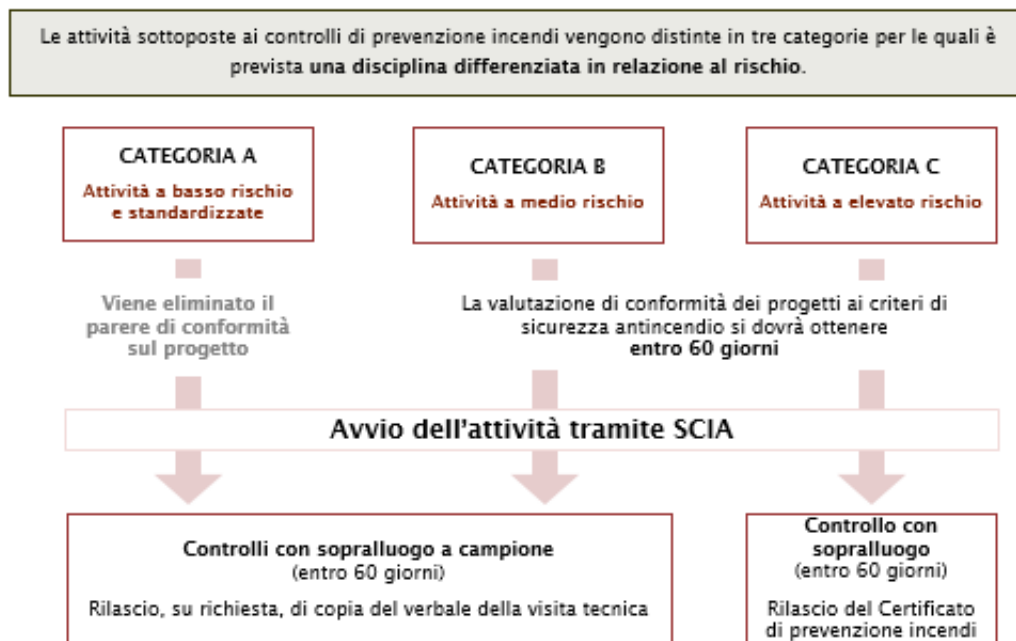


Figura 1.1. Schema delle procedure per inizio attività soggette

Ad oggi per molte delle attività in allegato D.P.R. 151/2011 che sono provviste di regola tecnica è possibile, in alternativa alla regola tradizionale, ricorrere all'utilizzo del Codice di Prevenzione Incendi, con il D.M. 3.08.2015 modificato dal D.M. 12.04.2019. Tale decreto nasce come semplificazione ulteriore del corpus normativo di prevenzione incendi attraverso un unico testo organico e metodico e mediante l'introduzione di un nuovo approccio, quello semi-prestazionale, più in linea con il progresso tecnologico e con gli standard nazionali. Il Codice è costituito da: un preambolo, 5 articoli e un allegato, quest'ultimo costituisce la parte applicativa ed è divisibile, idealmente, in tre macrocategorie che permettono al progettista un approccio più sistematico:

1. Regola Tecnica Orizzontale (RTO) = regola tecnica applicabile a tutte le attività
2. Regola Tecnica Verticale (RTV)= regola tecnica applicabile ad una certa attività o parte di essa e contenente specifiche tecniche sostitutive o complementari alla RTO
3. *Fire Safety Engineering* (FSE) = applicazione dei principi ingegneristici finalizzati alla tutela della vita umana, dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione del rischio di incendio e delle misure ottimali per limitarne le conseguenze

Al momento gli ospedali (attività n°68 del D.P.R. 151/2011) non rientrano nel campo di applicazione del codice, che quindi è utilizzabile solo come linea guida o eventualmente in deroga, ma sono in fase di definizione le specifiche sostitutive o complementari fornite dalle RTV e sembrerebbero interessare: classi di resistenza al fuoco in funzione delle altezze, obbligo di ubicazione fuori terra e obbligo di esodo orizzontale progressivo per alcune aree, numero di idranti in funzione dei posti letto e limiti per il carico di incendio nelle aree commerciali interne alla struttura ospedaliera; quindi, si spera che presto anche per la progettazione delle attività ospedaliere si potrà usufruire del Codice di prevenzione incendi.

La possibilità di progettare con il Codice è una novità molto interessante per le attività soggette, infatti, con l'uso di quest'ultimo, nasce un nuovo modo di progettare, più dinamico e adattabile all'oggetto in studio. L'approccio è quello semi-prestazionale, in cui la figura del progettista antincendio riveste un ruolo fondamentale nel trovare la soluzione su misura al problema attraverso:

1. La definizione degli obiettivi di sicurezza antincendio, quali: minimizzazione delle cause d'incendio, garanzia della stabilità delle strutture, limitazione della propagazione di un eventuale incendio sia all'interno dell'edificio che a edifici contigui, sicurezza di soccorritori ed occupanti, tutela dei beni e dell'ambiente e continuità delle opere strategiche.
2. La definizione delle strategie, indispensabili per il raggiungimento degli obiettivi suddetti. Tali strategie sono: reazione al fuoco, resistenza al fuoco, compartimentazione, esodo, gestione della sicurezza antincendio, controllo e spegnimento, operatività antincendio e sicurezza degli impianti.
3. L'individuazione per ogni strategia, in base alla valutazione del rischio, dei livelli di prestazione a cui la struttura risponde.
4. La definizione delle soluzioni conformi – alternative – in deroga che si considerano idonee al raggiungimento del livello di prestazione fissato.

Sono stati introdotti, con il Codice, degli indicatori di rischio per uniformare l'attribuzione dei livelli di prestazione:

- Rvita → rischio relativo alla salvaguardia della vita → parametro che tiene in considerazione, per ciascun compartimento, il tempo necessario affinché il focolare tipo esprima una potenza termica di 1 MW e lo stato degli occupanti;
- Rbeni → rischio relativo alla tutela dei beni artistici, strategici ed economici → parametro che valuta, per l'intera attività, se il bene è tutelato e/o strategico;
- Rambiente → rischio relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio → indica, per l'intera attività, la necessità di garantire nei confronti delle matrici aria-acqua-suolo.

Il codice identifica nella sua RTO, già ad oggi, un Rischio Vita D2 per destinazioni d'uso quali degenza ospedaliera, terapia intensiva, sala operatoria, residenza per persone non autosufficienti e con assistenza sanitaria; dove D identifica gli occupanti che necessitano di cure mediche e il numero due una velocità caratteristica prevalente di crescita dell'incendio media. Una velocità di crescita rapida o ultrarapida dell'incendio negli ospedali non è ammessa dal Codice. Per quanto concerne Rbeni la struttura ospedaliera è da considerarsi strategica mentre Rambiente, a meno di un certo esito in specifica valutazione del rischio, è ritenuto non significativo.

L'aspetto da tenere in maggiore considerazione come interazione tra sicurezza antincendio e salvaguardia della salute e della vita degli occupanti una struttura è sicuramente l'esodo. Il criterio di progettazione ideale sarebbe quello secondo cui il sistema di evacuazione assicuri agli occupanti il raggiungimento di un luogo sicuro senza che questi risentano in alcun modo dell'incendio in corso.

1.2 Approfondimento: concetto di esodo

Un sistema d'esodo è costituito da luoghi sicuri, in cui è permanentemente trascurabile il rischio di incendio, vie d'esodo, uscite, illuminazione di sicurezza, segnaletica, ecc. e dovrebbe avere lo scopo di assicurare la prestazione d'esodo a prescindere dall'intervento dei Vigili del Fuoco. In particolare, per sistema d'esodo si intende *“l'insieme delle misure di salvaguardia della vita che consentono agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro o di permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano”*¹. Le condizioni incapacitanti per gli occupanti si possono determinare qualora si verifichi almeno una delle seguenti ²:

- altezza libera dai fumi inferiore a 2 m
- irraggiamento superiore alla soglia di $2,5\text{kW/m}^2$
- temperatura di esposizione dell'occupante superiore a 60°C
- oscuramento della visibilità da fumo: qualora non sia visibile un pannello riflettente non retroilluminato posto ad altezza di 1.80 m e a 10 m di distanza
- presenza di gas tossici e/o irritanti in FED (dose frazionale efficace) e FEC (concentrazione frazionale efficace) superiore a 0.1 valutata ad altezza 1.80 m
- temperatura media dello strato di fumi caldi maggiore di 200°

^{1 2} Decreto 18 ottobre 2019. Modifiche all'allegato 1 al decreto del Ministro dell'interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»

Si introduce inoltre brevemente, prima di proseguire la trattazione sull'esodo, il concetto di incendio, andando a comprendere in modo astratto le circostanze e le tempistiche in cui deve essere messa in atto l'evacuazione.

Un incendio ha inizio da un innesco, che avviene qualora vi siano tutte le condizioni favorevoli ovvero coesistono nello stesso momento combustibile, comburente e innesco creando il così detto "triangolo del fuoco".

Lo sviluppo dell'incendio è ben descritto da una curva, detta curva HRR (*Heat Release Rate* – Figura 1.2.) che rappresenta la portata con cui l'energia termica viene immessa nell'ambiente in funzione del tempo.

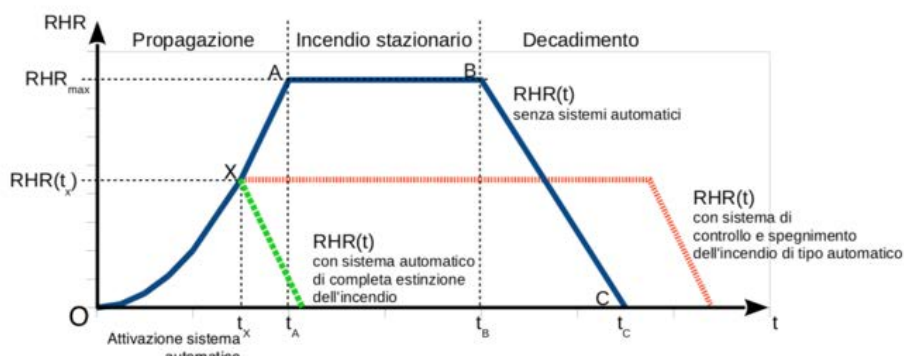


Figura 1.2. Curva HRR (*Heat Release Rate*)

La curva rappresenta le varie fasi di un incendio dal momento di primo innesco al suo esaurimento. Il tratto crescente della curva rappresenta la fase iniziale, in cui inizia il processo di combustione, fino al raggiungimento del *flash-over*, in cui l'incendio diventa generalizzato e le temperature raggiungono picchi di 500-600°C. Questo tratto, dal punto di vista della salvaguardia della vita è il più importante da valutare, infatti, più questo tratto è ripido, più velocemente si svilupperanno i fumi tossici e più veloce sarà l'abbassamento dell'altezza libera da fumi; quindi, come vedremo più avanti, è questa la fase in cui deve avvenire l'esodo. Nella fase successiva al *flash-over*, quando il fenomeno di combustione è ormai generalizzato e incontrollabile dai presidi antincendio, l'incendio procede in maniera stazionaria fintanto che comburente o combustibile non giungano a esaurimento. Subentra, quindi, la terza fase, dove il tratto decrescente rappresenta l'estinzione.

Si osservi ora che la curva in Figura 1.2 è la semplificazione della curva naturale d'incendio, quella con tratto rosso in Figura 1.3. In quest'ultima il punto d'origine rappresenta l'innesco, inizia quindi una fase di lenta crescita in cui intervengono le misure di protezione attiva, tali misure sono atte a spegnere il principio di incendio agendo direttamente sulla fiamma; in caso di successo la curva non si sviluppa nella sua interezza ma rimane più bassa o decresce subito. Qualora, invece, queste protezioni attive dovessero fallire vi sarebbe, come detto poc'anzi, un aumento repentino di temperatura fino al punto di *flash over*, in queste condizioni l'incendio andrà a spegnersi per esaurimento del carico di incendio o dell'ossigeno. In quest'ultimo

scenario è fondamentale l'attivazione della protezione passiva finalizzata non tanto a spegnere l'incendio quanto ad evitare la propagazione dello stesso.

Questa premessa è utile per capire in che fase è indispensabile si attivi la procedura di esodo.

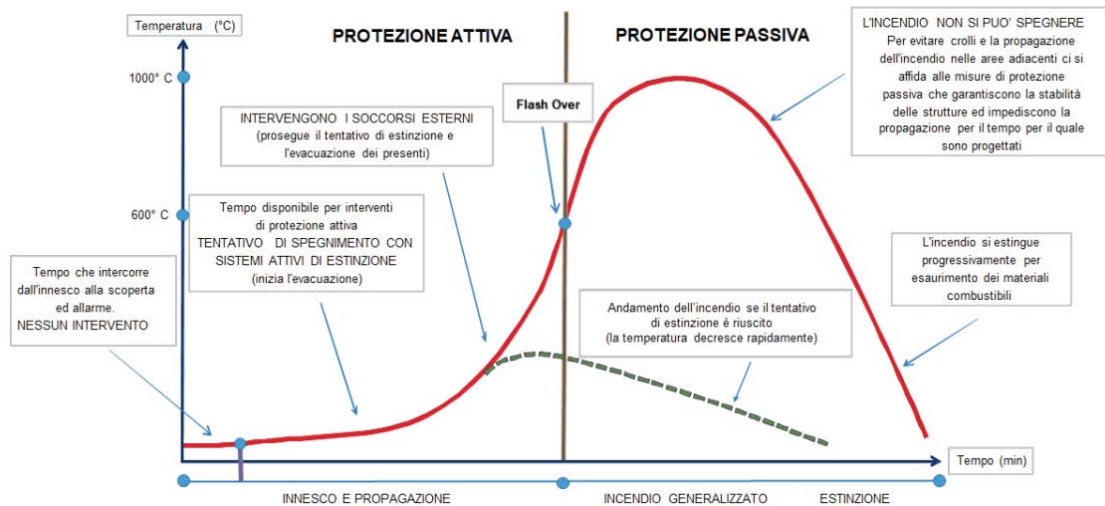


Figura 1.3. Andamento di un incendio rappresentato tramite curve. La linea rossa rappresenta la curva naturale di incendio che rappresenta un incendio reale, la curva tratteggiata riproduce l'abbattimento delle temperature grazie al successo delle protezioni attive.

La misura dell'esodo è classificata come misura di protezione passiva, essa infatti non va a spegnere né a controllare la fiamma; in quanto tale però si differenzia rispetto alle altre misure dello stesso tipo poiché, come prima accennato, deve essere messa in atto prima del punto di *flash over*, quindi nel campo di attivazione delle protezioni attive. Infatti, in seguito alla fase di *pre flash over*, le temperature divengono molto alte ma soprattutto i fumi tendono ad essere molto densi e bassi ed è proprio il fumo la causa della maggior parte delle morti a seguito di un evento incidentale quale l'incendio. Diventa di fondamentale importanza capire come progettare la struttura per garantire l'esodo degli occupanti in totale sicurezza, per fare questo è necessario comprendere come si muove una folla, ovvero un gran numero di persone che camminano in uno stesso spazio in un certo momento.

1.2.1 L'esodo tradizionale

In Italia le normative per regolare la progettazione in funzione dell'esodo prendono piede negli anni '50, seguendo la traccia delle normative estere che vennero introdotte, negli Stati Uniti, già negli anni '30 quando iniziarono ad essere costruiti i primi edifici sviluppati in altezza. Inizialmente si era pensato a modelli di tipo totalmente capacitivo, infatti si presupponeva che, per esempio, le scale dovessero contenere tutta la popolazione che in quel momento occupava l'attività; successivamente, per non andare in contrasto con le direttive comunali e per non sovradimensionare gli spazi, si iniziò a pensare a un modello dinamico, che è poi quello che si chiama ad oggi metodo tradizionale che presuppone che il moto delle persone venga assimilato al moto di un fluido. Con la circolare n°16 del 1951 tale metodo

viene introdotto per la prima volta su normativa ed è conosciuto anche come metodo Cascarino. Secondo tale approccio l'esodo avviene per file ordinate e il parametro fondamentale è la capacità di deflusso, ovvero il numero massimo di persone che possono defluire attraverso un'uscita di modulo 60 x 200 cm in un tempo limite di un minuto. Dalla conoscenza della massima quantità di persone contenute in un certo spazio e dalla capacità di deflusso, di cui sopra, si può calcolare la quantità di moduli necessari a garantire l'esodo delle persone contenute nell'attività. Cascarino impostò la capacità di deflusso in 50 persone/modulo in orizzontale, 37,5 pp/mod in discesa e 33 pp/mod in salita. Importante è sottolineare che questo tipo di normativa non permette di posizionare singoli moduli, ogni uscita di emergenza, infatti, non può essere tale se inferiore 90 cm. Inoltre, le scale devono essere di larghezza minima 120 cm (due moduli) e la lunghezza per raggiungere una qualsiasi via d'esodo deve essere di massimo 30m, anche in quest'ultimo caso la misura è standardizzata secondo il concetto di esodo ordinato che si esplica in un movimento regolare di persone che si muovono ad una velocità di 30m/minuto. Un aspetto a cui prestare molta attenzione è che il metodo Cascarino è valido per una popolazione totalmente abile, ovvero nel suo studio non è stata tenuta in conto l'inclusività, infatti, assimilando il moto a quello di un fluido non si tiene in considerazione la possibile differenza di abilità motoria, sensoriale e cognitiva delle persone. Le fasi dell'esodo nel metodo tradizionale prevedono un lasso di tempo che tiene conto di: tempo di rivelazione, tempo di allarme, tempo di preparazione e tempo di evacuazione. Mentre le prime tre fasi sono di stallo, il tempo di evacuazione prevede un andamento decrescente del numero di persone previste nell'attività.

Il concetto di massimo affollamento permesso in un compartimento, introdotto con il metodo tradizionale, rimane al giorno d'oggi molto attuale nell'analisi del concetto di "crowd management" per lo studio del movimento delle masse, che si discosta dal concetto di esodo inteso come evacuazione ordinata, qui si tiene conto del fatto che maggiore sarà l'affollamento minore sarà la velocità di evacuazione fino all'arresto, si può visualizzare nella Figura 1.4 l'andamento della velocità dei pedoni in relazione all'indice di affollamento, questa immagine evidenzia una tendenza all'arrestarsi del fluire della folla superata una

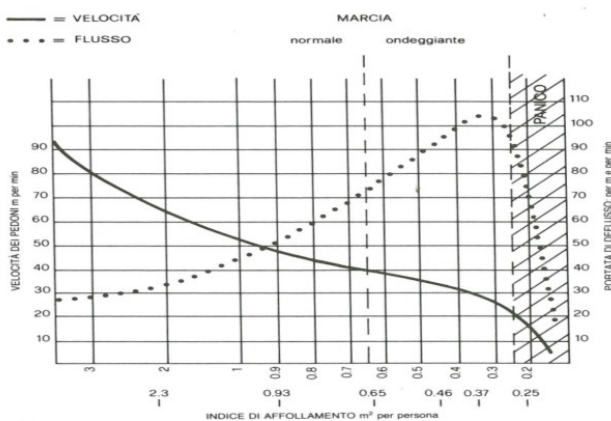


Figura 1.4. Grafico rappresentante l'andamento della velocità e del flusso degli occupanti in relazione all'indice di affollamento

densità di affollamento di circa 0.35 persone/ m^2 , affollamento che si può avere in una situazione di panico o di convergenza verso una via di uscita.

Ecco, infatti, che secondo i nuovi approcci risulta necessario introdurre una ridondanza delle vie di uscita, che oltre ad arginare una situazione di indisponibilità di un'uscita di sicurezza potrebbe essere utile per far defluire più velocemente la folla, anche se, come vedremo, l'istinto dell'occupante di individuare e scegliere l'uscita di sicurezza più vicina non è da dare per scontato. Quindi, ad oggi, il metodo tradizionale è caduto in disuso a favore di modelli di progettazione più facili e inclusivi, che rispecchiano maggiormente la realtà, abbandonando l'uso di regole empiriche in favore di soluzioni basate sull'evidenza scientifica e su dati sperimentali. Ciò nonostante, per la progettazione delle strutture ospedaliere, il riferimento rimane ancora quello tradizionale previsto dal D.M. 18.09.2002 aggiornato con D.M. 19.03.2015, come descritto nel prossimo paragrafo.

1.3 L'esodo negli Ospedali

In particolare, si approfondisce in questo sottoparagrafo l'esodo all'interno degli ospedali.

In effetti l'evacuazione degli ospedali non è una cosa banale, questo è dovuto alla natura intrinseca dell'ospedale stesso: ampi spazi, compartimenti a destinazione d'uso differente ed occupanti con caratteristiche molto diversificate. Come già accennato in precedenza la normativa che ad oggi vige sugli ospedali è la regola tecnica D.M. 18.09.2002 aggiornata al 19.03.2015;

Lo scopo della regola tecnica in vigore è quello del raggiungimento dei primari obiettivi di sicurezza per la salvaguardia della vita e per la tutela dei beni dal rischio di incendi; quindi le strutture sono realizzate e gestite per: minimizzare le cause di incendio, garantire la stabilità delle strutture portanti per assicurare il soccorso, limitare produzione e propagazione degli incendi nell'edificio e ad edifici vicini, assicurare che occupanti e soccorritori lascino il locale indenni e garantire il soccorso in condizioni di sicurezza. I medesimi obiettivi si ritroveranno poi con l'introduzione del Codice di prevenzione incendi come principi cardine dello stesso.

Già nel D.M. del 2002 vengono introdotte, nel Titolo I, le prime definizioni, ricavate dal D.M. 30.11.1983, fondamentali al concetto di esodo, quali: corridoio cieco, esodo orizzontale progressivo, percorso orizzontale protetto, piano di uscita dell'edificio e nascono le regole per la progettazione delle scale esterne. È doveroso, per rendere chiaro il testo, fare una piccola digressione per definire le tipologie di via di uscita e di esodo ad oggi esistenti:

- Scala aperta: vano scala che mette in comunicazione, con soluzione di continuità, tutti i piani ad esso afferenti.
- Scale o vie protette: il vano scala o il corridoio costituisce un compartimento ed è protetto da elementi con una certa caratteristica di resistenza al fuoco

- Scale a prova di fumo: il vano scala è un compartimento separato dai restanti compartimenti attraverso filtri a prova di fumo
- Scala esterna: il vano scala è autoportante e, attraverso vincoli costruttivi assicura la protezione da irraggiamento e fumi provenienti dall'edificio; in particolare i materiali da costruzione della scala devono essere di classe 0 di reazione al fuoco e la parete esterna afferente alla scala, compresi gli infissi, deve avere REI 60 per una larghezza pari alla proiezione della scala sulla parete incrementata di 2.5 m. In alternativa la scala deve distaccarsi di 2.5 m dalla parete ed essere collegata alle porte d'accesso tramite passerelle protette REI 60.
- ❖ Esodo simultaneo → L'attivazione della procedura di esodo segue immediatamente la rivelazione e allarme dell'incendio o comunque è differita di pochi istanti;
- ❖ Esodo per fasi → In una struttura organizzata con più compartimenti, viene attivata la procedura di esodo dal compartimento di primo innesco verso luogo sicuro, successivamente si avvia in successione anche l'evacuazione degli occupanti degli altri compartimenti;
- ❖ Esodo orizzontale progressivo → Modalità che prevede lo spostamento degli occupanti dal compartimento di primo innesco in un compartimento adiacente capace di contenerle e proteggerli fino all'estinzione dell'incendio o fino ad una successiva evacuazione.
- ❖ Protezione sul posto → Modalità che prevede la protezione degli occupanti nel compartimento in cui si trovano

Per una corretta progettazione è di fondamentale importanza suddividere le varie aree della struttura sanitaria affinché non vengano trascurati rischi specifici riguardanti la natura dei materiali contenuti nei compartimenti o il numero e la tipologia di occupanti che vi stazionano; è inoltre indispensabile assicurare i corretti requisiti in dimensione per assicurare, in qualsiasi evenienza, l'accesso all'area e la manovra da parte dei mezzi di soccorso e il loro accostamento alla struttura. Tornando alla progettazione dell'esodo, la regola tecnica prevede che tutte le scale siano almeno di tipo protetto, qualora l'area da progettare sia di passaggio per gli occupanti dell'area degenti, le scale devono essere a prova di fumo con filtri dimensionati per assicurare la movimentazione di letti e barelle. Essenziale risulta la presenza degli ascensori, prestando attenzione alle differenze che caratterizzano l'ascensore/monta lettighe di uso comune, che in caso di incendio non deve essere utilizzato, dagli ascensori antincendio, progettati per essere utilizzati normalmente ma con comandi e segnalazioni che lo rendono in grado di essere impiegato sotto il controllo diretto dei Vigili del Fuoco, ed ancora da quelli riservati al soccorso, installati ed utilizzabili solo ed esclusivamente in caso di incendio dal personale addetto per il trasporto delle attrezzature del servizio antincendio e, solo eventualmente, per l'evacuazione di emergenza. In particolare, ci si riferisce al D.M.

15.09.2005 contenente la regola tecnica di prevenzione incendi per i vani degli impianti di sollevamento ubicati nelle attività soggette al controllo di prevenzione incendi.

Le principali misure per l'esodo contenute nella normativa D.M. 18.09.2002 aggiornata al 19.03.2015 sono riassunte in tabella 1.1. e seguono il metodo tradizionale dell'Ing. Cascarino.

Tabella 1.1. Riassunto delle principali misure per l'esodo contenute nel D.M. 18.09.2002 aggiornato al 2015

CAPACITÀ DI DEFLUSSO	N° VIE D'ESODO	CARATTERISTICHE VIE D'ESODO	LUNGHEZZA PERCORSI	LARGHEZZA VIE D'ESODO	LARGHEZZA SCALE/RAMP E	CONDIZIONI SPECIFICHE
Massimo: 50 p/mod; 37.5 p/mod; 33 p/mod; In funzione della quota rispetto al piano di uscita	Almeno 2 per piano.	Almeno protette e a prova di fumo per aree D.	40 m da luogo sicuro; 30 m da scala o da compartimento a compartimento in aree D; 15 m da corridoi ciechi.	Almeno 1.20 m. Nelle aree di tipo D i pianerottoli devono consentire cambi di direzione di 180°	In funzione dell'affollamento massimo di due piani consecutivi.	Ascensore antincendio per aree D; ascensore di soccorso per altezza della struttura maggiori di 24 m; Esodo progressivo.

La metodologia più comune riservata all'evacuazione delle strutture sanitarie rimane in tutti i casi l'esodo orizzontale progressivo (Figura 1.5.), in tal modo si evita l'evacuazione completa dell'edificio che comporterebbe non pochi disagi, per esempio per tutti quei degenti che sono strettamente dipendenti dai macchinari. Le strutture vengono quindi progettate affinché siano suddivise in almeno due compartimenti posti in sequenza; se la compartimentazione è efficiente il numero di occupanti da evacuare si riduce in modo consistente, sarà infatti necessario spostare solamente gli occupanti in pericolo ai compartimenti adiacenti in cui potranno permanere al sicuro fino all'estinzione dell'incendio o ad una eventuale evacuazione in sicurezza. È necessario quindi prestare attenzione alla capienza dei compartimenti che devono essere dimensionati per contenere non solo i suoi normali occupanti, ma anche quelli che lo impiegano per l'esodo; inoltre, anche le vie d'esodo, almeno due indipendenti, devono essere dimensionate correttamente per evacuare anche gli occupanti che eventualmente occuperanno il compartimento in fase di emergenza.



Figura 1.5. Rappresentazione dell'esodo orizzontale progressivo in due compartimenti, nel compartimento 1 vi è l'ennesco e le frecce indicano l'esodo verso il compartimento 2

Tutto ciò deve essere pensato nell’ottica di una movimentazione e/o permanenza da parte di addetti all’assistenza che si muovono con l’ingombro dei dispositivi di supporto al movimento o sorreggendo una seconda persona.

Per una corretta valutazione del rischio, è importante non venga trascurata un’evacuazione completa. Non è detto infatti che il passaggio a un compartimento adiacente sia sufficiente, potrebbe essere necessario evacuare ad un altro compartimento o anche evacuare l’intero edificio; per questo deve essere sempre considerato e correttamente progettato l’esodo orizzontale non progressivo e l’esodo verticale, anche senza l’uso di ascensori.

A tal fine è necessario prevedere in qualsiasi situazione la disponibilità di dispositivi di assistenza al movimento quali teli di salvataggio ospedaliero, sedie portantine, barelle, ecc. oltre che assicurare la presenza dello spazio necessario alla movimentazione dei pazienti anche su letti e barelle.

Quanto finora riportato ci porta alla necessità di definire tre concetti che, ai giorni d’oggi, devono essere considerati necessari e imprescindibili nella progettazione della sicurezza antincendio, in particolare quando si parla dell’esodo e ancor più se all’interno degli edifici strategici, questi 3 concetti verranno analizzati di seguito e sono: la progettazione antincendio inclusiva, il comportamento umano e il sistema di gestione della sicurezza antincendio.

1.3.1 Progettazione antincendio inclusiva

“Inclusione: le diverse disabilità fisiche, mentali o sensoriali e le specifiche necessità temporanee o permanenti degli occupanti come parte integrante della progettazione della sicurezza antincendio”³.

La progettazione antincendio inclusiva allora comprende il pensiero e l’atto rivolto, durante la progettazione, alla messa in sicurezza, in condizioni di emergenza dovuta ad un incendio, di occupanti aventi qualsivoglia disabilità, dove con disabilità non si intende solo disabilità fisica grave e invalidante, come tendenzialmente è il pensiero comune, ma secondo la classificazione ICIDH (*International Classification of Impairments Disabilities and Handicaps*) dell’Organizzazione mondiale della sanità, qualsiasi limitazione o perdita della capacità di compiere un’attività nel modo o nell’ampiezza considerati normali per un essere umano [...] derivante da una menomazione e quindi da una qualsiasi perdita o anormalità a carico di strutture o funzioni psicologiche, fisiologiche o anatomiche [...]; il concetto di inclusione quindi si amplia e comprende non solo gli occupanti in sedia a rotelle bensì occupanti con arti ingessati, occupanti non lucidi mentalmente, occupanti ipovedenti, ciechi, sordi, ecc. , inoltre in termini più ampi possono essere considerati “disabili” in relazione all’emergenza anche anziani, infanti e persone in panico. È ovvio allora da tale definizione

³ Decreto 18 ottobre 2019. Modifiche all’allegato 1 al decreto del Ministro dell’interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell’articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»

che, all'interno di uno scenario di emergenza, la disabilità comporta la necessità di non ragionare esclusivamente in termini di evacuazione totale immediata o standardizzata, in quanto una progettazione eseguita seguendo tali ragionamenti inevitabilmente trascura l'eventuale impossibilità di esodo da parte di un utente disabile non assistito e inoltre non tiene conto della tempistica necessaria all'esodo di un disabile assistito o meno, che inevitabilmente non può essere immediata. La salute è un diritto e come tale va tutelato per chiunque, è necessario quindi garantirne la salvaguardia in qualsiasi situazione e per questo, anche per l'esodo, vanno adottate soluzioni valide per tutti, disabili o meno. Tanto più tali ragionamenti devono essere considerati in un luogo quale è la struttura ospedaliera dove i disabili costituiscono una grande percentuale degli occupanti.

Fatta questa premessa si può intuire la necessità di introdurre metodologie di protezione tali da mantenere al sicuro anche l'occupante che è impossibilitato ad un'evacuazione istantanea; questo negli ospedali avviene, in assenza della possibilità di un esodo orizzontale verso luogo sicuro, tramite l'applicazione dell'esodo orizzontale progressivo, visto in precedenza.

Con l'introduzione del Codice di prevenzione incendi, qualora sia prevista una modifica sostanziale della struttura ospedaliera, vige l'obbligo, in alternativa all'esodo orizzontale progressivo, della creazione di spazi calmi. Questi ultimi seppur non previsti come prescrizione dalle attuali regole tecniche per le strutture ospedaliere, sono uno strumento molto potente ai fini dell'inclusione. Infatti, lo spazio calmo è un luogo sicuro temporaneo dove gli occupanti possono attendere e ricevere assistenza necessaria per concludere l'esodo verso luogo sicuro; deve avere dimensioni idonee e deve essere progettato in modo che sia di facile accesso per chiunque ma non di intralcio alla fruibilità delle vie d'esodo, allo stesso tempo deve essere contiguo e comunicante con quest'ultima, come da Figura 1.6.

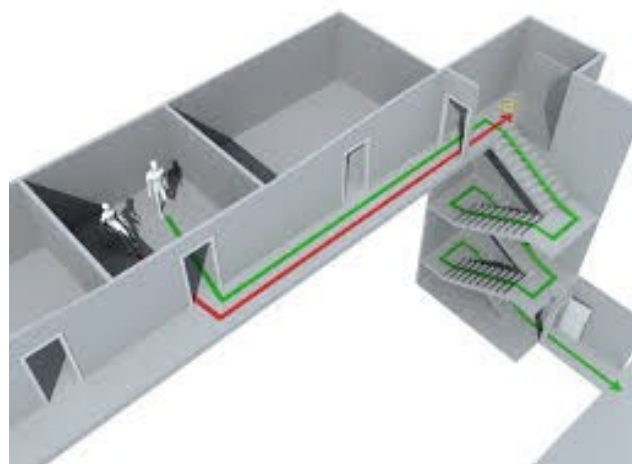


Figura 1.6. Rappresentazione dell'esodo in un ambiente inclusivo. In rosso è rappresentato il tragitto che deve compiere l'occupante disabile per raggiungere lo spazio calmo, in verde quello che deve percorrere la persona autonoma verso luogo sicuro.

Qui devono essere presenti un sistema di comunicazione bidirezionale per la segnalazione e l'assistenza, segnaletica di comportamento e dispositivi di assistenza al movimento. Affinché lo spazio calmo sia di aiuto in fase di emergenza non può mancare la gestione, quindi la corretta indicazione, anche in pianta oltre che con segnaletica, e la formazione e informazione degli occupanti e del personale. Pur essendo un'innovazione conveniente da inserire deve essere attentamente valutata in quanto la sua parte gestionale più complesse di uno spazio calmo potrebbero essere: la garanzia che vi sia una persona h24, correttamente formata, che risponda sempre e in qualsiasi circostanza per dare assistenza e l'efficace informazione degli occupanti, che comunque potrebbero non riconoscere la segnaletica o essere scettici al riguardo essendo un nuovo metodo di soccorso.

1.3.2 *Comportamento antropologico*

Come accennato nelle precedenti righe, la gestione di un'emergenza è sempre condizionata dalla conoscenza, dal pensiero e dal comportamento umano. Questi ultimi vengono fortemente influenzati dalle circostanze e possono divenire un enorme ostacolo in situazioni di forte stress, quale quello derivante dal coinvolgimento in evento incidentale. È proprio il comportamento adottato dagli occupanti che influenza maggiormente il tempo impiegato per l'evacuazione, andando ad influire specialmente sul tempo di pre-movimento, ovvero quello che precede l'azione. Per esempio, è indubbio che le persone con disabilità fisiche o sensoriali, quindi non completamente autonome, possono causare un forte rallentamento per la propria evacuazione e quella degli altri e, secondo dati Istat, le persone con difficoltà o impossibilità ad evacuare in modo autonomo rappresentano il 25% della popolazione.

Ad oggi lo studio dell'azione dell'uomo non è più oggetto solo della medicina e della psicologia ma è divenuta una materia multidisciplinare che spazia dalla sociologia all'ingegneria, passando per matematica, fisica applicata e biomeccanica; questo è dovuto sia al progresso tecnologico, che implica una stretta collaborazione uomo-macchina all'interno delle attività, che all'aumento dell'interesse nei confronti della sicurezza e salute nei luoghi di lavoro e non. Una credenza errata è quella per cui l'occupante durante un'emergenza agisce senza ragionare e mosso dal panico, in realtà in caso di minacce quali l'incendio l'uomo è spinto ad agire secondo 4 fasi assolutamente razionali:

- RECEZIONE: percezione del problema ed estrapolazione delle informazioni;
- INTERPRETAZIONE: consiste nella metabolizzazione delle informazioni ricevute e di conseguenza ignorare la situazione o indagare ulteriormente;
- PREPARAZIONE: consiste nella decisione dell'azione seguente che solitamente può essere di istruzione degli altri occupanti, ulteriore indagine dei segnali o osservazione passiva del comportamento degli altri occupanti;

- **AZIONE:** si compie l'azione scelta alla fase precedente quindi: evacuazione, lotta al fuoco, allarme per gli altri occupanti o attesa.

Questo processo cognitivo avviene per una moltitudine di persone che si muovono nello stesso spazio in un determinato momento creando così una folla. Quindi, cosa succede quando, durante un evento incidentale, il processo cognitivo del singolo si esplica all'interno di una folla in cui ogni individuo attua la propria sequenza comportamentale? La risposta è oggetto di studio già a partire dagli anni '60 a seguito di un omicidio in casa, che fu preceduto da oltre 30 minuti di aggressione in cui i vicini non intervennero, mettendo in atto il così detto "effetto spettatore". Negli anni '70 due psicologi, Latané e Darley, affermarono la possibilità di due meccanismi in tali circostanze: la sottostima dell'evento e lo scarico di responsabilità; un esempio pratico più vicino al lettore potrebbe essere l'allarme di una casa o di una macchina non di proprietà, difficilmente si uscirà a controllarne la causa scatenante. Quindi, dagli anni '70 furono introdotte molte teorie sul comportamento umano in fase di emergenza, si accenna di seguito a quelle che si possono immaginare come più pertinenti ad un'attività quale l'ospedale:

- *Role-rule model* – modello delle regole di ruolo

Questa è forse la teoria che, per natura dell'attività, si può verificare più spesso negli ospedali, qui infatti, la maggior parte dei pazienti attende l'istruzione degli infermieri per agire, rispettando, anche per necessità, i ruoli che si avevano prima dell'evento incendio. È proprio in questo che consiste il modello: il comportamento dell'occupante in fase di emergenza è influenzato dal ruolo che lo stesso ha all'interno di quella struttura. Questa teoria gioca un ruolo fondamentale nella gestione dell'emergenza, infatti ci si aspetta che il personale che nell'ambito dell'attività ha responsabilità maggiori automaticamente le espliciti anche in fase di emergenza coordinando la stessa. A tal fine è necessaria l'introduzione di una corretta formazione, informazione e gestione, ovvero che vi siano ruoli e responsabilità ben definite e chiare per tutti. Tali ruoli sono comunque difficili da mantenere, si sottolinea infatti che, a differenza del pensiero comune, il comportamento umano durante un evento incidentale è estremamente altruistico e propenso all'aiuto di conoscenti ed estranei.

- *Affiliation model* – teoria dell'affiliazione

Le persone tendono a rimanere vicino ed evacuare assieme a familiari ed amici in quanto le persone si sentono più sicure all'interno di un gruppo e di un ambiente a loro noto. Si spiega con lo stesso modello anche la propensione delle persone a cercare, in fase di esodo, la via dalla quale sono entrati piuttosto che un'uscita più vicina a loro.

Questo all'interno di una struttura ospedaliera potrebbe divenire motivo di grande confusione. Il visitatore, già preoccupato per lo stato di salute del paziente e conscio della sua impossibilità di movimento in autonomia, potrebbe tendere a muoversi per cercarlo o aspettarlo anziché evacuare velocemente la zona, creando flussi di marcia opposti e

rallentamenti. Questo istinto è supportato da un'errata percezione del pericolo, si tende infatti a percepire l'aumento del pericolo nel tempo in modo meno rapido rispetto a quanto avvenga nella realtà (Figura 1.7.)

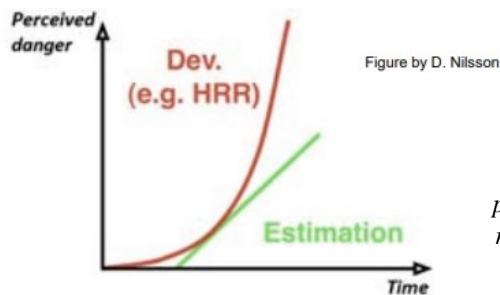


Figura 1.7. Curve che rappresentano l'aumento del pericolo percepito dagli occupanti nel tempo (curva verde) rispetto alla crescita reale dell'incendio e del conseguente pericolo (curva rossa)

Come ultimo esempio di molte teorie valide e studiate, si consideri una teoria che ben si sposa con il riconoscimento dello spazio calmo accennato al paragrafo precedente

➤ *Theory of affordances* – teoria delle “percezione intuitiva”

Questa teoria è alla base della segnaletica di emergenza, indica infatti come gli oggetti possano presentare delle caratteristiche che ne suggeriscano immediatamente l'uso corretto. Un corretto uso dell'*affordance* permette all'occupante di vedere per esempio un'uscita di emergenza (Figura 1.8.a.), o un'area destinata a spazio calmo e comprenderne immediatamente l'utilizzo accorciando drasticamente i tempi di interpretazione e preparazione all'azione. Al contrario un uso scorretto del concetto potrebbe creare confusione e rallentamenti, si immagini una maniglia classica anziché a spinta, l'occupante potrebbe tentare di tirare la porta anziché spingerla oppure una porta con cartelli contraddittori e fuorvianti (Figura 1.8.b).

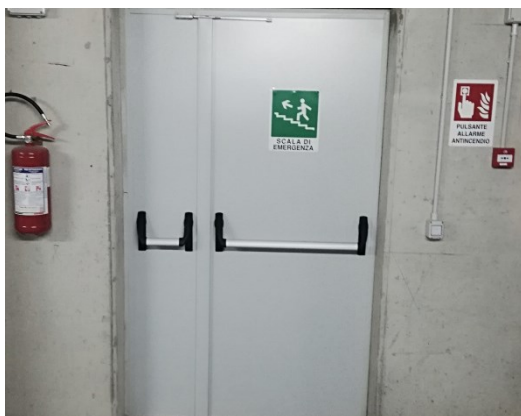


Figura 1.8.a. Esempio di corretto uso del concetto di *affordance*, si intuisce velocemente che dietro quella porta a spinta si trovano le scale di emergenza.



Figura 1.8.b. Esempio di scorretto uso del concetto di *affordance*, le scritte sono contraddittorie e non è intuitivo il verso di apertura della porta.

Il metodo prestazionale, che si vedrà approfondito al capitolo 3, permette di considerare nel calcolo del tempo richiesto per l'evacuazione anche la condotta umana, inserendo in appositi modelli di calcolo le caratteristiche fisiche degli utenti e il loro comportamento.

1.3.3 Gestione della sicurezza antincendio

Quanto detto fino ad ora non può in alcun caso prescindere da una corretta gestione. Con l'aggiornamento previsto dal D.M. 19.03.2015 si rese necessario, per le strutture sanitarie, l'inserimento in forma prescrittiva di un capitolo riguardante il sistema di gestione della sicurezza antincendio – SGSA che consentisse anche all'attività di attraversare il periodo di adeguamento compensando le lacune prescrittive e mantenendo un adeguato livello di sicurezza. Tale sistema di gestione è definito nel D.M. 10.03.1998 e viene introdotto con l'obiettivo di far raggiungere alle attività la conformità alle norme, cercando di superare le difficoltà di adeguamento legate a fattori economici e architettonici. La gestione della sicurezza antincendio permette, se ben progettata ed attuata, il mantenimento dell'efficienza di tutte le misure di prevenzione e protezione, sia in fase di esercizio che di emergenza. Il fine ultimo è quello di garantire un adeguato livello di sicurezza dell'attività, il mantenimento delle condizioni di utilizzo della struttura in qualsiasi situazione e quello delle misure di prevenzione e protezione previste. In un sistema di gestione della sicurezza antincendio vengono definiti: organizzazione e responsabilità del personale, procedure da adottare in esercizio e in emergenza, valutazione del rischio e dei pericoli derivanti dall'attività, idoneità delle misure di sicurezza adottate, piani di controllo e manutenzione degli impianti, procedure di gestione delle modifiche e controllo operativo. Questo processo deve avvenire in un'ottica di continuo sviluppo e miglioramento basato sul "ciclo di Deming"; si deve quindi pianificare la gestione, attuare il piano, controllarlo e verificarlo, agire per migliorarlo e quindi ricominciare dalla pianificazione e così via.

Si riassumono di seguito alcuni punti fondamentali per la gestione, che risultano necessari ma a volte non sufficienti per tentare di far fronte alle suddette difficoltà nelle strutture sanitarie.

Al fine di agevolare un primo intervento immediato devono essere nominate delle squadre di addetti alle emergenze, queste devono essere organizzate per tipologia di area, per piani e per compartimenti; inoltre, le squadre devono essere composte da un numero minimo di addetti stabiliti dalla legge.

Deve altresì essere nominato, dal responsabile dell'azienda sanitaria, un responsabile tecnico della sicurezza antincendio per coordinare la squadra di addetti e per predisporre e attuare l'SGSA, assicurandosi che questo rimanga aggiornato seguendo l'andamento degli adeguamenti. Non deve ovviamente mancare la predisposizione e l'aggiornamento costante del piano di emergenza e l'adozione del sistema di gestione della sicurezza antincendio.

È fondamentale e obbligatoria, anche se di difficile attuazione, la formazione, l'informazione e l'addestramento del personale come da allegato VII del D.M. 10.03.1998. Altrettanto importante è la presenza di una segnaletica chiara e inequivocabile, anche per l'informazione dei pazienti coinvolti nell'emergenza.

Per quanto finora esposto, l'implementazione e lo sviluppo di un piano di emergenza per le strutture sanitarie è un processo complesso e delicato, si riportano di seguito le criticità principali:

- Le strutture ospedaliere sono molto grandi e complesse, composte da vari reparti con destinazioni d'uso, contenuto in materiali e ruoli del personale diversi da area ad area;
- I livelli di occupazione delle strutture sono molto variabili e gli occupanti molto eterogenei;
- Parte degli occupanti di una struttura sanitaria necessitano di assistenza e cure continue e/o immediate;
- Gran parte dei pazienti all'interno dell'attività hanno una o più disabilità, sono quindi occupanti che necessitano assistenza per evacuare;
- L'evacuazione può apportare essa stessa dei rischi molto più alti che in altre attività, per esempio si pensi a pazienti che vengono fatti evacuare con la bombola d'ossigeno appresso in un compartimento in cui vi è un incendio in atto;
- Vi deve essere presenza delle risorse necessarie alla sicurezza sul posto e all'evacuazione, quali dispositivi medici e di assistenza al movimento;
- Il turn-over del personale è molto elevato, e a tutti è richiesta pari formazione, informazione e addestramento;
- Le esercitazioni pratiche sono spesso non realizzabili;
- Il personale spesso è insufficiente, soprattutto se visualizzato in una condizione di emergenza con pazienti che necessitano di assistenza;
- Deve essere garantita la presenza di almeno un addetto disponibile all'assistenza 24h/24 qualora sia creato uno spazio calmo per eventuali occupanti che vi trovino rifugio
- La struttura ospedaliera rientra tra gli edifici strategici e quindi ne deve essere garantito il funzionamento;
- Gli ospedali sono attività a ciclo continuo e sono le strutture di sostegno principali anche per i momenti che seguono gli eventi incidentali;
- Gli ospedali hanno posti "limitati" ma i pazienti necessitano di cure, quando vi è un'evacuazione si deve prevedere il contenimento e la gestione degli occupanti evacuati fino alla messa in sicurezza della struttura o parte di essa.

Questo elenco, non esaustivo, delle criticità interne al sistema di gestione di una struttura ospedaliera è proprio il fulcro di questo lavoro di tesi. Con questo testo si cercherà di dare uno spunto di riflessione riguardante le potenzialità dell'ingegneria della sicurezza antincendio e delle simulazioni con modelli computazionali, utilizzabili per la valutazione e l'ottimizzazione delle procedure di emergenza in caso di incidente.

Ai fini di una valutazione ancor più completa vedremo nel prossimo capitolo alcuni casi incidentali per analizzarne i fattori scatenanti.

Capitolo 2

Incendi negli ospedali e criticità

In questo capitolo verranno poste all'attenzione del lettore le cause più frequenti dell'evento incidentale "incendio" nelle strutture ospedaliere e i fattori che ne influenzano le eventuali conseguenze, supportando il ragionamento attraverso il racconto di casi realmente accaduti. L'obiettivo è quello di cercare e individuare le cause dirette, quindi l'agente che provoca l'incidente, indirette, ovvero comportamenti rischiosi o condizioni di sicurezza insufficienti, e radicate ovvero le falle nel sistema di gestione della sicurezza antincendio in fase di esercizio e/o di emergenza.

2.1 Vulnerabilità degli ospedali

Essendo l'ospedale, di per sé, la prima struttura di riferimento per qualsiasi evento incidentale con conseguenze in termini di feriti lievi e gravi, è ancor più importante che questa struttura predisponga piani efficaci per fronteggiare le emergenze sia derivanti da eventi incidentali esterni all'ospedale, sia da eventi incidentali che accadono all'interno della struttura e che possono comportare l'esigenza di un'evacuazione parziale o, in casi estremi, totale. Si ricorda infatti che l'ospedale raffigura un edificio strategico e, in quanto tale, deve esserne garantito il funzionamento durante gli eventi emergenziali. Tuttavia, gli incendi all'interno degli ospedali, pur non avendo particolare evidenza se paragonati a quelli in civile abitazione, possono essere più facili di quanto si pensi e non è raro si verifichino conseguenze quali infortuni o decessi, in particolare è proprio l'incendio l'incidente con maggior probabilità di accadimento all'interno degli ospedali. Secondo un'analisi effettuata dal Corpo dei Vigili del Fuoco⁴ e confermata dai vari incidenti occorsi nel tempo, i due fattori che causano più spesso un incendio all'interno della struttura ospedaliera, al di là delle cause ignote, sono:

- Malfunzionamenti o sovraccarichi degli impianti di apparecchiature elettriche, dagli anni '80 in poi, infatti, ha luogo un'introduzione massiccia di nuove apparecchiature diagnostiche che richiedono il dispendio di molta energia elettrica, nuove apparecchiature per il monitoraggio e il mantenimento delle condizioni di salute dei pazienti e nuove tecnologie di intervento per la chirurgia;
- Uso improprio di sigarette e fiammiferi.

⁴ "Ricerca sulle cause d'incendio negli ospedali anno 1995 – 2005", Dott. Ing. Maurizio D'Addato, 2005
"La sicurezza in ospedale, strumenti di valutazione e gestione del rischio", Inail 2012
"La prevenzione incendi nelle strutture sanitarie", Ing. Aurelio Menoni, Ing. Matteo Mometti, 2017

Questi sono, tra l'altro, i due fattori noti che scatenano il maggior numero di incendi in qualsiasi ambiente lavorativo.

Da sottolineare che il 20% delle cause di incendio in ospedale sono di matrice dolosa.

Altre cause si evidenziano in: impianti di riscaldamento, ossigeno, autocombustione, presenza di liquidi infiammabili, gas anestetici ecc. I due luoghi di innesco più frequenti sono aree di raccolta rifiuti e laboratori, a seguire aree lavaggio, aree non occupate da pazienti, locali per macchinari, aree di ricerca, magazzini ecc. Un fattore positivo è che le aree di degenza sono in percentuale, al 2017⁵, tra i luoghi di innesco meno probabili. Queste ultime sono anche le aree più pericolose in fatto di salvaguardia e tutela della vita del paziente.

La sicurezza antincendio nelle strutture ospedaliere, come detto in precedenza, è insidiosa per diversi aspetti, per esempio, la configurazione architettonica è complessa e di dimensioni importanti, vi è un incatenamento di aree diversificate in funzione del servizio che offrono, dal day hospital al ricovero, dal pronto soccorso alle unità diagnostiche, dalle sale operatorie alle aree di servizi sanitari e non; di conseguenza i materiali contenuti o previsti nelle varie aree sono molto eterogenei, anche molto pericolosi se pensati in uno spazio in cui vi sono le condizioni di innesco, quindi la valutazione del rischio e del carico di incendio diventano estremamente onerose. Ad oggi, per esempio, con la pandemia Covid-19, si deve considerare un notevole incremento del rischio di incendio negli ospedali dovuto all'elevato tenore di ossigeno presente in atmosfera nelle aree dedicate all'emergenza, ove sono concentrati i pazienti con mascherine e caschi per l'erogazione di ossigeno che non garantiscono la perfetta tenuta, immettendo l'ossigeno non inalato in atmosfera; inoltre l'emergenza complica anche l'esodo: i reparti, compresa la terapia intensiva, a tratti sono saturi di pazienti, va mantenuto un certo distanziamento sociale obbligatorio e va considerato un elevato numero di pazienti con difficoltà respiratorie che complicano molto la gestione dell'evacuazione in sicurezza.

Vi è poi un'ingente presenza di fattori di rischio tecnologico con impianti a gas combustibili e medicali, camere iperbariche e attrezzature ad alta richiesta di energia, è da valutare la necessità di alcuni pazienti di non potersi distaccare dalla macchina; non è da trascurare l'impianto di areazione che può diventare fonte di diffusione dei fumi tra i compartimenti e le aree. Infine, come già detto, vi sono diverse tipologie di persone presenti con le più disparate condizioni psico-fisiche, che potrebbero non avere familiarità con l'edificio. Un'ulteriore vulnerabilità degli edifici italiani che ospitano la struttura ospedaliera è data dal fatto di essere datati e poco adattabili alle nuove normative. I costi, la difficoltà di adattamento e i lunghi tempi di realizzazione delle opere, in contrasto con la necessità di un'erogazione continua del servizio, hanno creato inevitabili ritardi nell'adeguamento delle strutture, a cui è richiesta come compensazione la definizione di un sistema di gestione della sicurezza per garantire le misure di prevenzione richieste. In effetti si può intuire come le inadempienze maggiormente

⁵ *“La prevenzione incendi nelle strutture sanitarie”*, Ing. Aurelio Menoni, Ing. Matteo Mometti, 2017

riscontrate poco si adattino ad un vecchio edificio, si osserva ad esempio da un'esperienza di monitoraggio⁶ nella provincia di Ascoli Piceno e Fermo, che rispetto al resto del territorio nazionale già nel settembre 2015 avevano un'alta percentuale di strutture sanitarie in regola, che sono di difficile attuazione: l'ultimazione del sistema di compartimentazione, il mancato adeguamento alle caratteristiche di resistenza e reazione al fuoco, la realizzazione di ascensori e montacarichi di tipo protetto, la realizzazione di scale esterne a prova di fumo, quella dei percorsi protetti che immettono in luoghi sicuri e il completamento degli impianti di protezione attiva. Dalle inosservanze nasce l'esigenza di allungare i tempi per gli adeguamenti a livello nazionale ma in parallelo la necessità di alzare la soglia di attenzione nei confronti del rischio incendio e soprattutto delle sue conseguenze.

2.2 Alcuni eventi incidentali...

In questo paragrafo verranno raccontati alcuni casi, storici e recenti, di incendi avvenuti in strutture sanitarie, che hanno portato a conseguenze quali la presenza di vittime. Osservando brevemente gli eventi più tragici e i fallimenti che li hanno provocati, emersi dall'analisi post-incidentale, si potranno poi comprendere al meglio le azioni correttive che gli ospedali devono implementare per una corretta gestione dell'emergenza e per prevenire il ripetersi dello stesso evento o simili. Un buon sistema di gestione, infatti, funziona quando la valutazione del rischio è completa ed esaustiva, questo avviene anche imparando dall'esperienza.

❖ ISTITUTO ORTOPEDICO GALEAZZI DI MILANO, 1997

L'istituto ortopedico Galeazzi è un ospedale risalente al 1963 e situato appena fuori il centro di Milano. Al suo interno si trova una delle camere iperbariche multiposto più innovative d'Italia; la camera iperbarica è una speciale camera che viene pressurizzata affinché l'ossigeno in alta percentuale, posto ad alta pressione, si sciogla direttamente nel plasma, permettendo di eseguire e/o agevolare alcune terapie. Il rischio di incendio, a causa dell'aria arricchita di ossigeno e in pressione, è da valutare con estrema attenzione, infatti in tali condizioni l'energia di ignizione si abbassa e la combustione diviene incontrollabile in pochi secondi. Il 31 ottobre 1997 dieci pazienti e un infermiere entrano all'interno della camera, l'informazione e l'ispezione sui pazienti furono superficiali, così una paziente entrò in terapia con quella che si è rivelata essere la causa dell'innescò: uno scaldamani a gas. La concentrazione di ossigeno all'interno della camera era regolata con soglia al valore di 27%, ben 3.5 punti percentuali sopra la soglia sicura ed i caschi per la terapia erano modificati aumentando la concentrazione di ossigeno sulla pelle e sui vestiti; in queste condizioni il processo di combustione inizia facilmente, è molto veloce, coinvolge anche sostanze che in

⁶ “Strutture sanitarie e prevenzione incendi: l'esperienza nelle provincie di Ascoli Piceno e Fermo”, Mauro Malizia, comandante provinciale di Ascoli Piceno

aria non brucerebbero, causa temperature molto più alte e, in un volume chiuso come la camera iperbarica, causa anche forti aumenti di pressione. L'esodo non fu possibile in quanto è necessario depressurizzare la camera prima di aprirla. In realtà si dimostrò che le conseguenze erano arginabili, il disastro fu tale in quanto: l'impianto antincendio non entrò in funzione poiché mancava acqua nel serbatoio, il tubo di mandata e il rubinetto della bombola di aria compressa per l'avviamento del sistema antincendio erano chiusi, la valutazione del rischio fu considerata assente, il personale non era stato addestrato per intervenire e il tecnico aveva lasciato incustoditi i monitor per la sorveglianza non accorgendosi quindi del fatto. L'evento evidenzia pertanto le prime criticità, emerse ancor prima dell'emanazione delle regole tecniche sugli ospedali, e si sarebbe potuto limitare ed anche evitare qualora ci fosse stata una corretta formazione, informazione ed addestramento del personale nella gestione prima dei pazienti e poi dell'emergenza. La "leggerezza" con cui è stata gestita la camera iperbarica è comunque conseguenza di una falla a monte: la mancata valutazione del rischio. Si può osservare per ulteriore chiarezza l'albero degli eventi in Figura 2.1, la sequenza degli eventi, che ha portato all'evento incidentale, è influenzata dal successo o dal fallimento di barriere (in rosso) gestionali o dei sistemi di sicurezza.

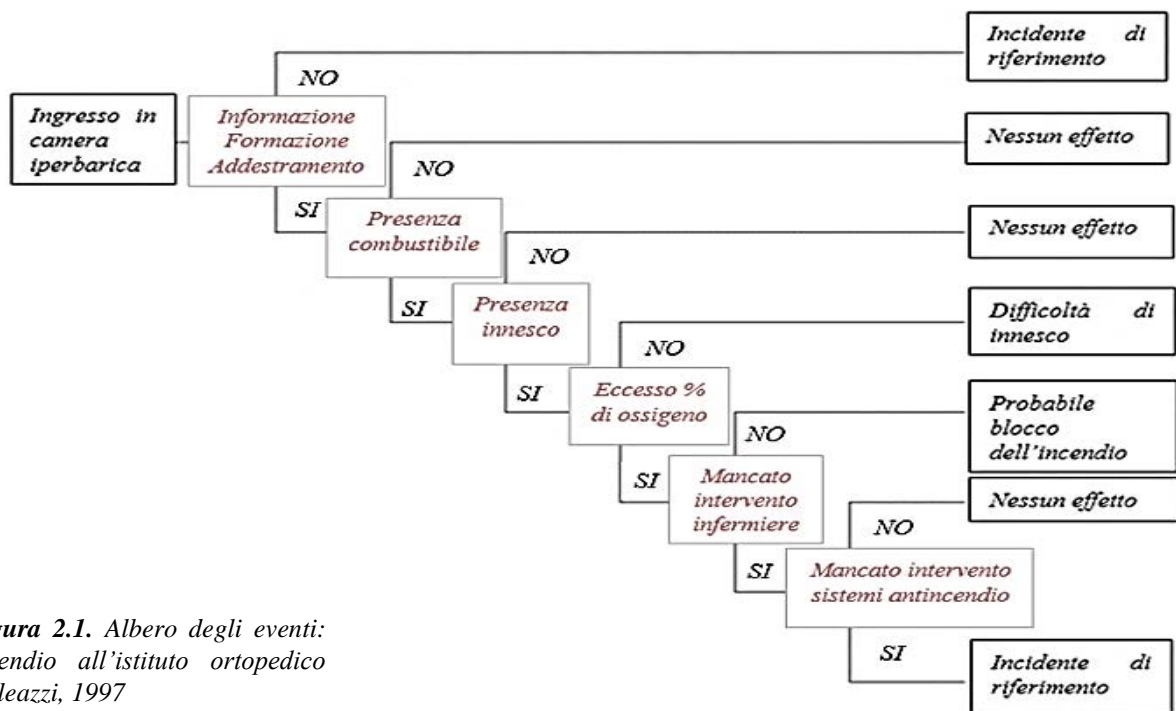


Figura 2.1. Albero degli eventi: incendio all'istituto ortopedico Galeazzi, 1997

❖ STRUTTURA RIABILITATIVA DI SAN GREGORIO MAGNO, SALERNO, 2001

L'evento incidentale di seguito descritto accadde nel dicembre 2001 nella struttura intermedia residenziale dell'Asl di Salerno. Una struttura intermedia residenziale è dedicata a pazienti affetti da disabilità mentale quale disturbi psichiatrici, qui i pazienti sono seguiti h24/24 sia dal punto di vista sanitario che psicologico per permettere una reintegrazione nella società.

L'edificio in oggetto, situato a San Gregorio Magno, è una struttura prefabbricata, costituita da stanze da 2 posti letto ciascuna; qui, la notte di sabato 15 dicembre 2001, scoppiò un incendio che provocò la morte per asfissia di 19 pazienti su 28 ricoverati. L'incendio sembrerebbe dovuto ad un cortocircuito, dovuto forse da un sovraccarico causato dalle stufe elettriche, che provocò la combustione del materiale da letto e successivamente di tutti i materiali infiammabili di cui era costituito il centro, fu reputata strana la velocità di propagazione delle fiamme. Cosa ha portato alla perdita delle vite umane? Non vi era personale sufficiente a gestire l'emergenza, in turno vi erano solo pochi infermieri alcuni dei quali si erano assentati in quel momento. In ogni caso gli infermieri non avrebbero potuto gestire la sicurezza antincendio ed in contemporanea l'evacuazione di 28 persone disabili mentali; ecco, infatti un altro problema su cui focalizzare l'attenzione, questo evento incidentale è un valido esempio di come sia pericoloso l'esodo quando le caratteristiche dei pazienti ostacolano la gestione; infatti, il numero insufficiente di infermieri si somma alla non autosufficienza di alcune vittime che, per natura della struttura, erano sicuramente sotto farmaci inibenti le capacità psico-fisiche, inoltre l'incendio avvenne in piena notte quindi la reazione non fu veloce, provocando inevitabili ritardi nelle tempistiche d'esodo. Ad aggiungere difficoltà all'evacuazione, pare che una porta fosse stata chiusa a chiave e ciò impedì l'uscita di alcuni pazienti. Inoltre, la collocazione della struttura fuori città ha impedito una veloce comunicazione per la richiesta di aiuto, non arrivava infatti il segnale per i telefoni; infine, dal punto di vista della reazione al fuoco dei materiali, la struttura era edificata completamente in vetroresina, un materiale molto infiammabile rendendo così molto veloce la propagazione dell'incendio. Si può osservare, per ulteriore chiarezza, l'albero degli eventi in Figura 2.2., strutturato come il precedente.

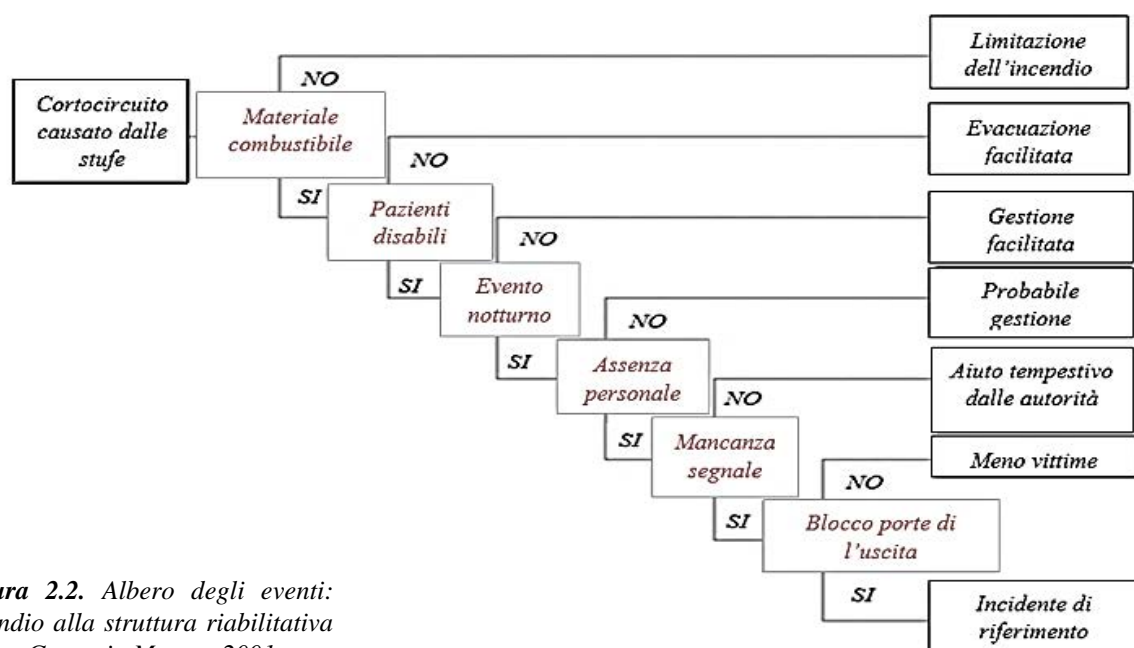


Figura 2.2. Albero degli eventi: incendio alla struttura riabilitativa di San Gregorio Magno, 2001

❖ OSPEDALE ALTO VICENTINO DI SANTORSO, 2017

In provincia di Vicenza nel comune di Santorso è situato l'ospedale sede dell'incendio avvenuto il 23 Marzo 2017. Secondo la ricostruzione l'incendio è stato causato da un mozzicone di sigaretta. L'incendio ha provocato una vittima e l'evacuazione di più reparti a causa del fumo trasportato dall'impianto di ventilazione. Nell'incendio è deceduto un signore, che stava fumando la sigaretta causa dell'innesco, chiuso a chiave nella sua stanza. Proprio quanto appena detto denota una grave mancanza nella gestione dell'ospedale in fase di esercizio che poi si ripercuote ovviamente nella gestione della fase di emergenza; non è infatti ammissibile che un paziente, per di più disabile mentale, possa chiudersi in una stanza e abbia la possibilità di tenere con sé un accendino. La causa è probabilmente da attribuirsi ad una carenza di personale che, di conseguenza, non è in grado di tenere sotto controllo e gestire tutti i pazienti. Si può osservare per ulteriore chiarezza l'albero degli eventi in Figura 2.3., la sequenza degli eventi, che ha portato all'evento incidentale, è influenzata dal successo o dal fallimento di barriere (in rosso) gestionali o dei sistemi di sicurezza.

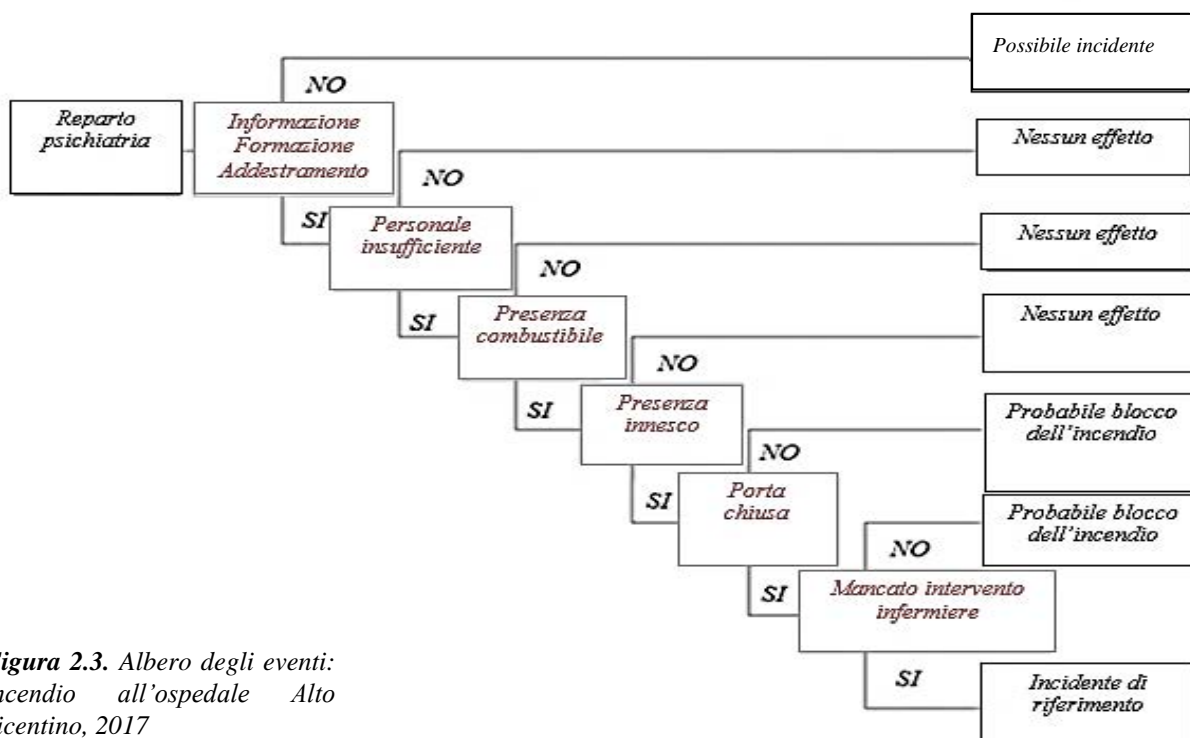


Figura 2.3. Albero degli eventi: incendio all'ospedale Alto vicentino, 2017

❖ OSPEDALE PAPA GIOVANNI DI BERGAMO, 2019

Ancora una volta a subire un evento incidentale è il reparto di psichiatria, questa volta nel comune di Bergamo, che il 13 Agosto 2019 è stato colpito da un incendio di cui ad oggi non si conosce la causa di innesco. L'evento ha causato una vittima, 8 intossicazioni per inalazione di fumi e 67 pazienti evacuati in altri reparti o altri ospedali. Sulla vicenda si è potuto constatare che: la vittima era stata legata al letto poco prima a causa di uno stato d'animo alterato, era quindi impossibilitata a evacuare da sola; inoltre, quando le infermiere

hanno raggiunto quella stanza ormai i fumi erano troppo bassi per permettere di raggiungere e liberare la paziente. Il fatto che le fiamme e i fumi si siano propagati così velocemente all'interno dell'ospedale è tema di indagine ma, al momento, non ha giustificazione in quanto si è potuto dimostrare, tramite una replica dell'incendio, che i materiali erano a norma. Anche qui il problema è, probabilmente, di tipo organizzativo, gli infermieri in turno avrebbero dovuto avere a mente i pazienti impossibilitati ad evacuare autonomamente per poterli soccorrere per primi, questo fa emergere una possibile mancanza di formazione, informazione e addestramento. Oltretutto il protocollo del reparto di psichiatria prevede la perquisizione dei pazienti e il controllo visivo ogni 15 minuti, dalle prime ipotesi sembrerebbe che l'incendio sia stato doloso e innescato proprio dalla paziente deceduta e quindi, precedentemente, non perquisita a dovere. L'assenza di controllo sui pazienti mette in luce la realtà in cui si trovano spesso i reparti: assenza di personale, blocco delle assunzioni, mancata implementazione di o.s.s e infermieri. In questo caso per analizzare le criticità, essendo l'incidente ancora sotto indagine e la catena di eventi ancora non chiara, si riporta, in Figura 2.4., una bozza dell'albero di un'analisi multi-causa (MCSOII- *Multiple-cause, system oriented incident investigation technique*), i dati raccolti sono pochi ma si riscontrano già possibili fallanze nel sistema gestionale (in rosso la possibile causa-radice).

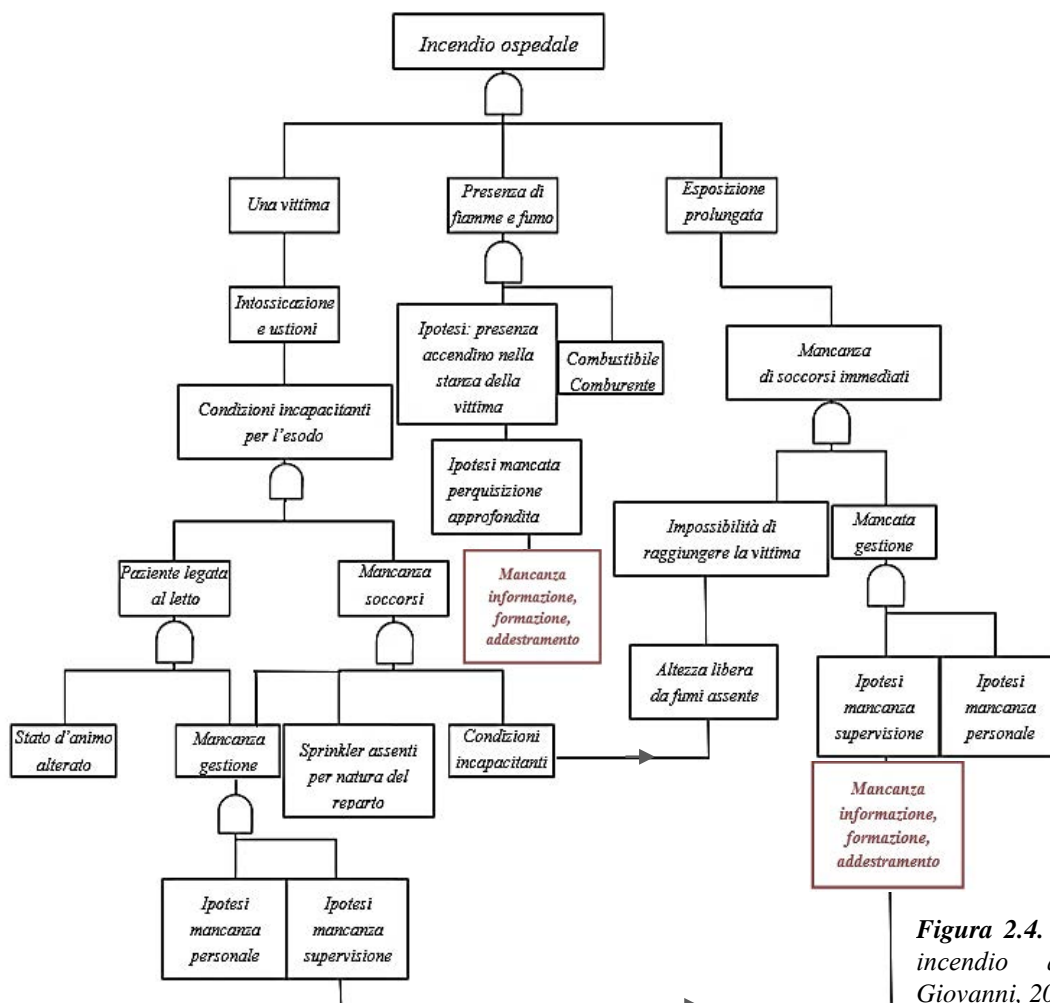


Figura 2.4. Albero multi-causa: incendio all'ospedale Papa Giovanni, 2019

Questo lavoro di tesi prenderà in oggetto, come caso studio, il reparto di terapia intensiva tipo di un'azienda ospedaliera italiana. Per coerenza sono stati riportati solamente eventi incidentali avvenuti in ospedali italiani; certo però, anche all'estero non è trascurabile il rischio incendio nelle strutture sanitarie, in quanto trattasi di un rischio intrinseco di questo tipo di attività. Alcuni esempi con conseguenze importanti verranno molto brevemente riportate di seguito:

* Ospedale di Calcutta in India, 2011

L'evento causò 93 vittime a seguito dell'innesco di un deposito di materiale combustibile nei sotterranei. Le cause dello scoppio sono ancora da valutare ma sono state riscontrate carenze quali: assenza di impianto di rivelazione e accumulo di materiale combustibile tra cui alcune bombole di ossigeno

* Ospedale in Algeria, 2019

L'incendio causò la morte di otto neonati derivò da un cortocircuito in un dispositivo antizanzare. Le indagini sono ancora aperte e non si hanno ad oggi informazioni per la responsabilità; si può solo ipotizzare la mancanza di personale, di controllo e/o di gestione. I neonati sono considerati disabili sotto questo punto di vista: non hanno la possibilità di eseguire l'esodo se non portati in luogo sicuro da infermieri e/o soccorritori. Eventualmente la mancanza di rivelatori di fumo per individuare subito la fiamma e poterla spegnere.

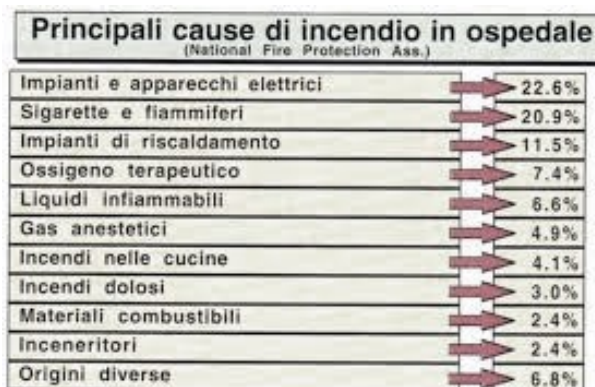
* Ospedale di San Pietroburgo in Russia, Ospedale di Swarna in India, Ospedale di Alessandria in Egitto, 2020

Nel primo sono rimaste vittime di un incendio cinque pazienti in terapia intensiva collegati, a causa del virus Covid-19, alle macchine per la ventilazione artificiale; probabilmente l'innesco è stato causato da un cortocircuito di uno dei ventilatori polmonari.

Nell'ospedale in India vi sono stati una decina di morti, anche questi pazienti Covid-19, ma le cause dell'incendio sono ancora ignote. Infine, nel terzo sono risultate sette vittime e diverse intossicazioni per un probabile cortocircuito nel sistema di aria condizionata in un reparto per pazienti Covid-19. Come detto in precedenza, l'emergenza sanitaria che si sta affrontando nel mondo porta anche ad un aumento di rischio incendio negli ospedali: la richiesta e l'emissione di ossigeno è maggiore, gli ambienti sono spesso arricchiti di ossigeno, l'afflusso di pazienti è estremamente variabile, nei momenti di maggior afflusso di ricoveri gli infermieri, medici, o.s.s. e rianimatori non sono in numero sufficiente, la sicurezza e l'eventuale esodo diventano estremamente complessi da gestire. In generale tale l'emergenza è di difficile gestione: il rischio è nuovo, ancora difficile da comprendere in tutti i suoi aspetti e comporta a sua volta molti rischi da dover valutare ed arginare; implica inoltre un'organizzazione molto onerosa sotto moltissimi punti di vista. Riassumendo quanto finora descritto, si può individuare la frequente presenza di un problema di gestione, informazione, formazione ed addestramento del personale alla base degli eventi incidentali. Nel prossimo paragrafo analizzeremo alcune delle soluzioni di base per poter controllare tali avvenimenti disastrosi.

2.3 Gestione delle evidenziate

Per quanto emerso nei paragrafi è necessario che rispettate in maniera ancor più misure di prevenzione e adeguate. Si è visto, dai dati dai fatti descritti, che le cause sono: dolose, elettriche, ignote principalmente legate alla presenza di ossigeno, come da Figura 2.5.



criticità

precedenti
vengano
diligente
protezione
raccolti e
principali
o altre,

Figura 2.5. Principali cause di incendio negli ospedali

La prima figura a cui far riferimento è il datore di lavoro che deve fare della prevenzione il

pilastro fondamentale della sua attività affinché venga salvaguardata la sicurezza degli occupanti, della struttura e degli impianti, adottando le misure finalizzate a: ridurre la probabilità di incendio, realizzare le vie e le uscite di emergenza, segnalare ed estinguere i principi di incendio. Dopo aver garantito la prevenzione devono essere installate e controllate le misure di protezione; il tutto deve essere mantenuto in funzione attraverso la pianificazione e attuazione del piano di gestione della sicurezza antincendio. All'interno di un ospedale allora è necessario seguire le normative prestando particolare attenzione a: la realizzazione a regola d'arte di tutti gli impianti, in particolare quelli elettrici causa del maggior numero di incendi, anche le macchine devono essere marcate o certificate CE e sia gli impianti che le macchine devono essere regolarmente controllati, assoggettati a manutenzioni periodiche e dotati di idonei dispositivi di sicurezza. In particolare, questi ultimi devono supportare gli impianti di distribuzione e utilizzo delle sostanze quali ossigeno, gas combustibili, gas medicali, ecc. I materiali che costituiscono le stanze dei degenti e in generale la struttura devono essere incombustibili o con reazione al fuoco bassa pur garantendo la stessa funzionalità, inoltre i pavimenti e gli attrezzi devono essere anti-scintilla; in questo modo si abbassano le probabilità che si inneschi un incendio o che questo si propaghi. Per lo stesso motivo è necessario che non vi siano all'interno della struttura o nelle prossimità ammassi di materiale combustibile e che vi siano idonei sistemi di ventilazione dei locali, evitando in questo modo l'accumulo di gas infiammabili e il loro ingresso in campo di infiammabilità. Inoltre, risulta necessario il rispetto dell'ordine e della pulizia nonché il controllo sulle misure di sicurezza, compreso il monitoraggio dei pazienti e dei loro comportamenti. Vista l'incidenza che ha l'uso improprio di mozziconi di sigaretta sulla quantità di eventi incidentali, è necessario che siano identificate le aree in cui disporre i divieti e la segnaletica di pericolo ben in vista e quelle in cui è consentito fumare. I portacenere devono essere messi a disposizione e svuotati regolarmente, non in recipienti costituiti da materiali infiammabili e non accumulati in aree rifiuti in cui vi è la presenza di rifiuti infiammabili.

Come già accennato, per una corretta prevenzione è necessario che siano mantenute attive, in fase di esercizio oltre che di emergenza, le misure organizzative e gestionali previste dal piano di gestione; in particolare deve essere prevista l'informazione, formazione e addestramento dei lavoratori e per quanto possibile dei pazienti (per esempio con segnaletica, cartelli di divieto, conoscenza delle aree comuni), nonché quella degli addetti alla prevenzione incendi. Il datore di lavoro ha l'obbligo di fornire ai lavoratori informazione e formazione su principi e azioni alla base della prevenzione incendi. Ogni lavoratore deve essere informato su tutti i rischi di incendio sia dell'attività in generale sia della specifica mansione che gli appartiene, altresì sull'ubicazione delle vie di uscita, sulle misure di prevenzione e di protezione, sulle misure di esodo, tra cui per esempio il divieto di utilizzo degli ascensori e la modalità di apertura delle porte. Anche in fase di esercizio va rispettato il corretto utilizzo delle misure di protezione, si sottolinea per esempio l'importanza del corretto uso delle porte di compartimentazione; capita infatti che nelle attività, non solo sanitarie, si trovino le porte antincendio tenute aperte da fermaporta, oppure porte di emergenza chiuse con lucchetti o nascoste dall'arredamento. Qualora vi sia la necessità di intervenire a causa di un incendio i lavoratori devono conoscere le azioni da intraprendere, il funzionamento dell'allarme, le procedure di allarme ed evacuazione, le modalità di chiamata ai soccorsi. È di fondamentale importanza, per non creare disorganizzazione e affinché non ci siano dimenticanze, che ognuno abbia un ruolo e una responsabilità, che vi sia indicazione dei nominativi dei lavoratori incaricati alla prevenzione, lotta e gestione delle emergenze e di pronto soccorso oltre che del responsabile del servizio prevenzione e protezione. Nelle strutture ospedaliere, che quindi funzionano a pieno regime senza soluzione di continuità, si deve fare in modo che ogni turno del personale sia organizzato e gestito affinché in situazioni di emergenza i ruoli non siano mai scoperti e il personale sia in numero sufficiente per poter gestire sia l'allarme che l'esodo dei pazienti. Il personale, in ogni turno, deve conoscere, a seconda della propria responsabilità, il numero dei pazienti presenti, il loro stato psico-fisico, il loro collocamento e i pericoli di incendio presenti affinché in situazione di esercizio questi vengano monitorati e in situazioni di emergenza sia salvaguardata la loro vita. Il datore di lavoro oltre ad informare, formare ed addestrare i lavoratori deve assicurarsi che questi siano messi nelle condizioni di poter applicare la loro conoscenza. Se questo non accade, se i lavoratori non ricevono adeguata informazione e formazione o se per negligenza i lavoratori non sono in grado di controllare l'attività, possono verificarsi atti dolosi da esterni o dai pazienti stessi. Inoltre, sia i lavoratori che i pazienti devono essere messi in condizione di poter eseguire l'esodo, questo avviene anche con l'addestramento del personale e attraverso esercitazioni almeno una volta l'anno. Proprio le esercitazioni, in ambito ospedaliero, sono molto complesse da organizzare, spesso effettuabili solo in modo parziale o non possibili. Vedremo nel prossimo capitolo come con lo sviluppo di nuove normative e tecnologie è possibile concretizzare un aiuto nel miglioramento della gestione e dell'evacuazione delle strutture ospedaliere.

Capitolo 3

I software di simulazione: un aiuto concreto

L'Ingegneria della sicurezza antincendio applicata alle strutture ospedaliere permette attraverso modelli di calcolo di riprodurre e produrre diversi scenari, andando a quantificare e valutare le misure di prevenzione e protezione in opera o in progetto, stabilendone l'efficacia in relazione alle reali necessità. Questa tesi ha come obiettivo la valutazione del miglioramento che può essere apportato, sfruttando le simulazioni, alla gestione e alle misure di sicurezza delle strutture sanitarie. I *software* ad oggi in commercio sono infatti in grado di ricreare abbastanza fedelmente le circostanze reali di un evento incidentale e del processo di emergenza attuato, permettendo di identificare le cause dell'incidente e gli eventuali errori commessi in fase di emergenza; inoltre è possibile simulare lo scenario implementandolo con nuove misure gestionali e di prevenzione e protezione per verificare il miglioramento.

Con questo approccio, oltre ad indagare sui problemi delle attività, si dovrebbe anche poter agevolare le prove di evacuazione soprattutto per quelle strutture le cui caratteristiche architettoniche e degli occupanti non ne consentono l'esecuzione o la consentono solo in minima parte, non assicurandone quindi la riuscita in fase di emergenza.

3.1 Ingegneria della sicurezza antincendio

L'Ingegneria della sicurezza antincendio o *Fire Safety Engineering* è una tipologia alternativa di progettazione che si discosta dal rispetto serrato della normativa in vigore; essa è infatti un pilastro del metodo prestazionale in cui l'approccio alla progettazione avviene attraverso l'uso di un metodo predittivo-scientifico, che permette al progettista, sotto la propria responsabilità, di scegliere delle misure alternative a quelle prescrittive che siano comunque adeguate al raggiungimento del livello di prestazione deciso con il committente. L'ingegneria della sicurezza antincendio, quindi, consente al professionista di realizzare un progetto "su misura" evitando la sovradimensionalizzazione che spesso deriva dall'uso di regole prescrittive e minimizzando il rapporto costi-benefici pur mantenendo un adeguato livello di sicurezza. L'effetto delle misure scelte può essere quantificato, valutato e migliorato con l'uso di modelli matematici e codici di calcolo, che consentono l'analisi del fenomeno, previsto o accaduto, in modo aderente alla realtà e una definizione più dettagliata delle condizioni di rischio della specifica attività e delle misure di sicurezza più appropriate.

Quindi l'utilizzo della FSE (*Fire Safety Engineering*) permette, attraverso i *software* di simulazione, di: valutare e ottimizzare le soluzioni progettuali partendo dall'analisi degli

scenari e quindi ridurre la probabilità di incidente e simulare i processi di evacuazione per ottimizzare le procedure di emergenza riducendo l'intensità delle conseguenze.

Tale disciplina viene introdotta per la prima volta con normativa ISO TR 13387, ma in Italia viene normata con il D.M. 09.05.2007 "Direttive per l'attuazione dell'approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio" e ripresa dal D.M. 03.08.2015 "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139" – Codice di prevenzione incendi - al capitolo M.

In questo lavoro di tesi si farà riferimento al D.M. 09.05.2007 mentre il codice verrà usato come linea guida, questo perché tratteremo le attività ospedaliere che non sono ancora comprese nel campo di applicazione del Codice di prevenzione incendi.

La struttura dell'approccio alla metodologia ingegneristica è uguale in entrambi i decreti e consta di due fasi:

1) ANALISI PRELIMINARE

In questa prima fase vengono individuate le condizioni di rischio dell'attività al fine di definire gli obiettivi da raggiungere. Quindi viene descritta l'attività definendo eventuali vincoli alla progettazione, i pericoli di incendio per la destinazione d'uso, le condizioni ambientali e le caratteristiche medie degli occupanti; in questo modo vengono valutati in prima approssimazione gli effetti che un incendio può produrre in quel contesto e i rischi derivanti dall'interazione dell'occupante con l'edificio.

A questo punto si definiscono con il committente gli obiettivi di sicurezza che si vogliono raggiungere, in funzione dell'esigenza dell'attività.

Gli obiettivi di sicurezza possono essere individuati anche in relazione agli obiettivi generali di prevenzione incendi previsti dalla Direttiva Europea Prodotti da Costruzione, requisito essenziale n°2 "sicurezza in caso di incendio"⁷, quali: capacità portante dell'opera per un certo periodo di tempo, limitata produzione e propagazione di fuoco e fumo all'interno dell'attività e verso attività vicine, sicurezza per gli occupanti per poter eseguire l'esodo o essere soccorsi e sicurezza delle squadre di soccorso; oltre che comprenderne altri più specifici quali, per esempio per le strutture ospedaliere: evitare decessi nell'ambiente di origine dell'incendio, minimizzare la propagazione oltre il compartimento, garantire continuità di esercizio a opere strategiche, ecc.

Tali obiettivi di sicurezza antincendio verranno usati dal progettista come base per definire i limiti prestazionali al fine di garantire l'efficacia della progettazione. Per individuare i livelli di prestazione il professionista fa riferimento a dei parametri numerici che possono essere valori soglia, campi numerici e/o distribuzioni, scelti in relazione agli obiettivi di sicurezza determinati. Tali parametri significativi possono includere, ad esempio: temperature massime dei gas, visibilità, esposizione termica, ecc., e vengono definiti utilizzando la letteratura e le

⁷ Regolamento (UE) 305/2011 "CPR", in sostituzione alla Direttiva 89/106/CEE "CPD"

normative tecniche di riferimento⁸. L’obiettivo primario si ricorda essere la salvaguardia della vita e quindi i parametri significativi saranno quelli che agiscono sulle condizioni ambientali, che non devono divenire incapacitanti per l’occupante. Si riporta di seguito in Figura 3.1 un esempio di tabella estrapolata dal Codice di prevenzione incendi che rappresenta un esempio di soglie di prestazione impiegabili dal professionista; in tabella sono riportati, nell’ultima colonna, i riferimenti di letteratura presi in considerazione.

Modello	Prestazione	Soglia di prestazione	Riferimento
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità minima di pannelli riflettenti, non retroilluminati, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 10 m Occupanti in locali di superficie lorda < 100m ² : 5 m	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 5 m Soccorritori in locali di superficie lorda < 100m ² : 2,5 m	[1]
Gas tossici	FED, <i>fractional effective dose</i> e FEC, <i>fractional effective concentration</i> per esposizione a gas tossici e gas irritanti, valutata ad altezza 1,80 m dal piano di calpestio	Occupanti: 0.1	ISO 13571:2012, limitando a 1.1% la porzione di occupanti incapacitati al raggiungimento della soglia
		Soccorritori: nessuna valutazione	-
Calore	Temperatura massima di esposizione	Occupanti: 60°C	ISO 13571:2012
		Soccorritori: 80°C	[1]
Calore	Irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti dell'incendio, struttura) di esposizione degli occupanti	Occupanti: 2,5 kW/m ²	ISO 13571:2012, per esposizioni inferiori a 30 minuti
		Soccorritori: 3 kW/m ²	[1]

[1] Ai fini di questa tabella, per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protetti ed addestrati alla lotta antincendio, all'uso dei dispositivi di protezione delle vie aeree, ad operare in condizioni di scarsa visibilità. Ulteriori indicazioni possono essere desunte ad esempio da documenti dell'Australian Fire Authorities Council (AFAC) per hazardous conditions.

Tabella M.3-2: Esempio di soglie di prestazione impiegabili con il metodo di calcolo avanzato

Figura 3.1. Esempio di quantificazione dei parametri soglia utilizzabili dal professionista per individuare i livelli di prestazione. La tabella è estrapolata dal Codice di prevenzione incendi, capitolo M.3.

Infine, sfruttando la valutazione del rischio, vengono definiti i possibili scenari di incendio, definiti in relazione a tre caratteristiche fondamentali: attività, incendio e occupanti. Per restringere il numero di casi studio vengono stabiliti, tramite giudizio esperto, gli incendi realisticamente ipotizzabili nel contesto dell’attività in esame e che avvengano nelle condizioni più gravose per l’innesco, lo sviluppo, la propagazione, la resistenza, la salvaguardia degli occupanti e delle squadre di soccorso.

2) ANALISI QUANTITATIVA

Il progetto prevede in primo luogo la scelta dei modelli matematici/codici di calcolo da utilizzare per valutare lo sviluppo dell’incendio e delle possibili conseguenze, oltre che per la valutazione delle condizioni di esodo; la scelta del modello varia in base alla complessità del progetto da analizzare e all’esperienza del progettista.

Applicato il modello ne deriva una serie di parametri che descrivono l’evoluzione dell’incendio, come vedremo nel dettaglio al capitolo 3.2, che possono essere confrontati con le soglie di cui alla fase precedente. Questa fase permette di sviluppare il progetto in funzione del raggiungimento dei livelli di prestazione. Il progetto, verificato rispetto agli scenari di incendio e soddisfacente i livelli di prestazione, viene poi presentato al Comando provinciale dei vigili del fuoco.

⁸ ISO 13571-2012, ISO/TR 16738-2009, BS 7974-2019, ecc.

Affinché non vi sia una riduzione del livello di sicurezza prescelto, è richiesto dalla metodologia prestazionale un attento mantenimento nel tempo dei parametri soglia a cui si fa riferimento come base per il raggiungimento del livello di prestazione, e quindi utilizzati per la scelta degli scenari e del progetto. Per garantire questo mantenimento è necessario venga creato un sistema di gestione della sicurezza antincendio (SGSA – si veda capitolo 1 paragrafo 1.3.3), definito e presentato in fase di approvazione del progetto e sottoposto a verifiche periodiche, in cui sono esplicitate le misure gestionali dell'attività che assumono ora la stessa importanza delle altre misure di prevenzione e protezione. Nel documento devono essere riportate le descrizioni e le assunzioni fatte riguardo a: organizzazione e istruzione del personale, identificazione e stime dei pericoli derivanti dalle attività svolte, controllo operativo, la gestione di eventuali modifiche, la pianificazione delle emergenze, la sicurezza delle squadre di soccorso, la manutenzione dei sistemi di protezione, il controllo e la revisione delle misure e degli impianti e il controllo delle prestazioni. Il sistema di gestione della sicurezza antincendio può subire variazioni e implementazioni durante l'esercizio delle attività, affinché ad ogni minima variazione dell'attività corrisponda sempre lo stesso livello di sicurezza. Le variazioni nell'applicazione dell'SGSA sono monitorate con le verifiche periodiche da parte dei vigili del fuoco che contestualmente rinnovano o meno il Certificato di Prevenzione Incendi.

Nonostante l'approccio prestazionale comporti una maggior flessibilità e una migliore individuazione dei sistemi di protezione più adeguati all'attività è pur sempre vero che, per applicare il metodo ingegneristico, è richiesto: maggior impegno di risorse e tempistiche nella fase di progettazione, l'elaborazione di un sistema di gestione in grado di mantenere il livello di prestazione stabilito, oltre che una particolare competenza nell'uso di *software*, la conoscenza approfondita della dinamica dell'incendio e un'assunzione di responsabilità consistente da parte del professionista antincendio. Quanto appena detto comporta, purtroppo, la poca diffusione dell'applicazione della metodologia ingegneristica a favore dell'utilizzo di norme prescrittive più conservative e di semplice applicazione. Tuttavia, soprattutto in alcune situazioni quali, per esempio, edifici strategici complessi e dotati di tecnologie avanzate come gli ospedali, la *fire safety engineering* può divenire un aiuto fondamentale: le metodologie prestazionali permettano non solo un approfondimento della valutazione del rischio ma soprattutto una valutazione fondata su una vera e propria previsione degli avvenimenti che, per di più, non coinvolge gli occupanti. Permette altresì di superare i vincoli strutturali e architettonici che potrebbero rendere difficile l'applicazione della norma all'attività considerata. Al contrario, l'approccio prescrittivo essendo basato su osservazioni di tipo qualitativo, non sempre è il percorso ideale per il raggiungimento di un adeguato livello di sicurezza; essendo quest'ultimo molto conservativo non può essere applicato con lo stesso rigore a strutture differenti poiché gli edifici, pur avendo stessa destinazione d'uso, hanno strutture e condizioni al contorno che possono variare moltissimo tra loro.

Si approfondisce di seguito il metodo prestazionale nelle sue due applicazioni: simulazione dell'incendio e successivo esodo degli occupanti.

Perché approfondire questi due temi nello specifico? Per quanto finora esposto si è potuto comprendere che le due problematiche principali nella progettazione di una struttura ai fini antincendio sono la resistenza meccanica e a fumi e calore della costruzione e il dimensionamento delle vie di esodo, con l'obiettivo principale della salvaguardia della vita.

Nello specifico, questo lavoro di tesi presuppone di applicare l'approccio prestazionale ad una struttura ospedaliera e, nel dettaglio, studiarne le modalità d'esodo in una situazione di emergenza provocata da un incendio. I risultati permetteranno di valutare se vi è un margine di miglioramento delle procedure dato dall'uso dei *software*, o meglio, se l'uso delle simulazioni agevoli concretamente la programmazione della gestione in strutture così particolari. Per fare questo però è necessario prima capire cosa accade all'interno del compartimento qualora si inneschi un processo di combustione. In particolare, in vista della simulazione dell'esodo, è importante valutare sicuramente l'energia rilasciata ma ancor più la velocità di sviluppo di fumi e sostanze tossiche; nella maggior parte degli incendi, infatti, la mortalità è causata dall'intossicazione dell'occupante prima che dalla fiamma.

3.2 Modellazione dell'incendio

Attraverso la modellazione del processo di combustione e quindi l'analisi della dinamica dell'incendio, si è in grado di quantificare il tempo che intercorre tra l'innescò e il momento in cui le condizioni della struttura diventano incapacitanti; in altre parole viene estrapolato il tempo in cui vengono raggiunti/superati i valori soglia prestabiliti, al fine di determinare la soluzione progettuale che permetta di raggiungere l'obiettivo di salvaguardia degli occupanti o comunque gli obiettivi stabiliti inizialmente.

Come prima descritto, l'approccio prestazionale prevede, dopo un'approfondita valutazione del rischio, la definizione degli scenari di incendio che possono verificarsi nell'attività nelle condizioni più gravose. La descrizione qualitativa dello scenario viene tradotta in linguaggio matematico attraverso un modello che permette la simulazione della combustione, con l'obiettivo di conoscere l'entità dell'energia e dei prodotti di combustione rilasciati e la loro velocità, per valutarne gli effetti su struttura ed occupanti.

Le simulazioni hanno come dati input per la simulazione dell'incendio:

- Le caratteristiche dell'edificio → la geometria, le proprietà dei materiali che compongono la struttura e che vengono coinvolti nell'incendio e le condizioni di ventilazione.
- Le caratteristiche del fuoco → la tipologia di fuoco: di brace (A), di combustibile liquido (B), di combustibile gassoso (C), di materiale che reagisce con l'acqua (D) o di grassi di origine vegetale/animale (F), quindi le sostanze che si innescano, la loro quantità e la posizione, la potenza termica rilasciata dall'incendio (HRR - *Heat Release Rate*) e il lasso

temporale che intercorre tra innesco ed esaurimento oltre che il picco raggiunto dalla curva HRR.

Nelle modellazioni il progettista può scegliere un modello tra quelli a disposizione, in funzione della complessità del progetto. È possibile utilizzare modelli analitici, solitamente se l'obiettivo è la stima dei soli effetti dell'incendio, e modelli numerici, per analizzare anche i processi fisici e chimici del processo di combustione. Tra questi ultimi i più utilizzati sono: simulazione dell'incendio a zone (CFAST,...) e simulazione di incendio di campo (FDS,...); tra i due cambia il modo in cui viene discretizzato il volume che verrà poi letto dal *software*. Nei modelli a zona viene simulato un incendio in un ambiente confinato ma termodinamicamente aperto, l'ambiente si può immaginare come fosse suddiviso in due aree, una superiore in cui vi sono i fumi e i prodotti di combustione e una inferiore in cui è presente la sorgente di innesco e aria a condizioni ambientali (Figura 3.2) separati da un'interfaccia ideale.

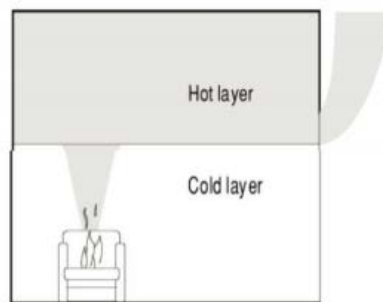


Figura 3.2. Rappresentazione semplificata del modello a zona

All'interno di ciascuna delle due zone le proprietà sono variabili nel tempo ma uniformi. In questi modelli vengono stimate le temperature, l'altezza libera da fumi e prodotti di combustione, la concentrazione delle sostanze e la ventilazione. L'applicazione è più semplice rispetto alla simulazione di campo e, proprio a causa delle semplificazioni assunte, ne è sconsigliata l'applicazione per sistemi complessi quali quelli delle strutture sanitarie.

Quando lo scenario è complesso è più idoneo l'utilizzo di modelli di campo, infatti qui i modelli di calcolo fluidodinamici che suddividono lo spazio in cubi chiamati celle all'interno delle quali le proprietà sono considerate costanti, in questo modo la modellazione diviene molto più dettagliata ma molto più onerosa in termini di tempi di calcolo.

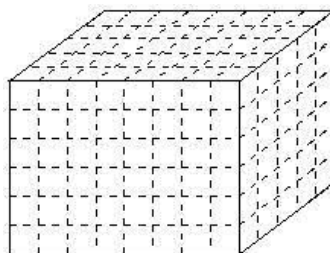


Figura 3.3. Rappresentazione semplificata del modello di campo

La possibilità di modellare il flusso turbolento sia in atmosfere confinate che non/semi confinate, fa sì che i *software* di fluidodinamica computazionale siano quelli più comunemente utilizzati.

Una struttura con geometrie complesse come quella ospedaliera richiede quindi una modellazione di campo capace di descriverla nel dettaglio e di simulare la dispersione dei prodotti da combustione in ambienti confinati o semi-confinati quantificandone la velocità di propagazione. Nello specifico in questa tesi verrà utilizzato il *software* di simulazione FDS – *Fire Dynamic Simulator* per l'analisi del moto dell'aria determinato da effetti termici.

3.2.1 FDS – Fire Dynamic Simulator

FDS è un modello di calcolo, per l'analisi degli scenari di incendio, basato sulla soluzione numerica di equazioni applicate a piccoli volumi cubici che uniti formano lo spazio oggetto di studio; per la soluzione di moti a bassa velocità il programma risolve le equazioni di Navier Stokes modificate da Reynolds in cui il campo di velocità è mediato nel tempo, per la modellazione di moti turbolenti viene utilizzato il metodo *Large Eddy Simulation* (LES), in cui il campo di velocità è mediato nello spazio⁹.

Il *software* è sviluppato con linguaggio Fortran90 ed è stato creato presso il *National Institute of Standards and Technology* (NIST). È un programma di fluidodinamica computazionale che analizza il moto dell'aria generato da gradienti termici, ponendo l'attenzione sulla produzione e il trasporto di fumo e calore, resi visibili al progettista attraverso il pacchetto di visualizzazione *Smokeview*. Il vantaggio di questo tipo di modellazione è la capacità di poter combinare la variazione di tali effetti sia nello spazio che, soprattutto, nel tempo.

I dati input di ogni simulazione si trovano in un file di testo del tipo *text.fds* scritto con l'aiuto di *Sublime text*, un editor con interfaccia grafica che consente modificare la visualizzazione del codice sorgente e renderne più agevole la lettura e l'interpretazione.

Come primo step ci si avvicina alla costruzione e all'impostazione delle condizioni al contorno della geometria studiata, oltre che alla durata dello scenario. Ogni volume preso in considerazione costituisce la così detta *mesh*. FDS consente di costruire anche un dominio di calcolo costituito da più *mesh* in comunicazione tra loro; quindi, ad esempio, ad ogni compartimento potrebbe essere attribuita una *mesh*, tuttavia lo scambio di informazioni tra queste ultime nella loro interfaccia non è ancora chiaro, perciò, è un passaggio a cui prestare attenzione e che necessita di adeguata pratica ed esperienza da parte dell'utilizzatore.

Il sistema di equazioni risolto dal programma richiede che il volume impostato dall'utente e quindi ogni *mesh* sia suddivisa in piccole celle, preferibilmente cubiche, costituenti la griglia di calcolo. Più la griglia è fitta e le celle numerose più l'onere computazionale è grande ma i risultati precisi, e viceversa. Sta all'utente calibrare la scelta della grandezza delle celle, in generale si raccomanda di aumentare iterativamente il numero di celle fino ad ottenere risultati che non vengono stravolti da una certa variazione del numero di celle.

⁹ Per un approfondimento sui due approcci si faccia riferimento al documento "Modellazione della turbolenza: introduzione alle tecniche numeriche «RANS» e «LES»" a cura di Valerio D'alessandro

L'onere più grande della modellazione è l'impostazione della geometria e l'assegnazione delle proprietà termo-fisiche e delle condizioni al contorno. Non si tratta solo di delimitare il volume esterno ma, definito il dominio, si possono definire le aperture per gli scambi di massa ed energia con l'esterno e va ricostruito l'ambiente di simulazione, inserendo, all'interno dello stesso, tutti oggetti costituenti il carico di incendio. Tali oggetti sono modellati attraverso elementi parallelepipedi a cui vengono associate le opportune proprietà termiche dei materiali (calore specifico, conduttività, densità, emissività), assegnando specifiche condizioni al contorno ad ogni superficie. È importante che l'utilizzatore ricordi che qualora l'oggetto sia di dimensioni non conformi verrà adattato ai nodi della *mesh* più vicini, quindi la parte in eccesso non verrà valutata dal *software* né visualizzata in *Smokeview*. A questo punto va scritta la parte di programma per la modellazione dell'incendio vera e propria; a tal proposito si troverà, all'interno del programma di testo, una parte dedicata alla combustione quindi alla reazione chimica che avviene tra ossigeno e combustibile allo stato gassoso e una dedicata alla pirolisi, ovvero alla degradazione dei materiali presenti all'interno del compartimento a causa del calore che determina la generazione dei prodotti e vapori che alimentano la combustione.

Quindi, prima di descrivere la sorgente di innesco è necessaria la scelta, che deve essere plausibile e coerente con quanto contenuto nel compartimento, e l'inserimento del comando per la reazione di combustione; si ricorda a tal proposito che FDS gestisce una sola reazione alla volta, perciò ogni innesco, se proveniente da diversa reazione chimica, va ricreato con una nuova simulazione. Inoltre, non vanno trascurate le condizioni ambientali (composizione dell'aria, temperatura e pressione) che il programma imposta come valori standard di default, ma che vanno modificati qualora per esempio ci trovassimo in un'atmosfera arricchita in ossigeno quale una camera iperbarica.

Successivamente, tra gli oggetti inseriti all'interno del volume, si descrive il bruciatore, ovvero la sorgente dell'incendio; nel file di testo verrà dato il comando per la posizione dello stesso e il suo rilascio termico specifico - HRRPUA (*Heat Release Rate per unit area*). L'innesco, infatti, viene schematizzato come una sorgente di tipo parallelepipedo a cui riferire tutta l'energia termica rilasciata (HRR) e ovviamente il rilascio di una certa quantità di fumo e calore. Infatti, in questo caso, l'obiettivo della modellazione è la previsione delle conseguenze in termini di fumo e calore dovute ad un incendio, e non una ricerca delle cause di qualcosa che è già avvenuto, quindi si imposta come dato di input un rilascio termico fissato e deciso dal progettista in sede di scelta degli scenari. Tale rilascio termico si potrà impostare come variabile nel tempo attraverso un comando (RAMP) dipendente dal tempo (T) e dalla frazione (F) del rilascio termico che si ha all'istante T. I dati richiesti sono ricavabili da dati sperimentali, dati di letteratura autorevoli e attentamente valutati, focolari predefiniti (per esempio forniti dal Codice) o metodologie di stima per la costruzione della curva di HRR.

Come già detto, la curva HRR è una rappresentazione schematica della curva di un incendio naturale (si veda Capitolo 1 paragrafo 1.2.) ed è suddivisa in tre fasi: una fase di crescita dell'HRR in modo quadratico, una fase intermedia in cui l'energia rimane pressoché costante e una fase finale di spegnimento in cui la curva decade linearmente. L'area sottesa dalla curva rappresenta l'energia rilasciata dal carico di incendio, quindi la quantità di energia disponibile data dal potenziale termico netto della totalità dei materiali combustibili contenuti nel compartimento, corretto in base ad alcuni parametri in funzione della partecipazione alla combustione dei singoli materiali considerati. Seguendo le linee guida del Codice di prevenzione incendi, in accordo con l'Eurocodice 1, è possibile costruire la curva e valutare così il punto di *flash-over* ed il picco dell'HRR (usato poi per calcolare HRRPUA) ma soprattutto la velocità con cui questi valori vengono raggiunti, parametri fondamentali da valutare per una corretta gestione dell'emergenza ai fini della salvaguardia della vita. Si ricorda infatti che più la prima fase ha andamento ripido più velocemente si sviluppano i prodotti di combustione e si abbassa l'altezza libera dai fumi.

Completata la modellazione, si inseriscono i comandi affinché vengano calcolati e visualizzati i dati output desiderati, questi possono essere:

- Risultati numerici: file apribili in un qualunque foglio di calcolo, ad esempio Excel, e forniti da strumenti come termocoppie inserite nella modellazione (in giallo in Figura 3.4).

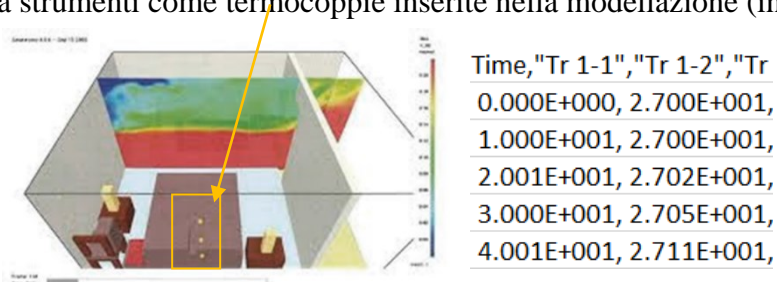


Figura 3.4. Rappresentazione delle termocoppie (in giallo a sinistra) e porzione di un esempio di foglio di calcolo risultante (a destra)

- Risultati grafici: dati in formato binario destinati ad essere letti dal programma di visualizzazione *Smokeview*. Ad esempio, le temperature sono visibili su piani (*slices* – in Figura 3.5.) definiti dall'utente (ad esempio impostabili a 2 m di altezza da terra) che variano nel tempo il loro colore, da azzurro (temperature basse) a rosso (temperature molto alte).



Figura 3.5. rappresentazione di uno slices raffigurante le temperature di una sezione del compartimento

A questo punto si può far partire il programma, consapevoli del fatto che potrebbe impiegare molto tempo a processare i dati e fornire i risultati.

Finito il periodo di calcolo da parte del dispositivo i file sono pronti per essere visualizzati ed interpretati. Come si è già accennato la simulazione può essere visualizzata tramite *Smokeview*, un programma scritto in parte in linguaggio C, per consentire la visualizzazione grafica, e in parte in linguaggio Fortran90, per consentire la lettura dei file *text.fds*.

Tramite questo programma è possibile eseguire una serie di operazioni, le più importanti sono: visualizzare interamente o parzialmente la geometria della mesh e gli elementi in essa contenuti, così come la griglia di calcolo, rappresentare temperatura, velocità e rilascio termico e visualizzare tridimensionalmente l'andamento del fumo nel compartimento.

Quest'ultima è tra le rappresentazioni più importanti per la valutazione dell'esodo in una struttura in fase di emergenza, come si è già detto ampiamente il fumo rappresenta il primo ostacolo alla capacità d'esodo e la prima causa di condizioni ambientali incapacitanti per l'uomo.

3.3 Modellazione dell'esodo

In fase di descrizione degli scenari di incendio, un aspetto fondamentale in vista dell'obiettivo di salvaguardia della vita è la descrizione dettagliata delle caratteristiche degli occupanti. Il professionista deve tenere conto della tipologia di occupanti, dell'affollamento e la loro distribuzione all'interno dell'attività, cosa che si ricorda essere molto complessa nel caso di strutture ospedaliere in cui l'affollamento è estremamente variabile, della familiarità che le persone hanno con l'ambiente e le vie d'esodo e il loro stato di veglia-sonno, per esempio nel caso delle strutture ospedaliere è da considerarsi che la fase di sonno o incoscienza del paziente potrebbe presentarsi con tutta probabilità anche durante il giorno.

Come si è già visto queste caratteristiche incidono non poco sulla valutazione dell'esodo, governato proprio dall'interazione tra l'occupante e la struttura. Il limite dell'approccio prescrittivo nei riguardi della valutazione dell'esodo, ancor più quando si tratta di seguire una regola tecnica basata sul metodo tradizionale come quella degli ospedali, è quello di trascurare il fattore del comportamento antropologico, già analizzato al Capitolo 1.

Anche con il nuovo concetto di progettazione dell'esodo prestazionale si fatica a includere gli aspetti comportamentali, poiché affetti da elevata aleatorietà, tuttavia i nuovi *software* di modellazione permettono di darne una stima apprezzabile.

Le nuove considerazioni sull'approccio alla progettazione dell'esodo si basano sulla legge fondamentale per cui, per assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro, il tempo di permanenza delle condizioni ambientali non incapacitanti per gli occupanti deve essere maggiore rispetto al tempo necessario al raggiungimento di un luogo sicuro da parte di questi ultimi ($ASET > RSET$).

ASET, come facilmente intuibile, è strettamente dipendente dalla quantità di fumo, calore, irraggiamento provocati dall'incendio. In particolare, è di fondamentale importanza valutare correttamente l'altezza che deve permanere libera da fumo: fintanto che tale altezza, chiamata appunto altezza libera dai fumi, viene mantenuta sopra i 2 m vengono garantite le condizioni necessarie ad un esodo in sicurezza. Pertanto, per quantificare il tempo disponibile all'esodo (ASET), è necessario calcolare la velocità di discesa dei fumi, strettamente dipendente dal tipo e dalla quantità del carico di incendio interno al compartimento, oltre che ovviamente dall'altezza del solaio di quest'ultimo. Sostanzialmente è necessaria la valutazione quantitativa degli effetti dell'incendio. Come descritto ai paragrafi precedenti, la necessità nel calcolo di ASET è quella di valutare il tempo che intercorre tra l'innesco e il superamento di uno dei valori soglia stabiliti dal progettista. Seguendo le linee guida del Codice di prevenzione incendi, che integra il D.M. 09.03.2007, il calcolo di ASET può essere valutato seguendo due metodi: uno semplificato e uno avanzato.

Il primo richiede al professionista di stimare il tempo in cui vengono raggiunte soglie molto conservative quali:

- altezza dei fumi pari ai 2 m dal piano di calpestio
- temperatura media dello strato di fumi caldi minore o uguale a 200°C

che permettono agli occupanti la fuga in aria indisturbata, rendendo automaticamente soddisfatto quanto richiesto dal metodo avanzato.

Quest'ultimo richiede la stima della concentrazione di prodotti tossici e gas irritanti, la stima della temperatura e della densità di fumo e la loro variazione nel tempo; ASET finale sarà calcolato, secondo norma ISO 13571-2012, come il minore tra quelli risultati seguendo 4 modelli di calcolo:

- modello dei gas tossici → si misura il tempo di raggiungimento di FED = 0.1 (il professionista può selezionare e valutare un valore più adatto non maggiore di 1), dove la FED è il rapporto tra la dose di gas tossico disponibile all'inalazione e la dose che determina effetti incapacitanti sul soggetto medio esposto
- modello dei gas irritanti → si misura il tempo di raggiungimento di FEC = 0.1 (il professionista può selezionare e valutare un valore più adatto non maggiore di 1), dove la FEC è data dallo stesso rapporto suddetto ma in termini di gas irritante
- modello del calore → è possibile l'utilizzo di un metodo semplificato assumendo la misura del tempo di raggiungimento di un irraggiamento sugli occupanti pari a 2,5 kW/mq e di una temperatura ambiente sugli occupanti pari a 60°.
- modello della visibilità → la misura è basata sulla raggiungimento del valore soglia di visibilità legato alla massa volumica dei fumi, vengono calcolate punto per punto dai modelli di calcolo fluidodinamico. Generalmente si ritiene buona una visibilità ≥ 10 m.

Da cosa dipende, invece, RSET?

Tale misura dipende dal tempo necessario a completare le fasi dell'esodo; secondo la norma ISO 16738-2009 è il risultato della somma del:

- Tempo necessario al sistema di rilevazione per individuare l'incendio – tempo di rivelazione;
- Tempo che intercorre tra la rivelazione e la diffusione dell'informazione agli occupanti – tempo di allarme generale;
- Tempo di riconoscimento e risposta degli occupanti – tempo di pre-movimento;
- Tempo impiegato dagli occupanti per il raggiungimento del luogo sicuro - tempo di movimento.

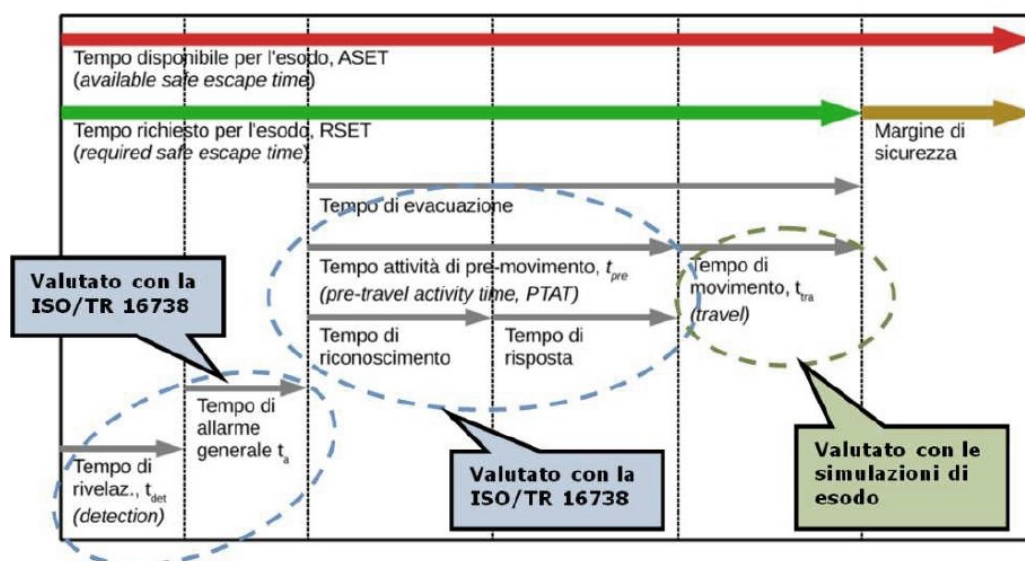


Figura 3.6. Parametri costituenti RSET e indicazione per la loro determinazione

I primi tre parametri che costituiscono il tempo richiesto sono generalmente definiti dal progettista, mentre il quarto, il tempo di movimento è normalmente calcolato dai codici dei *software* in quanto dipendente dalla distanza degli occupanti dalle vie d'esodo, dall'interazione tra occupanti e ambiente/effetti dell'incendio e dal tipo di vie d'esodo presenti. Per questo, quando si affronta la pianificazione dell'esodo, molti valutano l'utilizzo dell'approccio prestazionale che, con il supporto delle simulazioni, permettono di aumentare molto la flessibilità della progettazione includendo lo studio degli aspetti comportamentali. Si supponga infatti lo studio di strutture complesse come gli ospedali: il numero di scenari e la gestione dell'articolato meccanismo che li governa non sempre può essere ritenuto compatibile con delle ipotesi standardizzate quali l'evacuazione in 60 secondi.

Grazie ai modelli di simulazione dell'esodo è possibile, ad oggi, valutare in anticipo la sicurezza di scenari complessi e di disporre degli strumenti necessari alla gestione delle emergenze che coinvolgono molti occupanti eterogenei e strutture articolate.

Il modello di simulazione utilizzato in questa tesi è il *software* Pathfinder, un modello *agent-based* (modello comportamentale) basato sul movimento.

3.3.1 Pathfinder

Pathfinder è un programma per la simulazione delle fasi di evacuazione in caso di incendio e di pericolo in generale e/o in situazione di calma. Come precedentemente accennato è un *agent-based simulator*, ovvero un simulatore che prende in considerazione lo studio del comportamento degli occupanti e lo integra nella fase decisionale che porta l'occupante ad agire; ogni occupante quindi si comporta in modo differente ed è capace di decidere l'azione da eseguire autonomamente in funzione di una serie di regole preimpostate dall'utente all'interno del modello. In questa tipologia di *software* la geometria della struttura oggetto di studio può essere sia creata dall'utente direttamente nel programma che importata come file DWG, creandola per esempio prima in Autocad, o anche direttamente dai modelli FDS. L'interfaccia grafica che viene visualizzata è quella di una mesh bidimensionale (Figura 3.7.) sulla quale si sviluppa la simulazione.



Figura 3.7. Geometria visibile con software Pathfinder.

L'inserimento della geometria deve ovviamente includere: gli ostacoli, che sono rappresentati da spazi vuoti (poiché gli occupanti non possono spostarsi dove non c'è la mesh), le porte sia di comunicazione tra i compartimenti che d'uscita, a cui può essere attribuita anche una sola direzione di flusso, e le vie d'esodo verticali, anche qui può essere stabilito il verso di percorrenza, inoltre la velocità di simulazione è rallentata e controllata da calcoli del *software*; inoltre è possibile inserire anche gli ascensori e farli controllare dai soccorritori.

Lo step successivo alla creazione della geometria è anche quello fondamentale, ovvero l'inserimento del numero di occupanti e la definizione del loro profilo.

Ogni persona è definita inizialmente mediante un corpo cilindrico o poligonale a seconda che sia in grado di deambulare da solo o meno (Figura 3.8.).

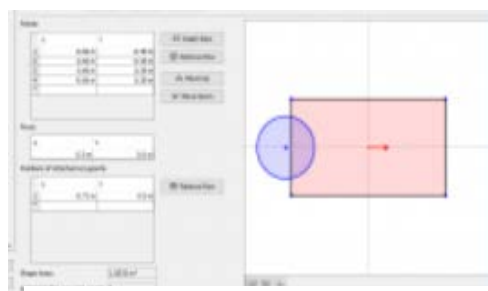


Figura 3.8. Schema occupante disabile (quadrato) e assistente abile (cerchio)

Ad ognuno viene attribuito un set di parametri che ne definisce il comportamento in fase di evacuazione in maniera indipendente dagli altri occupanti e in funzione di: dimensioni, velocità di movimento, tempi di reazione, priorità dell'azione ed anche ruolo all'interno della simulazione (paziente, accompagnatore, bambino, adulto, soccorritore, assistente), ad esempio può essere data imposizione al responsabile d'area di uscire per ultimo e nel frattempo soccorrere i pazienti. La caratterizzazione dell'occupante può essere quindi resa molto dettagliata, anche dal punto di vista grafico (Figura 3.9.).



Figura 3.9. Scelta dettaglio occupante

Per questo lavoro è stato scelto questo simulatore poiché è sviluppato per poter rappresentare fisicamente i dispositivi di assistenza al movimento (Figura 3.10) e il loro impatto sulle prestazioni d'evacuazione dei percorsi, sullo spazio occupato e sull'esodo degli altri occupanti, così da rendere decisamente più veritiera una simulazione di movimento all'interno di un ospedale.



Figura 3.10. rappresentazione dispositivi di assistenza al movimento (letti e carrozzine)

Per simulare il movimento degli occupanti vi sono due opzioni che il programma mette a disposizione:

- La modalità *SFPE Mode*, in cui gli occupanti si muovono in maniera indipendente da chi li circonda perciò non tentano di evitarsi tra loro e possono compenetrarsi; il loro movimento, in particolare la loro velocità, è funzione dalla densità di affollamento e il flusso attraverso le porte varia in base alla dimensione di queste ultime;

- La modalità *Steering Mode*, in cui gli occupanti si muovono in modo più realistico quindi evitando altri occupanti e gli ostacoli, il flusso quindi è governato per lo più dal comportamento degli stessi e dalla loro interazione con l'ambiente circostante

Ogni occupante agisce di default uscendo dall'uscita il cui percorso è più veloce, attendendo in coda alle porte o sulle scale, reagendo a porte aperte e chiuse e cambiando le velocità in funzione di ciò che lo circonda; è possibile che durante la simulazione alcuni occupanti abbandonino il percorso intrapreso per uno alternativo più veloce. In ogni caso ad ognuno degli occupanti possono essere dati input specifici da parte dell'utente, per esempio uscire dalla porta di ingresso evitando quella di emergenza più vicina, così come è stato studiato accadere nelle situazioni reali, in cui l'utente tende a ripercorrere una via già nota.

Come accennato in precedenza agli occupanti può essere assegnato un veicolo da utilizzare durante la simulazione (sedia a rotelle, barella) con l'ingombro che ne deriva e agli occupanti che utilizzano un mezzo andrà assegnata l'assistenza per poter procedere all'esodo. Inoltre, pensando anche all'*affiliation model* (vd. paragrafo 1.3.2.), è possibile mantenere uniti gli occupanti durante la simulazione ma all'interno del gruppo tutti dovranno assumere lo stesso comportamento e, poiché non sono disponibili dati specifici sulla relazione tempi di movimento-parametri di raggruppamento, è consigliabile eseguire la simulazione con e senza raggruppamenti per valutarne l'impatto. Qualora il gruppo sia disconnesso, tutti gli utenti si muoveranno verso il leader, per poi muoversi verso l'obiettivo seguendo il comportamento associato al gruppo. Pathfinder mette a disposizione una potente interfaccia grafica 3D che mostra i risultati in output in maniera molto realistica, permettendo di visualizzare facilmente eventuali problematiche come, per esempio, l'impossibilità di passaggio di alcuni pazienti lungo il percorso d'esodo più veloce o la formazione di code troppo lunghe nel compartimento in cui si è simulato l'incendio. Per supportare l'utilizzatore nell'interpretazione dei risultati in output si hanno anche grafici 2D e dati numerici. Nel menù dei risultati sono presenti dei file di riepilogo in cui è visibile la modalità di simulazione, il numero totale degli occupanti, un riepilogo delle loro caratteristiche, file con le statistiche sul tempo di evacuazione oltre che alcune informazioni sulla mesh. Le statistiche sul tempo di evacuazione sono le informazioni più importanti ai fini di un confronto ASET-RSET. Al professionista però si aprono anche altri scenari di studio: come già detto il simulatore dà la possibilità di far emergere le criticità dei percorsi che generano code o affollamenti eccessivi all'uscita, può valutare la necessità di predisporre più locali di rifugio temporaneo (spazi calmi), può valutare se aggiungere vie di esodo, migliorare quelle esistenti, suggerire una nuova distribuzione degli affollamenti. Il progettista può altresì valutare l'equilibrio tra sistema d'esodo e sistema di gestione, si propongono degli esempi: analizzare se ogni percorso d'esodo sia intrapreso in egual misura al fine di far fluire al meglio la folla o se alcune vie non vengono utilizzate, oppure dare un suggerimento riguardante la necessità di aggiungere personale d'assistenza nel caso in cui quello presente non sia in grado di far

evacuare tutti i pazienti che necessitano di assistenza. Si tenga presente che il comportamento umano è aleatorio così come lo sono altre variabili all'interno di un ospedale, caso trattato in questa tesi, che possono subire una variazione importante anche nell'arco di un periodo di tempo molto limitato; si pensi all'affluenza dei pazienti in pronto soccorso, o all'affluenza nelle strutture ospedaliere durante l'emergenza sanitaria che colpisce il mondo in questo periodo. Si rifletta quindi sul fatto che i risultati della simulazione non sono risultati che possono essere presi come sicuri in qualsiasi situazione e non possono essere attendibili al 100%, si approfondisce l'argomento nel prossimo paragrafo.

3.4 La modellazione etica

Si è fino ad ora appreso che, con la *Fire Safety Engineering*, è possibile trovare la soluzione che meglio si adatta alla situazione specifica, utilizzando i *software* di simulazione come principale fonte di verifica e progettazione delle misure di prevenzione e protezione dall'emergenza incendio. Il risultato dell'uso della modellazione è quello di un miglioramento della catena costi-benefici e un'agevolazione dell'identificazione delle carenze strutturali e gestionali, evitando di mettere in moto complessi meccanismi quali, per esempio, costanti prove di evacuazione che, in alcuni casi, non sono propriamente realizzabili (si pensi come sempre alla struttura ospedaliera). E allora, è possibile affermare che la modellazione numerica sia l'aiuto concreto e risolutivo per il miglioramento della gestione e della progettazione di strutture in qualche modo complesse? Per quanto detto poche righe fa ed in generale per quanto fino ad ora letto, la tesi non porta ad alcuna obiezione: la modellazione è uno strumento potente e un'innovazione, utile alla soluzione di criticità e vincoli!

Tuttavia, anche la modellazione numerica porta con sé dei rischi, come quello di un abuso dell'uso della simulazione sia da parte dei progettisti, che di chi prende decisioni riguardo la *policy*; dove quest'ultima va intesa come l'insieme di idee e atti per la risoluzione dei problemi che coinvolgono società, economia e tecnologia, non solo come politica governativa fatta di consensi e potere. Allora ne deriva una necessità: quella di un'interazione e comunicazione trasparente tra modellisti, committenti e chi prende le decisioni nonché coloro che divulgano i risultati forniti dai modelli; con il fine di non compromettere la bontà e l'affidabilità dell'approccio ingegneristico bloccandone lo sviluppo.

L'ingegneria della sicurezza antincendio dispone di svariati modelli tra cui il professionista può scegliere ma, per un approccio utile, quest'ultimo deve conoscere e rispettare i limiti di applicabilità e affidabilità che caratterizzano e differenziano ognuno di questi *software*.

Oltretutto deve essere ben noto lo scenario da simulare per non cadere nel rischio di un'impostazione non rappresentativa del fenomeno da analizzare o peggio una simulazione sbagliata dovuta ad un modello non adattabile allo scenario preso in considerazione.

È importante, inoltre, valutare il rischio di *over-confidence* del progettista nei confronti della simulazione; l'eccessiva sicurezza può portare da un lato, di nuovo, ad una modellazione sbagliata in cui vengono approssimate eccessivamente alcune condizioni al contorno, magari ritenute scontate, dall'altro alla creazione di un modello molto complesso, che non per forza corrisponde ad un modello migliore; anzi un aumento di laboriosità nella simulazione può togliere specificità al modello e può renderlo:

- a) di difficile lettura da parte di terzi, con il rischio di trasmissione di messaggi equivoci, come l'illusione di una potenzialità eccessiva dei metodi di modellazione;
- b) troppo difficile da modificare nei suoi dati in input, qualora ce ne sia la necessità.

Inoltre, come è noto, ogni parametro porta con sé una percentuale di incertezza così, se vengono aggiunti troppi parametri nel modello, questo risulterà poco o comunque meno utile rispetto ad una simulazione completa ma più semplice, in quanto l'errore insito nel risultato sarà molto più elevato (effetto cascata dell'incertezza). Allora è importante che il modello sia essenziale e che il professionista, con questo, non abbia timore di banalizzare la disciplina, in quanto esporre le vulnerabilità dei *software* fa in modo che questi non vengano facilmente smentiti ed inoltre predispone chi interpreta e/o visualizza i risultati ad una maggiore flessibilità nel giudizio dell'operato degli esperti. Questo processo di trasparenza aiuta anche ad arginare la divulgazione di *fake-news*, incrementando la consapevolezza dei committenti sulle potenzialità o meno della simulazione e di conseguenza la propensione di chi simula ad un approccio più onesto ed alla ricerca di un giusto compromesso tra accuratezza del risultato fornito e complessità del modello assumendosi la responsabilità delle proprie decisioni, al fine di utilizzare con criterio le risorse disponibili per la simulazione.

Di pari passo alla divulgazione da parte del professionista di una naturale incertezza della simulazione, vi deve essere minor tendenza, da parte di legge ed interpreta i risultati, a porre un'eccessiva attenzione verso il risultato in termini numerici, a favore di un altrettanto attenta considerazione delle ipotesi, delle spiegazioni e del contesto in cui è costruita la simulazione. Si ricorda, infatti, che i risultati sono funzione dell'intero processo di simulazione, compresa l'analisi dei dati in input e la loro origine che può essere affidabile o meno; il numero è il prodotto finale, che va analizzato e assimilato ad altri numeri in termini di ordine di grandezza dell'incertezza di cui è affetto e che, come si è già detto, deriva in primis dai dati in input.

Quanto finora detto si può ritrovare anche nel "Codice etico della simulazione in sanità", secondo cui i professionisti che utilizzano i modelli di simulazione in campo sanitario devono avere saldi principi quali integrità, trasparenza, rispetto reciproco, professionalità, oltre che attendibilità e orientamento ai risultati.

Devono quindi, tra le altre cose:

- fornire informazioni relative a: progettualità, ipotesi, limitazioni, alterazioni e problemi delle simulazioni;
- essere espliciti e non fraintendibili riguardo l'applicabilità dei metodi;

- svolgere tutte le attività di simulazione in modo da promuovere trasparenza sia nella progettazione che anche nella comunicazione e nei processi decisionali;
- essere espliciti riguardo la natura e lo scopo dell'attività di simulazione e ricerca;
- massimizzare la sicurezza e minimizzare i rischi fisici e psicologici, favorendo l'inclusione ed evitando pregiudizi;
- coltivare le opportunità di sviluppo della professione e dimostrare la volontà di un continuo aggiornamento professionale dimostrando costante competenza;
- incoraggiare e formare chi si avvicina alla simulazione e ascoltare i pareri di altri professionisti e/o committenti (il modello deve quindi essere comprensibile ed aperto al contributo di tutti);
- assicurare l'uso affidabile e credibile della simulazione;
- prestare attenzione agli esiti desiderati ma ancor più a quelli indesiderati;
- incrementare la consapevolezza promuovendo l'accesso e la condivisione delle esperienze e delle conoscenze.

È giusto altresì che chi gestisce la politica sia trasparente nella comunicazione e si assuma la responsabilità di prendere le decisioni che gli competono, dando priorità basate anche e non solo sull'evidenza numerica. È importante costruire una solida relazione tra società e uso delle simulazioni, che deve essere sana, onesta e informata; deve esistere una sorta di "etichetta" della simulazione che ne renda visibile l'autore, le ipotesi di base, i limiti e lo scopo. Tale "etichetta" è tanto importante che venga completata in ogni sua parte dal progettista ma altrettanto fondamentale che venga letta da chiunque usi i risultati utilizzandola in un contesto di trasparenza. Ecco perché sono state prodotte delle linee guida internazionali per diverse discipline con il fine di promuovere trasparenza, incertezza e analisi della sensibilità (=determinare se la valutazione è valida in funzione della variabilità dei risultati dati da ipotesi anche discutibili), si veda il codice sulla sanità detto poc'anzi. Concludendo deve esserci coscienza del fatto che la macchina esegue un'operazione governata da ipotesi di base variabili e/o parziali; la domanda che si pone il progettista è "Cosa accade se...?", perciò quando il risultato della simulazione viene utilizzato si deve ricordare il carattere condizionale delle ipotesi nonché eventuali aspetti sconosciuti e l'indeterminatezza delle modellazioni che riguardano eventi non ancora accaduti. Si riprenda l'esempio della struttura ospedaliera, ci si può davvero aspettare e/o il modellista può affermare che una simulazione basata sul comportamento umano all'interno di un ospedale dia un risultato numerico preciso e indiscutibile? O è più saggio comprendere e diffondere i limiti della simulazione? La situazione reale è governata in parte da fattori non quantificabili come lo stress situazionale, la variabilità di quantità, età, sesso, cultura, capacità fisiche, intellettuali ed esperienze passate degli occupanti; la modellazione è un aiuto prezioso, simula molto bene quello che ci si aspetta con un apprezzabile vantaggio costi-benefici-possibilità ma va fatta e divulgata con intelligenza, logica, responsabilità ed in un contesto di apertura mentale sociale.

Capitolo 4

Caso studio: reparto di terapia intensiva di una struttura ospedaliera

I principali ospedali pubblici nazionali sono strutturati in vari edifici, molti dei quali risalenti agli anni Sessanta e quindi hanno richiesto o necessitano ancora oggi, a causa dell'oneroso impegno economico, di adeguamenti per conformarsi al D.M. 19.05.2015 ad oggi in vigore.

Tali edifici sono sede di svariati dipartimenti sanitari e non, per questo lavoro di tesi lo studio si concentra in particolare su uno dei reparti più difficili da gestire, quello di terapia intensiva dove il rischio di incendio è elevato e le evacuazioni e, soprattutto, le prove di evacuazione presentano le maggiori difficoltà di attuazione.

L'obiettivo principale, infatti, non è quello di utilizzare l'approccio ingegneristico per stravolgere lo stato di fatto progettuale, bensì andare a verificare ed eventualmente valutare il miglioramento apportabile alla gestione dell'esodo della sezione attraverso l'uso di simulazioni. Innanzitutto, verrà contestualizzata la realtà di tale dipartimento, per poi scendere nel dettaglio delle simulazioni nel capitolo successivo (Capitolo 5).

4.1 Reparto di terapia intensiva

La terapia intensiva è quel reparto che garantisce il monitoraggio e le cure intensive post-operatorie o l'assistenza di tipo rianimatorio di pazienti compromessi nelle loro funzioni vitali. Per questo motivo i pazienti di questo settore sono allettati e attaccati a macchinari, più o meno invasivi, che consentono loro di rimanere stabili sostituendo le attività fisiologiche del paziente. È immediato, pertanto, comprendere che questi occupanti sono del tutto dipendenti da macchinari e/o dal personale sanitario non solo in fase di calma ma anche ovviamente in fase di emergenza e di evacuazione. Per lo stesso motivo è complesso dover mettere spesso il personale nelle condizioni di fare delle prove di evacuazione, tuttavia le prove antincendio in un reparto come terapia intensiva sono essenziali, qui infatti il rischio di incendio è importante a causa del consistente uso di gas medicali e ossigeno oltre che per la presenza di molti macchinari che richiedono un certo dispendio di energia elettrica, aumentando così il rischio di tecnologico di cui si è parlato al capitolo 2. Per sopperire alle difficoltà e alla contemporanea necessità di fare delle prove d'esodo, possono entrare in gioco le simulazioni.

Ma cosa comporta la incompleta inabilità del paziente di terapia intensiva sul sistema di esodo in emergenza? Si riprende il concetto di ASET (*Available Safe Escape Time*) ed RSET (*Required Safe Escape Time*).

ASET è il tempo disponibile per l'esodo prima che le condizioni ambientali divengano incapacitanti; questo è indipendente dalla tipologia di occupante bensì è legato all'incendio e a tutto quello che concerne il suo sviluppo e la sua diffusione: reazione dei materiali, compartimentazione, misure di protezione, ecc. In questo reparto il rischio è aggravato dalla presenza di gas tecnici e prodotti infiammabili, questo rischio si riflette anche sul tempo richiesto per l'esodo in quanto il personale deve, tra le altre cose, ridurre al minimo l'interferenza tra incendio e prodotti pericolosi per non far aggravare la situazione.

RSET è invece il tempo richiesto per eseguire l'esodo verso luogo sicuro da parte di tutti gli occupanti del compartimento. Qui la tipologia di persone che affollano il compartimento ha un ruolo cruciale. Il rischio causato dagli occupanti viene aggravato dallo stato psico-fisico dei pazienti provocando una dilatazione dei tempi di evacuazione.

Infatti, come si è già detto, questo tempo è dato dalla somma di:

$$t_{rivelazione} + t_{allarme} + t_{pre-movimento} + t_{movimento}$$

- Tempo di rivelazione: rivelazione tramite sistema automatico, per esempio rivelatori ottici di fumo, o rivelazione visiva da parte del personale;
- Tempo di allarme: tempo di attivazione dell'allarme tramite rivelatore e/o attivazione manuale; il processo di allarme dovrebbe avviarsi abbastanza rapidamente in quanto il reparto di terapia intensiva per la natura dei pazienti che lo occupano e della loro gravità, che può riversare velocemente in fase critica, è controllato costantemente;
- Tempo di pre-movimento: tempo in cui gli occupanti capiscono che vi è la presenza dell'incendio e quindi bisogna evacuare, iniziano allora a muoversi verso le uscite; nel caso della terapia intensiva questo tempo è caratteristico solo degli occupanti vigili (infermieri, eventuali visitatori, ecc.); gli operatori prima di muoversi devono rimanere calmi e razionali per procedere all'evacuazione dei pazienti allettati.

L'esodo subisce già da qui dei rallentamenti; parte degli occupanti, ovvero i pazienti, non posseggono la capacità di razionalizzare l'allarme e agire e gli addetti impiegano più tempo per iniziare a muoversi verso le uscite. Questi ultimi devono infatti: verificare l'avvenimento, non cedere all'istinto di fuga e organizzarsi per attuare il piano di emergenza e salvaguardare i pazienti. Inoltre, in questo caso specifico, quello del reparto di terapia intensiva, prima di iniziare ad evacuare il paziente, gli addetti devono staccare eventuali macchinari e recuperarne altri aumentando inevitabilmente l'arco temporale che precede il movimento.

- Tempo di movimento: tempo impiegato per raggiungere il luogo sicuro; il fatto che i pazienti debbano dipendere totalmente da altre persone per raggiungere un luogo sicuro aumenta di gran lunga il tempo richiesto per l'esodo. Deve essere considerato un minimo di 2 persone per letto, ma vi sono anche altre operazioni da eseguire per l'organizzazione e la gestione dell'emergenza, quindi, l'eventuale mancanza di personale comporta l'impiego di un tempo molto più esteso per l'evacuazione.

Inoltre, l'esodo è rallentato dal trasporto dei dispositivi di assistenza poiché la necessità di garantire ai pazienti il mantenimento di qualsivoglia funzione vitale non è sostituibile dalla necessità di raggiungere un luogo sicuro; si assuma, per meglio comprendere, un esempio del tutto probabile: l'esodo di un certo numero di pazienti con carenze respiratorie gravi, questi dovranno essere ventilati manualmente durante il percorso d'esodo con inevitabile rallentamento della velocità di marcia.

In ogni caso la velocità di spostamento non può essere sostenuta poiché il paziente trasportato è in condizioni critiche; oltretutto lo spostamento avviene tramite letti che, a causa dell'ingombro, contribuiscono a rallentare la velocità. Tra le varie variabili vi è anche, per esempio, l'evenienza di non poter adoperare l'ascensore, in questo caso l'esodo potrebbe avvenire attraverso le vie d'esodo verticali con ulteriore incremento del tempo di movimento. Le possibilità da considerare sono le più svariate e le simulazioni possono diventare quindi molto complesse.

L'area presa come esempio per le simulazioni è un reparto di terapia intensiva inclusa in blocco antincendio di un edificio ospedaliero, supponiamo il blocco sia quello di colore giallo in Figura 4.1.

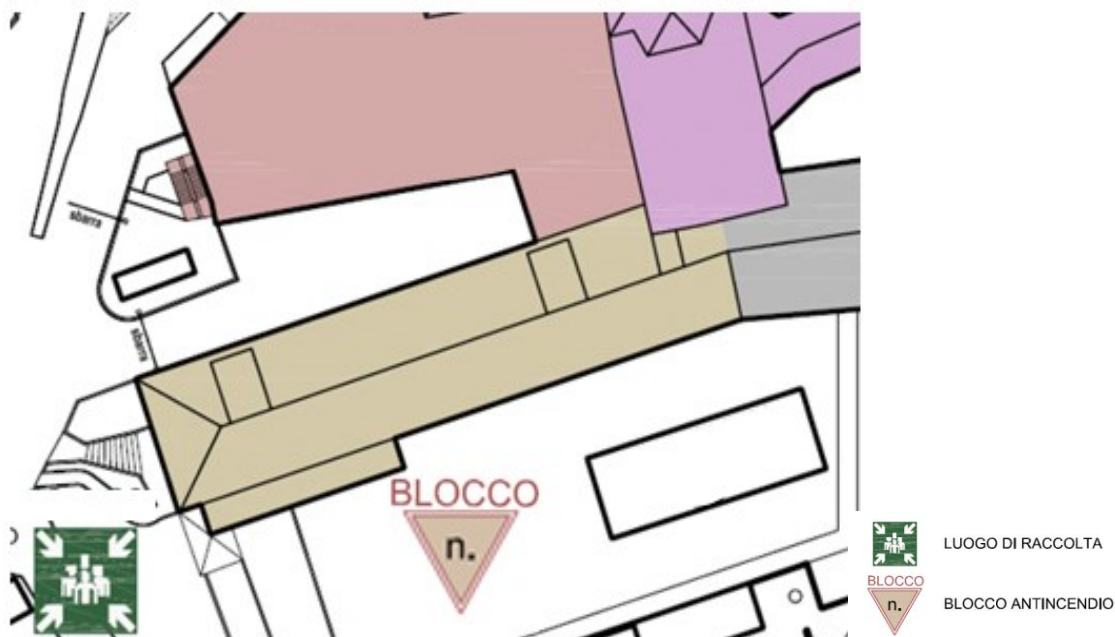


Figura 4.1. Suddivisione dei blocchi antincendio ed indicazione dei punti di raccolta dell'edificio tipo

I reparti di terapia intensiva possono non essere di riferimento solo per il compartimento adiacente ma essere aree di ricovero di prima scelta anche per altri reparti qualora vi sia la necessità di cure intensive, a tal fine possono essere inseriti in posizioni raggiungibili da più reparti dello stesso edificio, adeguatamente compartimentate rispetto a queste ultime, oltre che congiunte da adeguate vie d'esodo che consentano l'evacuazione da tutti i reparti verso luogo sicuro o comunque che consentano l'esodo orizzontale progressivo.

Nel caso studio in esame, come visibile dalla Figura 4.2., il reparto è inserito in un compartimento in comunicazione con altri attraverso filtri a prova di fumo ed è a sua volta suddiviso in compartimenti che delimitano le camere dei degenti.

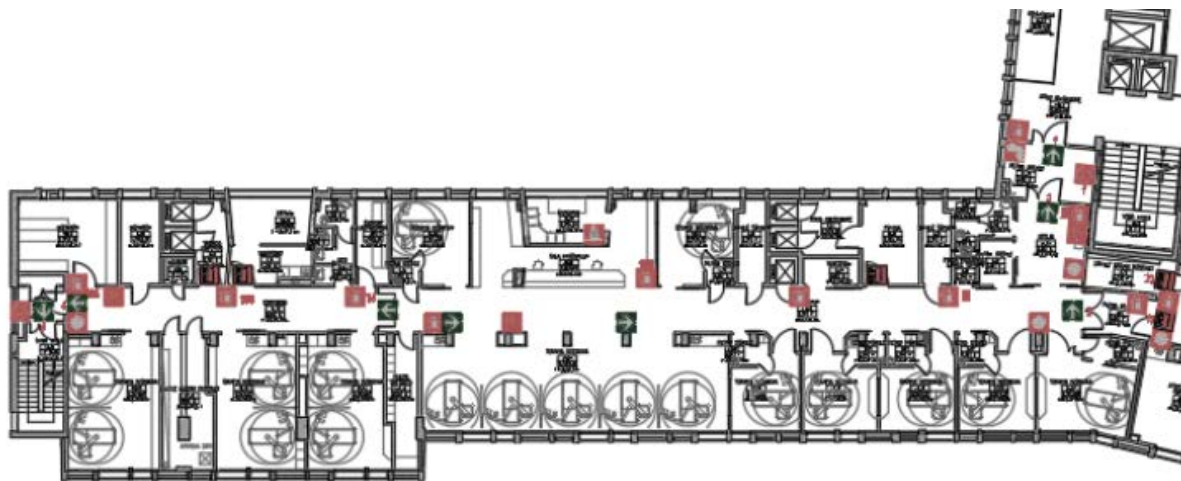


Figura 4.2. Pianta reparto di terapia intensiva

Il reparto ospita un totale massimo di 18 posti letto occupabili, pari a un terzo dell'affollamento massimo previsto dalla normativa ad oggi in vigore per le strutture sanitarie esplicitata dal D.M. 19.03.2015. Quest'ultima prevede che nelle aree destinate a ricovero in regime ospedaliero e/o residenziale nonché aree adibite ad unità speciali (terapia intensiva, terapie particolari, ecc.), denominate aree di tipo D, il massimo affollamento sia di 3 persone per posto letto per un totale di 54 occupanti.

Per quanto concerne la salvaguardia della vita di tali occupanti, deve essere predisposto e tenuto sempre aggiornato un piano di emergenza ed evacuazione, di cui al paragrafo seguente.

4.2 Piano di emergenza ed evacuazione

Per quanto fino ad ora descritto si è compreso quanto sia complessa la prevenzione e protezione antincendio all'interno di una realtà ospedaliera, ancor più se vista all'interno di reparti delicati come quello della terapia intensiva.

Successivamente ad una corretta valutazione del rischio va, quindi, pianificata una strategia per la prevenzione dei rischi e la limitazione dei danni, in caso di incendio o altro avvenimento, tra cui la redazione di un piano di emergenza ed evacuazione per permettere agli occupanti, siano essi operatori sanitari, pazienti, visitatori o soccorritori, di abbandonare in modo sicuro la struttura. Il piano di emergenza ed evacuazione è un documento previsto dal Sistema di Gestione della Sicurezza ed obbligatorio¹⁰ per le attività con un numero

¹⁰ Secondo D.Lgs. 09.04.2008 n°81 "Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro" e D.M. 10.03.1998 "Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro"

maggiore od uguale a dieci e per le attività soggette al controllo dei Vigili del Fuoco. Inoltre, tale sistema è previsto da vari decreti e circolari specifici per gli ospedali o simili¹¹.

Il documento, vista la complessità e diversità di edifici e compartimenti delle strutture ospedaliere, può essere suddiviso in più piani. Si prenda come riferimento per questo studio un piano suddiviso in: piano generale per il pronto intervento, piano generale per la pronta evacuazione dell'ospedale e vari piani specifici per i singoli reparti (degenza e similari, ambulatori e diagnostica, servizi). Tali documenti hanno la finalità di permettere la corretta verifica dell'emergenza effettivamente presente, in caso affermativo gestire tale emergenza, proteggere gli occupanti, salvaguardare le vite umane e i beni dell'ospedale e tutelare l'ambiente dagli effetti dell'incendio. In generale il piano di emergenza prevede quattro fasi, di cui tre di pronto intervento e una di evacuazione.

Le fasi di pronto intervento possono coinvolgere svariate figure, che vengono individuate nel piano di pronto intervento. Gli operatori che compongono tali squadre hanno il compito di collaborare costantemente e coordinarsi velocemente per scongiurare l'evento, perché ciò funzioni è fondamentale una corretta informazione, formazione e addestramento. Tra queste figure, le prime ad intervenire sono gli operatori tecnici che compongono la squadra di sicurezza aziendale, formata da addetti antincendio appositamente formati e attrezzati e costantemente presenti per effettuare il pronto intervento e gli addetti antincendio di reparto/compartimento e il loro coordinatore, anch'essi presenti h24, che assicurano il primo intervento immediato oltre a funzioni sanitarie e non. Vi è poi il personale di reparto che si mette a disposizione al momento dell'emergenza.

Le fasi attuative di un piano di emergenza tipo si possono riassumere come di seguito.

- 1) Segnalazione dell'incendio → in quasi tutti gli ambienti dell'ospedale si può verificare la presenza di sensori antincendio collegati con la sala operativa, sorvegliata h24 da un operatore. La segnalazione può essere fatta anche da un qualsiasi occupante attraverso appositi numeri di contatto della sala operativa e attraverso il pulsante antincendio;
- 2) Verifica della segnalazione → l'operatore contattato invia la squadra di sicurezza a verifica dell'allarme;
- 3) Fase di intervento → varia a seconda del tipo di allarme, che può essere verde, giallo, arancione o rosso; l'intervento, infatti, può essere risolto subito perché falso allarme, può essere gestito dalla squadra di sicurezza e dagli addetti antincendio del reparto, oppure, nei casi medio-gravi, necessita di una gestione specifica e attenta oltre che il coinvolgimento della squadra dei Vigili del Fuoco ed, eventualmente, della squadra di evacuazione generale;
- 4) Evacuazione → se necessaria viene attivata l'apposita procedura; qui entrano in gioco la squadra di pronta evacuazione, composta da addetti appositamente formati ed equipaggiati

11 D.G.R.V. 325/99, Circ. M.I. 01.03.2002 n°4, D.M. 18.09.2002, D.M. 19.05.2015

e costantemente in collegamento con la sala operativa tramite radio, la squadra di evacuazione generale, composta dagli addetti antincendio di reparto e di reparti vicini, il servizio trasporto degli ammalati, il pronto soccorso, ecc.

Tutte le fasi nei loro dettagli sono descritte nel documento di emergenza generale.

Fondamentale è che tutto il processo descritto dal piano avvenga durante la fase di ignizione dell'incendio ed in particolare l'evacuazione, come già detto, deve esaurirsi prima del tempo di *flash-over* in cui l'incendio diventa generalizzato. Affinché tutto avvenga rapidamente ma nel modo corretto il personale deve essere informato formato ed addestrato secondo quanto riportato nel sistema di gestione della sicurezza dell'azienda ospedaliera. Inoltre, l'efficienza del piano di emergenza va verificata con un collaudo iniziale e dei controlli periodici svolti con simulazioni ed esercitazioni sul posto sia generali che di reparto. La prova di evacuazione è prevista un minimo di una volta l'anno ma non è l'unica cosa da tenere monitorata, è importante anche verificare il funzionamento degli apparecchi per la chiamata di emergenza, per le prove radio tra sala operativa e addetti, per le prove di funzionamento degli impianti e dei sistemi di sicurezza. In particolare, per il caso studio si fa riferimento alla simulazione virtuale, effettuata con il *software* Pathfinder, del piano di evacuazione. Il piano di evacuazione previsto da un piano di emergenza ospedaliero è sviluppato secondo logica, in primo luogo, di esodo orizzontale progressivo, che prevede lo spostamento dei degenti da un compartimento di piano ad un altro compartimento dello stesso piano, ed in secondo luogo, nel caso peggiore, di esodo verticale completo. In questa fase del piano di emergenza, le figure fondamentali sono: la squadra di pronta evacuazione composta, come già detto, da operatori sanitari che devono, per lo più, svolgere le prime attività di evacuazione dei pazienti oltre che l'attività di evacuazione dei materiali che contribuiscono a peggiorare la combustione, e la squadra di evacuazione generale composta da tutti gli addetti antincendio di reparto presenti in azienda ospedaliera, solitamente nei reparti di degenza sono previsti minimo due addetti antincendio presenti h24 che vengono affiancati da tutti quelli dei reparti ed edifici più vicini con il compito di effettuare l'evacuazione del reparto o dell'edificio. Il personale dipendente, al di fuori di quello di reparto che coopera con le squadre di evacuazione e non facente parte delle squadre di addetti antincendio, collabora solo se l'evacuazione riguarda un edificio di grandi dimensioni quale per esempio l'intero monoblocco, e solo sotto ordine del coordinatore generale del piano di emergenza; altrimenti se necessario evacua sotto istruzioni degli addetti antincendio. L'evacuazione termina quando tutti gli occupanti coinvolti dall'emergenza raggiungono il luogo di raccolta che può essere un compartimento attiguo a quello di primo innesco, un piano dell'edificio diverso da quello coinvolto o un punto di raccolta del blocco antincendio di riferimento individuato all'esterno dell'edificio. In Figura 4.4. di seguito si riporta una schematizzazione delle principali procedure di evacuazione relative ad un piano di emergenza preso come riferimento a puro scopo esemplificativo. Lo schema è riferito ad un caso estremo, quello di un allarme rosso

(allarme di grandi dimensioni), le procedure si semplificano leggermente per allarmi gialli o arancioni e le relative procedure si trovano descritte nel dettaglio all'interno dei piani di emergenza della relativa azienda.

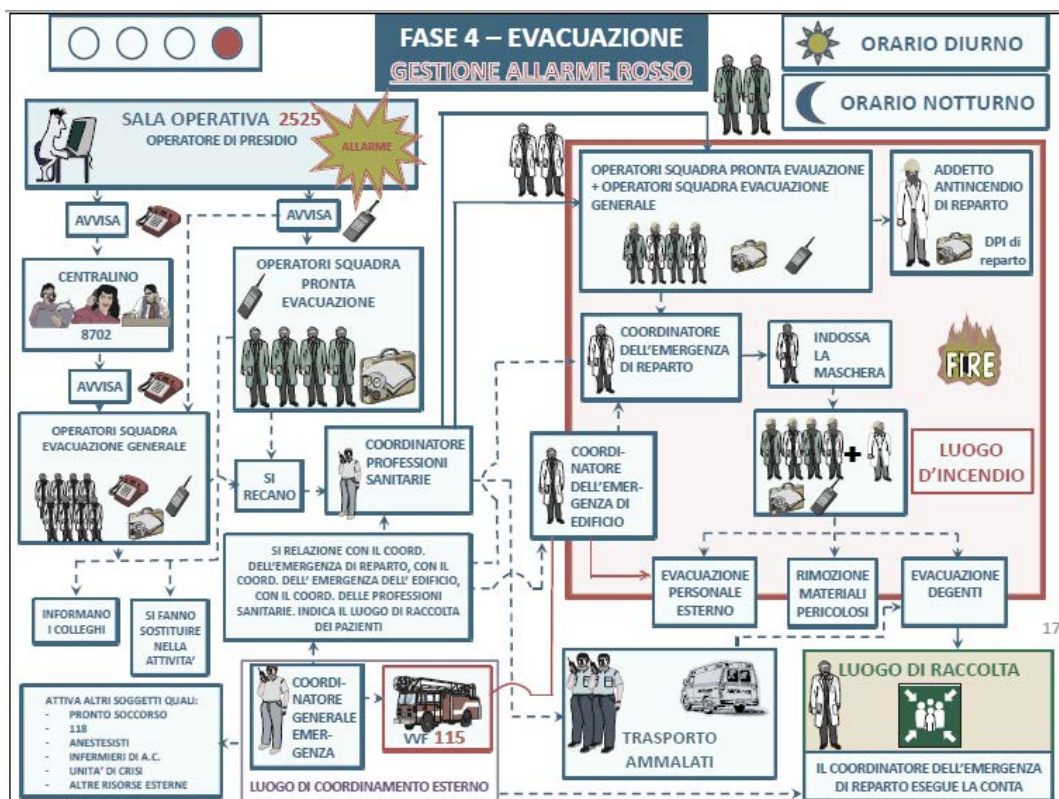


Figura 4.4. Schema esemplificativo di un piano di evacuazione - caso di allarme rosso

4.2.1 Piano di evacuazione di reparto degenze: terapia intensiva

Nel caso di evacuazione della terapia intensiva si farà riferimento al piano di evacuazione tipo di un reparto degenze o similari contenuto in un documento del Sistema di Gestione della Sicurezza Antincendio. Per il piano di reparto vale quanto indicato dal piano di emergenza ed evacuazione prima descritto ma vengono specificate, tra le altre cose:

- L'organizzazione lavorativa, i pazienti, gli utenti, le attività svolte, le apparecchiature utilizzate, le sostanze impiegate e tutte le informazioni utili nella gestione dell'emergenza;
- Il numero minimo e il nome degli addetti antincendio di reparto, che deve essere di almeno due operatori, assieme all'indicazione del coordinatore dell'emergenza di reparto ed anche di edificio; oltre che le informazioni necessarie ad individuare le altre persone designate, che saranno presenti nei diversi turni di lavoro anch'essi indicati dal piano;
- L'individuazione dei luoghi sicuri di raccolta dei pazienti e dei loro assistenti. Saranno indicati un punto di prima evacuazione e uno finale deciso in fase emergenziale;
- L'individuazione del punto di raccolta del personale non addetto all'assistenza dei pazienti, che corrisponde a quello esterno alla struttura (se ne vede un'indicazione in Figura 4.2.);

- La necessità che vi siano locali prontamente raggiungibili e contenenti le attrezzature necessarie all'evacuazione dei degenti non deambulanti, queste devono essere in numero sufficiente a garantire il soccorso a tutti i pazienti e non solo per quanto riguarda il trasporto ma anche per assicurare la continuità e il monitoraggio della terapia. Quest'ultimo requisito è necessario venga mantenuto e assicurato anche nel luogo sicuro che ospiterà i pazienti. Sono inoltre indicati i presidi di sicurezza e antincendio presenti in reparto, indicati anche in planimetria antincendio;
- Le esatte procedure cliniche che vanno eseguite dagli operatori sanitari, quindi per esempio la classificazione dei pazienti per priorità di evacuazione, la sequenza per assicurare la continuità delle cure (apparecchiature, azioni di stacco, trasporto sicuro, ...);
- Le procedure per l'evacuazione di occupanti portatori di handicap; quindi, le procedure che coinvolgono non solo il paziente ma anche l'eventuale visitatore o dipendente in qualche modo disabile ad evacuare in autonomia;
- I compiti e le procedure di tutte le figure coinvolte nell'emergenza.

In particolare, il personale di reparto deve mettersi a disposizione degli addetti antincendio di reparto, delle figure di coordinamento ed eventualmente dei Vigili del Fuoco per collaborare all'evacuazione dei pazienti e allo sgombero di sostanze e materiali pericolosi, senza mai svolgere azioni di propria iniziativa. Coloro che non sono addetti all'evacuazione, quali visitatori o personale esterno, deve evacuare il reparto seguendo quanto ordinato dai dipendenti e dagli addetti antincendio, raggiungendo il punto di raccolta indicato. I pazienti degenti non autonomamente deambulanti evacuano rimanendo sul letto provvisto di ruote o trasportati dalla la squadra di evacuazione attenendosi alle disposizioni dei dipendenti di reparto o dagli addetti antincendio.

Qualora l'allarme sia di medie-grandi dimensioni e quindi vengano coinvolti nelle fasi di emergenza ed evacuazione i Vigili del Fuoco, questi avranno accesso al reparto di terapia intensiva come da Figura 4.5. di seguito (si ricorda essere un esempio didattico).



Figura 4.5. Percorsi e accesso mezzi di soccorso per il reparto di terapia intensiva

Capitolo 5

Simulazione d'incendio e modellazione dell'evacuazione

In questo capitolo verranno approfondite le analisi e le simulazioni effettuate per l'analisi del caso studio.

Sono state affrontate:

- una simulazione di incendio con programma *Fire Dynamic Simulator*;
- tre simulazioni d'esodo, durante l'incendio di cui sopra, con programma *Pathfinder*.

Le simulazioni sono state effettuate riproducendo virtualmente la struttura e le caratteristiche di un reparto di terapia intensiva reale, non si specifica l'azienda in quanto il reparto è stato preso come puro esempio didattico, si valuta infatti, come già ampiamente ribadito, non la struttura in sé ma l'effettiva possibilità di sostenere le aziende ospedaliere e il loro sistema di gestione con prove di evacuazione riprodotte tramite l'uso di *software*, che permettono al professionista di valutare il tempo di pre-movimento, movimento ma anche, ad esempio, di monitorare i tempi di rivelazione dell'incendio o delle procedure troppo macchinose o troppo approssimative.

5.1. La simulazione dell'incendio e il calcolo di ASET

Come già ampiamente descritto è necessario, per una corretta e completa valutazione del piano di emergenza dovuto ad un incendio, che innanzitutto venga studiato cosa accade all'interno del compartimento da evacuare. Vi sono infatti svariate informazioni che provengono da una simulazione di incendio all'interno del compartimento, prima su tutte il professionista può arrivare a quantificare il tempo di mantenimento delle condizioni vivibili del compartimento, attraverso la valutazione dei parametri soglia di cui si è già parlato al capitolo 3, inoltre il simulatore però può permettere di quantificare anche il tempo di rivelazione del fumo o del calore, per la quantificazione del tempo richiesto per l'esodo.

5.1.1 Caso 0 – simulazione scenario di incendio

Con la modellazione fluidodinamica di incendio, consentita dal programma FDS, è stata possibile la simulazione dello scenario incidentale all'interno del reparto di terapia intensiva precedentemente mostrato. La geometria inserita nel simulatore è in grado di riprodurre il reparto in modo perfettamente aderente alla realtà costituendo così uno strumento estremamente potente sia in fase di progettazione che di verifica.

Nel caso in esame sono stati riprodotti gli elementi costituenti un reparto di terapia intensiva preso in esame a scopo esemplificativo: camere, servizi, reception, macchinari, letti, estintori, filtri a prova di fumo di accesso al reparto, invece per quanto riguarda il rilevatore di fumo, per rendere più immediata la comprensione dei risultati, questo è stato posto solamente nel compartimento in cui si è ipotizzato l'innesco della combustione.

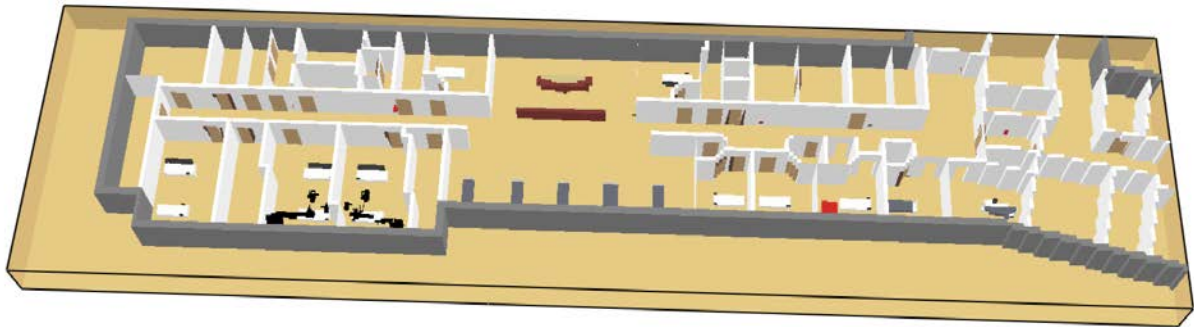


Figura 5.1. Riproduzione del reparto di terapia intensiva tramite Fire Dynamic Simulator

Per la simulazione dell'incendio, come l'approccio prestazionale richiede, si seleziona, tra i possibili scenari di incendio ipotizzabili, quello peggiore che può verificarsi durante l'esercizio dell'attività. In questo caso viene analizzato un unico scenario in cui l'innesco avviene in una delle stanze più adiacenti alle uscite che consentono l'esodo orizzontale progressivo e che conducono agli ascensori antincendio, tramite i quali è facilitato l'esodo verticale delle barelle; ciò rende l'evento il più sfavorevole per l'esodo degli occupanti.



Figura 5.2. Dettaglio stanza di inizio combustione

Il focolare inserito nella stanza è composto da materiale che riproduce quello di un letto che brucia. Per la caratterizzazione quantitativa del focolare si è ricorso alla consultazione dei dati pubblicati da fonti autorevoli e condivise¹² dove è possibile trovare riferimenti ed esempi validati da prove sperimentali, tra cui l'energia rilasciata dalla combustione di un letto domestico doppio composto da lenzuola e federa in poliestere e cotone, una coperta in acrilico, un piumino e cuscino e materasso imbottiti in fibra di poliestere. La curva HRR è riportata in Figura 5.2.

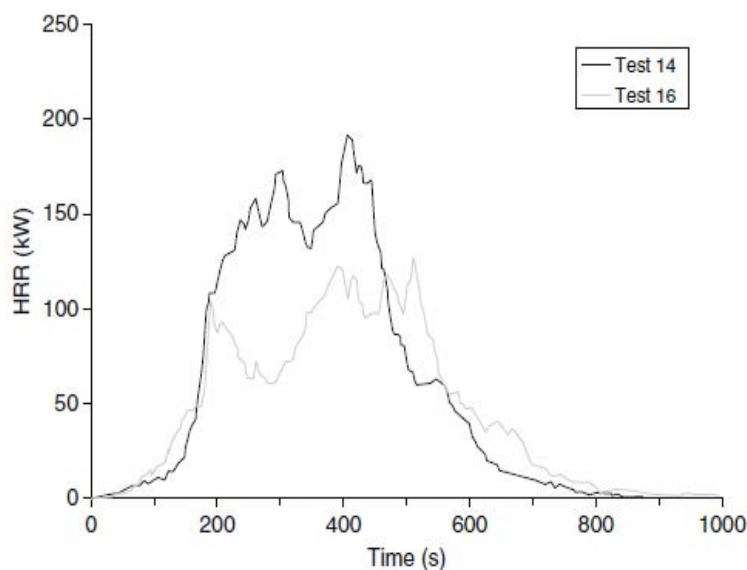


Figura 5.2. Curva HRR di riferimento per la combustione di un letto, “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”.

Il letto assunto come fonte di innesco per il caso studio è un letto di ospedale costituito da materiali con una reazione al fuoco molto minore di un letto domestico e produzione di fumi inferiori a quelli del poliestere.

Per assumere un approccio ragionevolmente conservativo, si è utilizzato comunque un caso peggiorativo, quindi una curva HRR riferita ad un letto doppio di uso domestico, ma si è considerata, come linea guida, la curva più bassa tra le due riportate in Figura 5.2.

Con l'obiettivo della salvaguardia della vita si è applicato il modello di fluidodinamica computazionale per completare lo studio sulla possibilità d'esodo di tutti gli occupanti del reparto, affinché questo avvenga senza impedimenti dati dall'eccessiva esposizione agli effetti dell'incendio. Tramite la modellazione con FDS si può stimare il tempo ASET (*Available Safe Escape Time*) andando a valutare il tempo di superamento delle soglie impostate e prendendo poi il tempo più piccolo risultante dalle varie misurazioni.

Per uno studio più semplificato si sarebbe potuto considerare il tempo in cui l'altezza libera da fumi si abbassi sotto i 2 m dal piano di calpestio e la temperatura media degli strati di fumo sia sopra i 200°C.

¹² “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering” Morgan J. Hurley, Springer, quinta edizione

Nel caso studio si sono valutati i tempi ASET di superamento di alcune delle soglie limite per gli occupanti riportate nel Codice di prevenzione incendi secondo il modello di calcolo avanzato:

- oscuramento della visibilità da fumo → ad altezza 1,8 m da terra = 10 m per gli occupanti e 5 m per i soccorritori
- gas tossici → non presenti
- calore → temperatura massima di esposizione per gli occupanti = 60°C e 80°C per i soccorritori
- calore → irraggiamento termico massimo da tutte le sorgenti = 2,5 kW e 3kW per i soccorritori

Ove per soccorritori si intendono i componenti delle squadre aziendali opportunamente protette ed addestrate. In questo caso studio, per essere conservativi si sono comunque supposte come soglie massime da non superare quelle relative agli occupanti, pur essendo presenti nell'azienda gli addetti e le squadre di emergenza apposite, quindi si posta la *slice* di misurazione a 1,77 m ≈ 1,8 m (lo scarto nelle misure è dovuto alla costruzione della cella) per verificare la condizione di incapacità d'esodo. La condizione peggiore è data dall'oscuramento della visibilità si riportano in figura gli output di FDS visualizzati attraverso il *software Smokeview*.

Nella prima immagine (Figura 5.3.) si osserva che la prima via d'esodo (vedremo dopo essere la "porta 21") è resa indisponibile da $t = 362 \text{ sec.} \approx 6 \text{ minuti}$.

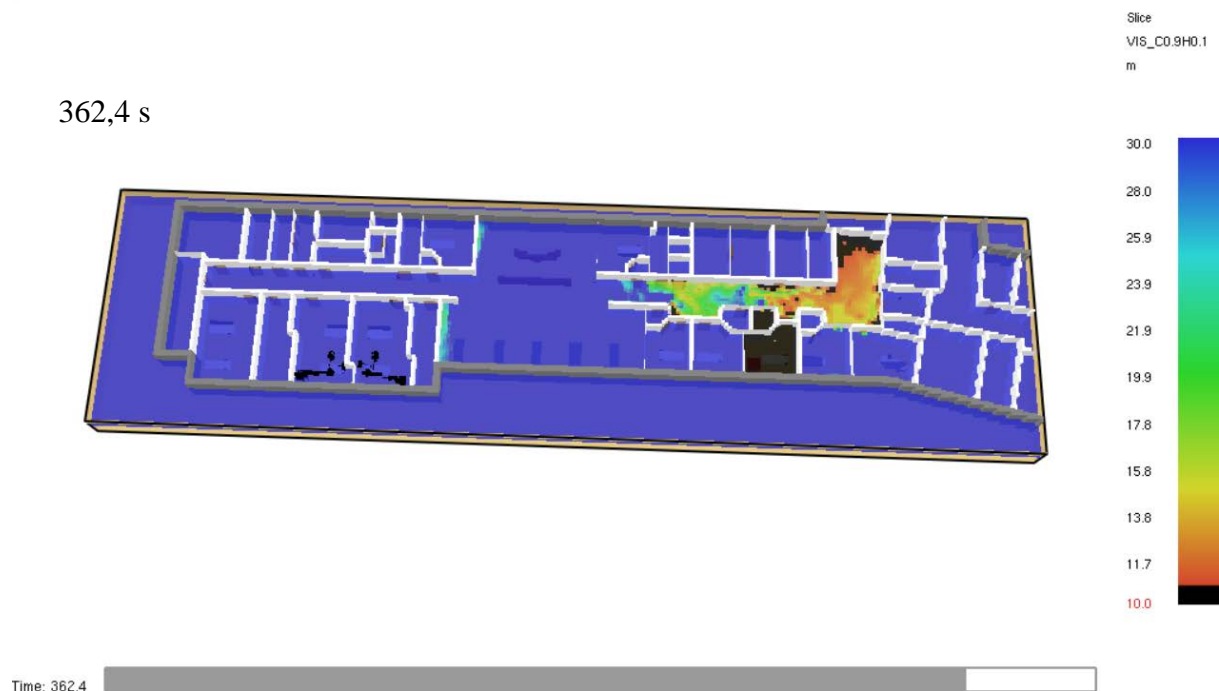


Figura 5.3. Soglia di visibilità = 10 m; rappresentazione dell'andamento della visibilità nel tempo e indisponibilità della prima via d'esodo

Nell’immagini sottostante (Figura 5.5.) è invece visibile il raggiungimento della soglia per entrambe le vie d’esodo e quindi il raggiungimento del tempo ASET che è stato preso pari a $t = 380$ secondi (prima immagine), ovvero poco più di 6 minuti.

380 s = ASET



Figura 5.4.a. Soglia di visibilità = 10 m; rappresentazione dell’andamento della visibilità nel tempo con indisponibilità delle vie d’esodo e determinazione del tempo di ASET

386,5 s

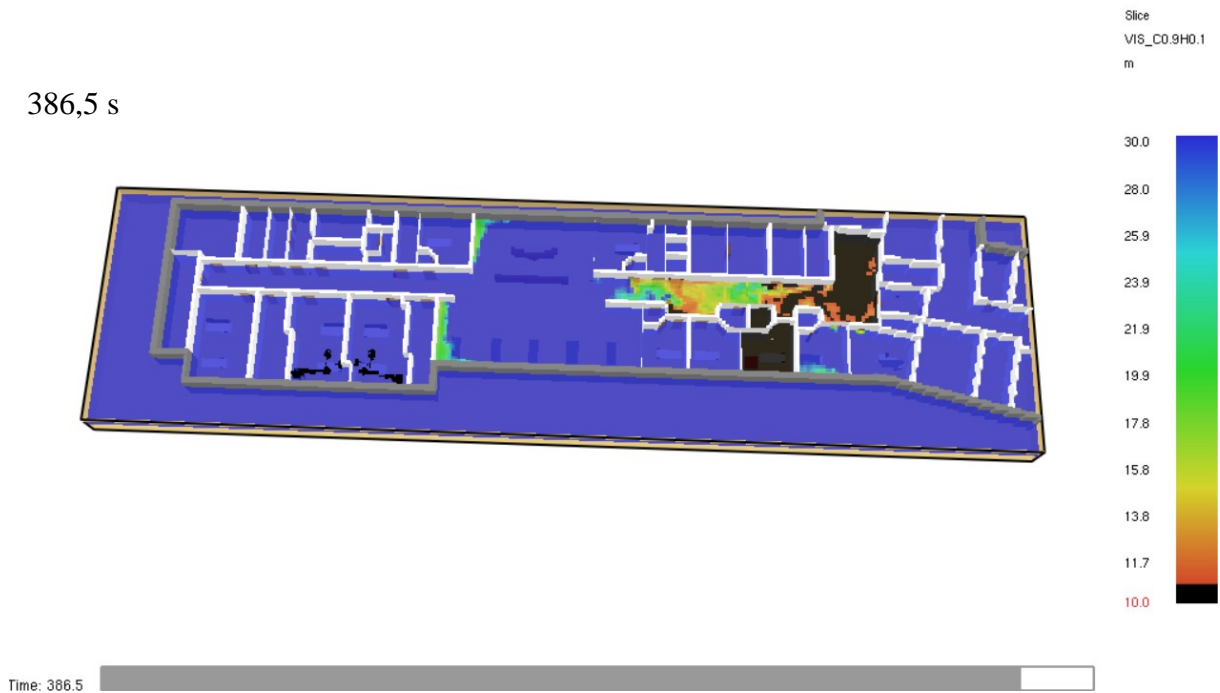


Figura 5.4.b. Soglia di visibilità = 10 m; rappresentazione dell’andamento della visibilità nel tempo con indisponibilità sempre più totale delle vie d’esodo

5.2 La simulazione dell'esodo e il calcolo di RSET

Dopo aver ipotizzato lo scenario di incendio e valutato il tempo disponibile per l'esodo, lo studio è proseguito con la ricerca del tempo effettivamente richiesto, in situazioni ipotetiche, per l'esodo di un reparto di terapia intensiva. Tale ricerca è stata fatta attraverso la definizione dei tempi caratteristici che compongono RSET:

❖ Tempo di rivelazione

Come accennato all'inizio del precedente paragrafo, i programmi di simulazione degli scenari di incendio non sono funzionali al solo scopo di valutare il tempo disponibile all'esodo, ma si è in grado di sfruttarne le potenzialità anche per altri scopi. Uno tra questi è appunto la quantificazione del tempo di rivelazione.

Secondo il D.M. 19.03.2015, regola tecnica attualmente in vigore per le strutture sanitarie, vi devono essere in tutte le aree dell'ospedale sia segnalatori di allarme manuali che impianti fissi di rivelazione e segnalazione automatica dell'incendio che permettono, in una struttura così complessa, una notevole riduzione del tempo di rivelazione a favore di un aumento del tempo di azione. FDS permette l'inserimento di questi ultimi elementi nello scenario, attraverso il comando *DEVC*, come elementi costituiti da dispositivi il cui alloggiamento esterno racchiude un elemento sensibile alle variazioni delle condizioni ambientali circostanti. Nel caso in esame si è scelto, per ridurre i tempi di computazione, di inserire un unico rivelatore all'interno della stanza di innesco; questo, essendo un rivelatore posto all'interno di una camera degenza, farà capo ai dispositivi ottici di ripetizione di allarme posti in corridoio. Il rivelatore inserito nello scenario è di tipo ottico, percepisce quindi i prodotti generati dalla combustione con un ritardo che risulta essere funzione del tempo necessario al fumo per riempire il volume interno dell'alloggiamento del sensore e quello per arrivare all'elemento sensibile; in questo caso quest'ultimo sarà il tempo necessario a far variare la quantità di luce ricevuta dalla fotocellula. Per stabilire il tempo di rivelazione sono stati utilizzati i dati letti dal *device*, ricavati come *output* della simulazione di incendio in *FDS* di cui al paragrafo precedente. Tramite i risultati ottenuti è possibile costruire un grafico (in Figura 5.5) che relaziona la quantità di particolato rilevata dal sensore al tempo della simulazione. Non appena la percentuale di particolato si scosta dallo zero si individua il tempo in cui l'allarme entrerà in funzione, il resto del tempo richiesto per l'esodo dipenderà dalla gestione e dal fattore umano. In questo caso il tempo di rivelazione da parte del *device* è di 15 secondi, tempo che può diminuire anche fino al valore di $t = 0$ secondi qualora la rivelazione avvenga da parte di un occupante vigile presente nella stanza.

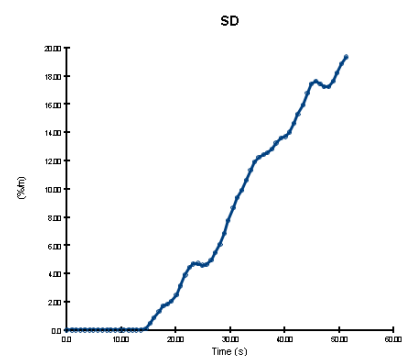


Figura 5.5. Tempo di rivelazione

❖ Tempo di allarme generale

Il tempo di allarme che intercorre tra la rivelazione e la diffusione dell'informazione agli occupanti è pari a zero qualora l'allarme sia attivato direttamente dall'impianto di rivelazione altrimenti valutato dal progettista in funzione del tempo di allerta alla centrale di gestione dell'emergenza che verifica l'evento e attiva l'allarme manuale.

Nel caso in esame l'allarme può partire dai rilevatori automatici oltre che dall'occupante ma l'intervento deve essere proceduto da una verifica della squadra di sicurezza e dagli addetti antincendio mandati dalla sala operativa a cui arriva il primo allarme; solo a seguito dell'avvenuta conferma della segnalazione, la sala operativa diffonde l'allarme e ne inizia la gestione. Secondo letteratura¹³ in questo caso si può verificare un ritardo di 2-5 minuti.

Si ipotizza che tale intervallo possa variare a seconda dello scenario simulato, ad esempio se si ipotizza la conferma diretta alla sala operativa della necessità di allarme o se si ipotizza che vi sia comunque un allarme vocale esteso dall'addetto antincendio di reparto all'intero del compartimento, che consenta l'anticipo delle operazioni di pre-movimento fintanto che la sala operativa non estenda l'allarme definitivo.

❖ Tempo di pre-movimento

Nel caso del reparto di terapia intensiva i pazienti non influiscono sul tempo di pre-movimento, in quanto occupanti totalmente inabili e in attesa di assistenza per l'esodo.

Per quanto concerne il resto degli occupanti, ovvero operatori sanitari e visitatori:

- Per gli infermieri il tempo di pre-movimento, secondo una ricerca riportata nel *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, è mediamente di 44,1 secondi per lo staff. Nella simulazione del presente caso il tempo è stato fatto variare in modo log-normale da 5 a 60 secondi per consentire le operazioni di stacco dei macchinari e l'allontanamento dei materiali pericolosi, si è considerato anche che, mentre il segnale viene diffuso dalla sala operativa ai restanti occupanti, i primi operatori coinvolti avranno già cominciato le operazioni necessarie.
- Per gli eventuali visitatori il tempo di pre-movimento è stato assunto di circa 90 secondi di cui gli ultimi secondi variabili in modo log-normale. Si vedrà poi che tale periodo è fortemente variabile a seconda della persona, c'è per esempio chi reagisce dal primo momento in cui iniziano a muoversi gli operatori e chi, ipoteticamente, attende che venga evacuato il proprio caro.

❖ Tempo di movimento

Per valutare il tempo di movimento il professionista si avvale dei *software* per la modellazione d'esodo.

¹³ "The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition"

In questo caso studio sono stati simulati tre scenari al fine di rappresentare più di una dinamica che si può verificare all'interno del compartimento riservato alla terapia intensiva. È stata quindi importata, nel software Pathfinder, la geometria scelta per rappresentare il reparto oggetto di studio (Figura 5.6.) e successivamente sono state impostate per ogni scenario le caratteristiche da attribuire agli occupanti.

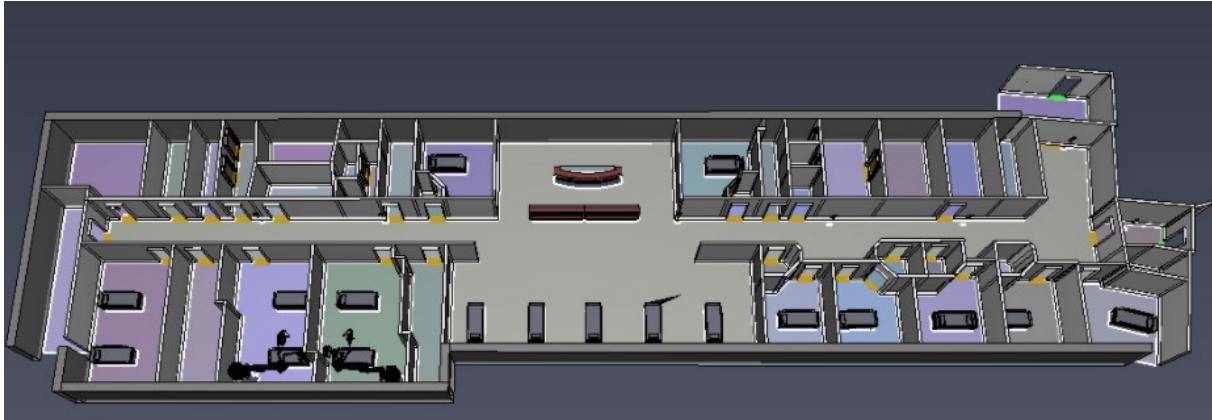


Figura 5.6. Geometria di riferimento per la simulazione d'esodo riportata in Pathfinder

Le simulazioni sono state svolte in modalità “*Steering Mode*” che prevede che il movimento degli occupanti verso il loro obiettivo avvenga evitando ostacoli ed altri occupanti. Anche la capacità di deflusso attraverso le porte diventa funzione dell'interazione tra l'occupante e l'ambiente che lo circonda.

Una caratteristica comune a tutte e tre le modellazioni è la modalità con cui avviene l'esodo. Come previsto dalla normativa, nelle realtà ospedaliere, la priorità è quella di svolgere un esodo orizzontale progressivo dal compartimento di primo innesco ad un compartimento ad esso adiacente in grado di contenere gli occupanti e di farli permanere al sicuro fino ad estinzione dell'incendio o successiva evacuazione.

Quindi, dal punto di vista di $ASET < RSET$, gli occupanti, se la compartimentazione è efficiente, sono ritenuti al sicuro non appena varcano il filtro a prova di fumo; ecco perché sono state impostate le porte d'uscita in corrispondenza dei filtri suddetti che portano ai compartimenti antincendio adiacenti, individuati come luoghi di raccolta di prima evacuazione. Dal punto di vista, invece, della corretta conduzione del piano di emergenza ed evacuazione, è fondamentale sottolineare che il lavoro degli operatori, che debbono garantire un sistema di gestione della sicurezza antincendio efficiente, non termina con il raggiungimento del compartimento adiacente. Essendo infatti i pazienti in uno stato fisico grave, che richiede monitoraggio e cure costanti ed anche invasive, è necessario che, a seguito o contemporaneamente al raggruppamento dei pazienti nel luogo di prima evacuazione, ne sia individuato uno o più all'interno dell'azienda che consentano la continuità delle cure. Questo passaggio può prevedere spostamenti in altri piani dello stesso edificio, trasporti in altri edifici adiacenti e nei casi peggiori, come quelli di grandi emergenze in piccoli ospedali, anche

trasferimenti in altre strutture ospedaliere. Conseguentemente vi deve essere un meccanismo di comunicazione e di consultazione del calendario molto rapido. Il tutto deve avvenire continuando a garantire, anche in movimento, le cure necessarie alla salvaguardia della vita. Con il termine dell'evacuazione avviene, inoltre, la conta di tutti gli occupanti il reparto, che devono essere indirizzati verso determinati punti di raccolta; anche questa fase può non essere di facile conduzione, vanno per esempio gestiti i visitatori che, preoccupati per i parenti degenti, potrebbero non seguire le indicazioni degli addetti. Deve altresì essere gestita e mantenuta in ogni fase la disponibilità, oltre che l'aggiornamento, dei dati clinici del paziente, e garantita la continuità lavorativa, gestionale ed organizzativa dei reparti ospitanti. Per rendere più disponibile quest'ultimo ragionamento si immagini che, al momento dell'emergenza, i pazienti dipendenti da un ventilatore meccanico vadano trasferiti nelle sale operatorie dell'edificio adiacente per continuità delle cure: dovranno allora, per esempio, essere gestite le operazioni previste in quelle sale per l'arco di tempo necessario al rientro in sicurezza dei pazienti al reparto di origine e dovrà essere garantita la presenza dei posti per operazioni urgenti.

Per il calcolo di RSET come detto si è utilizzato Pathfinder; In ogni scenario sono stati inseriti il tempo di rivelazione, allarme, pre-movimento, mentre il tempo di movimento viene calcolato dal *software*. A tale scopo ad ogni categoria sono state attribuite delle azioni specifiche, alcune destinate all'inserimento dei tempi assunti in precedenza altre finalizzate al movimento degli occupanti secondo le loro caratteristiche.

Le azioni principali utilizzate, che verranno caratterizzate nello specifico a seconda dello scenario simulato, sono:

INITIAL DELAY → L'occupante rimane fermo alla posizione di partenza per un tempo specificato dall'utente, prima di intraprendere le azioni.

GO TO WAYPOINT → L'occupante raggiunge il posto specifico della mesh assegnatogli dal comando.

WAIT → Anche in questo caso l'occupante attende nella posizione prima di passare all'azione successiva; l'occupante si sposterà dalla posizione in cui si trova qualora altri occupanti vi debbano passare.

ASSIST → Indica all'occupante di entrare a far parte del team di assistenza e quindi di soccorrere gli occupanti che richiedono assistenza dalla squadra.

WAIT FOR ASSISTANCE → L'occupante per muoversi deve aspettare qualcuno facente parte della squadra di assistenza ad esso attribuita.

EXIT → Indica all'occupante di andare verso la porta d'uscita attribuita all'azione, se vi è più di una porta d'uscita l'occupante sceglierà la strada più veloce.

Si riportano di seguito le varie simulazioni oggetto di studio di questa tesi, riportando per ognuna le caratteristiche e i risultati ottenuti.

Si sottolinea, per una comprensione più trasparente del proseguo, che:

1. Gli scenari possibili sono i più svariati; i casi analizzati sono scelti come frutto delle valutazioni dei precedenti capitoli;
2. Tutti i dati in ingresso sono stati estrapolati da fonti di letteratura e non si riferiscono ad un caso reale. Lo scopo del presente lavoro non è quello di analizzare uno scenario specifico ma di riportare un caso studio che evidenzi la possibilità di una collaborazione sempre più forte tra simulatori e, in questo caso, aziende ospedaliere che dia margine di miglioramento ai sistemi di gestione tramite l'uso di *software*. Il metodo può certamente essere applicato ad un caso reale con ancor più soddisfazione. In tal caso si possono approfondire e rendere più specifici i dati in input del programma: carico di incendio per la costruzione della curva HRR, procedure specifiche di reparto per l'evacuazione e l'emergenza, monitoraggio dei tempi di rivelazione, allarme e pre-movimento ricavati da prove in bianco, ecc. rendendo la simulazione più aderente alla realtà e quindi più critica.

5.2.1 Caso 1 – massimo affollamento consentito

Per la prima simulazione si è scelto di attenersi a quanto riportato nella normativa tecnica D.M. 19.03.2015 rispetto all'affollamento massimo previsto. Il testo della norma riporta: “*Il massimo affollamento è fissato in: [...] aree di tipo D1 e D2: 3 persone per posto letto in strutture ospedaliere; [...]*”; la terapia intensiva rientra nelle aree D2 definite dallo stesso testo come “*aree adibite ad unità speciali (terapia intensiva, neonatologia, reparto di rianimazione, sale operatorie, terapie particolari, ecc.)*”.

All'interno del compartimento sono quindi stati previsti:

- 18 pazienti (massima capienza ipotizzata di posti letto);
- 18 infermieri (pazienti e infermieri in rapporto 1:1);
- 18 visitatori (pazienti e visitatori in rapporto 1:1).

La simulazione è quindi uno scenario d'esodo conservativo, solitamente in un reparto di tipo intensivo non si ha la presenza di così tanti infermieri e visitatori contemporaneamente proprio per evitare affollamenti eccessivi.

Da uno studio della National Nurses United è emerso un documento in cui viene proposto il rapporto infermiere/pazienti necessari e adeguati a garantire cure sicure, ove si propone un rapporto di 1 infermiere ogni 2 pazienti per la terapia intensiva – area critica. Secondo questo ragionamento il numero minimo adeguato al caso in studio è di 9 infermieri.

Lo studio di massimo affollamento però si fa interessante in termini di variabilità del comportamento umano e permette, assieme alle simulazioni successive in cui è prevista meno affluenza, di rispecchiare una delle caratteristiche più difficili da gestire negli ospedali: la variabilità del flusso di presenze.

Nelle varie simulazioni, ai fini del calcolo del tempo d’esodo, ad ogni gruppo (dipendenti, pazienti, visitatori) sono state attribuite delle caratteristiche di forma, dimensione, aspetto, età e velocità di movimento oltre a specifiche azioni da eseguire. Questi due ultimi aspetti, assieme alla variabilità di affollamento, differenzieranno questo dagli altri casi simulati.

Per quanto riguarda la velocità d’evacuazione a pazienti ed infermieri è assegnata una distribuzione log-normale, che genera valori distribuiti casualmente tra gli occupanti e limitati dai parametri minimi e massimi. In questo modo, in ognuna delle cinquanta iterazioni del programma svolte per contenere gli errori di misura, gli occupanti assumeranno velocità diverse tra loro rendendo più veritiera la simulazione media. Per i valori numerici, sono stati presi i dati di velocità d’esodo orizzontale validati dalla Thunderhead Engineering (Tabella 5.1.) che nel testo “*Verification and Validation Pathfinder*” riporta la simulazione d’esodo nell’ospedale di Ghent.

Tabella 5.1. Velocità attribuite ai pazienti allettati e agli infermieri

Role	Horizontal (m/s)
Stretcher (male team)	1.09 ±0.08
Female and Male Assistants	1.385±0.055

Per quanto riguarda la velocità attribuita ai visitatori è stata data la velocità massima per l’esodo orizzontale di 1,19 m/s (Tabella 5.2.)¹⁴, velocità standardizzata anche nel “*Verification and Validation Pathfinder*”, con una deviazione standard di 0,25 secondi per omogeneizzare sesso ed età.

Tabella 5.2. Velocità visitatori
Maximum (Unimpeded) Exit Flow Speeds

Exit Route Element	Speed (along line of travel)	
	(ft/min)	(m/s)
Corridor, Aisle, Ramp, Doorway	235	1.19
Stairs		
Riser (in.)	Tread (in.)	
7.5	10	167 0.85
7.0	11	187 0.95
6.5	12	196 1.00
6.5	13	207 1.05

Quello che invece viene fatto variare in modo log-normale nei visitatori è il tempo di pre-movimento. In questo tipo di occupanti, infatti, il tempo di ricognizione e risposta è

¹⁴ https://www.fse-italia.eu/velocita_ageniti-2/

fortemente influenzato dal fattore comportamentale; questi non hanno infatti ricevuto una informazione, formazione ed addestramento importante, come dovrebbe essere invece per gli operatori dipendenti che ne hanno l'obbligo.

Il movimento degli accompagnatori sarà quindi influenzato da più fattori che possono essere del tipo:

- ✓ Tendenza ad ignorare del tutto l'allarme sonoro fino a che non intervenga una persona fisica, preferibilmente di ruolo, ad impartire le istruzioni;
- ✓ Propensione a rimanere vicino al familiare, rallentando le operazioni e il movimento degli infermieri e spingendo altri visitatori ad assumere lo stesso atteggiamento;
- ✓ Tendenza a muoversi in gruppo e/o in funzione del gruppo stesso; quindi, l'occupante ha l'inclinazione ad assumere un atteggiamento investigativo ma statico fino a che più di una persona accetta la condizione di emergenza ed inizia a muoversi verso un uscita. Tendenzialmente tutti gli occupanti osserveranno gli altri per scegliere la via d'esodo ritenuta più sicura, la condivisione del momento di emergenza crea un senso di tranquillità maggiore anche se non per forza reale.
- ✓ Stato confusionale per mancata familiarità col posto, non solo all'interno del compartimento ma anche e soprattutto all'esterno; quindi, vi può essere difficoltà a raggiungere il punto di raccolta segnalato e, di nuovo, tendenza a muoversi col gruppo;
- ✓ Esperienze passate, per esempio:
 - * Propensione a percorrere all'indietro la via da cui si è entrati, pur avendo magari una via d'esodo, diversa dall'entrata, molto più vicina ma non conosciuta;
 - * Tendenza a ignorare i suggerimenti delle altre persone sulla strada migliore da seguire, preferendo la strada decisa autonomamente perché nota o per seguire persone autorevoli come, in questo contesto, i soccorritori;
 - * Scelta di evacuare attraversando il fumo o scelta di eseguire un esodo verticale indipendentemente dalle continue indicazioni di svolgere un esodo orizzontale verso un compartimento adiacente e sicuro; questo atteggiamento viene sviluppato per esempio per memoria di esperienze passate (vissute o apprese in altri contesti) o per istinto (sentirsi sicuri di farcela).

Questi esempi di logica comportamentale sono, di base, propri anche dei dipendenti dell'azienda ospedaliera, in quanto esseri umani, ed è proprio qui che è fondamentale che entri in gioco un forte e solido sistema di gestione.

Con un sistema di gestione ben studiato, adeguato e comprendente una corretta e solida informazione, formazione ed addestramento si è in grado di abbassare la probabilità che prevalgano questi comportamenti istintivi negli occupanti addetti al soccorso, aumentandone il grado di sicurezza e razionalità nell'emergenza, grazie alla confidenza con le azioni che svolte. In questo modo è possibile ridurre al minimo il tempo di pre-movimento dei dipendenti e di conseguenza quello degli accompagnatori.

Per lo scenario -caso1-, che ricordiamo essere uno scenario in cui è previsto nel compartimento il massimo affollamento possibile, sono stati considerati:

- Tempo di rivelazione = 5 secondi → alcuni degli infermieri si trovano vicino la stanza di innesco e si accorgono subito della presenza di fumo.
- Tempo di allarme = da 20 secondi a 60 secondi → gli addetti antincendio, dopo aver verificato l'entità dell'incendio, chiamano la sala operativa per confermare direttamente l'allarme e danno allarme vocale per il reparto. Nel frattempo, fintanto che i primi operatori allertati iniziano le operazioni, scatta l'allarme dalla sala operativa per i restanti occupanti.
- Tempo di pre-movimento → per gli infermieri, ipotizzando che questi siano informati formati ed addestrati, il tempo varia da 5 a 60 secondi, a seconda delle azioni che devono intraprendere. Per i visitatori il tempo di pre-movimento varia dai 60 ai 180 secondi secondo il riquadro in rosso nella tabella seguente (Figura 5.7.), dove i parametri M, B, A sono associati rispettivamente al livello di gestione della sicurezza, alla complessità del reparto e alla qualità del sistema di allarme e sono scelti secondo quanto riportato da PD 7974-6:2004 "The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings – Part 6: Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation, behaviour and condition".¹⁵

Categoria di scenario e possibili varianti	Tempi di pre-movimento (min)	
	Primi occupanti	Distribuzione degli occupanti
	At _{pre} (1° percentile)	At _{pre} (99° percentile)
Occupanti svegli con familiarità ambientale		
M1 B1 - B2 A1 - A2	0.5	1.0
M2 B1 - B2 A1 - A2	1	2
M3 B1 - B2 A1 - A3	> 15	> 15
Per B3, aggiungere 0.5 per la complessità dell'ambiente		
Occupanti svegli senza familiarità ambientale		
M1 B1 A1- A2	0.5	2
M2 B1 A1- A2	1.0	3
M3 B1 A1 - A3	> 15	> 15
Per B2 aggiungere 0.5 per la complessità dell'ambiente		
Per B3 aggiungere 1.0 per la complessità dell'ambiente		

Figura 5.7. Estratto semplificato della tabella proposta nel PD 79764-6:2004 contenete i tempi di pre-movimento suggeriti per vari scenari e possibili varianti

Gli occupanti dello scenario oggetto di studio, ai fini dell'esodo, seguono questo iter:

◆ INFERMIERI DIPENDENTI e ADDETTI ANTINCENDIO DI REPARTO

Dopo un'attesa (*wait*) di 5 secondi stimata per gli infermieri più vicini alla stanza di innesco per accorgersi dei primi effetti della combustione, questi raggiungono la stanza (*goto waypoint*) e subito chiamano la sala operativa per confermare direttamente l'allarme (*wait*) ed iniziano il trasferimento del paziente con modalità di esodo orizzontale progressivo (*assist*).

¹⁵ Teresa Villani "Tempi di evacuazione e modelli automatici di simulazione del movimento delle persone"

Nel frattempo (*wait*), i restanti infermieri vengono man mano allertati ed anche loro iniziano le operazioni di assistenza (*assist*) con un ritardo in iniziale (di pre-movimento) variabile da 5 a 60 secondi, attribuito ad ogni operatore in maniera casuale seguendo una distribuzione log-normale. Questo ritardo è stato inserito per simulare le procedure di stacco dei macchinari, il tempo può variare a seconda di quanti macchinari sono attaccati al paziente.

◆ VISITATORI

Dopo il tempo necessario alla diffusione dell'allarme (*initial delay*) anche i visitatori iniziano a percepire l'emergenza, e si preparano all'evacuazione con un ritardo (*wait*) variabile, in modo log-normale, dai 60 ai 180 secondi (tempo di pre-movimento) a seconda del comportamento assunto durante l'emergenza, come prima spiegato.

Infine, si dirigono verso l'uscita (*exit*) come da istruzioni degli addetti. I visitatori, al contrario degli infermieri che assistono i pazienti, sono liberi di prendere l'uscita opposta a quella vicino all'innescò (porta 19 in Figura 5.13.), che porta direttamente all'esterno; tuttavia, alcuni prenderanno le uscite 20 e 21 verso i reparti, poiché la strada è quella da cui hanno fatto ingresso e perché spinti dall'istinto di seguire chi è di ruolo e ha familiarità con l'ambiente.

◆ PAZIENTI

Ai pazienti non resta che aspettare (*wait for assistance*) l'assistenza degli infermieri per l'esodo verso luogo sicuro, che consiste nell'uscita da uno dei due filtri a prova di fumo che conducono ai reparti adiacenti.

Il dato in output principale in questo caso è il tempo totale richiesto per l'esodo, l'utente volendo può sottrarre i vari tempi definiti dalle ipotesi e ricavare così il tempo di movimento. Altrimenti è possibile omettere i dati in input riferiti ai tempi di attesa e calcolare solo il tempo di movimento degli occupanti dalle loro postazioni all'uscita, per poi sommarli manualmente agli altri tempi ipotizzati.

L'output considerato in questo caso studio, così come nei prossimi che verranno descritti, è appunto RSET totale, quindi tutti i dati che compongono il tempo richiesto all'esodo e descritti poco fa, sono stati inseriti come dati in input della simulazione.

Il tempo ricercato tramite la simulazione è individuabile attraverso due strade:

- 1) Attraverso un video che riporta in basso il tempo d'esodo (vd Figura 5.14.) e mostra il susseguirsi di tutte le azioni degli occupanti nel tempo.

Seguendo questa modalità, è possibile, a discrezione dell'utente, scegliere il tipo di visualizzazione degli occupanti e dei loro movimenti; tra le varie opzioni si può avere una rappresentazione semplificata attraverso l'uso di cilindri per gli occupanti abili e poligoni per occupanti disabili (Figura 5.8.) che vengono inoltre differenziati per colore secondo le categorie di appartenenza: infermieri-visitatori-pazienti al fine di rendere più agevole la

lettura dei risultati o anche una rappresentazione realistica in cui gli occupanti assumono sembianze di occupanti reali (Figura 5.9.).

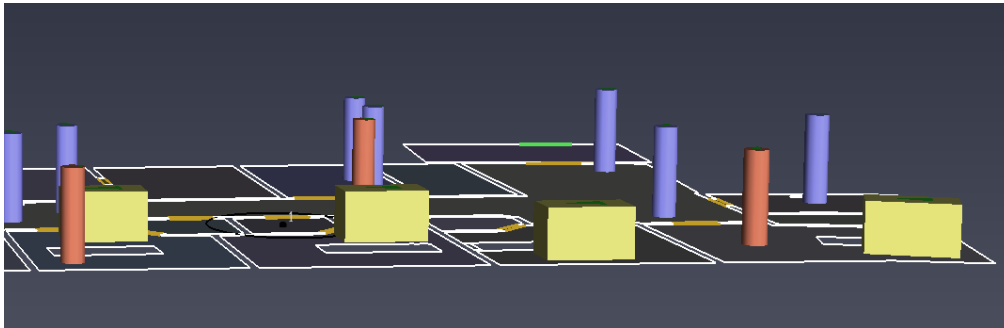


Figura 5.8. Frame del video output della simulazione con rappresentazione semplificata



Figura 5.9. Frame del video output della simulazione con rappresentazione realistica

- 2) Attraverso grafici bidimensionali. Tramite questo output si può visualizzare: il numero di occupanti che rimane all'interno del reparto in funzione del tempo (Figura 5.10.) e confrontare quest'ultimo dato anche con il numero di occupanti che lascia il reparto in funzione del tempo (Figura 5.11). Quando tali valori arrivano rispettivamente al valore nullo o massimo si avrà il tempo corrispondente a quello richiesto per l'esodo.

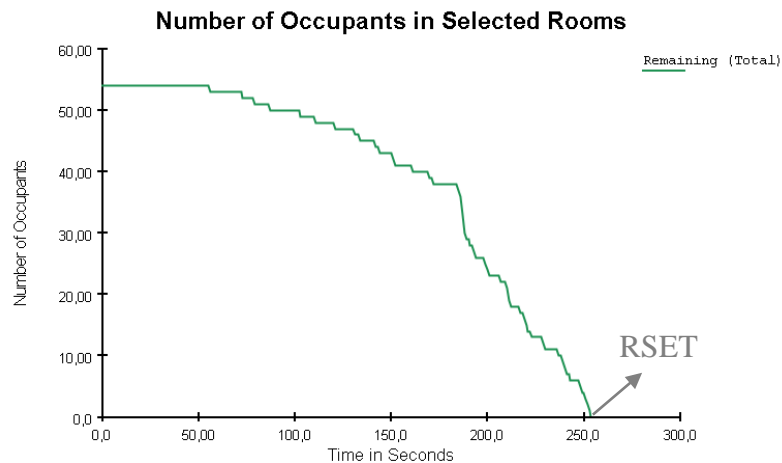


Figura 5.10. Tempo RSET rappresentato in funzione del numero di occupanti che lasciano il reparto; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

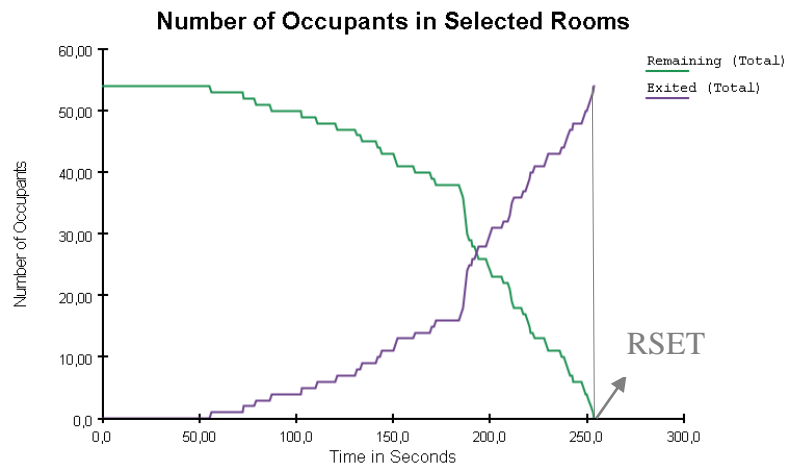


Figura 5.11. Tempo RSET e confronto tra il numero di occupanti che lasciano il reparto e quanti devono ancora evacuare; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

Inoltre, è possibile visualizzare in forma grafica anche l'utilizzo delle porte d'esodo, in Figura 5.12., per controllarne la disponibilità e valutare l'eventuale correzione dei percorsi d'esodo.

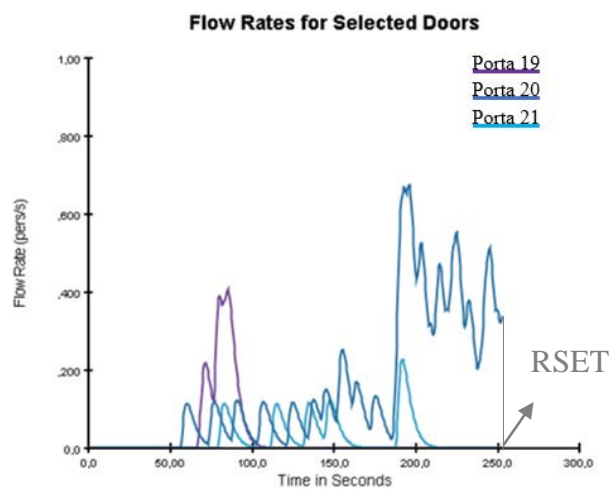


Figura 5.12. Flusso attraverso le porte di uscita in funzione del tempo

Per comprendere meglio il grafico *output* della simulazione di riferimento osservare la Figura 5.13. in cui vengono individuate le porte d'esodo e i numeri ad esse attribuite.

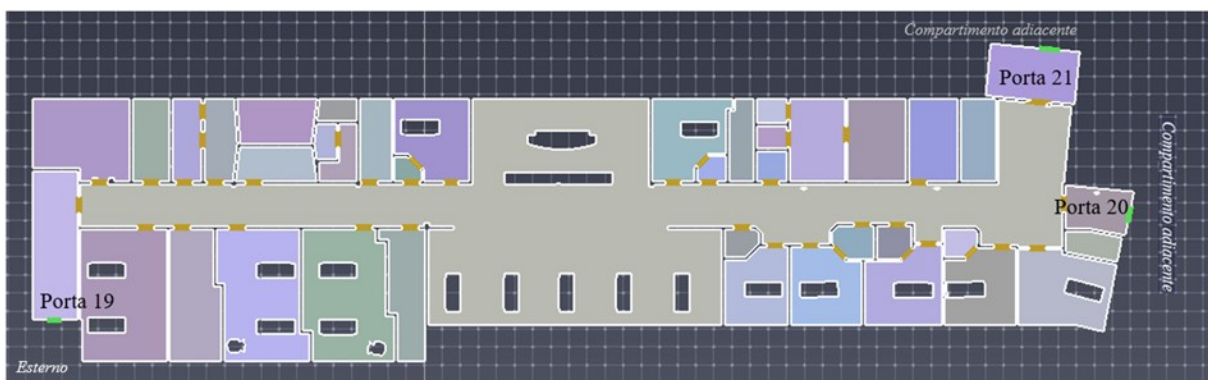


Figura 5.13. Rappresentazione in pianta delle porte d'esodo con indicazione dei punti a cui conducono

Come si vede dal grafico in Figura 5.12 la porta 21 è poco utilizzata in favore della porta 20, più semplice e veloce da raggiungere in quanto situata direttamente lungo il corridoio. Questo flusso principale è riscontrabile in maniera molto forte specialmente verso la fine dell'evacuazione, questo può essere attribuito al fatto che la porta numero 20 sarà la prima ad essere resa indisponibile dai fumi quindi le condizioni nei suoi pressi sono comunque sempre peggiori col passare del tempo; l'occupante preferirà intraprendere la via più vicina e più vivibile. Inoltre, osservando il video d'esodo si evidenzia, come rappresentato dal *frame* in Figura 5.14., l'uso della porta 21 sia in fase di esodo che in fase di rientro degli infermieri, creando un contro-flusso che può essere pericoloso oltre che motivo di diminuzione di velocità per chi deve uscire con le barelle.



Figura 5.14. Frame del video per valutare il tempo d'esodo; in giallo è evidenziato il flusso in entrata e in uscita dalla porta numero 20

Inoltre, dal grafico si osserva che, come già detto, la porta n° 19, dotata di scale che portano direttamente all'esterno, e per questo riservata solo agli occupanti non impegnati nell'evacuazione dei pazienti, è utilizzata solo in un lasso di tempo di alcuni secondi, dal video si possono osservare solo pochi visitatori che intraprendono quell'uscita a favore invece delle uscite n° 20 e 21.

Queste valutazioni sull'uso delle porte rende interessante approfondire lo studio dal punto di vista gestionale cercando un modo per distribuire meglio questi flussi e renderli più scorrevoli. Un'idea potrebbe essere l'obbligo per chi non soccorre di evacuare dalla porta 19 con indicazione vocale e visiva ben chiara. Inoltre, si potrebbero creare flussi monodirezionali in corridoio e tra i due filtri a prova di fumo per abbassare il rischio di collisione uomo-barella.

Comunque, anche nelle condizioni simulate, il calcolo di RSET finale, è di 253,3 secondi, che è già di per sé è inferiore al tempo ASET = 380 secondi (vd. paragrafo 5.1.1).

Per una simulazione più aderente alla realtà è possibile anche importare i file di FDS in Pathfinder per simulare contemporaneamente l'incendio e l'esodo.

Per di più, per abbassare l'errore computazionale e avvicinare il più possibile il dato ad un dato reale, si è riprodotta la simulazione per 50 volte randomizzando i parametri associati agli occupanti (occupants → randomize), in tal modo i dati inseriti con distribuzione log-normale verranno distribuiti casualmente tra gli occupanti a cui sono destinati.

I valori, inseriti in un foglio di calcolo Excel, sono riportati nei seguenti grafici (Figura 5.15.a e b) da cui si ricava un tempo di esodo medio ancor più realistico:

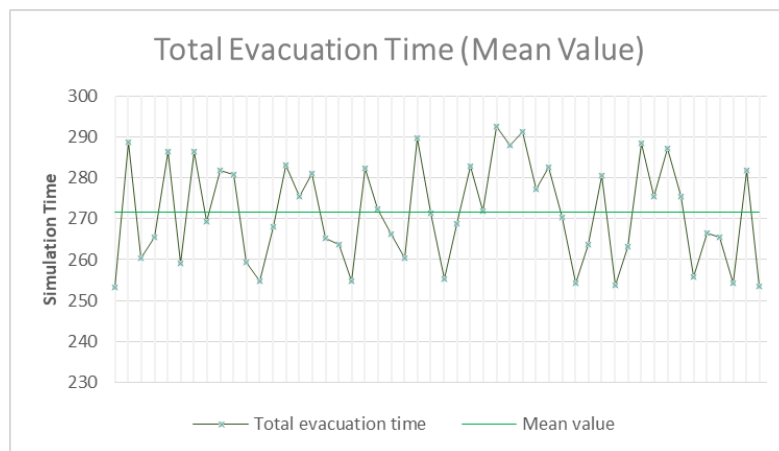


Figura 5.15.a. Grafico indicante il valore medio di RSET (linea verde) e la dispersione dei singoli valori attorno ad esso

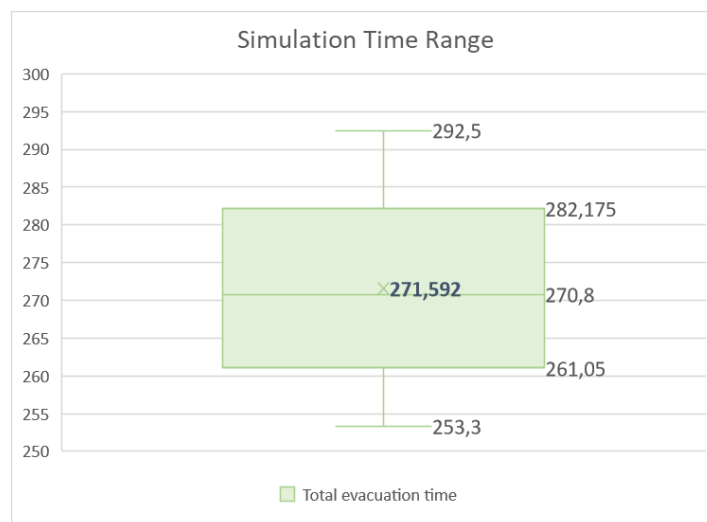


Figura 5.15.a. Grafico indicante il valore medio di RSET e i valori più o meno probabili delle 50 iterazioni.

In questo caso allora il tempo RSET totale è di 271,6 secondi \approx 272 secondi che è comunque molto inferiore ad ASET lasciando un tempo margine di sicurezza di 108 secondi, poco meno di due minuti.

5.2.2 Caso 2 – personale ridotto

Se il caso precedente rispettava la normativa ma è eccessivamente conservativo, il secondo caso rispecchia un problema emerso nei casi incidentali descritti al capitolo 2 che sembrerebbe accomunare tutti e 4 i casi incidentali: la mancanza di personale.

Allora cosa succederebbe se nel reparto simulato mancasse personale? Si riproduce lo scenario caratterizzato dalla presenza di:

- 3) 18 pazienti
- 4) 4 infermieri
- 5) 0 visitatori
- 6) 9 infermieri/addetti provenienti, ad evacuazione iniziata, da reparti vicini e inferiori

La simulazione rappresenta quindi uno scenario d'esodo critico in cui, per quanto detto al paragrafo precedente, l'organico è ridotto alla metà del numero minimo che dovrebbe essere previsto nello stesso (9 infermieri);

In uno scenario con queste caratteristiche oltre ad allungarsi i tempi di movimento, gli infermieri sono costretti fare più giri per portare fuori tutti i pazienti, si allungano anche i tempi di ricognizione e allarme. Infatti, mentre nel caso 1 essendoci molti infermieri si era assunto che fossero gli stessi a dare l'allarme, in questo caso la probabilità più alta è che sia il rivelatore ad azionarsi per primo.

Nelle varie simulazioni, ai fini del calcolo del tempo d'esodo, ad ogni gruppo (dipendenti, pazienti, visitatori) sono state attribuite delle caratteristiche di forma, dimensione, aspetto, età e velocità di movimento oltre a specifiche azioni da eseguire. Questi due ultimi aspetti, assieme alla variabilità di affollamento, differenzieranno questo dagli altri casi simulati

Per quanto riguarda la velocità d'evacuazione a pazienti ed infermieri è assegnata la stessa distribuzione log-normale della simulazione precedente, con i dati numerici in Tabella 5.3.

Tabella 5.3. Velocità attribuite ai pazienti allettati e agli infermieri

Role	Horizontal (m/s)
Stretcher (male team)	1.09 ±0.08
Female and Male Assistants	1.385±0.055

Mentre per quanto riguarda i tempi sono stati considerati:

- Tempo di rivelazione = 15 secondi → il tempo estrapolato dal file output di FDS
- Tempo di allarme = da 60 secondi a 120 secondi → la sala operativa contatta gli addetti di reparto che, dopo aver verificato l'entità dell'incendio, riconfermano l'allarme alla sala operativa per darne diffusione.

- Tempo di pre-movimento → per gli infermieri, ipotizzando che questi siano informati formati ed addestrati, il tempo varia da 5 a 60 secondi a seconda delle azioni che devono intraprendere;

Gli occupanti dello scenario simulato, ai fini dell'esodo, seguono questo iter:

◆ INFERMIERI DIPENDENTI e ADDETTI ANTINCENDIO DI REPARTO

I 4 infermieri di reparto dopo un'attesa (*wait*) di 35 secondi necessaria per il rilevatore a far scattare l'allarme (15 sec) e per la sala operativa a riceverne l'avviso (10 sec.) e chiamare gli infermieri (10 sec), raggiungono la stanza d'innescò (*goto waypoint*), elaborano la situazione e chiamano la sala operativa per confermare l'allarme (*wait*); iniziano poi il trasferimento del paziente con modalità di esodo orizzontale progressivo (*assist*) e con un tempo di pre-movimento per lo stacco delle macchine che oscilla tra i 5 e i 60 secondi a seconda dei pazienti soccorsi.

◆ ADDETTI DA ALTRI REPARTI

Dopo un ritardo iniziale di 120 secondi, dovuto all'attesa dell'allarme, gli operatori accorsi in aiuto al reparto di terapia intensiva, assistono i pazienti con le stesse modalità degli infermieri di reparto, si è supposto quindi che questi siano informati, formati ed addestrati in quanto addetti antincendio/squadre di emergenza.

◆ PAZIENTI

Ai pazienti non resta che aspettare (*wait for assistance*) l'assistenza degli infermieri per l'esodo verso luogo sicuro che consiste nell'uscita da una delle due porte che conducono ai reparti adiacenti.

Il dato principale ricercato è di nuovo il tempo totale richiesto per l'esodo, nelle stesse modalità descritte precedentemente. Si riportano di seguito (Figura 5.16., 5.17., 5.18.) i grafici ottenuti dai dati in *output*. Nella prima immagine (Fig. 5.16.) sono rappresentati i tempi RSET, in funzione del numero di occupanti che rimane nel compartimento nel tempo.

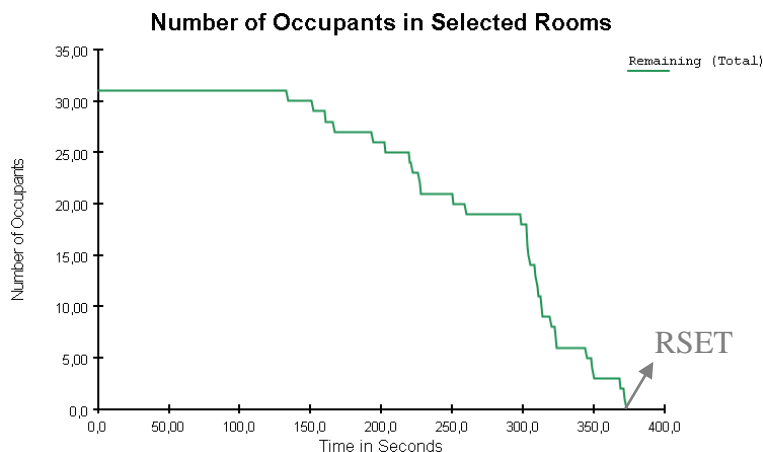


Figura 5.16. Tempo RSET rappresentato in funzione del numero di occupanti che lasciano il reparto; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

Nella seconda si osserva l'andamento degli occupanti rimanenti nel compartimento rispetto a quelli che lo lasciano; quando i due tempi vanno rispettivamente al punto nullo e a quello massimo, lì il grafico individua $t=RSET$. Fintanto che la curva rimane costante nessuno sta abbandonando il compartimento. Si possono osservare rispetto al grafico del caso precedente tempi di permanenza del compartimento più lunghi, con un flusso di uscite meno continuo a causa della mancanza di personale.

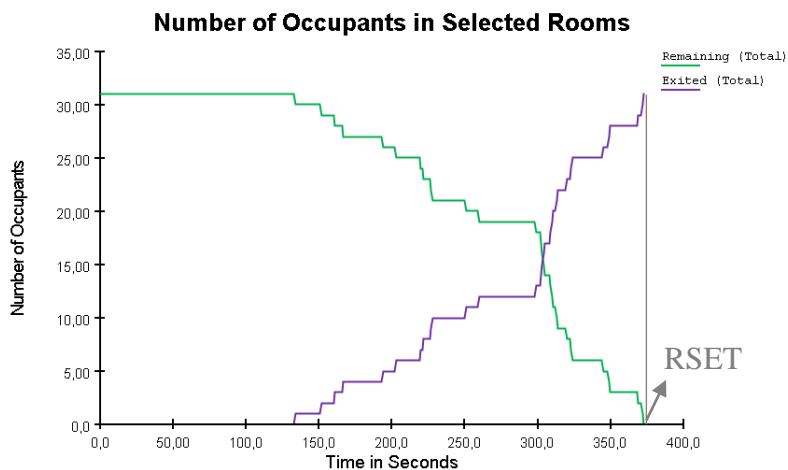


Figura 5.17. Tempo RSET e confronto tra il numero di occupanti che lasciano il reparto e quanti devono ancora evacuare; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

Per quanto riguarda le porte d'esodo, sono state rese disponibili solo le due costituenti l'uscita dai filtri a prova di fumo verso il reparto adiacente (porte n°20 e 21 in Figura 5.18.), quindi non è stato previsto l'esodo verticale dei pazienti lungo le scale, ma solo un esodo orizzontale progressivo verso il compartimento accanto a quello di primo innesco.

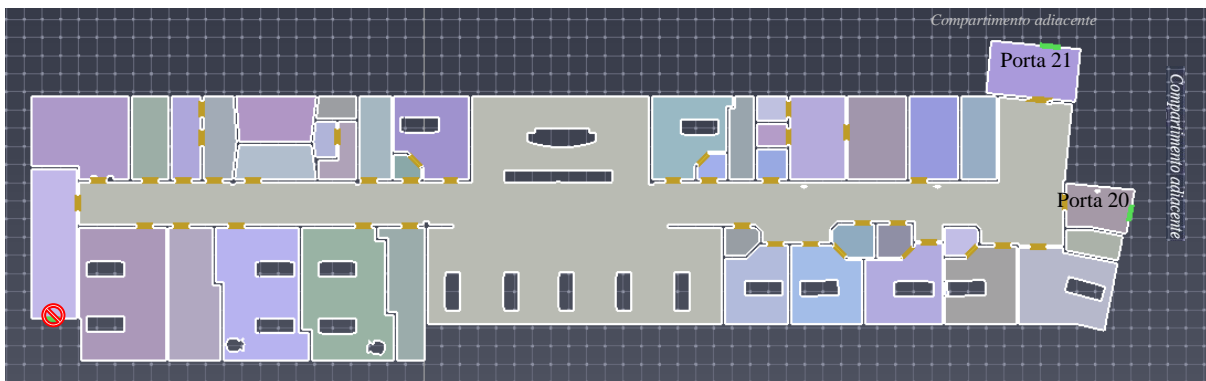


Figura 5.18. Rappresentazione in pianta delle porte d'esodo con indicazione dei punti a cui conducono

Anche in questo caso il programma rende disponibile il grafico rappresentate i flussi attraverso le porte. Sono state selezionate, per il grafico alla pagina successiva (Figura 5.19.) solo le porte d'esodo verso il compartimento ipotizzato come punto di prima evacuazione.

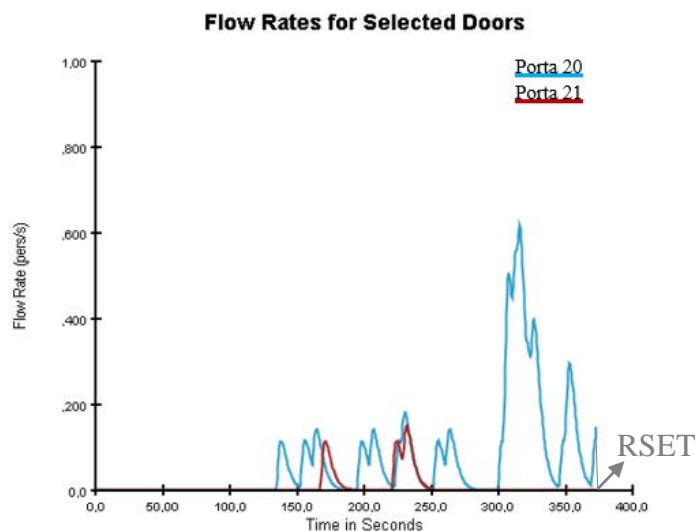


Figura 5.19. Flusso attraverso le porte di uscita in funzione del tempo

Anche in questo caso è la porta 20, quella in linea con il corridoio, che registra il maggior flusso di persone al secondo. In effetti osservando la figura 5.18. si può ipotizzare che questa non corrisponda all'uscita più agevole per gli allettati perché più piccola, il programma però di default attribuisce agli occupanti l'azione di uscita secondo l'opzione più rapida, l'uscita 21 è quella più lontana dal corridoio e implica lo sterzo a 90° della barella. In una situazione reale questa manovra, se gli spazi sono a norma, non implica comunque nessun rallentamento. Altresì si osserva un picco molto alto di flusso d'esodo dalla porta 20 nell'ultimo arco di tempo, si sottolinea a tal riguardo che la porta 21 diventa non disponibile per l'esodo al tempo di 364,2 secondi (vd. paragrafo 5.1.1) in quanto la visibilità a 1,8 m da terra è pari a 10 m superando la soglia minima imposta per le condizioni incapacitanti.

Osservando il video di riproduzione dell'esodo, anche in questo caso, nonostante il marcato minor flusso della porta 21, si evidenzia un contro-flusso di infermieri e barelle nella porta 20 (Figura 5.20.), che costituisce punto di discussione se vi fosse un sistema di gestione della sicurezza antincendio attivo per questo reparto simulato.

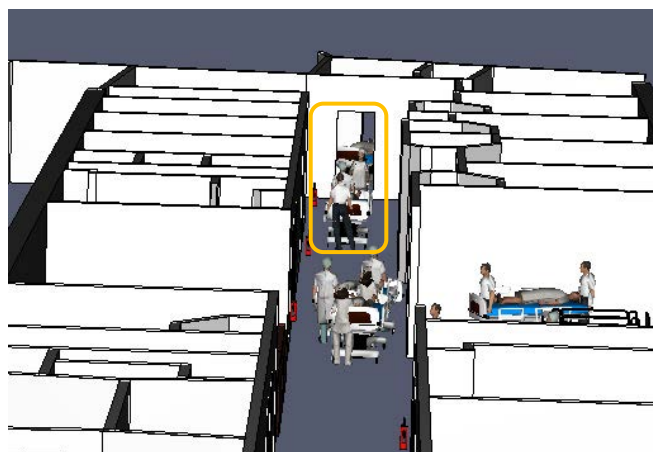


Figura 5.20. Frame del video d'esodo; in giallo è evidenziato il flusso in entrata e in uscita dalla porta numero 20

Nelle condizioni simulate, il calcolo di RSET finale, dato dalla simulazione, è di 373 secondi, che è leggermente inferiore al tempo ASET = 380 secondi, lasciando un margine di sicurezza di 7, che non si può definire tale. Se si va infatti ad abbassare l'errore computazionale ed avvicinare il più possibile il dato ad un dato reale implementando per 50 volte lo scenario e facendo quindi variare in modo log-normale velocità e tempistiche degli occupanti si osserva (Figura 5.21.a e b) che RSET sale a un valore medio di 380,3 secondi \approx 380 secondi = ASET. Non vi è il margine di sicurezza minimo di 30 secondi ed anzi il rischio elevato di salire sopra ad ASET, basti guardare i grafici seguenti:

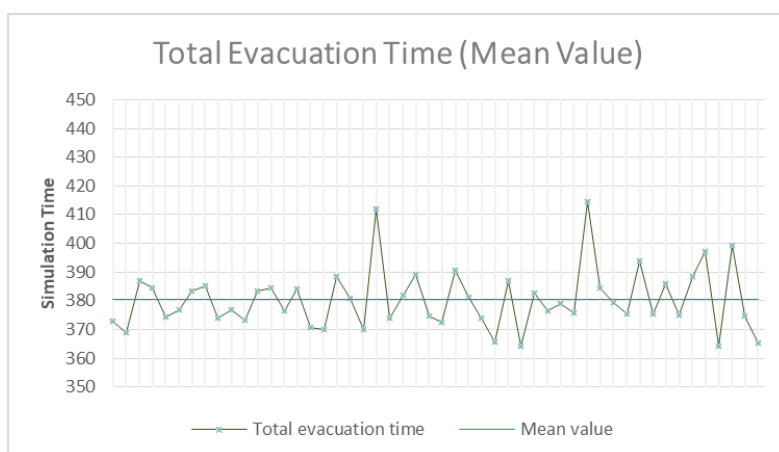


Figura 5.21.a. Grafico indicante il valore medio di RSET (linea verde) e la dispersione dei singoli valori attorno ad esso

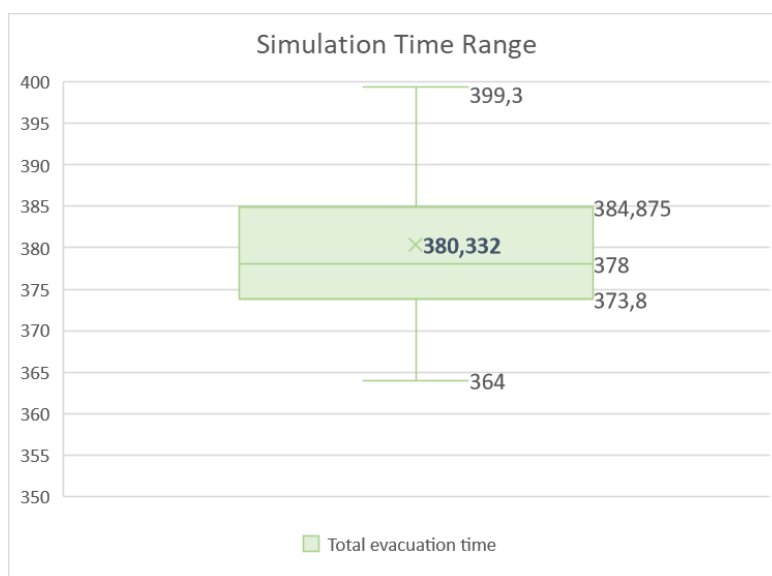


Figura 5.21.b. Grafico indicante il valore medio di RSET e i valori più o meno probabili delle 50 iterazioni.

Nonostante dalla figura 5.15.b si osserva che è più probabile un valore che si assesta sotto i 380 secondi, il margine di sicurezza rimarrebbe comunque troppo basso. Si conferma quindi la non verifica di sicurezza rispetto a questo scenario in cui vi è carenza di personale.

Oltre alla grave carenza di personale, che va arginata dal sistema di gestione con un'accurata organizzazione del personale su turni, emerge un altro problema gestionale, molto complesso da monitorare e su cui approfondire lo studio: la possibile carenza e/o assenza di informazione, formazione ed addestramento, nei confronti del reparto specifico, degli operatori provenienti da altri reparti per aiutare nelle operazioni di evacuazione. Nel caso in studio, per esempio, il reparto di terapia intensiva richiede un piano di emergenza ed evacuazione specifico molto dettagliato, che descriva anche le più banali procedure cliniche di stacco dei macchinari e mantenimento delle condizioni vitali del paziente. Queste, infatti, devono essere conosciute in ogni aspetto da chi viene coinvolto nelle procedure, il rischio è quello di mettere a repentaglio la vita del paziente già seriamente compromessa. Di contro però negli ospedali vi è un turn-over di personale estremamente elevato che rende difficile la gestione dell'informazione e della formazione oltre che dell'addestramento, già complesso di sua natura, all'interno delle strutture ospedaliere.

5.2.3 Caso 3 – situazione ordinaria

Lo studio si conclude con un'ultima simulazione in cui lo scenario è caratterizzato dalla presenza di:

7) 18 pazienti

8) 9 infermieri

9) 0 visitatori

10) 6 infermieri/addetti provenienti, ad evacuazione iniziata, da reparti vicini

La simulazione rappresenta quindi uno scenario d'esodo in cui, per quanto esplicito nello scenario 1, l'organico è pari al numero minimo che dovrebbe essere previsto in reparto di 1 infermiere ogni 2 pazienti, per un totale di 9 infermieri appunto.

Nelle varie simulazioni, ai fini del calcolo del tempo d'esodo, ad ogni gruppo (dipendenti, pazienti, visitatori) sono state attribuite delle caratteristiche di forma, dimensione, aspetto, età e velocità di movimento oltre a specifiche azioni da eseguire. Questi due ultimi aspetti, assieme alla variabilità di affollamento, differenzieranno questo dagli altri casi simulati

Per quanto riguarda la velocità d'evacuazione a pazienti ed infermieri è assegnata la stessa distribuzione log-normale delle simulazioni precedenti, con i dati numerici in Tabella 5.4.

Tabella 5.4. Velocità attribuita ai pazienti allettati e agli infermieri

Role	Horizontal (m/s)
Stretcher (male team)	1.09 ±0.08
Female and Male Assistants	1.385±0.055

Mentre per quanto riguarda i tempi sono stati considerati:

- Tempo di rivelazione = 8 secondi → il tempo è stato assunto pari alla metà del tempo di rivelazione poiché osservando il video di una prima simulazione di prova i dipendenti erano posizionati (posizioni random date dal programma) vicino alla camera, quindi si è ipotizzato che si accorgano dell'incendio prima del rivelatore.
- Tempo di allarme = da 30 secondi a 60 secondi → l'allarme viene dato e confermato subito dagli infermieri alla sala operativa, gli addetti dagli altri reparti ricevono allarme vocale dai colleghi oltre che l'allarme generato dalla sala operativa.
- Tempo di pre-movimento → per gli infermieri, ipotizzando che questi siano informati formati ed addestrati, il tempo varia da 5 a 60 secondi a seconda delle azioni che devono intraprendere;

Gli occupanti dello scenario simulato, ai fini dell'esodo, seguono questo iter:

◆ INFERMIERI DIPENDENTI e ADDETTI ANTINCENDIO DI REPARTO

Gli infermieri più vicini alla stanza di innesco, dopo un'attesa (*wait*) di 8 secondi necessaria per accorgersi dell'incendio, raggiungono la stanza (*goto waypoint*) e contattano subito la sala operativa per confermare l'allarme (*wait*); iniziano poi il trasferimento del paziente con modalità di esodo orizzontale progressivo (*assist*) e un tempo di pre-movimento per lo stacco delle macchine che oscilla tra i 5 e i 60 secondi a seconda dei pazienti soccorsi. A seguito dell'evacuazione del primo paziente, anche gli altri infermieri iniziano le operazioni di assistenza.

◆ ADDETTI DA ALTRI REPARTI

Nel frattempo, l'allarme si è diffuso e anche alcuni addetti da altri reparti si muovono per prestare aiuto al reparto di terapia intensiva, assistono i pazienti con le stesse modalità degli altri infermieri, si è presupposto quindi che questi siano informati, formati ed addestrati in quanto addetti antincendio/squadre di emergenza.

◆ PAZIENTI

Ai pazienti non resta che aspettare (*wait for assistance*) l'assistenza degli infermieri per l'esodo verso luogo sicuro che consiste nell'uscita da una delle due porte che conducono ai reparti adiacenti.

Il dato in output principale è ovviamente il tempo totale richiesto per l'esodo, nelle stesse modalità descritte precedentemente, si ricorda che il tempo di movimento è calcolato dal *software* stesso, mentre gli altri tempi sono impostati dall'utente.

Si riportano di seguito per prima cosa i grafici dei dati *output*, nelle prime due immagini (Figure 5.22. e 5.23.) sono rappresentati i tempi RSET in funzione del numero di persone nel compartimento. Quando tutti gli occupanti concludono l'esodo il grafico raggiunge rispettivamente, come già detto per i casi precedenti, il valore nullo nel conteggio degli

occupanti che rimangono nel compartimento e quello massimo nel conteggio degli occupanti che lo evacuano.

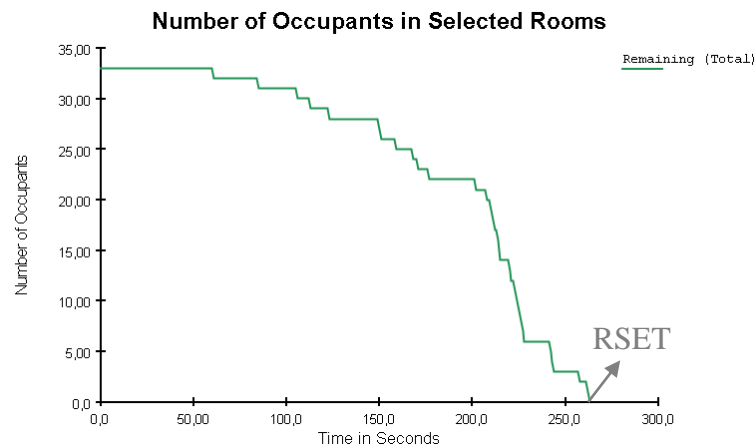


Figura 5.22. Tempo RSET rappresentato in funzione del numero che lasciano il reparto; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

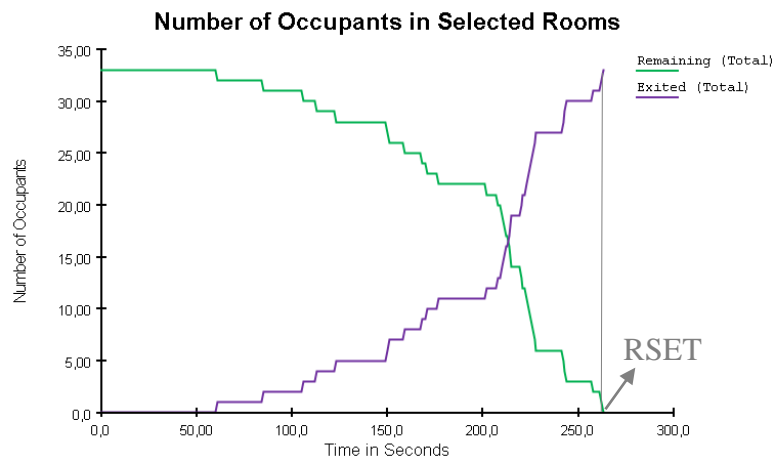


Figura 5.23. Tempo RSET e confronto tra il numero di occupanti che lasciano il reparto e quanti devono ancora evacuare; dal programma appoggiando il mouse sulla linea se ne leggono le coordinate esatte.

Per quanto riguarda le porte d'esodo, sono state rese disponibili solo le due costituenti l'uscita dai filtri a prova di fumo come in precedenza (Caso 2). Di nuovo si rende disponibile il grafico del flusso di persone attraverso tali porte (Figura 5.24.).

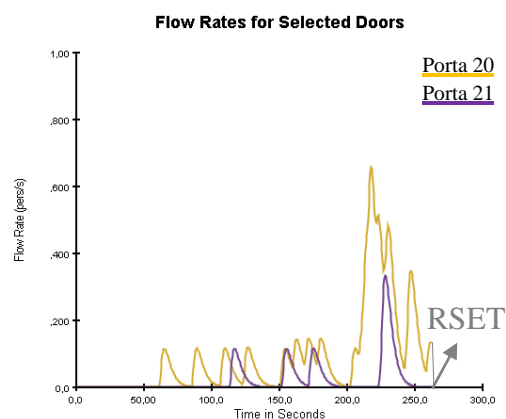


Figura 5.24. Flusso attraverso le porte di uscita in funzione del tempo

In questo caso si è simulato uno scenario con: presenza sufficiente di personale + aiuto esterno e informazione e formazione dei dipendenti buona (si considerino infatti i tempi di allarme ridotti). Si riscontra un flusso tra le porte d'esodo molto più omogeneo fino alla fine dell'esodo, con una prevalenza sempre presente ma meno spiccata per la porta 20, poiché come già detto il *software* la riconosce come la più veloce da raggiungere. Rimane invece presente il contro-flusso soprattutto alla porta 20 che crea dei rallentamenti di fronte alle porte d'esodo, come visibile in Figura 5.25.

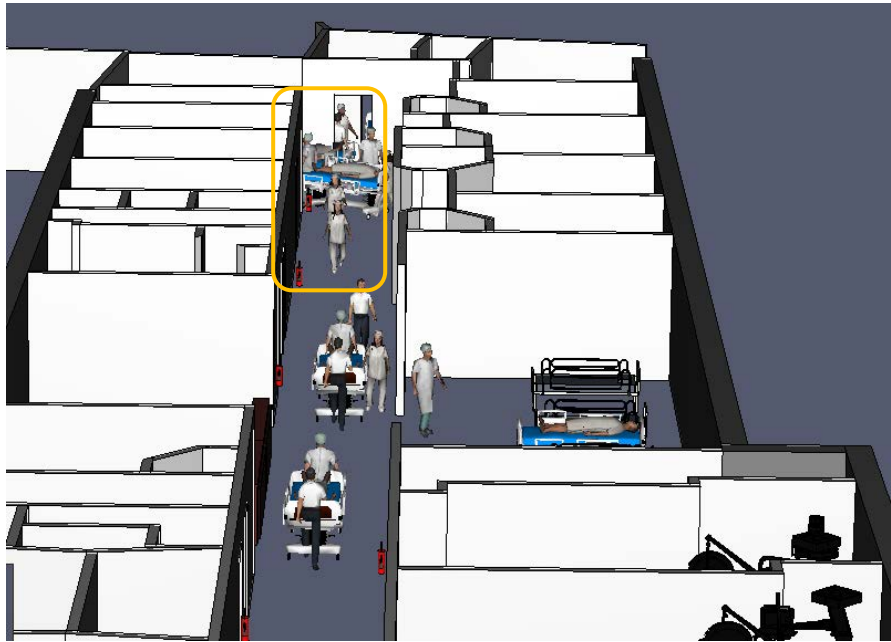


Figura 5.25. Frame del video d'esodo; in giallo è evidenziato il flusso in entrata e in uscita dalla porta n°20

Nelle condizioni simulate, il calcolo di RSET finale fornito in *output* dalla simulazione è di 263 secondi, ben sotto l'ASET di 380 secondi; Se si va ad abbassare l'errore computazionale e avvicinare il più possibile il dato ad un dato reale, con la ripetizione per 50 volte dello scenario e randomizzando i parametri associati agli occupanti (occupants → randomize). I valori delle 50 iterazioni sono riportati nei seguenti grafici (Figura 5.26.a e b):

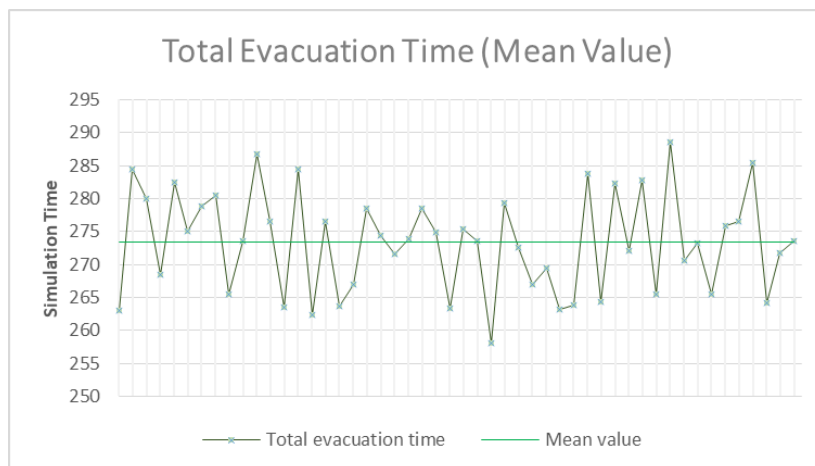


Figura 5.26.a. Grafico indicante il valore medio di RSET (linea verde) e la dispersione dei singoli valori attorno ad esso

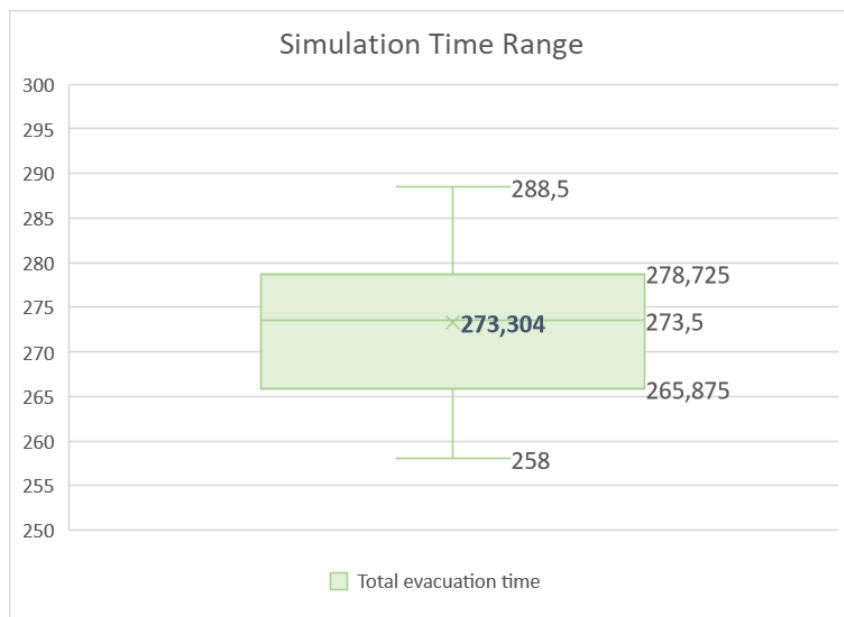


Figura 5.26.b. Grafico indicante il valore medio di RSET e i valori più o meno probabili delle 50 iterazioni.

Il valore di RSET sale a un valore medio di 273,3secondi ≈ 273 secondi ma si riconferma sotto la soglia di ASET con un tempo di margine di sicurezza di quasi due minuti.

La tendenza è quella ad un valore più alto di tempo d'esodo rispetto a quello di prima simulazione, ma rimarrebbe comunque sempre ampio margine per i soccorsi.

5.3 Risultati

Dall'ultima simulazione, confrontata con le precedenti, si può dedurre come una corretta organizzazione del personale possa garantire la condizione di salvaguardia della vita propria e del paziente, sia in fase di esercizio che di emergenza, riuscendo a favorire una situazione di sicurezza complessivamente buona.

Tuttavia, pur essendo una simulazione che fornisce dei risultati soddisfacenti, non significa che non possa essere impiegata come *input* per un meccanismo volto al miglioramento continuo delle condizioni di sicurezza di pazienti e lavoratori.

Un sistema di gestione non ha mai una fine, non si giunge mai a un sistema perfetto, semplicemente le azioni che prima erano correttive diventeranno nel tempo soluzioni migliorative. Una qualsiasi modifica fornita da un'azione sul sistema di gestione, sia anche migliorativa, può far emergere anche carenze che prima si ignoravano o che si attribuivano ad altri fattori, che a loro volta andranno analizzate. Si dà così origine a quello che è il "ciclo di Deming", che rappresenta, anche in forma grafica (Figura 5.27), le azioni da intraprendere per far sì che un sistema di gestione, non solo della sicurezza antincendio, funzioni e apporti miglioramenti.

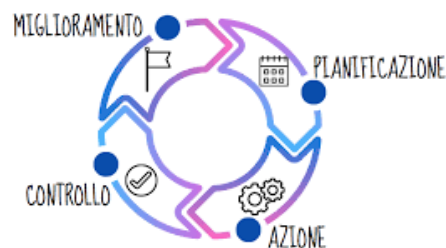


Figura 5.27. Schematizzazione del ciclo di Deming

Si considerino le tre simulazioni affrontate in questo studio, di cui sono riassunti i dati in Tabella 5.5., e il loro impatto sul sistema di gestione della sicurezza antincendio.

Tabella 5.5. Tabella riassuntiva dei dati in input e output delle tre simulazioni analizzate nel caso studio.

	CASO 1	CASO 2	CASO 3
N° PAZIENTI	18	18	18
N° INFERMIERI	18	4	9
RAPPORTO INFERMIERE: PAZIENTE	1:1	1:4,5	1:2
PRESENZA VISITATORI	Si (18)	no	no
AIUTO DA OPERATORI DI ALTRI REPARTI	no	Si (9)	Si (6)
N° OCCUPANTI DA EVACUARE	54	31	33
ASET	380	380	380
RSET 1° simulazione	253,3	373	263
RSET medio	272	380	273

Si supponga di entrare in reparto e trovarsi di fronte alla situazione simulata al caso 2; si pianifica quindi sicuramente un'azione di tipo CORRETTIVO sul sistema di gestione della sicurezza. Va infatti indagata la carenza di personale che, come si vede confrontando i tempi di RSET, porta ad una dilatazione molto forte del tempo richiesto per l'esodo. Quindi si supponga di modificare la sezione di organizzazione del personale all'interno del documento di gestione della sicurezza e di organizzare ogni turno affinché sia garantito più personale.

Si ipotizzi ora che, a seguito della correzione sull'organigramma, per scongiurare la carenza di personale si preveda la presenza di un numero di infermieri pari al numero di pazienti ricoverati. Ci troviamo quindi di fronte al caso n° 1, il requisito $ASET > RSET$ ora è ampiamente rispettato, si ricontrolli ora la simulazione. Si può dichiarare che la gestione dell'emergenza sia condotta in modo perfetto?

Osservando la simulazione si può evidenziare, come esempio, che: il flusso pazienti-infermieri-visitatori non è fluido, vi sono dei momenti in cui le vie di esodo vengono intasate dal flusso di persone e inoltre i visitatori non sono indirizzati a seguire la via di esodo n°19, che porterebbe direttamente al punto di raccolta esterno definito per chi non è addetto al soccorso, questo potrebbe causare un rallentamento nel lavoro degli infermieri.

Questo contro-flusso è causato dalla presenza di troppi infermieri e dei visitatori? Si ricontrolli il caso con pochi infermieri: anche lì effettivamente vi era un flusso contrario alla marcia d'esodo, che magari era sfuggito a causa del più importante problema di $ASET=RSET$. Si simuli allora anche il caso 3: assenza di visitatori ma numero di personale adeguato, 1 infermiere ogni due pazienti.

$ASET$ e $RSET$ sono di nuovo verificati con ampio margine di sicurezza, il tempo richiesto per l'esodo rimane simile al tempo richiesto dalla simulazione con infermieri-pazienti in rapporto 1:1, si può allora assumere questa come azione correttiva ideale; è vero che vi è l'aiuto di personale da altri reparti ma vi sono anche tempi di rivelazione ed allarme più lunghi ed un numero di infermieri totali comunque minore.

Il contro-flusso di infermieri che rientrano e di quelli che assistono, però, esiste ancora. Si deve valutare un'azione MIGLIORATIVA, in quanto il contro-flusso è pericoloso nonostante i tempi d'esodo corretti. Si valuti allora l'idea di continuare tale studio correggendo i flussi e ri-simulando gli scenari anche con la presenza dei visitatori. Un'idea di nuova gestione, come già detto, potrebbe essere l'imposizione dell'obbligo di uscire dalla porta 19 per chi non soccorre, installando una segnaletica chiara e inequivocabile nonché indicazioni vocali; allo stesso modo si imponga un'uscita per le barelle e un ingresso per gli infermieri, oltre che un percorso obbligato in funzione della direzione in corridoio. Cosa succede? I tempi si dilatano? Emergono altre carenze? Se non emergono difetti in questa simulazione si può considerare il lavoro concluso?

No, ci si può chiedere, per esempio, cosa accade qualora gli addetti da altri reparti non siano informati, formati ed addestrati per le procedure richieste in terapia intensiva? o se comunque non sono disponibili addetti antincendio nelle vicinanze? Inoltre, si consideri che durante un'emergenza, per di più con presenza di fiamme e fumo, non è detto che l'imposizione delle indicazioni per l'esodo venga rispettata a causa di tutte le ragioni comportamentali già ampiamente descritte. Infine, non si dimentichi che la procedura di evacuazione non termina al di fuori del compartimento d'incendio e va egualmente saputa gestire con la stessa razionalità e buon senso.

Conclusioni

Le strutture ospedaliere fanno parte di una realtà estremamente complessa, sicuramente dal punto di vista progettuale ma, ancor più, per tutto quello che concerne l'analisi del rischio e ciò che da essa deriva. Un rischio che, all'interno di un ospedale, non può sfuggire all'analista è sicuramente il rischio di incendio. Infatti, all'interno di queste realtà, si ha una probabilità di accadimento molto elevata e un eventuale magnitudo molto importante, questo a causa della quantità ed eterogeneità di materiali contenuti nelle strutture ospedaliere e delle innumerevoli fonti di innesco ivi presenti e della strategicità dell'edificio, che deve garantire l'esercizio in sicurezza h24 della struttura, essendo essa stessa il punto di riferimento delle emergenze intra ed extraospedaliere. A tal proposito in questa tesi è stato sviluppato un caso studio incidentale che coinvolge un ipotetico reparto di terapia intensiva, all'interno del quale si sviluppa un incendio; in particolare si è analizzato l'esodo che da tale incidente ne consegue. L'obiettivo finale, però, non è stato solo quello di provare che nel reparto il tempo richiesto per l'esodo fosse inferiore al tempo disponibile all'evacuazione stessa, ma quanto: individuare i motivi per cui questo non è accaduto e/o gli ulteriori miglioramenti che possono essere apportati alle dinamiche di evacuazione, a prescindere dal risultato numerico.

Tra i tre casi ipotizzati l'unico che non ha superato la verifica delle tempistiche d'esodo ha fatto emergere un problema di base nel sistema di gestione del reparto: una riduzione importante di personale dovuta probabilmente a un'errata valutazione nell'organizzazione dei turni, si è constatato infatti che negli altri due casi simulati, con l'aumento del numero di infermieri, le tempistiche d'esodo lasciano un margine di sicurezza di almeno due minuti. Tuttavia, il primo caso, che riportava il massimo affollamento di reparto, ha fatto emergere una tematica che si è poi confermata anche nei casi con carenza di personale e nel caso standard, in cui il numero di personale è quello ideale rispetto ai pazienti, ovvero una difficoltà di gestione dei flussi di dipendenti in entrata e in uscita dal reparto che causa rallentamenti nell'evacuazione e piccoli intasamenti lungo le vie d'esodo; si apre così la possibilità di proseguire lo studio in vista di un miglioramento continuo del sistema di gestione antincendio. L'analisi del funzionamento d'esodo quindi si è incentrata, più che sul lay-out dell'edificio, sul funzionamento del sistema di gestione della sicurezza antincendio, suggerendo una modalità di studio più innovativa della sola valutazione del documento del sistema di gestione e dei suoi allegati: l'uso dei *software* di simulazione. È risultato evidente, allora, dall'analisi dei risultati dei casi studio descritti, che l'approccio prestazionale, se correttamente utilizzato dal punto di vista etico da chi simula e da chi ne interpreta i risultati, ha delle potenzialità ben maggiori del solo uso ai fini di progettazione. I *software* di simulazione, infatti, sono in grado di "concretizzare" quanto scritto nel documento cartaceo

del sistema di gestione, e sono in grado di farlo anche in modo piuttosto rapido ma estremamente realistico, permettendo così non solo il controllo dello stato di fatto ma anche la verifica delle modifiche effettuate nel tempo. All'interno delle strutture ospedaliere questa metodologia è una risorsa estremamente importante; qui, infatti, le prove di evacuazione non sono di facile attuazione e spesso non coinvolgono i pazienti, per ovvie ragioni. In questo modo però, si svolgono prove di evacuazione parziali che non proveranno mai realmente cosa accade in fase di emergenza. Le simulazioni al computer permettono invece, come abbiamo visto, di svolgere prove simulate con il coinvolgimento anche dei pazienti in formato di avatar, controllando lo stato di fatto, proponendo modifiche e verificandone il funzionamento prima della modifica reale, sia per quanto riguarda il lay-out delle strutture che lo svolgimento dei piani di evacuazione. Oltretutto si potuto evidenziare, tramite le osservazioni proposte nel testo, che l'affollamento in un ospedale è estremamente imprevedibile, si pensi banalmente al caso studio con massimo affollamento al pronto soccorso o ancor più semplicemente ai cambiamenti che hanno coinvolto gli ospedali da inizio 2020 con l'emergenza sanitaria Covid-19; durante la vita utile dell'ospedale vi sono variazioni costanti non solo di pazienti ma anche di infermieri (si è sottolineata più volte nel testo la problematica del turn-over) ed è importante ricordare che l'influenza di questi cambiamenti sull'evacuazione non è da considerarsi solo dal punto di vista numerico ma anche come variazione del comportamento che ogni singola persona assume durante un'emergenza o comportamenti imposti dal periodo storico, come il distanziamento sociale ad oggi previsto. Grazie allo sviluppo della tecnologia e al continuo studio dell'argomento questi cambiamenti, anche comportamentali, sono in un certo senso riproducibili in modo immediato, oltre che contestualizzabili direttamente all'interno di un'emergenza, proprio grazie alle simulazioni. È possibile, infatti, intrecciare le simulazioni di incendio ed esodo in un'unica rappresentazione per valutare risultati ancora più tangibili. Un'ulteriore valutazione: i software riproducono in modo molto realistico le procedure di esodo, divenendo così uno strumento di informazione e formazione estremamente potente, non solo per i dipendenti dell'azienda ma anche per i visitatori. Ad esempio, si ipotizzi la possibilità di inserire degli schermi nelle sale di attesa o nelle sale comuni che trasmettono la simulazione d'esodo. Il visitatore in situazione "di pace" sarà incuriosito e stimolato alla visualizzazione. Questa metodologia potrebbe diventare però anche un aiuto in fase di emergenza, assumendo la stessa funzione delle piantine e delle indicazioni ma in forma più intuitiva. Inoltre, la visualizzazione della simulazione potrebbe aiutare anche i dipendenti nell'apprendimento, questi possono integrare allo studio del documento cartaceo un supporto audio-visivo rendendo così la comprensione più impattante e stimolante. È tuttavia necessario ricordare che non tutti i fattori sono quantificabili e le combinazioni di ipotesi sono infinite, con risultati sempre diversi. Anche i software, quindi, hanno dei limiti di applicazione e per questo vanno integrati come supporto, non sostituiti, alla conoscenza e all'azione dell'uomo.

Bibliografia

- ◆ G. Ascenzi, G.Villi, G. Vulpiani, “Ingegneria della sicurezza antincendio – Guida all’utilizzo di FDS (Fire Dynamic Simulator), la modellazione fluidodinamica degli scenari di incendio”, Dario Flaccovio Editore, 2010;
- ◆ Thunderhead engineering, “Pathfinder Verification and Validation”, 2020;
<https://support.thunderheadeng.com/docs/pathfinder/2020-5/verification-validation>
- ◆ Morgan J. Hurley Editor-in-Chief, “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, Springer, V edizione;
- ◆ Ing. Mauro Malizia, “Strutture sanitarie e prevenzione incendi: l’esperienza nelle province di Ascoli Piceno e Fermo”, 2015;
- ◆ Dott. Ing. Maurizio D’Addato, “Ricerca sulle cause d’incendio negli ospedali anno 1995 – 2005”, 2005;
- ◆ Inail, “La sicurezza in ospedale, strumenti di valutazione e gestione del rischio”, 2012
- ◆ Ing. Aurelio Menoni, Ing. Matteo Mometti, “La prevenzione incendi nelle strutture sanitarie. Dal D.M. 18.09.2002 al D.M. 19.03.2015: adeguamenti e nuovi obblighi gestionali”, 2017;
- ◆ F. Dattilo, P. Castelli, “Vie di esodo: confronto delle normative internazionali”, 2014;
- ◆ Enrico Ronchi, Ruggiero Lovreggio, “Exposed: An occupant exposure model for confined spaces to retrofit crowd models during pandemic”, 2020;
- ◆ L.E.Hunt etc. “Simulating movement devices used in hospital evacuation”, 2020;
- ◆ Society for Simulation in Healthcare, “Codice etico degli operatori di simulazione in sanità”, 2018;
- ◆ Andrea Saltelli etc. “Five ways to ensure that models serve society: a manifesto”, 2020;
<https://www.nature.com/articles/d41586-020-01812-9>
- ◆ Andrea Saltelli etc. “Per un’etica dei numeri e dei modelli”, 2020;
<https://www.scienzainrete.it/articolo/unetica-dei-numeri-e-dei-modelli/andrea-saltelli-tommaso-portaluri-monica-di-fiore-paolo>
- ◆ Teresa Villani, “Tempi di evacuazione e modelli automatici di simulazione del movimento e delle persone”, 2007;
https://www.researchgate.net/publication/245032130_Tempi_di_evacuazione_e_modelli_automatici_di_simulazione_del_movimento_delle_persone
- ◆ <https://www.teknoiring.com/news/antincendio/la-prevenzione-incendi-nelle-strutture-sanitarie/>;
- ◆ https://www.ansa.it/canale_salutebenessere/notizie/sanita/2017/03/22/in-italia-100-incendi-lanno-negli-ospedali_189ac500-bc6d-4739-b827-e92b33fcbd22.html;

Bibliografia

- ◆ D.M. 10 marzo 1998 “criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione delle emergenze nei luoghi di lavoro”
- ◆ D.Lgs. 9 aprile 2008 n.81 “Testo unico in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro”
- ◆ D.M. 18 settembre 2002 “Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l’esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private”
- ◆ D.M. 9.05.2007 “Direttive per l’attuazione dell’approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio”
- ◆ D.M. 19 marzo 2015 “Aggiornamento della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l’esercizio delle strutture sanitarie pubbliche e private di cui al Decreto 18 settembre 2002”
- ◆ D.M. 18 ottobre 2019. Modifiche all’allegato 1 al decreto del Ministro dell’interno 3 agosto 2015, recante «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell’articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139»

Ringrazio il Professor Guido Cassella e l'Ing. Andrea Bosco per aver accolto la mia proposta di collaborare con loro per coronare questo percorso di studi, permettendomi di portare a termine esattamente il lavoro che avevo in mente. Ma in particolare devo ringraziare l'Ing. Tollot, anzi, Caterina per avermi seguita ogni giorno da febbraio ad oggi in questo lungo percorso, per avermi sempre trasmesso la calma necessaria a lavorare con piacere, anche quando di calma non ce n'era, per aver risposto istantaneamente ad ogni messaggio e richiesta di aiuto teorica e pratica. Grazie!

Ringrazio le mie amiche, in particolare le più care Alice, Marta, Giorgia per avermi compresa e supportata, per aver capito quanto sono strana nel mio bisogno di isolarmi per restare concentrata, grazie per aver rispettato i miei spazi e aver capito i miei periodi di assenza. Grazie perché l'avete fatto senza mai mancare di rispondere a una mia chiamata o messaggio e facendovi trovare sempre al solito posto per un momento di svago durante gli esami e per mille aperitivi finite le sessioni. Vi voglio bene e sono fortunata ad avervi.

Vorrei ringraziare Serena, collega di questi due anni di Università ma in realtà più che collega una grande Amica. Quanti pianti, sfoghi ma soprattutto quante risate ci siamo fatte, solo tu sai! Questa magistratura non poteva darmi dono migliore di una persona come te su cui contare, al di là delle sfide a cui lo studio ci ha messo di fronte. Sei stata in questi due anni il mio punto di riferimento, sempre pronta ad ascoltarmi, capirmi e motivarmi per andare avanti senza mai arrendermi. Non c'è gioia più grande di poter condividere questo giorno con te, purtroppo da lontano, ma comunque insieme dall'inizio alla fine. Grande amò...ce l'abbiamo fatta!!!! Grazie di tutto!

Questo traguardo, però, lo voglio dedicare a tre persone in particolare:

Mamma, la mia maestra di vita. Grazie perché se sono arrivata fino a qui è grazie a te, che hai saputo sempre cosa fare e cosa dirmi al momento giusto! Ti ringrazio per essere sempre dalla mia parte, anche quando di ragione non ne ho per nulla; grazie perché mi dai sempre e da sempre piena fiducia, lasciandomi i miei tempi e spazi senza mai giudicarmi, limitandoti ad osservarmi "da lontano" e riparando ai miei danni facendoti spazio in punta dei piedi. Grazie per aver capito con uno sguardo quando avevo bisogno di staccare la testa e quando era ora di farti carico di ciò che mi turbava, indicandomi la strada da seguire per continuare.

Papà, il mio fan numero uno. Ti ringrazio per avermi sempre portata in alto e avermi motivato e spinto sempre a portare a termine i miei lavori, graditi o meno. Lo hai fatto dimostrandomi il tuo orgoglio e trasmettendomi la tua dedizione al lavoro. Grazie per aver urlato di gioia con me ad ogni piccolo traguardo raggiunto e per aver ballato, cantato e girovagato con me quando ero stanca di stare sui libri. E va bene...anche per sopportarmi in silenzio quando perdo la pazienza e tutto per me è sempre, in qualche modo, colpa tua.

Siete i genitori perfetti! Vi voglio un bene infinito!

Simo, il mio porto sicuro. Questo traguardo, per quanto mi riguarda, è mio, tanto quanto lo devi sentire tuo; quindi, con il cuore in mano, te ne dedico la gran parte. Grazie perché in qualsiasi situazione tu sai come sollevarmi da ogni ansia e debolezza, grazie per esserti fatto da parte ma essere stato contemporaneamente sempre presente, dedicandomi amore, tempo e tanta pazienza. Ma soprattutto, grazie perché ci hai creduto senza mai dubitare, anche quando ero io la prima a non crederci e a voler gettare la spugna...e sappiamo tutti quanto sono testarda; ma tu ti mettevi lì, ad ascoltarmi e lavorare con me per ore, fino a quando non ero pronta per spaccare il mondo. Potrei scrivere un'altra tesi sul perché ti ringrazio e quanto bene mi fai, ma penso che non ce ne sia bisogno. Quindi sì, se sono riuscita a raggiungere l'obiettivo è di gran lunga anche merito tuo e si dice in giro che squadra che vince, non si cambia!

