



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Tesi di Laurea Magistrale in
Ingegneria della Sicurezza Civile e Industriale

Redazione di linee guida per una corretta esecuzione delle simulazioni di emergenza ed evacuazione in ambiente ospedaliero

Analisi critica di una prova di evacuazione
svolta all'interno di un reparto ospedaliero

Prof.ssa Chiara Vianello

Relatrice

Ing. Giulia De Cet

Correlatrice

Fabio Mancin

mat. 2062715

Laureando

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

Abstract	5
Introduzione	7
Capitolo 1 • Inquadramento e stato dell'arte	9
1.1. Rilevanza della problematica.....	9
1.2. Principali cause di incendio	13
1.3. Fisica dell'incendio	15
1.4. Analisi del rischio d'incendio e dei rischi correlati	20
1.5. Misure antincendio	23
1.6. Normativa italiana in materia di sicurezza antincendio	32
1.7. Modelli di simulazione dell'evacuazione	39
Capitolo 2 • Descrizione del caso studio	47
2.1. L'ospedale di Rovereto	47
2.2. Progettazione della prova.....	48
2.3. Esecuzione della prova	51
Capitolo 3 • Simulazioni con un modello computazionale	53
3.1. Scelta del modello computazionale	53
3.2. Configurazione dei modelli.....	54
3.3. Risultati delle simulazioni	60
Capitolo 4 • Delineazione delle linee guida	63
4.1. Scopo della simulazione di emergenza.....	63
4.2. Identificazione degli occupanti partecipanti.....	64
4.3. Scelta dello scenario da simulare	65
4.4. Modalità di osservazione della prova.....	66
4.5. Impiego di simulazioni attraverso software dedicati	67
Conclusioni	69
Riferimenti esterni	71
Bibliografia	73

Abstract

In questo elaborato è stato approfondito il campo delle prove di emergenza in ambito ospedaliero, partendo da una prova di evacuazione reale.

Dapprima, è stata fatta una revisione dello stato dell'arte della materia cercando di identificare con precisione i pericoli che concorrono al rischio di incendio e ai rischi correlati all'esodo all'interno di una struttura sanitaria. Successivamente, la revisione si è concentrata sull'esodo e sulle caratteristiche di movimento degli occupanti.

La prova di evacuazione oggetto di studio è stata effettuata il 19 luglio 2022 in una porzione del reparto pediatrico dell'ospedale di Rovereto. In quel momento il reparto era dismesso per manutenzione e i degenti erano rappresentati da figuranti; il personale sanitario, invece, era quello normalmente attivo all'interno dell'ospedale. Prima della prova, il personale ha ricevuto la formazione specifica in merito alle procedure da adottare in caso di evacuazione. L'attività è stata videoregistrata dai figuranti e da altri osservatori presenti, poi sintetizzata in un rapporto scritto. Con questo materiale è stato possibile stimare i parametri di tempi di pre-movimento e di velocità di movimento riscontrati durante lo svolgimento della prova.

A partire da quanto avvenuto nella prova di evacuazione, con il software *Pathfinder* è stata creata una simulazione il più possibile simile al caso reale; dopodiché, è stato ipotizzato uno scenario peggiorativo, dal quale è stata creata una seconda simulazione. Le due simulazioni sono state confrontate e se ne sono analizzate le differenze.

I risultati ottenuti dal confronto tra le due simulazioni ha permesso di iniziare lo sviluppo di potenziali linee guida capaci di supportare la fase di progettazione di una prova di evacuazione in ambito ospedaliero.

Introduzione

Attualmente, stante la crescente introduzione di nuove tecnologie a supporto delle attività svolte dal personale medico, gli ospedali sono strutture contenenti importanti quantità di strumentazioni e impianti capaci di dare origine a incidenti come incendi, emissioni di sostanze chimiche e biologiche o emissioni di radiazioni elettromagnetiche. Oltre a queste problematiche intrinseche all'attività, negli ultimi anni non si possono escludere minacce provenienti dall'esterno come, ad esempio, disastri naturali, nubi tossiche o atti di terrorismo [1].

L'accadimento di un evento simile è un'emergenza alla quale il personale tecnico e medico deve far fronte tentando, in primo luogo, di circoscrivere la minaccia oppure di allontanare gli occupanti dal pericolo. Questa seconda possibilità nasconde una complessa procedura di evacuazione che prevede lo spostamento dei degenti dal reparto in cui si trovano, fino ad un punto considerato sicuro in base alla tipologia di emergenza. Nei casi più gravi in cui tutta la struttura è compromessa, può essere necessario evacuare tutti gli occupanti, spostando quindi i degenti dalla struttura in evacuazione verso un'altra.

Come per tutte le situazioni emergenziali, anche questi scenari dovrebbero essere analizzati in fase di valutazione del rischio e, quindi, dovrebbero essere programmate le misure utili alla loro corretta risoluzione. Queste misure devono essere inserite nel piano di gestione delle emergenze, ovvero un documento contenente il dettaglio delle azioni che il personale deve attuare, delle procedure di evacuazione, delle disposizioni per richiedere l'intervento dei soccorsi esterni e delle specifiche misure per l'assistenza delle persone aventi esigenze speciali. I piani di gestione delle emergenze devono essere continuamente revisionati per verificare la loro attuabilità, solidità e accuratezza rispetto alle condizioni reali presenti nell'attività. A questo proposito, le simulazioni di emergenza sono strumenti utili per identificare errori, carenze e miglioramenti che possano rendere il piano più adatto alle esigenze dettate dalle caratteristiche dell'emergenza, dei luoghi e degli occupanti.

La redazione del piano di emergenza, ma più in generale la gestione dell'emergenza, è particolarmente complessa in ambito ospedaliero a causa delle particolari caratteristiche delle attrezzature, dei materiali e degli occupanti presenti, ma anche per la peculiare modalità di esodo che viene attuata. L'identificazione e l'approfondimento di queste particolarità sono illustrate nella prima parte di questo elaborato, così da avere un quadro complessivo delle analisi che verranno eseguite successivamente. Da queste, è stato ipotizzato uno scenario incidentale gravoso, poi applicato al caso studio oggetto di questo elaborato, al fine di proporre degli spunti utili alla realizzazione di prove di evacuazione in ambito ospedaliero.

Capitolo 1

Inquadramento e stato dell'arte

Prima di procedere con la valutazione del caso oggetto di questo elaborato, viene presentato lo stato dell'arte così da comprendere al meglio i pericoli interni ad un ospedale, le criticità che occorrono durante un'emergenza e le misure di tutela degli occupanti. Inoltre, dalla lettura di alcuni articoli scientifici e giornalistici, si è cercato di valutare l'entità della problematica e di identificare le principali cause.

In questa prima parte di elaborato, si tratterà esclusivamente di incendi poiché questa sembra essere la causa principale di inizio delle procedure di emergenza interne alle strutture sanitarie e, quindi, la più studiata in letteratura.

1.1. RILEVANZA DELLA PROBLEMATICAZIONE

Dalla lettura di importanti ricerche si può evincere che la tipologia di incidenti più studiata è quella degli incendi. Infatti, in letteratura si trovano studi che hanno raccolto e studiato alcuni incendi sviluppatasi all'interno di strutture sanitarie.

Nel primo studio preso in considerazione, sono stati esaminati sei incendi avvenuti in tempi recenti [2]. In questi eventi, le principali vittime sono state i pazienti. Questa tendenza viene attribuita alla limitata capacità motoria e di reazione che li porta ad essere soggetti più vulnerabili al rischio incendio rispetto ai soggetti in salute. Dall'analisi dei casi riportati in Tabella 1-1, i ricercatori hanno identificato i rischi di incendio e quelli correlati alla fase di evacuazione che gravano maggiormente sul sistema di gestione della sicurezza antincendio, discussi nella sezione §1.4.

Denominazione	Ubicazione	Vittime	Data
Commercial workers' hospital	Wuhan, CN	7 morti 11 feriti	22 gennaio 2014
Calderon Hospital	Calderon, CR	19 morti	12 luglio 2005
Liaoyuan Centre hospital	Liaoyang, CN	37 morti 95 feriti	15 dicembre 2005
No. 2 Hospital	Huangshi, CN	4 morti	16 marzo 2014
Private SUM hospital	Bhubaneswar, IN	20 morti >100 feriti	18 ottobre 2016
The Ministry of Health and Welfare Hospital	Taipei, TW	13 morti 39 feriti	13 agosto 2018

Tabella 1-1: Incendi rilevanti in ambito ospedaliero avvenuti in tempi recenti. Rielaborazione di [2]

Il secondo studio considerato ha esaminato tredici incendi caratterizzati da un ingente numero di vittime e avvenuti anche in tempi meno recenti, riportati in Tabella 1-2 [3]. Dalle conclusioni di questo lavoro, si evince come una modalità per ridurre i danni degli incendi in termini di vite umane sia quello di disporre di una efficiente gestione della sicurezza antincendio, che comprenda formazione del personale ed esercitazioni.

Denominazione	Ubicazione	Vittime	Data
Cleveland Clinic	Cleveland, US	125 morti	15 maggio 1929
St. Anthony's Hospital	Effingham, US	74 morti	5 aprile 1949
Mercy Hospital – St. Elizabeth's Ward	Davenport, US	41 morti	7 gennaio 1950
Hartford Hospital	Connecticut, US	16 morti	8 dicembre 1961
Shelton Hospital	Shrewsbury, GB	21 morti	26 febbraio 1968
Coldharbour Hospital	Sherborne, GB	30 morti	5 luglio 1972
Liaoyang City Central Hospital	Liaoyang, CN	39 morti	12 dicembre 2005
Drug Treatment Hospital No. 17	Mosca, RU	46 morti	9 dicembre 2006
AMRI Hospital Kolkata	West Bengal, IN	95 morti	9 dicembre 2011
Sinying Hospital – Bei-Men Branch	Xinying, TW	>12 morti 60 feriti	23 ottobre 2012
Moscow Psychiatric Hospital	Mosca, RU	36 morti	26 aprile 2013
Psychiatric Hospital	Luka, RU	37 morti	13 settembre 2013
Four-Storey Orthopedic Hospital	Fukuoka, JP	10 morti	11 ottobre 2013

Tabella 1-2: Incendi rilevanti in ambito ospedaliero avvenuti dal 1929. Rielaborazione di [3]

Al fine di fornire una visione più chiara dell'estensione della problematica, si sono cercate in rete notizie di incendi o principi di incendio avvenuti in Italia nel 2023. In Tabella 1-3 si riporta l'indicazione di quelli individuati, cercando di essere il più esaustivi possibile ma senza la presunzione di voler proporre una lista completa. Da quello che si evince dai dati, gli incendi negli ospedali sono una problematica molto estesa poiché, solo nel 2023, nel territorio nazionale si hanno notizie di 19 casi. La maggioranza degli avvenimenti riportati non ha avuto ingenti conseguenze se non la chiusura dei locali o dei reparti interessati. Invece, in alcune occasioni, l'incendio ha causato vittime e feriti come nel caso mediaticamente più famoso della RSA a Milano del 7 luglio 2023.

Evento	Cause	Rif.
Ospedale Papardo, Messina - 22/01/2023	Un tossicodipendente aggredisce alcuni medici e appicca l'incendio con un accendino o con una sigaretta, dando fuoco a tre sacchi di rifiuti plastici fuori dall'apposito cassonetto in quanto colmo.	[4], [5]
Ospedale di Conegliano (TV) - 01/02/2023	Cortocircuito ad un respiratore polmonare in carica.	[6]
Ospedale Sacco, Milano - 17/02/2023	Malfunzionamento di una lampada al neon nel reparto di cardiologia.	[7], [8]

Ospedale Sant'Elia, Caltanissetta - 09/03/2023	Cause non accertate.	[9], [10]
Ospedale Cannizzaro, Catania - 09/03/2023	Una paziente psichiatrica ha dato fuoco ad un rotolo di carta igienica del bagno del pronto soccorso.	[11]
Ospedale Guido Compagna, Corigliano Rossano (CS) - 12/03/2023	Un paziente sottoposto a trattamento sanitario obbligatorio ha dato fuoco ad una barella con un accendino. Si segnala che in questo evento non si è attivato il sistema di rivelazione e allarme incendio.	[12]
Ospedale dell'Angelo, Venezia - 15/03/2023	Una paziente psichiatrica ha dato fuoco alle lenzuola del letto.	[13]
Ospedale Pertini, Roma - 25/05/2023	Cortocircuito nel quadro elettrico all'interno di un'area in manutenzione, coinvolgendo plastiche che ricoprivano alcuni materiali.	[14]
RSA Casa dei coniugi, Milano - 07/07/2023	L'incendio si è sviluppato da un letto, coinvolgendo l'intera stanza. L'innesco non è stato identificato.	[15]
Ospedale ecclesiastico Miulli, Acquaviva delle Fonti (BA) - 11/07/2023	Cortocircuito (oggetto dell'innesco non specificato) nel piano interrato.	[16]
Ospedale Santa Maria Goretti, Latina - 13/07/2023	Incendio innescato nel locale CED.	[17]
Ospedale San Martino, Genova - 19/07/2023	Cortocircuito di un gruppo di continuità del reparto di rianimazione.	[18]
Ospedale Raimondi, San Cataldo (CL) - 13/08/2023	Malfunzionamento di una presa elettrica di un locale dove vengono eseguite le TAC e dove vengono ricaricare alcune attrezzature elettriche.	[19]
RSA Casa di Arianna, Parma - 14/08/2023	Cause non accertate.	[20]
RSA La Cupolina, Manciano (GR) - 26/10/2023	Cause non accertate.	[21]
Ospedale San Paolo, Civitavecchia (RM) - 26/10/2023	Incendio innescato da una batteria di mantenimento delle attrezzature del blocco operatorio.	[22]
Ospedale civico, Codogno (LO) - 20/11/2023	Incendio di due armadietti contenenti vestiti dei pazienti. Cause non accertate.	[23]
Ospedale Giuseppe Mazzini, Teramo - 07/11/2023	In un'area tecnica esterna, delle scintille provocate da una mola impiegata in un cantiere hanno innescato un deposito di plastica circostante.	[24]
Ospedale Santa Maria Annunziata, Bagno di Ripoli (FI) - 10/11/2023	Incendio di un box metallico contenente rifiuti sanitari. Cause non accertate.	[25]

Tabella 1-3: Incendi in ambito ospedaliero avvenuti in Italia nel 2023

Estendendosi al campo internazionale, più precisamente a quello statunitense, utilizzando i dati del triennio 2012-2014 pubblicati dalla "US Fire Administration" (USFA), si riscontrano 5700 casi di incendio all'interno di strutture sanitarie, 1100 dei quali all'interno di ospedali [26].

Un'ulteriore considerazione può essere fatta con i dati tedeschi elaborati dalla "bvfa", associazione di produttori di attrezzature ed impianti antincendio, che ha registrato 96 incendi durante l'anno 2022 [27]. Così come segnalato nel loro documento, si vuole far notare che la lista non è completamente esaustiva; per questo motivo non sono stati riportati i dati relativi agli anni precedenti poiché risultano eccessivamente sottostimati e in costante crescita dall'inizio dei lavori di registrazione.

Dati analoghi sono stati pubblicati dal ministero dell'interno del governo inglese; in un report annuale è stato indicato il numero di incendi avvenuti all'interno di ospedali e di strutture sanitarie durante gli anni finanziari (dal 6 aprile al 5 aprile dell'anno successivo), iniziando dal 2010 [28]. Il documento ha segnalato un totale di 543 casi nell'anno 2022, di cui 211 di natura dolosa, che hanno causato una vittima e 39 feriti. Dall'analisi dei dati relativi agli anni precedenti, si evince che la tendenza è in decrescita; infatti, si è passati dai 700-900 casi degli anni tra il 2010 e il 2015 ad una media di circa 500 casi durante gli ultimi tre anni.

Infine, si citano i dati neozelandesi elaborati dal "Fire and Emergency New Zealand", ossia l'equivalente dei Vigili del Fuoco italiani. Il report più recente disponibile è datato 2018 e include i dati dei 10 anni precedenti. Questo indica una media di 168 casi registrati all'anno di incendi verificatisi in ospedali, hospice, case di riposo, centri di riabilitazione, cliniche e centri medici. Il dato medio è in linea con l'ultimo dato indicato per l'anno 2017 di 152 casi.

Nazione	Casi registrati	Periodo
Stati Uniti d'America	1100	Dal 2012 al 2014
Germania	96	2022
Regno Unito	543	2022
Nuova Zelanda	152	2017

Tabella 1-4: Casi di incendio in ambito ospedaliero avvenuti in USA, Germania, Regno Unito e Nuova Zelanda

In conclusione, si è rivelato molto complesso determinare quantitativamente l'entità della problematica in quanto i dati sono di difficile reperimento o, quando esistenti, sono riferiti a periodi diversi. Anche provando a correlare gli accadimenti in una nazione rapportati nel tempo e nel numero di ospedali, si ottengono valori estremamente differenti che evidenziano la complessità della materia.

1.2. PRINCIPALI CAUSE DI INCENDIO

Dal report della USFA riferito al triennio 2012-2014, si possono recuperare le statistiche relative alle cause di innesco [26]. Queste sono divise in incendi confinati, quindi di estensione limitata all'ambito di primo innesco (73%), o incendi non confinati (27%). Dalle conclusioni si evince che la principale causa di incendi confinati proviene dagli ambiti dalle cucine (68%), seguito da cause di natura elettrica (6%) e dal riscaldamento (5%). Le percentuali cambiano se vengono presi in considerazione gli incendi non confinati; infatti, in questo caso, la principale causa è di natura elettrica (22%), seguita dai malfunzionamenti di elettrodomestici (13%) o altre apparecchiature (11%), e dalle cause dolose (12%).

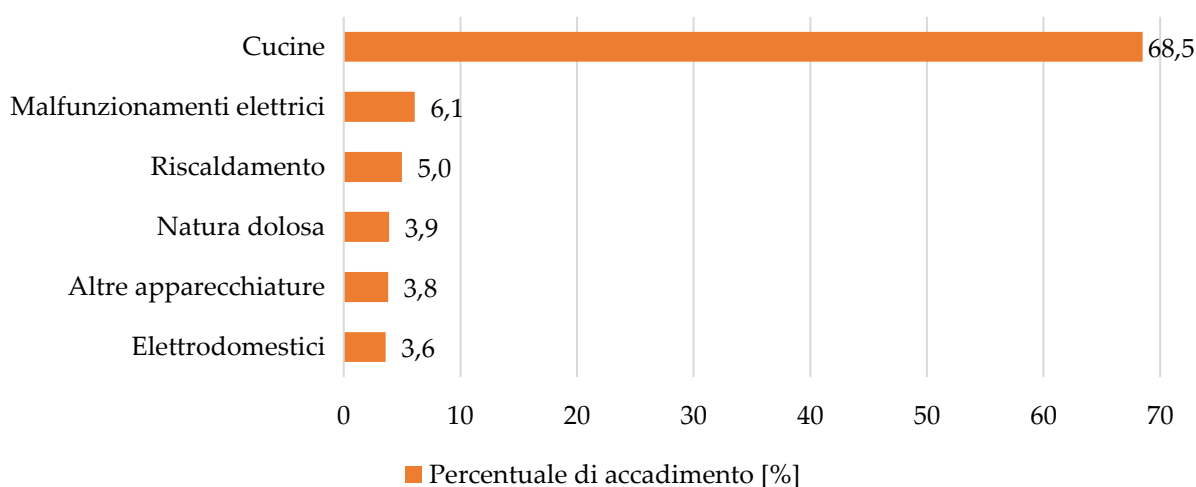


Figura 1-1: Statistica delle cause di incendio negli ospedali. Dati USFA (2014)

Nello stesso anno, un ulteriore studio effettuato dall'agenzia delle Nazioni Unite "Pan American Health Organization", basato sui dati del 2009 della "National Fire Protection Association" (NFPA), sembra confermare la tendenza riscontrata nello studio precedente [29]. Infatti, gli incendi derivanti dalle cucine si assestano al 52%, seguiti da quelli provenienti da cestini dei rifiuti (9%), dai malfunzionamenti elettrici (7%), dagli apparecchi di riscaldamento (4%) e dagli elettrodomestici (4%).

Nel 2017, la NFPA ha pubblicato i dati relativi agli anni compresi tra il 2011 e il 2015 [30]. I valori riscontrati sono molto simili a quelli già riportati, confermando quelli degli studi precedenti.

Le percentuali delle cause di incendio sono, invece, completamente diverse se si considerano gli articoli giornalistici citati in Tabella 1-3. Si riconosce che i valori derivanti dall'analisi di queste informazioni non sono basate su tecniche di analisi post-incidentale rigorose, bensì dalle prime sommarie informazioni acquisite dai giornalisti; si è ritenuto comunque opportuno riportare l'informazione. Dalle informazioni che si hanno, si può dedurre che la

principale causa di innesco è il guasto elettrico: dei diciannove casi considerati, sei hanno avuto origine da attrezzature elettriche non mediche. Non sono comunque da sottovalutare gli incendi dolosi, in quanto ne sono stati riscontrati quattro. I lavori di manutenzione e le attrezzature elettriche mediche sono state le cause di due e uno roghi rispettivamente.

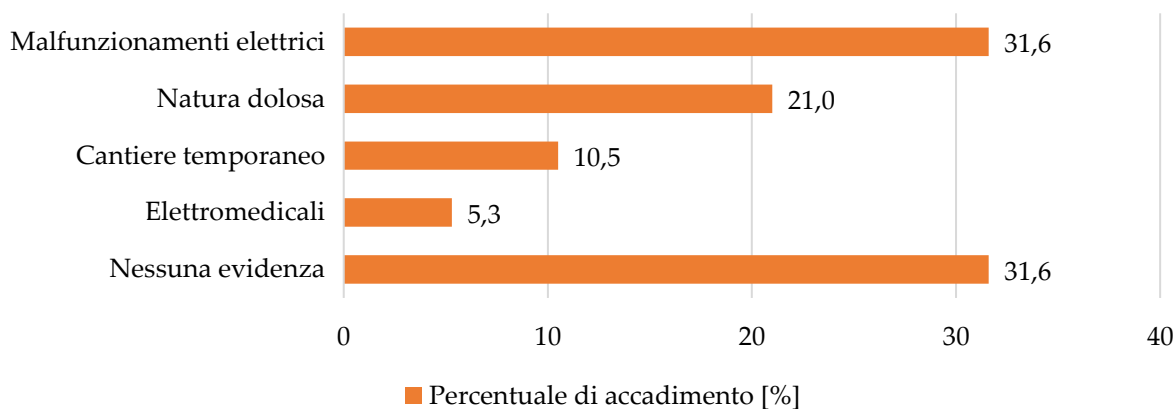


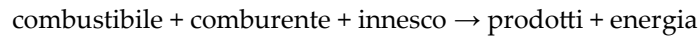
Figura 1-2: Statistica delle cause di incendio negli ospedali. Dati da ricerca in rete

In conclusione, si può dire che è difficile dedurre con certezza qual è l'ambito più a rischio all'interno di un ospedale. Infatti, considerando solo i reparti medici, la problematica maggiore sembrano essere le apparecchiature elettriche, sia medicali che non medicali. Valutando invece la struttura ospedaliera nel suo complesso, la presenza delle cucine è un fattore di rischio importante per la sicurezza antincendio. Inoltre, non sono da sottovalutare i gesti umani deliberati che, proprio per la loro natura imprevedibile, rappresentano una sfida alla sicurezza antincendio poiché questi possono avvenire ovunque, anche dove non sono stati ipotizzati inneschi efficaci in fase progettuale.

1.3. FISICA DELL'INCENDIO

Prima di esporre i fattori che possono provocare un incendio, è fondamentale conoscere come questo può crearsi, propagarsi, e quali siano i suoi effetti collaterali sull'uomo.

Innanzitutto, un incendio è una reazione di combustione incontrollata avente come reagenti una sostanza riducente (il combustibile) e una ossidante (il comburente) con un forte sviluppo di calore e prodotti di reazione.



Equazione 1: Reazione di combustione

Perché la reazione di combustione avvenga, si deve avere la presenza contemporanea di combustibile, comburente e un innesco, la combinazione di questi tre fattori è anche conosciuta come *triangolo del fuoco* (Figura 1-3). Il *combustibile* è un qualsiasi materiale solido, liquido o gassoso capace di infiammarsi, ovvero di emettere gas di pirolisi infiammabili. Il *comburente* è la sostanza che sostiene la reazione di combustione. Usualmente è l'ossigeno presente in atmosfera, ma possono essere anche il cloro e l'ozono (usati come disinfettanti) oppure il monossido di diazoto (usato come gas medicale analgesico e anestetico). La coesistenza di un combustibile e di un comburente non dà sempre luogo ad una miscela infiammabile; infatti, è necessario che questi siano abbiano un rapporto compreso tra il limite di infiammabilità inferiore (*Lower Flammability Limit, LFL*) e quello superiore (*Upper Flammability Limit, UFL*). Infine, l'*innesco* è la fonte iniziale di energia necessaria per avviare la reazione. Questo può derivare da fonti esterne come fiamme, scintille o calore convettivo, condotto o irraggiato, oppure dallo stesso materiale nel caso dell'autocombustione. Perché possa essere un innesco, la fonte di energia deve essere efficace, ovvero deve avere temperatura e durata compatibile con le caratteristiche del combustibile.

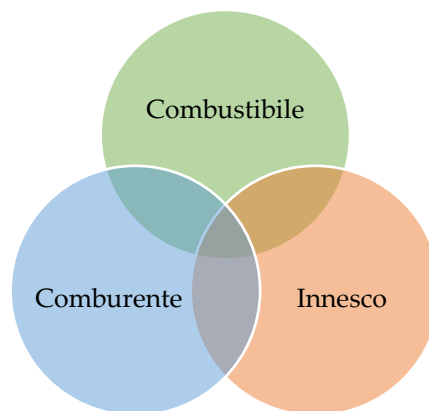


Figura 1-3: Triangolo del fuoco

I prodotti della reazione di combustione sono principalmente il fumo, contenente particolato, e il calore. Questi due elementi sono estremamente importanti ai fini della progettazione antincendio in quanto determinano le condizioni di incapacitazione degli occupanti a mettersi in salvo autonomamente. I fumi di combustione costituiscono un limite all'esodo attraverso l'oscuramento della visibilità e la presenza di gas tossici di reazione; il calore, invece, mediante la temperatura massima di esposizione e l'irraggiamento termico [31].

I gas di combustione che possono prodursi variano in quantità in relazione alla presenza di determinati materiali combustibili e all'eccesso o carenza di comburente. Generalmente i gas che vengono prodotti sono i seguenti.

- i. Acqua (sottoforma di vapore), H₂O
È la sostanza meno pericolosa perché non ha limiti di tossicità; tuttavia, un'elevata umidità (anche aggravata dall'azionamento dei sistemi di spegnimento) aumenta l'efficienza di convezione del calore dall'aria al corpo umano, il quale potrebbe non essere più capace di dissipare il calore e, quindi, causare condizioni di ipertermia all'occupante [32].
- ii. Biossido di carbonio, CO₂
Negli incendi senza carenza di ossigeno, è il gas più prodotto dalla reazione con una produzione stimata pari a 1.5 kg di CO₂ per ogni chilogrammo di combustibile [33]. Un'atmosfera avente di anomalo la sola elevata concentrazione di biossido di carbonio non è considerata come pericolosa; ad ogni modo è riconosciuto che una concentrazione al 2% può far aumentare la portata d'aria inalata del 50% [32].
- iii. Monossido di carbonio, CO
I vapori combustibili che contengono carbonio, durante la reazione di combustione, si scompongono in molecole di monossido di carbonio che, a loro volta, si legano all'ossigeno presente nell'aria per formare molecole di diossido di carbonio. Quest'ultima sotto-reazione è fortemente dipendente dall'apporto di ossigeno; infatti, negli incendi in cui questo apporto è basso (ad esempio in quelli al chiuso), la presenza di CO è estremamente rilevante ai fini della sicurezza degli occupanti. L'inalazione di questo gas causa anossia, ovvero la diminuzione di ossigeno a livello cellulare, dovuta al legame della molecola di CO anziché di ossigeno all'emoglobina. Nelle vicinanze dell'innescò si avranno concentrazioni letali di CO dopo appena 10 minuti, mentre l'atmosfera dell'intera stanza diventerà tossica dopo 1-3 ore [32].
- iv. Acido cianidrico, HCN
L'acido cianidrico è prodotto negli incendi di materiale polimerico contenente azoto. È una sostanza altamente tossica anche a concentrazioni basse: l'esposizione a 100 μL/L è mortale dopo 30-60 minuti, e dopo 10 minuti a 181 μL/L [32]. La sua formazione negli incendi è contenuta, infatti non sembra essere il principale agente causa di morte.

v. Acidi alogenidrici

Gli acidi alogenidrici sono idracidi di fluoro (HF), cloro (HCl) e bromo (HBr). Questi possono essere prodotti se all'incendio partecipano materiali polimerici contenenti alogeni, ad esempio il polivinilcloruro (meglio noto come PVC). Di queste sostanze, quella più rilevante è l'acido cloridrico (sviluppato dal PVC) perché altamente irritante per gli occhi e per le vie respiratorie anche a concentrazioni di soli 75 $\mu\text{L/L}$ [32].

vi. Sostanze organiche irritanti

La combustione incompleta di materiali organici produce sostanze organiche irritanti come la formaldeide, le aldeidi insature e gli isocianati. Le principali sostanze organiche da considerare sono l'acroleina e la formaldeide che sono estremamente tossiche per gli occhi e per le vie respiratorie per concentrazioni rispettivamente pari a 30 $\mu\text{L/L}$ e 250 $\mu\text{L/L}$ [32]. Gli effetti degli altri gas non sono pericolosi se considerati a sé, ma sicuramente contribuiscono ad aumentare le irritazioni causate dagli altri agenti.

1.3.1. CARICO D'INCENDIO

Il carico d'incendio esprime la severità di un incendio sulla base dell'energia termica potenziale che può liberarsi dalla combustione dei materiali presenti nell'area. Essendo un'energia si esprime in Joule, o più comunemente in suoi multipli.

Per i fini di progettazione e gestione delle attività soggette alla prevenzione incendi, si fa ricorso al valore del carico d'incendio specifico, ovvero del valore di energia termica potenziale in rapporto alla superficie del compartimento di calcolo. La norma tecnica EN 1991-1-2, nota anche come Eurocodice 2, che tratta le azioni sulle strutture esposte al fuoco indica come media del carico di incendio specifico delle stanze di ospedale un valore di 230 MJ/m^2 [34]. Il dato, seppur sia il più basso rispetto alle altre attività citate dalla norma tecnica, sembra essere abbastanza conservativo [35]. Infatti, i dati raccolti da un rilievo condotto in Francia su venti camere di un ospedale hanno restituito un valor medio del carico di incendio specifico di 188 MJ/m^2 . Inoltre, sono state calcolate le percentuali di materiale che rappresentano il materiale combustibile, concludendo che circa il 70% è rappresentato dal legno.



Figura 1-4: Composizione media del carico d'incendio negli ospedali. Rielaborazione di [35]

1.3.2. DINAMICA DELL'INCENDIO

Durante un incendio, la potenza termica emessa da questo (in campo tecnico nota come *Heat Release Rate*, HRR o *Rate of Heat Released*, RHR) non è costante nel tempo. Infatti, nei primi istanti dell'incendio, sta partecipando poco materiale e l'energia emessa è relativamente contenuta. Successivamente, l'incendio inizierà a propagarsi, il materiale coinvolto accrescerà e di conseguenza anche la potenza emessa aumenterà. La propagazione continuerà fino a quando tutti i materiali adiacenti non prenderanno fuoco, punto in cui la potenza termica emessa sarà massima e costante. Quando il combustibile è in esaurimento, l'incendio inizierà la sua fase di decrescita fino a quando la potenza termica emessa non diventerà nulla. L'andamento nel tempo è rappresentato qualitativamente in Figura 1-5.

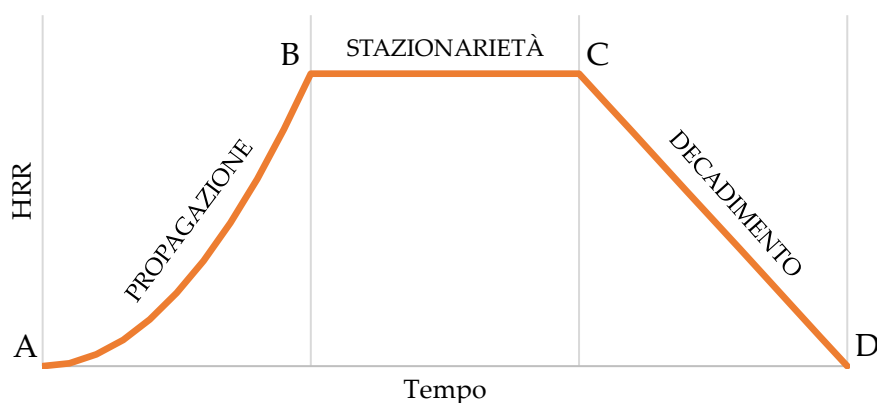


Figura 1-5: Andamento qualitativo della potenza termica rilasciata da un incendio confinato

Il primo tratto della curva (A-B) costituisce la fase di crescita dell'incendio. Durante questa fase, il fuoco si propaga dall'oggetto di primo innesco a quelli limitrofi con una velocità dipendente dal grado di reazione al fuoco posseduta da questi. La reazione al fuoco è approfondita nella sezione §1.6.1. Durante la prima porzione del tratto si devono concentrare le misure di salvaguardia della vita in quanto successivamente si raggiungeranno le condizioni incapacitanti per l'esodo, approfondite nella sezione §1.3.3.

Lungo il tratto di crescita vi è un punto noto come *flashover*. Se l'incendio è supportato da una sufficiente quantità di combustibile, una sufficiente ventilazione e una sufficiente potenza termica, in questo istante buona parte dei materiali combustibili emettono gas di pirolisi e, di conseguenza, si incendia quasi contemporaneamente. L'identificazione di questo punto è possibile con elaborazioni matematiche ed è imprescindibile per un approfondito studio della sicurezza antincendio della struttura perché il *flashover* rappresenta il momento in cui le misure di protezione diventeranno inefficaci a causa del sopraggiungimento di un ambiente incompatibile con la vita umana.

Il secondo tratto della curva HRR (B-C) costituisce la fase di stazionarietà dell'incendio. In questo lasso temporale, la potenza termica emessa è massima e costante. Questa fase non viene sempre raggiunta perché è indispensabile che l'energia termica disponibile nell'area sia maggiore di quella necessaria al raggiungimento del *flashover*.

Infine, l'ultimo tratto (C-D) è quello di decadimento; da questo momento l'incendio è in diminuzione a causa dell'esaurimento del combustibile. La potenza termica emessa decrescerà in modo lineare e verrà consumato circa il 30% dell'energia termica disponibile inizialmente.

1.3.3. CONDIZIONI INCAPACITANTI

Nella sezione §1.3 sono stati introdotti la fisica dell'incendio e i prodotti della reazione di combustione, che si possono riassumere in calore, fumo e prodotti tossici. Questi elementi costituiscono i quattro fattori che determinano l'incapacitazione, ovvero la condizione per la quale gli occupanti non sono più in grado di mettersi al sicuro autonomamente.

Le condizioni incapacitanti si raggiungono a causa della presenza dei gas tossici e irritanti (elencati nella sezione §1.3), dell'irraggiamento termico, della temperatura di esposizione e dell'oscuramento della visibilità da fumo. In Tabella 1-5 si riportano le prestazioni richieste correlate ad ogni fattore di incapacitazione indicate nella norma tecnica ISO 13571:2012 [31].

Fattore incapacitante	Prestazione correlata
Oscuramento della visibilità da fumo	Visibilità dei pannelli riflettenti non retroilluminati
Gas tossici e irritanti	Dose efficace dei gas tossici
	Concentrazione efficace dei gas irritanti
Calore	Temperatura di esposizione
	Irraggiamento termico

Tabella 1-5: Prestazioni correlate ai fattori incapacitanti. Rielaborazione di [31]

Il rapporto tecnico di standardizzazione ISO/TR 16738:2009 prevede l'utilizzo di ipotesi semplificative a esposizione nulla, consentendo l'esodo degli occupanti in ambiente quasi indisturbato da fumi e gas e da un irraggiamento contenuto [36]. I valori di riferimento adottati dalla normativa italiana sono riportati in Tabella 1-6.

Prestazione	Soglia
Altezza del fumo al di sotto del quale permane uno strato d'aria indisturbata	> 2 metri
Temperatura media dei fumi caldi	< 200 °C

Tabella 1-6: Prestazioni e soglie richieste nell'ipotesi di esposizione nulla. Rielaborazione di [36]

1.4. ANALISI DEL RISCHIO D'INCENDIO E DEI RISCHI CORRELATI

Nella valutazione di un rischio, lo stato dell'arte prevede come prima fase quella di identificazione dei rischi [37]. Uno dei principi di base di una valutazione dei rischi efficace è la personalizzazione (*customization*), ovvero la necessità di adattare il processo di valutazione al contesto e al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Nella fase preliminare viene generalmente utilizzata la tecnica dell'analisi storica incidentale, ovvero la ricerca e lo studio di incidenti o *near-miss* avvenuti in attività simili a quella presa in considerazione. Seppur possa sembrare contro il principio della personalizzazione, questa tecnica, in realtà, è necessaria per conoscere gli incidenti più frequenti e, quindi, non dimenticare o non ignorare quelli che potenzialmente potrebbero accadere, in quanto già avvenuti in altre attività simili. L'analisi storica incidentale è uno strumento di identificazione dei rischi speditivo e assolutamente non esaustivo, ma comunque utile nella fase preliminare, che poi dovrà essere integrato con tecniche più dettagliate che tengano in considerazione le particolarità dell'attività.

In letteratura si trova l'analisi storica degli incidenti in ambito ospedaliero elencati in Tabella 1-1, dalla quale sono state identificate le cause scatenanti [2]. Da questi, i ricercatori hanno potuto identificare i rischi d'incendio e i rischi durante l'evacuazione che sono maggiormente presenti negli ospedali.

1.4.1. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI CAUSA DI INCENDIO

I pericoli più frequenti che possono portare allo scoppio di un incendio all'interno di un ospedale risultano essere i seguenti [2].

i. Presenza di materiale combustibile

Come anticipato in introduzione, le strutture ospedaliere contengono numerosi materiali combustibili, tra i quali biancheria da letto e materassi nei reparti di degenza, agenti chimici anche estremamente infiammabili (per esempio l'alcol), recipienti in pressione e grandi quantità di materiale medico. Si può dedurre facilmente che, una volta avvenuto il primo innesco, il fuoco può propagare molto velocemente, dando luogo anche ad esplosioni localizzate. La presenza di questo materiale combustibile non è eliminabile ed è estesa in tutte le aree della struttura, rendendo complessa la gestione di questi materiali.

ii. Attrezzature con alte richieste di energia elettrica

Rispetto alle altre strutture civili, le strutture sanitarie necessitano di un elevato e costante apporto di energia elettrica, necessaria a garantire il funzionamento dei dispositivi elettromedicali. Considerati questi aspetti, sono prevedibili guasti ai circuiti di questi dispositivi che possono innescare e rapidamente propagare il focolare di

primo innesco. Individuare un potenziale guasto ai circuiti è molto complesso perché questi sono all'interno dei dispositivi; l'unica soluzione a questa problematica è la programmazione e attuazione della manutenzione periodica.

iii. Errata gestione degli impianti antincendio

Come richiesto dalla normativa nazionale, ma anche internazionale, le strutture sanitarie sono dotate di dispositivi e impianti di spegnimento. Uno studio ha provato che, in alcune situazioni, queste dotazioni sono inagibili o poco efficaci perché bloccate da sedie, letti o altri ostacoli che le rendono inutilizzabili in caso di emergenza [38]. Inoltre, nel caso di Corigliano Rossano (CS) del 12 marzo 2023, riportato nella sezione §1.1, si ha avuto l'evidenza del malfunzionamento al sistema di rivelazione e allarme che non si è attivato nonostante la presenza di una fitta cortina di fumo.

iv. Fattori umani

I casi del National Paediatric Hospital (Dublino, 2022) e del Croydon University Hospital (Londra, 2023), uniti a quelli già rappresentati nella sezione §1.1, suggeriscono che gli incendi di carattere doloso all'interno degli ospedali non siano un fenomeno da ignorare [39], [40]. Particolare attenzione va concentrata sia nei periodi critici (primo mattino, tarda sera e festività), che nei reparti con la presenza di persone mentalmente instabili.

v. Atmosfere ricche di ossigeno

La pandemia di Covid-19 ha contribuito all'aumento del rischio di incendio all'interno degli ospedali perché i pazienti affetti da questa malattia devono essere trattati con ossigeno mediale inviato dai ventilatori [41], [42]. Il Centro Comune di Ricerca dell'Unione Europea (EU-JRC) ha registrato almeno 60 incidenti causati dall'uso di ossigeno negli ospedali. Il risultato di questi è stata la morte di quasi 400 persone a causa degli effetti diretti dell'incendio oppure del blocco dell'erogazione di ossigeno [43]. È giusto ricordare che il fenomeno era già diffuso anche prima della pandemia; infatti, l'istituto di ricerca americano ECRI, già nel 2009, stimava che negli Stati Uniti avvenissero dai 500 ai 600 casi di incendio all'anno, buona parte di questi a causa delle atmosfere ricche di ossigeno [44].

1.4.2. IDENTIFICAZIONE DEI PERICOLI CORRELATI ALL'ESODO

Come detto in introduzione, la complessità dell'esodo in ambito ospedaliero porta con sé dei rischi intrinseci all'attività, dovuti alla diversità degli occupanti e alla geometria dei luoghi. Di seguito vengono elencati i problemi più comuni che sono stati identificati [2].

- i. Elevato numero di occupanti
Gli ospedali contengono un grande numero di persone: il personale medico, i pazienti e i loro accompagnatori; questo comporta un tempo d'esodo elevato, anche considerando la ridotta o nulla mobilità di questi. Inoltre, gli occupanti sono dislocati in tutte le aree della struttura e un eventuale segnale di allarme deve poter arrivare a tutti.
- ii. Non familiarità con l'ambiente
Questo fattore di rischio è causato dalla presenza di pazienti e dei loro accompagnatori che, verosimilmente, non hanno dimestichezza della struttura sanitaria. La tipologia di edificio, solitamente di grande volume e diviso in dipartimenti comunicanti tra loro, peggiora l'orientamento dell'occupante che, quindi, impiegherà maggior tempo a trovare la corretta via di fuga e contribuirà ad allungare il tempo d'esodo.
- iii. Differenti abilità motorie
Il tempo d'esodo di un compartimento è strettamente legato alla velocità di movimento dei suoi occupanti. Gli occupanti degli ospedali hanno un intervallo di velocità di movimento molto ampio a causa delle diversità di età, genere [45] e capacità motorie. Infatti, i pazienti allettati devono essere assistiti e accompagnati dal personale medico, prima per essere eventualmente disconnessi in modo corretto da attrezzature o impianti a cui sono collegati (es. dispositivi elettromedicali, ossigenoterapia), poi per poter abbandonare l'area oggetto di evacuazione. Tutte queste attività determinano una velocità d'esodo dei pazienti allettati molto alta, il che richiede un tempo d'esodo generale maggiore.
- iv. Reazioni inaspettate in condizioni di emergenza
Al verificarsi di un'emergenza, la condizione di malessere dei pazienti genera forti pressioni psicologiche e reazioni emotive, le quali scaturiscono in un maggior bisogno di sentirsi aiutati e, di conseguenza, una forte dipendenza dal personale medico. Alcuni studiosi hanno evidenziato che il personale medico che lavora nelle ore notturne ha la tendenza ad essere più confuso, pessimista e ansioso; condizioni che peggiorano l'efficienza delle procedure d'evacuazione [46].
- v. Spazio disponibile all'evacuazione ridotto lungo i corridoi
Nelle aree comuni e nei corridoi sono solitamente posizionate delle sedie a disposizione dei pazienti in attesa o degli accompagnatori. Inoltre, in alcune strutture, la carenza di posti letto rende necessario posizionare alcuni pazienti degenti lungo i corridoi. Mentre la prima problematica è gestibile avendo cura di rispettare gli spazi liberi ipotizzati durante la redazione del progetto di prevenzione incendi, la seconda è di difficile risoluzione per la direzione della struttura. In queste condizioni, le sedie e i letti sono un ostacolo al flusso di persone in evacuazione e riducono la larghezza della singola via d'esodo, rendendo più lungo il tempo d'esodo necessario.

1.5. MISURE ANTINCENDIO

Nella materia dell'ingegneria della sicurezza è radicata la definizione di rischio come prodotto tra la probabilità di accadimento di un evento incidentale e la magnitudo del danno che esso può causare.

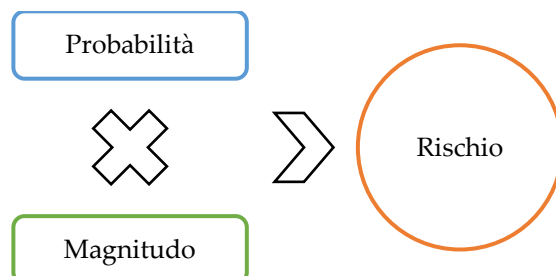


Figura 1-6: Equazione del rischio

Al fine di ridurre un rischio, è necessario ridurre almeno uno dei due fattori moltiplicativi. Se si agisce sulla probabilità, la misura intrapresa sarà di tipo preventiva ed avrà lo scopo di evitare il verificarsi dell'evento. Diversamente, se si vuole ridurre il valore di magnitudo, bisognerà predisporre misure protettive, ovvero di mitigazione delle conseguenze dannose che l'incidente può causare.

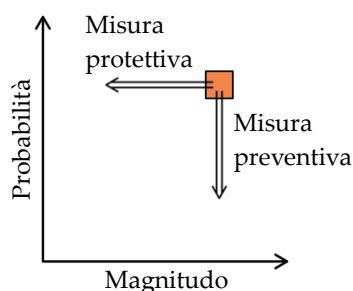


Figura 1-7: Rappresentazione grafica delle misure preventive e protettive

Le misure antincendio di tipo protettive, che seguono anch'esse la filosofia di cui sopra, sono ulteriormente suddivise in misure attive e passive. Si definiscono misure di protezione attiva l'insieme di dispositivi o impianti che richiedono l'attivazione da parte di una centralina o dell'uomo; lo sono, ad esempio, le attrezzature di controllo dell'incendio e i sistemi di rivelazione e allarme. Le misure di protezione passiva sono, invece, quelle che riguardano caratteristiche dell'edificio e dei materiali; lo sono la reazione al fuoco, la resistenza al fuoco, la compartimentazione e il sistema d'esodo. Le uniche misure antincendio di tipo preventive sono rappresentate dalle misure gestionali, ovvero quelle che garantiscono la riduzione della probabilità di innesco e l'efficienza di tutte le altre misure.

Di seguito vengono descritte le misure antincendio più rappresentative per il caso degli incendi in ambito ospedaliero, scelte sulla base delle considerazioni effettuate nella sezione §1.4.

1.5.1. GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

La gestione della sicurezza antincendio è l'insieme delle misure preventive e gestionali atte a impedire l'inizio di un incendio e garantire l'incolumità degli occupanti nel caso in cui l'incendio divampi [47].

Le misure antincendio preventive permettono un miglior controllo del rischio incendio, influenzando sulla probabilità di innesco. Infatti, queste misure prevedono principalmente le seguenti attività:

- i. pulizia dei locali al fine di ridurre la probabilità di innesco di polveri o rifiuti;
- ii. ordine nello stoccaggio dei materiali combustibili così da ridurre il carico di incendio specifico dell'area, in modo da limitare la velocità di propagazione delle fiamme;
- iii. riduzione o gestione degli inneschi efficaci quali superfici calde, fiamme, scintille, impianti elettrici, elettricità statica, onde elettromagnetiche ionizzanti e non ionizzanti, ultrasuoni, reazioni esotermiche;
- iv. controllo e manutenzione delle attrezzature e degli impianti che contribuiscono al rischio incendio;
- v. gestione dei lavori di manutenzione e di modifica del layout;
- vi. formazione e informazione del personale interno;
- vii. informazione a tutti gli occupanti mediante segnaletica, istruzioni o annunci dei divieti e delle precauzioni da osservare.

Parallelamente, devono essere attuate opportune misure gestionali capaci di mantenere efficaci nel tempo le attività preventive riportate precedentemente. Queste sono principalmente attività di pianificazione delle attività di controllo delle attrezzature e degli impianti antincendio, delle attività di formazione del personale e delle prove di emergenza ed evacuazione. Inoltre, devono essere attuate le misure di preparazione alle emergenze per mezzo della preparazione delle azioni da attuare e della designazione degli attori che risponderanno. Le emergenze da considerare non si devono limitare al solo incendio, ma dovrebbero estendersi a qualsiasi scenario incidentale ragionevolmente ipotizzabile, come i rischi naturali (tempeste, nubifragi, inondazioni, terremoti, ecc.), problemi tecnologici (interruzioni di corrente elettrica, incidenti di mezzi di movimentazione, rilasci di sostanze, ecc.), problemi sanitari (infortuni, malori, ecc.) e rischi provenienti da persone esterne (attentati, rapine, ecc.).

1.5.2. GESTIONE DELL'ESODO

Il sistema d'esodo è una misura di protezione passiva avente la finalità di assicurare la permanenza degli occupanti e l'esodo sicuri prima che l'incendio costituisca le condizioni incapacitanti per l'esodo approfondite nella sezione §1.3.3.

I testi tecnici e la letteratura scientifica identificano metodologie di esodo diverse, ognuna delle quali ha obiettivi di sicurezza differenti. Le strategie di esodo possono essere raggruppate nelle seguenti categorie [48]:

- i. evacuazione di tutti gli occupanti all'esterno della struttura (o esodo simultaneo totale);
- ii. protezione degli occupanti sul posto;
- iii. spostamento degli occupanti in un ambito sicuro interno alla struttura;
- iv. evacuazione per fasi.

La prima procedura di esodo, al punto i, è la più utilizzata per le strutture con meno di sei piani ed attualmente è la più comune. Negli edifici molto alti si rende necessaria un'attenta valutazione di rischio e una progettazione specifica delle vie d'esodo, anche con l'aiuto delle simulazioni computazionali. Inoltre, sembrano essere estremamente utili sia l'installazione di ascensori antincendio per aumentare la portata delle vie d'esodo verticali, sia l'uso di sistemi di comunicazione che informino gli occupanti sull'evoluzione dell'emergenza e sulle corrette azioni da adottare.

La seconda metodologia, al punto ii, prevede l'implementazione di misure di sicurezza atte a proteggere dall'incendio e dai suoi prodotti gli occupanti nel punto in cui si trovano. Questa opzione è utilizzata nelle attività dove c'è la presenza di occupanti che necessitano di assistenza per muoversi e dove la volumetria è notevolmente compartimentata; queste sono, generalmente, le strutture sanitarie e i penitenziari. Inoltre, la protezione sul posto deve essere accompagnata da misure attive capaci di ridurre l'avanzamento delle fiamme e del fumo, ma anche da misure passive in grado di bloccare gli effetti dannosi dell'incendio.

La terza strategia, al punto iii, rappresenta una variante a quella precedente e prevede lo spostamento degli occupanti dall'area pericolosa ad un'altra sicura. Come per la protezione sul posto, è una strategia utilizzata per le strutture sanitarie e i penitenziari e necessita di essere accoppiata a idonee misure di protezione attive e passive.

L'ultima procedura, al punto iv, combina quella di spostamento verso un luogo sicuro a quella di esodo simultaneo, solo nel caso in cui l'ambito non perde i requisiti per essere considerato sicuro. Sostanzialmente, gli occupanti prossimi al pericolo sono trasferiti in un luogo che garantisce la protezione sul posto, ma, se il pericolo si estende fino a questo luogo, allora si procederà con l'esodo totale. Questa procedura ottimizza l'uso delle vie d'esodo, poiché l'area in evacuazione disporrà di uscite non congestionate dal flusso delle altre aree non in evacuazione. Per migliorare un eventuale esodo simultaneo, è ritenuto utile informare gli

occupanti non in evacuazione dello stato di emergenza, in modo tale che siano vigili e pronti per iniziare tempestivamente il loro successivo esodo.

Una volta effettuata la valutazione del rischio, definiti gli scenari di incendio e la individuata la tipologia di evacuazione, il passo successivo è quello di verificare l'efficacia delle misure agli obiettivi di sicurezza. Nelle progettazioni prestazionali, in questa fase si confrontano il tempo necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro (*Required Safe Evacuation Time*, RSET) a quello disponibile nel quale permangono le condizioni non incapacitanti (*Available Safe Evacuation Time*, ASET). Il periodo ASET può essere calcolato con modelli matematici avanzati o semplificati che simulano il raggiungimento delle condizioni di incapacitazione espresse nella sezione §1.3.3. Il periodo RSET è, invece, calcolato come la somma dei tempi impiegati statisticamente dagli occupanti per arrivare al luogo sicuro dal momento dell'inizio del pericolo, come rappresentato nella Figura 1-8.

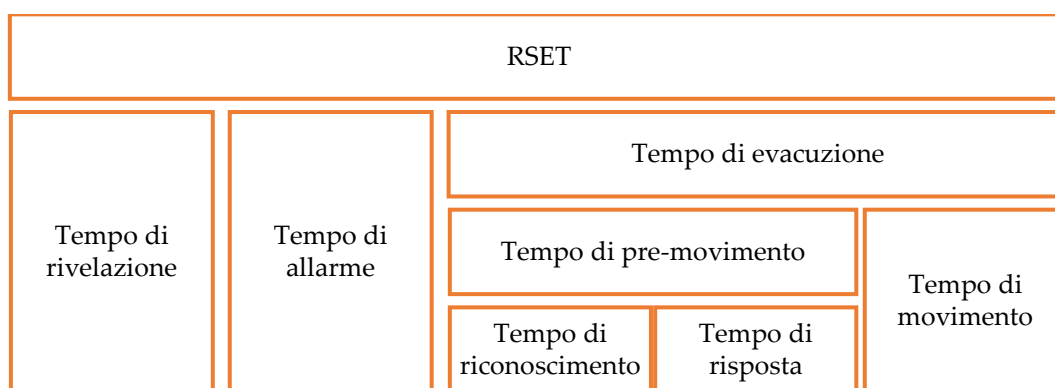


Figura 1-8: Composizione del periodo RSET

Il tempo di rivelazione t_{det} (*time detection*) è l'intervallo tra l'inizio dell'evento incidentale e la rivelazione dell'evento da parte delle persone o dei sistemi di rivelazione, mentre quello di allarme t_{war} (*time warning*) è l'intervallo tra la prima rivelazione e la diffusione dell'allarme. Nelle attività dotate di sistemi di rivelazione e di allarme automatici, i tempi sono determinati dal costruttore, dalle modalità di installazione e dalla logica di funzionamento; altrimenti, in quelle non dotate di sistemi automatici, le funzioni di rivelazione dell'incendio e di diffusione dell'allarme sono demandate al personale interno che risponderanno in modo diverso a seconda delle interazioni tra fattori umani, struttura e tipologia di emergenza [49]. In quest'ultimo caso, la determinazione del tempo di risposta del personale è estremamente variabile e, solitamente, si stima che possa essere pari a quella di incidenti similari che, comunque, variano da 0.5 a circa 27 minuti [50].

Il tempo di pre-movimento t_{pre} (*time pre-evacuation*) rappresenta il ritardo tra la diffusione dell'allarme e l'inizio dell'evacuazione ed è costituito da due periodi distinti: il tempo di riconoscimento dell'allarme e il tempo di preparazione all'evacuazione. Questo periodo è molto variabile da caso a caso in funzione, ad esempio, dei seguenti fattori: tipologia di

struttura, layout e complessità; sistemi impiegati per la diffusione dell'allarme; risorse umane e loro formazione; prontezza nella reazione degli occupanti; attività svolta e rumore di fondo; familiarità degli occupanti con la struttura; relazione tra gli occupanti [51]. In progettazione, questo tempo è ipotizzato simile a quello calcolato da incidenti o simulazioni passati. Oltre ai dati ricavati dalla letteratura scientifica riportati in Tabella 1-7, sono di seguito proposti degli approfondimenti. Da una simulazione di emergenza svolta nell'ospedale di Blackheath (Londra), i 19 pazienti coinvolti hanno risposto all'allarme in 30-66 secondi (media 50.8"), mentre i 14 membri del personale hanno risposto in 16-91 secondi (media 44.1") [52]. Inoltre, in due studi è stato dimostrato che la presenza di persone con disabilità fisiche aumenta il tempo necessario al pre-movimento degli occupanti: nel primo studio, gli occupanti non vedenti hanno impiegato 2.47 volte il tempo usato dagli occupanti senza disabilità, mentre quelli su carrozzina 2.36 volte [53]; nel secondo studio, gli occupanti in carrozzina hanno impiegato da 1.6 a 1.9 volte il tempo in condizioni diurne, mentre 2.4 volte in condizioni notturne [54].

Occupante	Tempo di pre-movimento [s]			
	Min	Max	Media	Dev. Std.
Persona con mobilità ridotta	30	90	60	20
Persona su sedia a rotelle	100	120	110	36
Persona su letto di degenza	180	900	360	40

Tabella 1-7: Tempi di pre-movimento in ambito ospedaliero. Dati da [50]

Il tempo di movimento t_{trav} (da *travel*) è il periodo necessario agli occupanti per abbandonare l'area pericolosa e raggiungere un luogo sicuro. Ai fini ingegneristici, i tre fattori che determinano il tempo di movimento sono la densità degli occupanti, la loro velocità e il flusso determinato dalla portata delle vie d'esodo. I valori di densità degli occupanti e di flusso in esodo è stimabile dalla tipologia di attività svolta e della geometria della struttura. Risulta più complesso, invece, predire la velocità degli occupanti; a tal fine si possono ritenere utili le conclusioni dedotte da alcuni studi, alcuni dei quali effettuati in ambiente ospedaliero. Di questi se ne riportano le risultanze nella Tabella 1-8.

Occupante	Movimento	Velocità orizzontale [m/s]				Fonte
		Min	Max	Media	SD	
Soccorritore	Libero	0.65	2.05	1.35	0.25	[55]
		0.63	1.25	-	-	[56]
Paziente	Mobilità ridotta	0.84	1.40	1.12	0.28	[55]
	Sedia a rotelle	-	-	0.63	0.04	
	Letto di degenza	-	-	0.40	0.04	[55]
		0.29	0.50	-	-	[56]
	Sedia di evacuazione <i>evac+chair</i>	-	-	1.5	-	[57]
	Sedia di evacuazione <i>carry-chair</i>	-	-	1.5	-	
	Barella	-	-	1.1	-	
Materasso con <i>slide-sheet</i>	-	-	0.9	-		

Tabella 1-8: Velocità di esodo in ambito ospedaliero.

1.5.3. SISTEMI DI RIVELAZIONE DELL'INCENDIO

I sistemi automatici di rivelazione dell'incendio, associati a quello di allarme, sono fondamentali per la strategia di protezione degli occupanti in caso di incendio in quanto permettono l'identificazione di un principio di incendio anche nei luoghi non costantemente presidiati e, quindi, consentono l'attivazione delle procedure di soppressione dell'incendio e di evacuazione nella fase meno pericolosa.

Attualmente vi sono molteplici tecnologie di rivelazione dell'incendio, basate sulla misura ed elaborazione dei parametri ambientali che vengono alterati da un incendio. Dalla revisione della letteratura scientifica a riguardo, si possono identificare quattro tipologie di rilevatori descritti di seguito, da quelli più comunemente usati a quelli di nuova concezione ed ancora in via di sviluppo [58].

i. Rivelatori di calore

Questa prima tipologia, nonché la più diffusa, misura il livello di energia termica convettiva trasferita dall'ambiente ad un elemento termosensibile, il quale fa variare la resistenza (rivelatori elettrici e a termocoppia), l'indice di rifrazione (riv. ottici), lo spostamento (riv. a lamina bimetallica) o altri parametri che influenzano il segnale in un circuito elettrico. L'elaborazione del dato può avvenire in tre modalità diverse: a temperatura fissata (riv. termostatico) quando il sensore si attiva al superamento di un valore soglia (58 °C o più); *rate-of-rise* (riv. termovelocimetrico) quando si attiva a

seguito di un aumento di circa 8 °C in 1 minuto; oppure *rate-compensation* quando l'ambiente circostante raggiunge una temperatura fissata.

ii. Rivelatori di gas

Questi apparecchi rivelano l'incendio misurando la quantità dei prodotti di reazione generati dalla combustione (§1.3). Il rivelatore si attiva quando identifica una variazione di segnale in uscita dal sensore, che può essere un semiconduttore, un "pellistor", a fotoionizzazione, a infrarossi o elettrochimico. Altre tipologie possono usare la tecnologia laser o la gascromatografia.

iii. Rivelatori di fiamma

Questi rivelatori utilizzano tecniche di misura della radiazione termica ed impiega fotocellule sensibili alle onde elettromagnetiche di tipo UV, visibile e IR che elaborano i tre segnali contemporaneamente per restituire un segnale.

iv. Rivelatori di fumo

Questi rivelatori misurano la quantità di particolato nell'aria prodotto dall'incendio con sensori fotoelettrici o a ionizzazione (tecniche non visive) oppure mediante l'impiego di videocamere.

In questa materia la ricerca è attualmente molto attiva; infatti, altre tecniche di rivelazione sono in via di sviluppo. Tra queste si vogliono citare quelle basate sulla misurazione delle microonde per la rivelazione di incendi forestali [59] e quelle incentrate sulla branca delle reti neurali e dell'intelligenza artificiale mediante l'analisi di immagini videoregistrate [60].

1.5.4. SISTEMI DI DIFFUSIONE DELL'ALLARME VOCALI

I sistemi vocali di diffusione dell'allarme (in inglese *voice alarm systems*) sono un innovativo sistema per informare gli occupanti dell'inizio di uno stato di emergenza e comunicare loro le istruzioni per una regolare applicazione delle procedure di emergenza previste. Rappresentano l'evoluzione degli allarmi a sirena o a campanella in quanto rendono più efficiente la comunicazione del sistema di gestione della sicurezza verso gli occupanti [61]. Infatti, i sistemi non vocali riproducono un suono che potrebbe non essere percepito come un allarme e, inoltre, non possono fornire altre informazioni.

Anche questo sistema, però, ha delle problematiche. La prima è data dalla possibilità di poter essere ignorata in quanto percepita come un messaggio non di allarme, ad esempio pubblicitario o informativo. Inoltre, considerato che il messaggio di allarme è emesso alla normale frequenza del parlato, potrebbe essere sovrastato dal rumore di fondo della folla soprattutto se in situazioni di confusione o panico generale. In ultima analisi, il messaggio vocale potrebbe non essere capito dalle persone che non conoscono le lingue utilizzate. Una

soluzione a questi aspetti negativi potrebbe essere la diffusione del messaggio vocale a seguito di un suono di sirena o di campanella.

1.5.5. PRECAUZIONI CONTRO LE ATMOSFERE RICCHE DI OSSIGENO

Come già scritto nella sezione §1.4.1, durante i mesi più critici dell'epidemia da Covid-19 si è registrato un aumento del numero di incendi nelle strutture sanitarie causati dall'involontaria presenza di atmosfere ricche di ossigeno medicale rilasciato dai dispositivi di ventilazione meccanica. La presenza di ossigeno in alte concentrazioni è molto problematica perché, essendo una parte fondamentale del triangolo del fuoco visto nella sezione §1.3, è responsabile del rapido accrescimento del focolare e, quindi, del minor tempo disponibile per l'evacuazione a causa del prematuro raggiungimento delle condizioni incapacitanti. Inoltre, la pericolosità è maggiorata dalla sua natura di sostanza incolore e inodore, quindi irriconoscibile per l'essere umano senza l'ausilio di strumenti [62].

Nell'aprile del 2022 è stato pubblicato uno studio su questo fenomeno [63]. I ricercatori hanno misurato la concentrazione di ossigeno nell'aria di un reparto CIDD (*Covid-19 Internal Disease Department*) rilevando un valore medio di 22.6% (21.0 – 25.2%), maggiore rispetto a quello trovato nei reparti di degenza pari a 21.5% (20.9 – 25.2%) e nei reparti di terapia intensiva equipaggiati di sistemi di ricambio dell'aria pari a 21.0% (20.9 – 21.4%). Dopodiché, eseguendo un'analisi con un software di fluidodinamica computazionale, hanno concluso che ad un aumento della concentrazione di ossigeno pari all'1% corrisponde un aumento della potenza termica emessa massima RHR_{max} dell'8% e una diminuzione del tempo disponibile per l'esodo ASET di 40 secondi. Inoltre, è stato stimato che il tempo affinché la stanza con atmosfera ricca di ossigeno raggiunga le condizioni incapacitanti è di soli 2.5 minuti dal momento dell'innesco.

Alla luce di quanto descritto, risulta necessario implementare misure di sicurezza specifiche per i reparti in cui può essere eseguita ossigenoterapia. Nelle conclusioni dello studio precedentemente citato, i ricercatori hanno proposto dieci accorgimenti che diminuirebbero i rischi di questa attività. Di seguito si riportano gli estratti rielaborati di quelli considerati più rilevanti ai fini di questo elaborato.

- i. Eliminare quanti più possibili elementi tra sostanze infiammabili e fonti di innesco.
- ii. Redigere istruzioni per il personale sanitario in merito al massimo numero di pazienti sottoposti ad ossigenoterapia all'interno di una stanza. Queste dovrebbero tenere conto della portata di ossigeno introdotta nell'ambiente e della ventilazione disponibile.
- iii. Formazione del personale medico sugli aspetti pericoli dell'ossigeno nei confronti dell'incendio.
- iv. Unità di trattamento dell'aria dotati di sensori per l'ossigeno in modo che, quando rilevano un'alta concentrazione di ossigeno, aumentino la portata di aria immessa.

- v. Implementazione di un sistema di allarme di superamento della soglia di concentrazione di ossigeno. In questo caso dovrebbero essere previste misure per aumentare la ventilazione dell'area con ventilatori portatili o aprendo le finestre.
- vi. In caso di modifica temporanea dei luoghi, per esempio per l'isolamento di ambienti destinati ai pazienti affetti da Covid-19, è raccomandato effettuare una valutazione dell'efficienza della ventilazione ed eventualmente sopperire al problema con sistemi di ventilazione meccanica ausiliari.
- vii. Riorganizzare il piano di evacuazione tenendo in considerazione il rapido sviluppo dell'incendio e il tempo disponibile per l'esodo ridotto.

1.6. NORMATIVA ITALIANA IN MATERIA DI SICUREZZA ANTINCENDIO

L'attuale normazione relativa alla prevenzione incendi vigente in Italia parte dal decreto del Presidente della Repubblica n. 151 del 1° agosto 2011 [64] che identifica 80 attività soggette al controllo da parte dei Vigili del Fuoco e le suddivide in tre categorie di rischio denominate A (la più bassa), B e C (la più alta). Mentre per la prima categoria il controllo viene esercitato solo mediante conoscenza della presenza dell'attività su segnalazione da parte del responsabile ed eventualmente di una visita tecnica a campione, per le due categorie a rischio più alto viene anche effettuata la verifica dei progetti di prevenzione incendi redatti da appositi professionisti. Questi elaborati contengono le risultanze della progettazione antincendio, ovvero della cosiddetta "strategia antincendio".

La strategia antincendio viene elaborata sulla base dei requisiti richiesti dal Codice di Prevenzione Incendi (di seguito Codice), testo normativo approvato con il decreto del Ministro dell'interno del 3 agosto 2015 [65]. Nel momento in cui si sta scrivendo questo elaborato, il testo si applica a 51 attività delle 80 identificate dal DPR 151/2011, tra cui alle strutture sanitarie. Questa attività, identificata con il numero 68, è ulteriormente suddivisa nelle tre categorie di rischio introdotte precedentemente in funzione del numero di posti letto (per le strutture con servizio di ricovero), oppure della superficie complessiva (per le strutture con servizi ambulatoriali). Sotto la soglia dei 25 posti letto o dei 1000 m, l'attività non rientra nel campo di applicazione del DM 03/08/2015.

N.	Attività	Categoria		
		A	B	C
	Strutture sanitarie che erogano prestazioni in regime di ricovero ospedaliero e/o residenziale a ciclo continuativo e/o diurno, case di riposo per anziani con oltre 25 posti letto	fino a 50 posti letto	fino a 100 posti letto	oltre 100 posti letto
68	Strutture sanitarie che erogano prestazioni di assistenza specialistica in regime ambulatoriale, ivi comprese quelle riabilitative, di diagnostica strumentale e di laboratorio, di superficie complessiva superiore a 500 m ²	fino a 1.000 m ²	oltre 1.000 m ²	-

Tabella 1-9: Criteri di suddivisione dell'attività n. 68 in categorie

Il Codice di Prevenzione Incendi è suddiviso in quattro macro-capitoli, ognuno dei quali tratta un aspetto particolare della progettazione antincendio, così come descritto nel seguito.

- Generalità

È la parte introduttiva nella quale sono riportate le definizioni dei termini utilizzati nel testo, gli obiettivi della progettazione della sicurezza antincendio e la metodologia generale sull'uso del Codice.

- Strategia antincendio

È il cuore della norma, in quanto contiene le dieci misure antincendio che costituiscono la strategia antincendio. Le misure sono di carattere passivo, attivo e gestionale e sono tutte di applicazione obbligatoria per ogni attività. Queste misure prendono il nome di regole tecniche orizzontali, ovvero indicazioni valide a tutte le attività rientranti nel campo di applicazione del Codice.

- Regole tecniche verticali

Considerata la moltitudine, e quindi l'eterogeneità, delle attività assoggettate al Codice, è stato necessario emanare specifici requisiti per alcune tipologie di queste. Infatti, il capitolo si suddivide in 15 parti, ognuno dei quali fornisce indicazioni complementari o sostitutive a quelle previste da quello precedente, al fine di rendere le prescrizioni più adatte alla specifica attività.

Tra le attività che necessitano di questa particolare attenzione, vi è quella delle strutture sanitarie. La regola tecnica verticale specifica per queste attività è la RTV 11 ed è stata introdotta come aggiornamento al Codice originale dal DM 29/03/2021.

- Metodi

Quando le soluzioni tecniche previste dalle misure antincendio non possono essere completamente attuate, il Codice permette di ricorrere ai metodi di *fire safety engineering*, ovvero all'applicazione di principi scientifici e ingegneristici per raggiungere i medesimi obiettivi di sicurezza.

Come anticipato nelle righe precedenti, l'unione delle dieci misure antincendio compone la strategia. Le regole tecniche verticali forniscono prescrizioni normative, chiamate soluzioni, in base alle risultanze della valutazione dei rischi effettuata considerando come recettori di danno sia l'essere umano che i beni e l'ambiente. Al termine della valutazione saranno attribuiti tre profili di rischio, uno per recettore del danno. Quello che riguarda gli effetti sull'uomo prende il nome di *rischio vita* (simboleggiato R_{vita}) ed è attribuito in funzione delle caratteristiche di familiarità e del possibile stato di addormentamento. Oltre a questi criteri di attrizione, sono forniti appositi profili di rischio per le strutture che forniscono cure mediche ($R_{vita} = D$) e per quelle relative all'utilizzo dei mezzi di trasporto pubblici.

1.6.1. REAZIONE AL FUOCO

La reazione al fuoco è una misura di protezione passiva utile nella fase iniziale dell'incendio, quando l'edificio è ancora occupato. Ha l'obiettivo di limitare l'innesco dei materiali e, quindi, la propagazione dell'incendio al fine di permettere l'evacuazione in sicurezza degli occupanti. La misura riguarda le proprietà di infiammabilità, di produzione di fumi e di gocce ardenti

dei materiali di rivestimento, degli arredi (compresi i materassi e la relativa biancheria), dell'isolamento e degli impianti sottoposti al fuoco.

In base ai profili di rischio determinati, il Codice prescrive le caratteristiche di reazione al fuoco che dovranno avere determinati oggetti contenuti all'interno dei locali, richiedendo una prestazione migliore a quelli presenti nelle vie d'esodo.

All'interno dei reparti di degenza, nei quali si suppone un R_{vita} pari a D , sarà necessario avere materiali che contribuiscano in modo moderato all'incendio; mentre, nelle vie d'esodo, saranno necessari materiali che abbiano reazione al fuoco trascurabile.

1.6.2. COMPARTIMENTAZIONE

La compartimentazione è una misura di protezione passiva necessaria per limitare la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti all'interno della stessa attività. Prevede di suddividere la volumetria della struttura in porzioni denominate *compartimenti antincendio*, definiti come parti dell'opera da costruzione delimitati da elementi costruttivi (muri, solai, ecc.) e prodotti (porte, ecc.) idonei a garantire la resistenza al fuoco per un lasso di tempo congruo alle caratteristiche dell'attività.

Alcuni compartimenti ritenuti particolarmente rilevanti per la regolare attuazione della procedura d'esodo possono essere progettati *a prova di fumo*, ossia tali per cui non siano raggiunti dai prodotti di combustione di un incendio divampato all'interno di un altro compartimento. Quello che si consegue è il confinamento dell'incendio e dei suoi prodotti all'interno del compartimento di primo innesco, mantenendo la restante porzione della struttura sicura per le sole operazioni di soccorso oppure per il proseguo dell'attività.

I *filtri* e i *filtri a prova di fumo* sono speciali compartimenti costituenti il sistema d'esodo, quindi fondamentali per un'efficace evacuazione. In queste porzioni di struttura è considerato inverosimile l'innesco di un incendio perché sono progettate e mantenute per avere un ridotto carico d'incendio e inneschi inefficaci.

In presenza di un'attività ospedaliera, quindi con R_{vita} pari a D , il Codice prescrive un'indicazione aggiuntiva riguardo la resistenza al fuoco. Infatti, agli elementi costruttivi e ai prodotti, oltre a dover contenere l'incendio e i prodotti di combustione, è richiesto di limitare il passaggio dei gas e dei fumi freddi.

1.6.3. RESISTENZA AL FUOCO

La resistenza al fuoco è una misura di protezione passiva utile a garantire, in caso di incendio, il mantenimento della capacità portante degli elementi strutturali e della capacità di compartimentazione per un lasso temporale congruo al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio che si vogliono raggiungere. Infatti, a seconda della rilevanza dell'attività svolta all'interno dell'edificio, si possono richiedere alla struttura diversi livelli di sicurezza. Il livello più basso permette il collasso della struttura salvo che non causi danni a persone o altri beni. Dal livello successivo non è più permesso il collasso ed è richiesto il mantenimento dei requisiti di capacità portante e compartimentazione per un periodo di tempo utile all'esodo degli occupanti (livello II) oppure per un periodo congruo alla durata dell'incendio (livello III). I successivi e ultimi due livelli sono i più performanti in quanto richiedono rispettivamente il limitato danneggiamento della struttura oppure la totale funzionalità anche dopo la fine dell'incendio.

I requisiti di resistenza al fuoco si raggiungono fornendo agli elementi costruttivi e ai prodotti di compartimentazione specifiche *prestazioni di resistenza al fuoco*. Nella tabella seguente vengono elencati e descritti quelli più significativi ai fini di questo lavoro.

Prestazione	Simbolo	Descrizione
Capacità portante	R	È l'attitudine dell'elemento costruttivo strutturale di continuare a mantenere i carichi a lui assoggettati anche in condizioni di incendio.
Tenuta	E	È la capacità di un elemento o di un prodotto di impedire il passaggio dei fumi e dei gas caldi di combustione.
Isolamento	I	È la capacità di un elemento o di un prodotto di impedire il passaggio di calore, mantenendo la faccia non esposta all'incendio ad una temperatura tale da non essere fonte di innesco.
Irraggiamento	W	È la capacità di un elemento o di un prodotto di limitare l'emissione di energia radiante dalla faccia non esposta all'incendio. Il soddisfacimento di questa prestazione è sottinteso in quella di Isolamento.
Azione meccanica	M	È la capacità di un elemento o di un prodotto di mantenere le altre prestazioni anche dopo l'impatto da un altro elemento.
Tenuta al fumo	S	È la capacità di un elemento o di un prodotto di impedire il passaggio dei fumi e dei gas freddi di combustione.

Tabella 1-10: Prestazioni di resistenza al fuoco

Come già esposto nella sezione §1.5, i requisiti di resistenza al fuoco devono permanere almeno per un periodo di tempo minimo. Questo intervallo è fornito dal Codice e varia in funzione del carico di incendio specifico presente nel compartimento, per valori che possono raggiungere fino i 240 minuti. Nel caso degli ospedali, esiste una disposizione sostitutiva prescritta dalla regola tecnica verticale che richiede il mantenimento dei requisiti di resistenza

al fuoco per almeno 60 minuti negli edifici aventi quota di tutti i piani compresa tra -10 metri e 32 metri, oppure per almeno 90 minuti se al di fuori dei limiti precedenti.

1.6.4. ESODO

Per l'approfondimento della gestione dell'esodo si rimanda alla sezione §1.5.2.

Il Codice permette l'utilizzo di tutte le diverse metodologie di esodo studiate dalla ricerca. Le prescrizioni presenti nel testo normativo indicano ai progettisti antincendio i valori minimi di geometria e numero delle vie d'esodo orizzontali e verticali, di lunghezza del percorso d'esodo e di realizzazione dei percorsi protetti.

Per le strutture sanitarie, la regola tecnica verticale impone l'esodo degli occupanti per spostamento in un ambito sicuro interno alla struttura (definito dal Codice come "esodo progressivo orizzontale"). Sostanzialmente è richiesto di suddividere i piani dell'attività in almeno due compartimenti, ognuno dei quali dovrà:

- poter contenere gli occupanti normalmente presenti e quelli dei compartimenti in evacuazione;
- avere vie d'esodo maggiorate in modo da evacuare i suoi occupanti e la metà di quelli che lo impiegano in caso di evacuazione;
- avere almeno due vie d'esodo indipendenti.

Inoltre, nei compartimenti con la presenza di occupanti degenti è obbligatorio avere un ascensore antincendio di dimensioni tali da poter accogliere anche gli occupanti non deambulanti (sedie a rotelle, barella, letto, ecc.). Un ascensore è di tipo antincendio quando è installato per l'uso degli occupanti ma, poiché dotato di particolari protezioni, è utilizzabile anche in caso di incendio sotto la supervisione delle squadre di soccorso.

1.6.5. GESTIONE DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

Per l'approfondimento della gestione della sicurezza antincendio si rimanda alla sezione §1.5.1.

Questa misura è l'unica del Codice di carattere organizzativo e gestionale. Racchiude tutte le attività preventive da eseguire già identificate precedentemente e le richieste burocratiche ai fini della vigilanza da parte degli organi preposti. Ai fini della gestione della sicurezza in esercizio, il Codice identifica le seguenti otto attività.

- Registro dei controlli
È un registro nel quale il responsabile dell'attività annota: le verifiche e la manutenzione dei sistemi antincendio; le attività di formazione, informazione e addestramento; le prove di evacuazione.
- Piano per il mantenimento del livello di sicurezza antincendio
È un piano che contiene la programmazione delle attività di controllo degli impianti e di formazione, informazione e addestramento degli occupanti al fine di mantenere il livello di sicurezza costante lungo tutto l'arco di attività.
- Controllo e manutenzione di impianti e attrezzature antincendio
Rappresenta l'obbligo di mantenere in efficienza il sistema antincendio secondo le disposizioni legislative, secondo la regola dell'arte e secondo le informazioni contenute nel manuale d'uso del dispositivo.
- Preparazione all'emergenza
Rappresenta l'obbligo di redigere un piano di emergenza che possa rispondere agli scenari incidentali ipotizzati e di diffonderne la sua conoscenza agli occupanti mediante la formazione e l'informazione.
- Centro di gestione delle emergenze
Se previsto, è il luogo preposto al coordinamento delle operazioni di emergenza. Il Codice indica il materiale minimo di cui dovrà essere fornito il locale.
- Unità gestionale GSA
È l'eventuale struttura interna che provvede al monitoraggio e all'aggiornamento delle procedure gestionali in materia di sicurezza antincendio. In emergenza è la struttura che attua e coordina i provvedimenti di sicurezza.
- Revisione periodica
Rappresenta l'obbligo di mantenere efficiente il sistema gestionale, revisionando la documentazione in materia di sicurezza antincendio a cadenza periodica.

L'obbligatorietà della redazione di un piano di emergenza, oltre che dal quarto punto "Preparazione all'emergenza", deriva dagli articoli 43 e 45 del decreto legislativo n. 81 del 9 aprile 2008. Il secondo articolo citato rimanda al recente decreto del Ministro dell'interno del

2 settembre 2021, il quale regola la gestione della sicurezza antincendio in esercizio e in emergenza nelle attività lavorative rientranti in determinati parametri, nei quali rientrano anche le strutture sanitarie. Lo stesso testo, nell'allegato I, articolo 1.3, comma 1, obbliga l'organizzazione di esercitazioni antincendio inerenti alle procedure di esodo e di primo intervento. Gli obblighi di cui sopra sono in capo al datore di lavoro che, per le aziende ospedaliere del servizio sanitario nazionale, risulta la figura del direttore generale [66].

Il piano di emergenza, secondo il DM 02/09/2021, deve contenere le azioni che i lavoratori devono mettere in atto in caso di incendio ponendo particolare attenzione alle persone a cui sono affidate particolari responsabilità, le procedure per l'evacuazione dei luoghi, le disposizioni per richiedere l'intervento dei Vigili del Fuoco e le misure specifiche per l'assistenza delle persone con esigenze speciali. Il documento dovrà essere corredato da planimetrie che riportano la geometria del luogo, l'ubicazione di tutti i dispositivi utili in caso di incidente, i locali a rischio specifico e l'indicazione degli ascensori antincendio.

1.6.6. RIVELAZIONE E ALLARME DELL'INCENDIO

Per l'approfondimento sullo stato dell'arte della rivelazione dell'incendio e della diffusione dell'allarme si rimanda alle sezioni §1.5.3 e §1.5.4.

Questa misura ha l'obiettivo di realizzare un IRAI (Impianto di Rivelazione e Allarme dell'Incendio) utile per rivelare un incendio e diffondere l'allarme, al fine di poter attivare le misure protettive attive e gestionali.

Il Codice identifica quattro diverse tipologie di IRAI:

- Livello I) rivelazione dell'incendio a cura degli occupanti e diffusione dell'allarme secondo procedure codificate;
- Livello II) rivelazione dell'incendio a cura degli occupanti che dovranno segnalarlo all'impianto manualmente e diffusione dell'allarme automatico;
- Livello III) rivelazione dell'incendio manuale ed automatica e diffusione dell'allarme automatico;
- Livello IV) rivelazione dell'incendio manuale ed automatica e diffusione dell'allarme automatico, con avvio automatico dei sistemi di protezione attiva e possibilità di controllare e arrestare gli impianti.

Nelle strutture sanitarie è mediamente richiesto il livello III con alcune integrazioni di funzionalità quali la rivelazione automatica obbligatoria nelle aree di deposito di materiale e l'implementazione del sistema di allarme vocale EVAC. In taluni casi viene richiesto il livello IV con obbligatorietà del sistema EVAC.

1.7. MODELLI DI SIMULAZIONE DELL'EVACUAZIONE

Come visto nella sezione §1.5.2, la valutazione della sicurezza antincendio nei confronti degli occupanti è affidata al confronto tra ASET e RSET, ed è alla base dell'approccio prestazionale. Oggigiorno tale valutazione può essere effettuata manualmente mediante l'utilizzo di equazioni fornite dalla legislazione, dalle norme tecniche o dalla letteratura scientifica, oppure attraverso l'uso di modelli computazionali.

La valutazione mediante l'utilizzo di equazioni si concentra principalmente sul flusso delle persone e sull'interazione di questi con la geometria della struttura, per esempio larghezze delle vie d'esodo e delle aperture verso il luogo sicuro, convergenza di due flussi di persone. Infine, viene calcolato il tempo impiegato dagli occupanti per concludere l'esodo per confrontarlo con il tempo disponibile. Questo metodo considera gli occupanti come entità che si comportano come se conoscessero tutte le indicazioni che devono rispettare, ignorando il processo decisionale individuale.

Al fine di risolvere le problematiche del metodo manuale e, quindi, raggiungere risultati più realistici, i professionisti utilizzano modelli computazionali [67]. Attualmente, esistono molti modelli di evacuazione, ognuno dei quali con proprie caratteristiche e particolarità che spaziano dalla risoluzione automatica dei calcoli manuali a modelli composti da complesse equazioni che considerano i comportamenti derivanti dai processi decisionali individuali.

In questa sezione si elencano i modelli attualmente esistenti e si discutono le loro proprietà.

1.7.1. ELENCO DEI MODELLI DI EVACUAZIONE COMPUTAZIONALI E LORO FUNZIONALITÀ

Nel 2010, il "National Institute of Standards and Technology" (NIST) ha revisionato lo stato dell'arte della materia [67], [68]. Negli studi hanno esaminato 26 modelli computazionali per l'evacuazione degli occupanti e hanno suddiviso le loro funzionalità in 11 categorie principali (disponibilità al pubblico, metodo di modellazione, finalità, griglia computazionale, prospettiva del modello e degli occupanti, comportamento degli occupanti, tipo di movimento, importazione di disegni CAD, visualizzazione grafica dell'output, verifica dei risultati) e 9 categorie speciali (flussi controcorrente, uscite bloccate, comportamenti condizionati dalle condizioni dell'incendio, tossicità, formazione di gruppi, occupanti disabili o lenti, ritardi e tempo di pre-movimento, uso di ascensori, scelta del percorso).

Di seguito si riportano le categorie e le rispettive proprietà dei modelli ritenute rilevanti ai fini di questo elaborato, estrapolate dagli articoli precedentemente citati [67], [68].

- i. Griglia computazionale
 - C: i piani dell'edificio sono suddivisi in zone (stanze, corridoi, scale, ...) e gli occupanti si spostano da una zona all'altra.
 - F: i piani dell'edificio sono suddivisi in celle (generalmente 0.5x0.5 m) e gli occupanti si spostano da una cella all'altra.
 - Co: gli occupanti sono liberi di muoversi nel piano 2D.
- ii. Prospettiva del modello e degli occupanti
 - G: il modello considera gli occupanti come un gruppo omogeneo di persone; gli occupanti conoscono già il percorso migliore da seguire.
 - I: il modello traccia il movimento dei singoli individui ed è possibile conoscere la loro posizione; gli occupanti definiscono la loro traiettoria in base alle informazioni che fornisce l'ambiente circostante e all'esperienza personale.
- iii. Comportamento degli occupanti
 - N: viene simulato solo il movimento di evacuazione.
 - I: il comportamento dell'occupante è simulato assegnando ritardi nei tempi di risposta o caratteristiche di movimento.
 - C: il comportamento dell'occupante è assegnato sulla base delle condizioni locali.
 - AI: il comportamento dell'occupante è simulato sulla base dell'intelligenza umana.
 - P: il comportamento dell'occupante è simulato sulla base di modelli probabilistici.
- iv. Dati sull'incendio
 - N: il modello non incorpora dati sull'incendio.
 - Y1: il modello permette l'importazione di dati sull'incendio da altri modelli.
 - Y2: il modello permette l'inserimento manuale di dati sull'incendio in istanti determinati.
 - Y3: il modello elabora autonomamente i dati sull'incendio.

Per dati sull'incendio si intendono i valori dei fattori che determinano le condizioni incapacitanti degli occupanti.
- v. Flussi controcorrente

Questa funzionalità permette di considerare la riduzione della larghezza della via d'esodo a causa della presenza del personale addetto alle emergenze che, se presente nel flusso, lo percorre in senso opposto. I modelli che considerano questo fattore sono etichettati con Y, diversamente con N.
- vi. Formazione di gruppi

Durante l'evacuazione gli occupanti potrebbero volersi radunare in gruppi (per esempio paziente e accompagnatore), comportarsi come una singola unità. I modelli che considerano questo fattore sono etichettati con Y, diversamente con N.

vii. Occupanti disabili o a ridotta mobilità

Considerato che non tutti gli occupanti hanno la stessa velocità di movimento durante l'evacuazione a causa di potenziali condizioni che portano ad una ridotta mobilità, per rendere più efficace la modellazione sarebbe necessario assegnare a parte degli occupanti una velocità di movimento minore. I modelli che considerano questo fattore sono etichettati con Y, diversamente con N.

viii. Ritardi e tempo di pre-movimento

Una piccola percentuale di modelli di evacuazione non considera il tempo di pre-movimento (§1.5.2) nel calcolo del tempo richiesto per l'esodo. Questa categoria identifica i modelli capaci di simulare il ritardo tra la diffusione dell'allarme e l'inizio dell'esodo. I modelli che considerano questo fattore sono etichettati con Y, diversamente con N.

ix. Uso di ascensori

Alcuni modelli permettono di modellare l'esodo considerando il movimento verticale degli occupanti attraverso l'utilizzo di ascensori. I modelli che considerano questo fattore sono etichettati con Y, diversamente con N.

Sulla base delle caratteristiche appena elencate, sono proposti i seguenti modelli riportati nella Tabella 1-11.

Modello	Griglia	Prospettiva	Comportamento	Dati incendio	Flussi controcorrente	Gruppi	Ridotta mobilità	Pre-movimento	Ascensori
ALLSAFE	C	G	I	Y1,2	N	Y	N	Y	N
ASERI	Co	I	C,P	Y1,2	Y	Y	Y	Y	N
buildingEXODUS	F	I	C,P	Y1,2	Y	Y	Y	Y	N
CRISP	F	I	C,P	Y3	Y	Y	Y	Y	N
EGRESS 2002	F	I	C,P	Y2	Y	Y	Y	Y	N
EPT	F	I	AI	Y2	Y	Y	Y	Y	Y
EVACNET4	C	G	N	N	N	N	N	N	Y
EvacuatioNZ	C	I-I,G	I,C,P	Y2	N	Y	Y	Y	N
EXIT89	C	I	I/C,P	Y1	Y	N	Y	Y	N
FDS+Evac	Co	I	I,C,P	Y3	Y	N	Y	Y	N
GridFlow	Co	I	I	N	Y	N	Y	Y	N
Legion	Co	I	AI,P	Y1	Y	Y	Y	Y	Y
MassEgress	Co	I	C,AI	N	Y	Y	Y	Y	N
MassMotion	Co	I-I,G	AI,P	N	Y	Y	Y	Y	Y
Myriad II	C, F, Co	I	AI	Y1	Y	Y	Y	Y	Y
PathFinder	F	I-G	N	N	N	N	N	N	N
Pathfinder 2009	Co	I-G	I	N	Y	Y	Y	Y	N
PEDFLOW	Co	I	C,P	Y2	Y	Y	Y	Y	Y
PedGo	F	I-I,G	I/C,P	Y2	Y	Y	Y	Y	N
PEDROUTE	C	G	I	N	N	Y	Y	Y	N
SGEM	Co	I	I	N	Y	N	Y	Y	Y
Simulex	Co	I	I	N	Y	Y	Y	Y	N
SimWalk	Co	I	C,P	N	Y	Y	Y	Y	Y
SpaceSensor	Co	I	C,P	N	N	N	N	N	Y
STEPS	F	I	C,P	Y1,2	Y	Y	Y	Y	Y
WAYOUT	C	G	N	N	N	N	N	Y	N

Tabella 1-11: Elenco dei modelli di evacuazione computazionali. Rielaborazione di [68]

1.7.2. FUNZIONALITÀ RICHIESTE AI MODELLI PER L'AMBITO OSPEDALIERO

La scelta del modello ai fini della valutazione antincendio è di primaria importanza; infatti, alcuni studi hanno dimostrato la notevole differenza tra i risultati ottenuti da modelli differenti [69]. Nel 2016, Hunt [69] ha identificato i requisiti che un modello dovrebbe possedere per poter essere utilizzato in ambito ospedaliero, basandosi sulle principali problematiche specifiche per l'ambiente ospedaliero già esposte nella sezione §1.4.2.

L'eterogeneità degli occupanti secondo le loro abilità psicomotorie e la loro conoscenza degli ambienti, richiede che il modello possa gestire differenti popolazioni, quali personale sanitario, pazienti autonomi e allettati, accompagnatori. Inoltre, per ogni popolazione si devono attribuire diverse caratteristiche di età, velocità di movimento, ecc.

La complessità della procedura di emergenza in ambito ospedaliero deve poter essere considerata nel modello attraverso diverse funzionalità, tra le quali: la possibilità di poter preparare uno scenario che includa il tempo necessario al personale sanitario per preparare il paziente prima del movimento e la ripetizione di questa attività per tutti i pazienti, la possibilità di controllare le azioni dei singoli occupanti così da valutare l'efficacia di procedure differenti e la possibilità di modellare l'attrezzatura di emergenza generalmente utilizzata negli ospedali.

I comportamenti del personale sanitario sono diversi in funzione dei ruoli posseduti, e devono essere considerati dal modello attraverso la possibilità di rappresentare le interazioni tra personale sanitario e pazienti. Pertanto, il modello deve fornire la possibilità di rappresentare i comportamenti individuali e di gruppo, di assegnare attività specifiche ad ogni individuo del personale sanitario e di considerare la fatica del personale sanitario durante la ripetizione delle attività di preparazione dei pazienti.

Infine, gli ospedali sono caratterizzati da un complesso layout dato dalla fitta presenza di letti e attrezzature medicali, dalla possibile presenza di porte bloccate e del possibile uso di ascensori antincendio durante l'esodo. Queste caratteristiche devono essere inserite nel modello, pertanto questo deve prevedere la possibilità di specificare il layout degli ambienti, di modellare la dinamica dell'incidente, di considerare la presenza di porte bloccate e di includere l'uso degli ascensori antincendio.

In conclusione, ai fini della valutazione della sicurezza antincendio nei confronti degli occupanti attraverso modelli computazionali, questi ultimi dovranno possedere le caratteristiche riassunte nella Tabella 1-12.

Funzionalità	Etichetta richiesta
Griglia	F, Co
Prospettiva	I
Comportamento	I, C, AL, P
Flussi controcorrente	Y
Gruppi	Y
Ridotta mobilità	Y
Pre-movimento	Y
Ascensori	Y

Tabella 1-12: Funzionalità richieste ai modelli per l'ambito ospedaliero

1.7.3. MODELLI ADATTI PER L'AMBITO OSPEDALIERO

Alla luce dei requisiti richiesti ai modelli per essere adatti all'uso in ambito ospedaliero, elencati nella sezione §1.7.2, la Tabella 1-13 rappresenta le funzionalità soddisfatte dai modelli. Dalla sua lettura si evince che non tutti i modelli computazionali sono validi per l'ambito ospedaliero. Infatti, alla maggior parte di questi mancano le funzionalità necessarie per descrivere in modo più reale possibile la popolazione degli occupanti presenti nella struttura sanitaria e il loro movimento.

Ne consegue che i modelli computazionali efficaci al nostro scopo risultano i seguenti: EPT, Legion, MassMotion, Myriad II, PedFlow, SimWalk e STEPS.

Anticipando quanto si dirà nella sezione §3.1, si è deciso di utilizzare il modello Pathfinder 2009 anche se a primo avviso sembra non essere congruo con quanto esposto pocanzi. Questo modello non è stato considerato adatto per l'ambito ospedaliero in quanto non soddisfa la richiesta sull'implementazione degli ascensori, ma nel caso oggetto di studio non vi sono; pertanto, può comunque essere considerato adatto.

1.7.4. LIMITAZIONI DEI MODELLI COMPUTAZIONALI CONSIDERATI ADATTI

Come riportato nella sezione §1.5.2, l'evacuazione verticale dei degenti a mobilità nulla o ridotta è effettuata con specifici dispositivi (per esempio sedie di evacuazione, barelle o materassi con *slide-sheet*). Hunt [69] ritiene che un'ulteriore funzionalità richiesta ai modelli per l'ambito ospedaliero sia la possibilità di considerare l'uso di questi dispositivi. Con l'introduzione di questo criterio, nessuno dei modelli considerati in questo elaborato diventerebbe idoneo all'uso, poiché solamente il modello ASERI include questa funzione al momento della pubblicazione del documento (2016). Viene, però, riportato che molti altri modelli hanno questa funzionalità in corso di sviluppo, tra i quali tutti quelli elencati in §1.7.3.

Modello	Griglia	Prospettiva	Comportamento	Flussi controcorrente	Gruppi	Ridotta mobilità	Pre-movimento	Ascensori
ALLSAFE			✓		✓			✓
ASERI	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
buildingEXODUS	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
CRISP	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
EGRESS 2002	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
EPT	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
EVACNET4								✓
EvacuationNZ		✓	✓		✓	✓		✓
EXIT89		✓	✓	✓		✓		✓
FDS+Evac	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
GridFlow	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Legion	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
MassEgress	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
MassMotion	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Myriad II	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
PathFinder	✓	✓						
Pathfinder 2009	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
PEDFLOW	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
PedGo	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
PEDROUTE			✓		✓	✓		✓
SGEM	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Simulex	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
SimWalk	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
SpaceSensor	✓	✓	✓					✓
STEPS	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
WAYOUT								✓

Tabella 1-13: Requisiti rispettati dai modelli per l'ambito ospedaliero. Rielaborazione di [69]

Capitolo 2

Descrizione del caso studio

In questo capitolo si espongono la presentazione, i dati e l'analisi del caso oggetto di studio. Questo è stato possibile poiché si è in possesso del materiale riguardante la progettazione e l'esecuzione di una prova di evacuazione avvenuta il giorno 19 luglio 2022 all'interno dell'unità operativa di pediatria dell'ospedale di Rovereto.

2.1. L'OSPEDALE DI ROVERETO

L'ospedale Santa Maria del Carmine è una struttura sanitaria ospedaliera che sorge nel comune di Rovereto, in provincia di Trento. Il nosocomio è gestito dall'Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari (APSS), ente pubblico deputato all'erogazione territoriale delle attività del Servizio Sanitario Nazionale. Tra le attività che la struttura incorpora, vi è l'unità operativa di pediatria che fornisce servizi e prestazioni sanitarie in regime di pronto soccorso, osservazione, breve, ricovero ordinario, *day hospital* e ambulatorio agli utenti di età compresa tra zero e diciotto anni [70].

2.1.1. L'UNITÀ OPERATIVA DI PEDIATRIA PRESSO L'OSPEDALE DI ROVERETO

L'unità operativa di pediatria sorge al sesto piano del corpo C e, strutturalmente, si suddivide in tre ambiti, ognuno dei quali dispone di più locali. L'ambito Nido è composto da una stanza per l'osservazione temporanea, un locale per l'igiene del neonato e una stanza per la gestione del neonato in regime di *rooming-in*. Il secondo ambito è la Patologia Neonatale, che si compone di una stanza per la terapia sub intensiva, una stanza per l'assistenza e per il supporto all'allattamento e un'ultima stanza con due letti per le madri nutrici. Infine, vi è la Pediatria, nonché l'ambito più consistente in quanto comprende una stanza *day hospital* con quattro posti letto, un ambulatorio per le urgenze, una stanza per l'osservazione breve dotata di quattro posti letto, cinque stanze di degenza per un totale di nove posti letto, tre stanze singole a supporto del "Centro provinciale fibrosi cistica", una palestra e una stanza giochi.

Nel corso del 2022, l'unità operativa di pediatria è stata oggetto di ristrutturazione [71]. I lavori hanno creato quattro nuovi ambulatori e una sala riunioni dedicati al "Centro provinciale fibrosi cistica", in sostituzione di alcuni locali del Nido. Inoltre, sono stati adeguati ai fini antincendio la rete dei gas medicali e la resistenza al fuoco delle pareti del corridoio.

2.2. PROGETTAZIONE DELLA PROVA

La prova di evacuazione è stata programmata dal Servizio di Prevenzione e Protezione (SPP) dell'azienda sanitaria. L'attività non ha coinvolto realmente i pazienti, ma sono stati previsti dei figuranti per emularli; il personale medico, invece, era quello che realmente opera all'interno del reparto ed è stato preavvisato della prova. Prima dell'esecuzione, sono stati previsti due incontri di preparazione e formazione del personale dell'unità operativa in relazione allo scenario e alle procedure da mettere in atto.

Il SPP ha pianificato la prova per il giorno 19 luglio 2022, alle ore 14:30. Al fine di garantire la continuità nell'erogazione dei servizi sanitari, il personale di turno non è stato coinvolto nella prova. Infatti, quel giorno, il personale medico del turno precedente, composto dallo stesso organico, ha prolungato il proprio orario di lavoro per essere coinvolto nella prova. I luoghi identificati sono state tre stanze di degenza all'interno del reparto di pediatria oggetto di ristrutturazione dove, al momento della data prevista, erano già terminati i lavori ma non erano ancora stati trasferiti i pazienti. Nella Figura 2-1 sono evidenziate le stanze coinvolte nella prova.

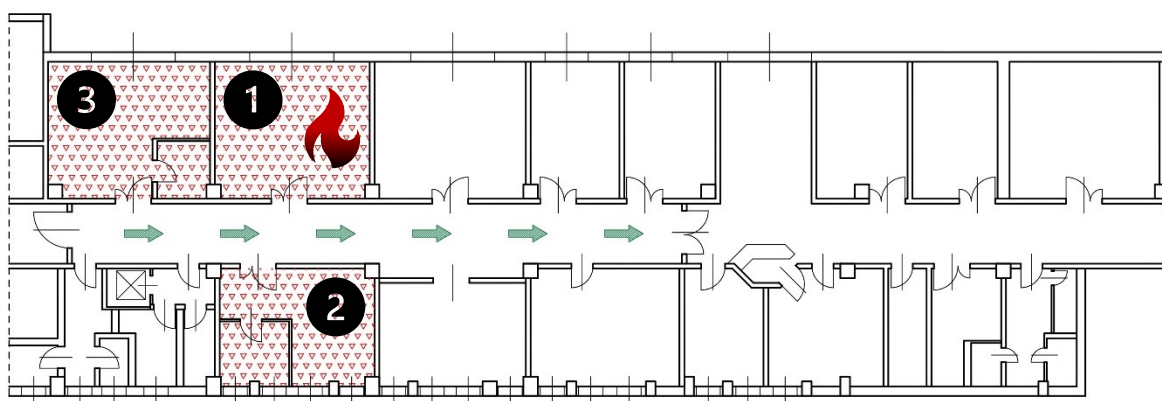


Figura 2-1: Planimetria delle stanze coinvolte nella prova con indicazione della stanza di primo innesco.
Immagine non in scala.

Durante la normale attività ospedaliera, ogni stanza di degenza è utilizzata da un solo paziente pediatrico. Al fine di simulare più realisticamente queste condizioni, è stato previsto di posizionare un figurante per ogni stanza, simboleggiante un paziente pediatrico allettato. Inoltre, ad ogni paziente è stata attribuita una condizione diversa: uno ha rappresentato un paziente collegato alla rete di ossigeno medicale, un altro un paziente con aspirazione e collegato al monitor, l'ultimo un paziente con infusione continua in pompa.

Lo scenario previsto è stato quello di un principio di incendio derivante da un'apparecchiatura elettromedicale presente all'interno di una stanza del reparto, ovvero il monitor in uso nel secondo figurante di cui sopra. La presenza del focolare era individuabile dal personale

medico attraverso un cartello raffigurante una fiamma con il fumo. Nella Figura 2-1 è indicata la stanza in cui è stato posizionato il cartello.

Lo svolgimento consisteva nell'attuazione da parte del personale medico delle disposizioni previste dal piano di gestione delle emergenze a seguito dell'individuazione del focolare. Le azioni che sarebbero dovute essere compiute sono esposte di seguito e sono riassunte sinteticamente in Figura 2-2. Innanzitutto, l'operatore che avrebbe rilevato l'incendio doveva avvisare immediatamente gli altri colleghi presenti in reparto. Dopodiché, un operatore avrebbe dovuto allertare telefonicamente il numero di emergenza interno, ricordandosi di comunicare tutte le informazioni utili, ovvero le sue generalità, il tipo di emergenza, il luogo dell'evento e la presenza di pazienti allettati. La chiamata aveva lo scopo di richiedere l'intervento delle squadre di soccorso interne, ovvero la Squadra di Primo Intervento (SPI) e la Squadra Di Evacuazione (SDE). In attesa dell'arrivo di queste, se il personale sanitario lo avesse ritenuto necessario, avrebbe potuto iniziare l'evacuazione dei pazienti verso il luogo sicuro più vicino. Inoltre, è stato previsto che il personale avrebbe eseguito alcune operazioni utili alla sicurezza degli ambienti come l'apertura delle finestre per far evacuare il fumo verso l'esterno, la chiusura della porta della stanza in cui si sta sviluppando l'incendio e la chiusura delle porte resistenti al fuoco nel perimetro del compartimento al fine di limitare la propagazione dei fumi verso l'interno. Durante queste operazioni, il personale avrebbe dovuto attendere la SPI in prossimità del luogo dell'evento incidentale. Normalmente, la chiamata al numero di emergenza interno comporterebbe l'attivazione delle squadre di soccorso interne, ma, in questo caso non è stato previsto il loro intervento. Al fine di verificare la corretta applicazione della procedura, il portinaio che avrebbe ricevuto la chiamata, anziché allertare la SPI, avrebbe dovuto telefonare ai tecnici del SPP. Il supporto che sarebbe dovuto essere dato da tali squadre potrà essere simulato dagli osservatori presenti.

L'organizzazione avrebbe ritenuto conclusa la prova nel momento in cui i tre pazienti e i cinque operatori sanitari sarebbero arrivati al luogo sicuro individuato, ovvero oltre le porte resistenti al fuoco. Al termine sarebbe stato ascoltato il personale coinvolto direttamente sul luogo dell'attività. A conclusione, il SPP avrebbe redatto un verbale che avrebbe inviato alla direzione e all'unità operativa.

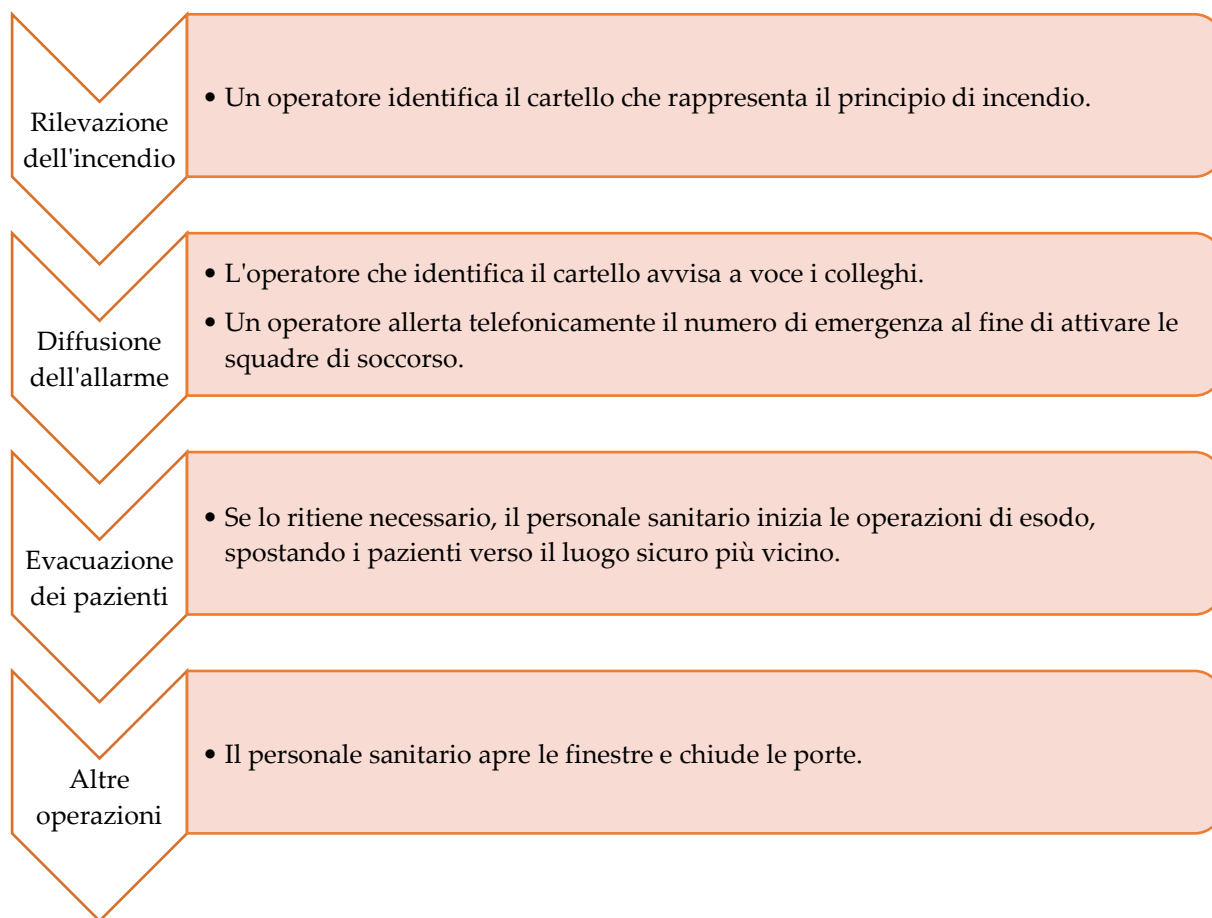


Figura 2-2: Azioni previste da parte del personale sanitario

2.3. ESECUZIONE DELLA PROVA

La prova è avvenuta nel giorno e nell'orario previsti in fase di progettazione. In questa sono stati coinvolti il personale medico descritto nella sezione §2.2 e il portiere in servizio come addetto alla portineria. Inoltre, in qualità di osservatori, erano presenti quattro tecnici del SPP, una rappresentante della direzione medica, un rappresentante del dipartimento infrastrutture e una ricercatrice dell'Università degli Studi di Padova.

La prova ha avuto inizio alle ore 14:38 quando gli organizzatori hanno apposto il cartello che rappresentava il principio di incendio all'interno della stanza 1. Alle ore 14:39 un operatore ha notato il cartello e ha diffuso l'allarme al resto del personale. Alla stessa ora l'operatore socio-sanitario (OSS) ha composto il numero di emergenza interno (precedentemente avvisato della prova), mentre i due infermieri hanno aperto le finestre della stanza interessata e hanno eseguito le procedure necessarie a far uscire il paziente. Il personale che ha sovrinteso alla prova ha annotato che il personale sanitario ha correttamente aperto la finestra, tenendo però le tapparelle abbassate, di fatto rendendo l'operazione inutile. Alle 14:40 il paziente della stanza oggetto dell'innescò è stato evacuato e il personale ha chiuso la porta. L'OSS, che presumibilmente ha terminato la chiamata, ha fornito assistenza al paziente appena evacuato, mentre i due infermieri hanno iniziato le procedure di evacuazione della stanza 2 aprendo la finestra e allontanando il paziente. Anche in questa situazione il SPP ha annotato che gli infermieri non hanno alzato la tapparella. Alla stessa ora il portinaio ha telefonato agli organizzatori, così da simulare l'attivazione della SPI. Alle 14:41 è avvenuto lo spostamento del secondo paziente e, dopo aver chiuso la porta della stanza, il personale si è fermato presso l'infermeria per prelevare una bombola di ossigeno che hanno trasportato insieme al degente; subito dopo hanno ripreso con l'evacuazione dello stesso. Dopo che anche il secondo paziente è arrivato al luogo sicuro, l'OSS ha iniziato a prestare assistenza ad entrambi. Alla stessa ora sono state aperte le finestre della stanza 3 ed è iniziata l'evacuazione del terzo paziente, che è stata terminata alle 14:42. Infine, alle 14:43 è stata chiusa la porta di compartimentazione del corridoio; quindi, è stata considerata terminata la prova. Al termine, come previsto, il SPP ha stilato un report contenente le conclusioni in merito allo svolgimento della prova.

In Figura 2-3 è rappresentata graficamente la cronologia degli avvenimenti descritti sopra.

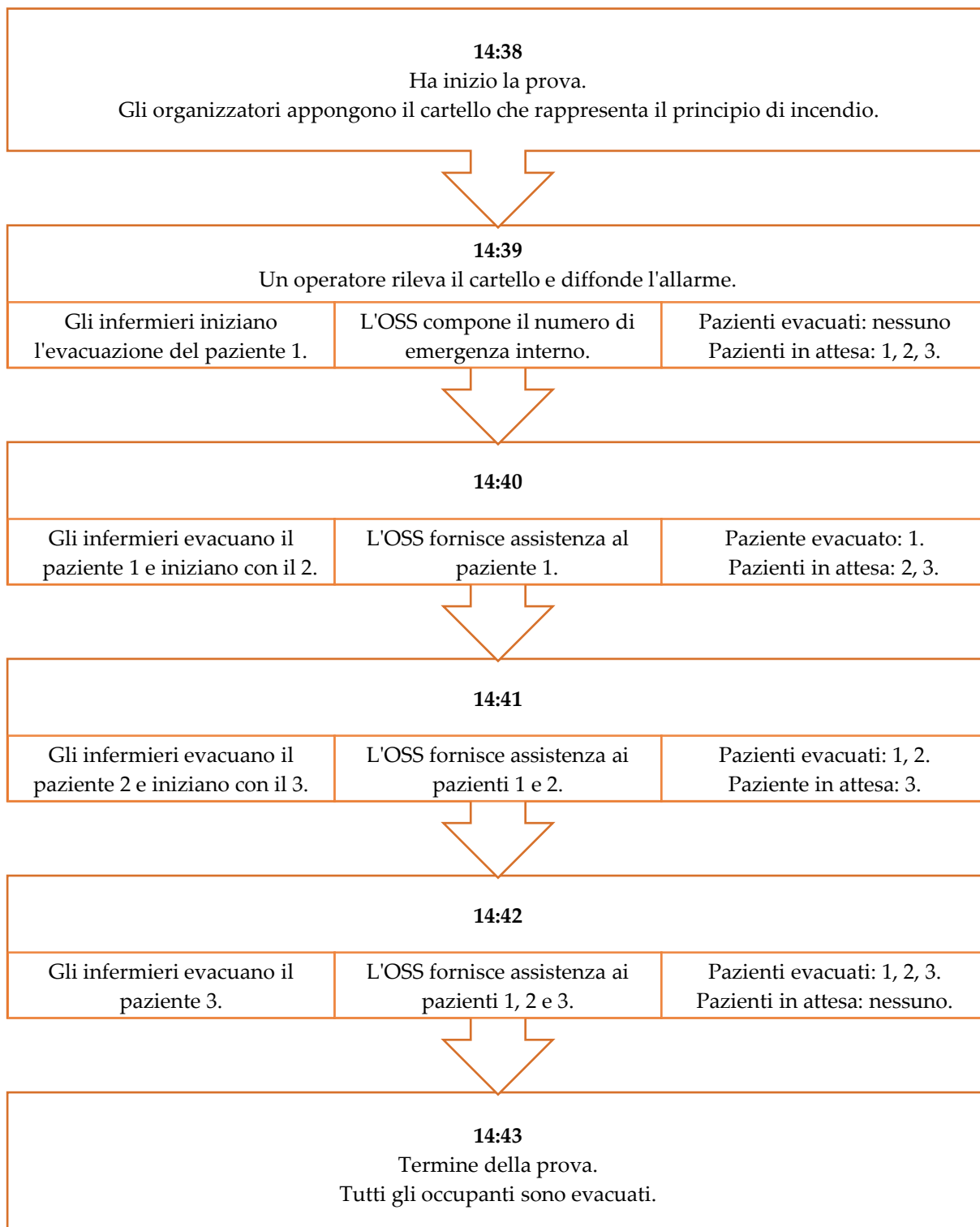


Figura 2-3: Cronologia delle azioni svolte dal personale sanitario

Capitolo 3

Simulazioni con un modello computazionale

In questo capitolo, dopo aver identificato il modello computazionale adatto seguendo i requisiti preferenziali già descritti, sono esposti i risultati delle simulazioni. In primo luogo è stata eseguita la simulazione con condizioni iniziali pari a quelle che si potevano riscontrare durante l'esercitazione descritta nel Capitolo 2, al fine di verificare la corrispondenza tra i risultati del modello e gli eventi realmente accaduti; dopodiché, è stata effettuata un'ulteriore simulazione con condizioni iniziali peggiorate, affinché si possa valutare l'impatto che queste potrebbero avere sull'esodo in caso di evacuazione.

3.1. SCELTA DEL MODELLO COMPUTAZIONALE

Nella sezione §1.7 sono state illustrate le funzionalità dei modelli computazionali esistenti e sono state identificate quelle necessarie ad un modello per poter essere utilizzato in ambito ospedaliero. Ai fini dell'obiettivo di questo elaborato, tutte le funzionalità elencate nella sezione §1.7.2 sono indispensabili eccetto quella riguardante gli ascensori. Infatti, come visto nel Capitolo 2, l'area oggetto di studio non comprende ascensori, di conseguenza la funzionalità può non essere presente.

In definitiva, la scelta è ricaduta sul software "Pathfinder" prodotto dalla casa "Thunderhead Engineering Consultants" e individuabile nelle tabelle della sezione §1.7 come "Pathfinder 2009". Come si evince dalla Tabella 3-1, il software prescelto contiene tutte le funzionalità necessarie ai modelli adatti per l'uso in ambito ospedaliero al netto di quella riguardante gli ascensori, non pertinente nel caso oggetto di studio. Per le simulazioni è stata utilizzata la versione 2023.2.0816.

Funzionalità	Priorità	Etichette richieste	Etichette Pathfinder 2009
Griglia	Indispensabile	F, Co	Co
Prospettiva	Indispensabile	I	I - G
Comportamento	Indispensabile	I, C, AI, P	I
Flussi controcorrente	Indispensabile	Y	Y
Gruppi	Indispensabile	Y	Y
Ridotta mobilità	Indispensabile	Y	Y
Pre-movimento	Indispensabile	Y	Y
Ascensori	Non necessaria	Y	N

Tabella 3-1: Comparazione delle funzionalità richieste e di quelle presenti

3.1.1. CENNI SUL FUNZIONAMENTO DI PATHFINDER

Pathfinder è un simulatore di movimento umano e di evacuazione che utilizza un modello computazionale di tipo *agent-based*. I modelli di questo tipo necessitano della caratterizzazione degli attributi del singolo individuo per poter riprodurre il suo comportamento. Durante la simulazione, gli individui interagiscono con gli altri e con l'ambiente circostante sviluppando il comportamento della massa [72]. Il software è composto da due ambienti: il primo è quello in cui si progetta la simulazione, mentre nel secondo si visualizzano i risultati.

3.2. CONFIGURAZIONE DEI MODELLI

In questa sezione sono indicati i dati in ingresso utilizzati per realizzare le simulazioni dello stato di fatto (SIM 1) e dello scenario peggiorativo (SIM 2). I dati utilizzati per il primo scopo sono stati ricavati dalla visione dei filmati registrati dai figuranti durante la prova, mentre quelli per la simulazione di confronto sono stati identificati a seguito della ricerca bibliografica presentata in questo elaborato.

3.2.1. IMPORTAZIONE DEL MODELLO CAD

Con il software Autodesk AutoCAD è stato realizzato il disegno della porzione di piano necessaria al simulatore per elaborare il risultato, composto esclusivamente dai muri e dagli ostacoli; quindi, senza rappresentazione di porte, finestre o altri dettagli. Per la simulazione dello stato di fatto è stato utilizzato il disegno rappresentato in Figura 2-1, al netto degli infissi e delle indicazioni di direzione dell'esodo. Invece, per la simulazione dello scenario peggiorativo è stato utilizzato il disegno rappresentato in Figura 3-1, simile a quello della simulazione precedente ma con l'introduzione di ostacoli lungo le vie d'esodo e nel luogo sicuro. Le informazioni sulla geometria degli elementi strutturali e degli spazi è stata ricavata da una planimetria della struttura ospedaliera apportando, però, delle modifiche per quanto riguarda la disposizione delle porte di compartimentazione e, quindi, il luogo sicuro. Questo è dovuto al fatto che la planimetria utilizzata per la modellazione rappresentava una configurazione dei luoghi diversa rispetto alla reale disposizione visionata dai video, probabilmente dovuto al fatto che i lavori di manutenzione terminanti poco prima hanno leggermente modificato il layout. Queste alterazioni non dovrebbero interferire con i risultati delle simulazioni, poiché le porte dei modelli sono state considerate sempre aperte e disponibili.

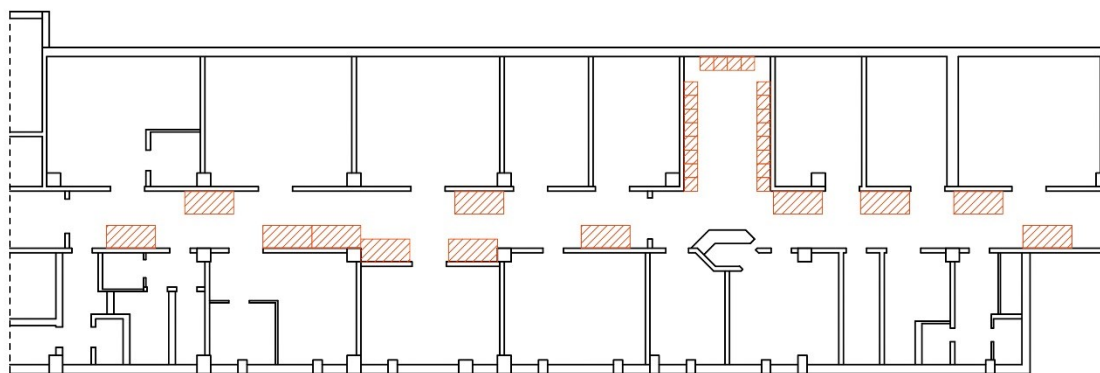


Figura 3-1: Planimetria utilizzata per la SIM 2.
Immagine non in scala.

Con la disposizione degli ostacoli si è voluto rappresentare la condizione di rischio correlata all'esodo esposta nella sezione §1.4.2 al punto v, ovvero quella associata alla riduzione dello spazio disponibile all'evacuazione lungo i corridoi dovuta alla presenza di sedie a disposizione dei pazienti, di accompagnatori e di letti di degenza. Nel modello sono stati posizionati lungo i muri dei corridoi quanti più letti possibili, avendo l'accortezza di lasciare tra loro e tra altri ostacoli uno spazio sufficiente al passaggio dei letti di degenza in evacuazione e non ostruendo le porte che comunicano con altri locali. Inoltre, nell'atrio oltre la porta di compartimentazione sono state poste sedute in numero tale da coprire l'intero perimetro dell'area e, quindi, rendere più complesso il posizionamento del degente evacuato.

3.2.2. DEFINIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEGLI OCCUPANTI

In questa sezione si illustra la creazione dei profili di occupanti introdotti nel modello di simulazione. Ai fini della simulazione dello stato di fatto sono stati creati tre profili, corrispondenti alle figure presenti durante la prova di evacuazione, ovvero degente, infermiere e OSS; invece, per la simulazione dello scenario peggiorativo, è stato implementato anche il profilo dell'accompagnatore, che rappresenta il genitore del degente pediatrico. Ad ognuno di questi profili sono state attribuite differenti caratteristiche dimensionali, di capacità motoria e di necessità di assistenza, poiché ogni profilo rappresenta una popolazione differente con specifiche abilità e limitazioni. I valori di tali caratteristiche sono riportati nella Tabella 3-2, nella Tabella 3-3 e nella Tabella 3-4.

Profilo occupante	Forma	Dimensioni [cm]
Degente	Rettangolare	215 x 100
Infermiere	Circolare	Diametro = 45.58
OSS	Circolare	Diametro = 45.58
Accompagnatori	Circolare	Diametro = 45.58

Tabella 3-2: Geometrie assegnate agli occupanti

Profilo occupante	Velocità orizzontale [m/s]	Note
Degente	0.75	Necessita di assistenza (la velocità è pari a zero fino a quando non è raggiunto da due soccorritori).
Infermiere, OSS	0.75	-

Tabella 3-3: Velocità assegnate agli occupanti in SIM 1

Profilo occupante	Velocità orizzontale			Fonte	Note
	Media [m/s]	SD [m/s]	Distribuzione		
Degente	0.40	0.04	Normale	§1.5.2	Necessita di assistenza (la velocità è pari a zero fino a quando non è raggiunto da due soccorritori).
Infermiere	1.35	0.25	Normale		-
OSS	1.35	0.25	Normale		-
Accompagnatori	1.20	-	Costante	[73]	-

Tabella 3-4: Velocità assegnate agli occupanti in SIM 2

La forma e le dimensioni degli occupanti riportate sono state utilizzate per entrambe le simulazioni; invece, per quanto riguarda i valori delle velocità di movimento, sono necessarie ulteriori spiegazioni. Infatti, i valori utilizzati nella simulazione dello stato di fatto sono stati ricavati dall'analisi dei filmati, mentre quelli utilizzati per la simulazione dello scenario peggiorativo sono stati identificati considerando le risultanze della revisione della letteratura o della normativa tecnica di settore. Le scelte delle velocità di movimento relative ai degenti, agli infermieri e agli OSS sono ricadute sui valori proposti da Alonso-Gutierrez e Ronchi [55] in quanto risultano più complete in termini di dati statistici rispetto agli altri studi citati.

3.2.3. DEFINIZIONE DEI COMPORAMENTI

Di seguito si illustrerà quanto svolto per definire i comportamenti degli occupanti durante le simulazioni. In *Pathfinder* i comportamenti vengono stabiliti componendo una serie di più azioni che questi attuano prima di raggiungere un'uscita o un luogo sicuro. Durante questa fase si inseriscono i tempi di pre-movimento t_{pre} , già esplicitati nella sezione §1.5.2, sottoforma di attesa tra un'azione e la successiva.

La definizione dei comportamenti è stata diversificata tra la simulazione dello stato di fatto e quella dello scenario peggiorativo. Nella prima, infatti, l'obiettivo è stato di replicare i comportamenti attuati durante la prova di evacuazione; quindi, sono state inserite le azioni e i tempi di pre-movimento necessari a rendere il risultato della simulazione il più possibile

uguale al caso reale, le cui risultanze sono riportate in Tabella 3-5. In quella rappresentante lo scenario peggiorativo, invece, agli occupanti sono state assegnate le azioni in Tabella 3-6.

Degente	Infermiere	OSS
1. Attesa assistenza di un infermiere. 2. Tempo di pre-movimento. 3. Movimento verso luogo sicuro.	1. Assistenza degenti (in ordine 1, 2, 3)	1. Movimento verso una stanza. 2. Chiamata alla portineria (60 secondi). 3. Movimento verso luogo sicuro.

Tabella 3-5: Comportamenti assegnati agli occupanti in SIM 1

Nella definizione dei comportamenti della simulazione dello stato di fatto non sono stati inseriti i tempi di riconoscimento dell'allarme da parte del personale sanitario perché ritenuti trascurabili. Infatti, dal video si evince che non appena l'operatore sanitario ha diffuso l'allarme in modo verbale, gli infermieri si sono immediatamente attivati per l'inizio della procedura prevista. Ai degenti è stato inserito un tempo di pre-movimento composto dal solo tempo di preparazione di 10 secondi, come rilevato per il paziente 1. È utile riportare che per l'esodo del paziente 3 il tempo di pre-movimento è stato stimato in 73 secondi, ma questi non hanno compromesso il tempo di esodo totale in quanto le attività di preparazione del paziente sono state effettuate da un solo operatore, mentre gli altri due completavano l'esodo del paziente precedente.

Degente	Infermiere	OSS	Accompagnatore
1. Attesa assistenza di un infermiere. 2. Tempo di pre-movimento. 3. Movimento verso luogo sicuro.	1. Tempo di riconoscimento allarme. 2. Assistenza degenti (in ordine 1, 2, 3).	1. Tempo di riconoscimento allarme. 2. Movimento verso una stanza. 3. Chiamata alla portineria (60 secondi). 4. Movimento verso luogo sicuro.	1. Tempo di pre-movimento. 2. Movimento verso luogo sicuro.

Tabella 3-6: Comportamenti assegnati agli occupanti in SIM 2

Si può notare come solo al personale sanitario è stato assegnato un tempo di riconoscimento dell'allarme, mentre agli altri profili sono stati assegnati tempi di pre-movimento. Questo perché si ipotizza che il personale sanitario inizi le operazioni di evacuazione non appena riconosca l'allarme. Invece, i degenti necessitano di un tempo di pre-movimento pari al tempo di preparazione allo spostamento (disconnessione degli elettromedicali dalle utenze o disconnessione del paziente dalla rete dei gas medicali), mentre gli accompagnatori di un tempo complessivo di riconoscimento e risposta.

Il tempo di pre-movimento associato al profilo dei degenti nella simulazione dello scenario peggiorativo è quello esposto nella sezione §1.5.2, riportato in Tabella 3-7 al fine di poterlo confrontare con gli altri. Per il personale sanitario, invece, è stato necessario rielaborare i valori misurati sperimentalmente durante evacuazioni non annunciate svolte all'interno di uffici [74], i cui risultati sono riportati in Tabella 3-7. La giustificazione di questa scelta deriva dal fatto che il personale sanitario può essere paragonabile a occupanti di un ufficio in quanto entrambi sono sempre svegli e hanno familiarità con i luoghi. Infine, anche per gli accompagnatori si sono usati i risultati di un'elaborazione statistica di alcuni dati [74]. A questo fine sono stati utilizzati i tempi di pre-movimento misurati durante evacuazioni di aule universitarie, valori ricavati dallo stesso studio citato in precedenza, ricavati da alcune prove di evacuazione avvenute all'interno di aule universitarie, aree di ristorazione di centri commerciali, supermercati, centri sportivi e biblioteche aventi come sistemi di diffusione dell'allarme sirene o campanelle. Si fa notare come gli ambienti elencati precedentemente siano tutti pubblici, ovvero frequentate da occupanti con una bassa conoscenza dei luoghi e del sistema di allarme utilizzato; inoltre sono stati escluse le evacuazioni basate su un allarme di tipo EVAC in quanto, come esposto nella sezione §1.5.4, questi possono essere sottostimare i tempi di riconoscimento dell'allarme. I risultati dell'analisi statistica sono riportati in Tabella 3-7.

Profilo occupante	Tipologia tempo	Coefficienti statistici			
		Media [s]	Distribuz.	μ [s]	σ [s]
Degente	Pre-movimento	360	Normale	360	40
Infermiere	Riconoscimento	17	Lognormale	2.821	0.096
OSS	Riconoscimento	17	Lognormale	2.821	0.096
Accompagnatori	Pre-movimento	98	Lognormale	4.520	0.359

Tabella 3-7: Tempi di pre-movimento assegnati agli occupanti in SIM 2

3.2.4. INSERIMENTO DEGLI OCCUPANTI NEL MODELLO

Dopo aver impostato i profili e i comportamenti degli occupanti, occorre inserirli come entità nel modello. Per il modello dello stato di fatto sono stati inseriti gli occupanti presenti durante la simulazione di evacuazione, all'incirca nella posizione in cui erano realmente. Invece, per il modello dello scenario peggiorativo, ai sette occupanti precedenti sono stati aggiunti due accompagnatori per ogni degente pediatrico sito nelle stanze e un accompagnatore per ogni degente posto lungo il corridoio, per un totale di 18 occupanti in più. La disposizione del personale sanitario è stata definita in modo che questi non fossero nelle immediate vicinanze delle stanze di degenza, ma disposti equamente lungo il corridoio del reparto.

Il numero totale di occupanti per simulazione è riportato nella Tabella 3-8.

Occupante	Simulazione stato di fatto	Simulazione scenario peggiorativo
	SIM 1	SIM 2
Degente	3	3
Infermiere	3	3
OSS	1	1
Accompagnatori	0	18
<i>TOTALE</i>	7	25

Tabella 3-8: Numero di occupanti inseriti nelle simulazioni

La Figura 3-2 e la Figura 3-3 rappresentano le istantanee al tempo zero del modello sulla quale sono state elaborate, rispettivamente, le simulazioni dello stato di fatto (SIM 1) e dello scenario peggiorativo (SIM 2).

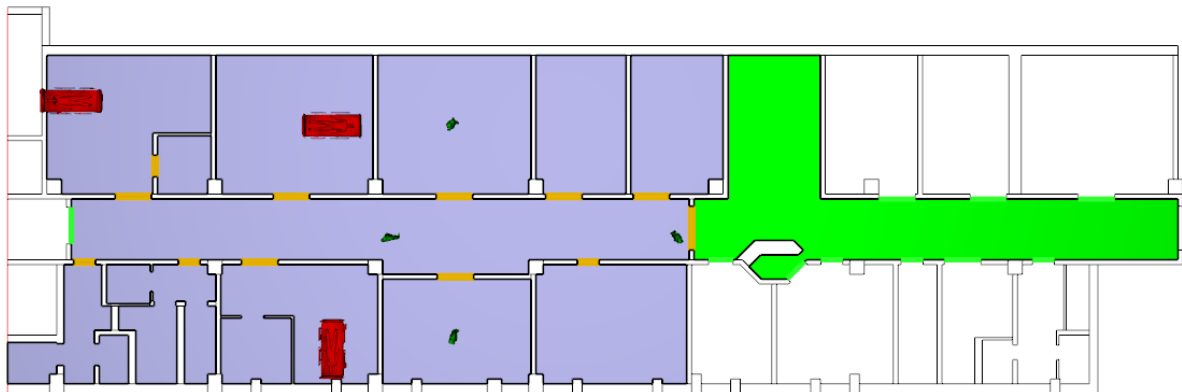


Figura 3-2: Istantanea del modello relativo alla SIM 1

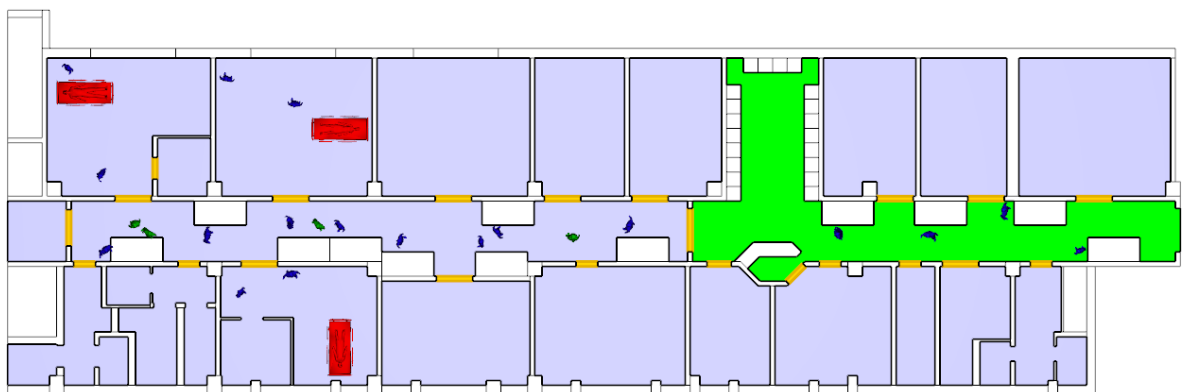


Figura 3-3: Istantanea del modello relativo alla SIM 2

3.3. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Dopo aver configurato i modelli e aver lanciato le simulazioni, il software *Pathfinder* ha prodotto i risultati sottoforma di modello 3D poi esportati in formato video, consultabili attraverso gli estremi riportati nel capitolo “Riferimenti esterni”. Questi sono stati visionati e confrontati tra loro, in modo da valutare le criticità della simulazione rappresentante lo scenario peggiorativo e le differenze di quest’ultimo con la simulazione dello stato di fatto.

3.3.1. CONSIDERAZIONI SULLA SIMULAZIONE DELLO STATO DI FATTO (SIM 1)

Come detto all’inizio del presente capitolo, l’obiettivo della simulazione dello stato di fatto era di riprodurre ciò che è avvenuto nell’esercitazione reale. Questo è stato possibile ricavando alcuni intervalli temporali dalla visione dei filmati registrati, poi confrontandoli con il risultato prodotto dal software.

Al termine dell’iterazione, la simulazione che ha meglio rappresentato il caso reale ha calcolato l’esodo degli occupanti in 5’ 04” rispetto ai 4’ 22” misurati dai filmati dell’esercitazione. La discrepanza di tempo tra il caso reale e la simulazione è dovuta al fatto che nella simulazione gli operatori sanitari hanno portato i degenti in evacuazione a fondo corridoio, mentre nel caso reale alcuni sono stati lasciati in corrispondenza dell’atrio dopo la prima porta. Al netto di queste differenze, si ritiene che la simulazione elaborata possa essere considerata abbastanza simile al caso reale, quindi di poterla usare per i fini previsti.

3.3.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE DELLO SCENARIO PEGGIORATIVO (SIM 2)

La seconda simulazione è stata realizzata con dati in ingresso forniti dalla letteratura scientifica e con condizioni iniziali peggiorate. Dalla visione del risultato finale dell'elaborazione, si deduce che l'esodo di tutti gli occupanti all'interno del reparto sottoposto alle condizioni peggiorative precedentemente descritte avviene in 16' 51". Nella Tabella 3-9 sono elencati in modo dettagliato gli eventi rilevati dalla simulazione.

Tempo	Evento	Tempo	Evento
0' 00"	Diffusione allarme.	11' 17" $\Delta = 24''$	Il secondo operatore raggiunge il paziente 2, che inizia il suo movimento.
0' 15" $\Delta = 15''$	Partenza del primo operatore sanitario.	13' 56" $\Delta = 2' 39''$	Il paziente 2 raggiunge il luogo sicuro.
0' 26" $\Delta = 11''$	Due operatori raggiungono il paziente 1. Inizia il tempo di pre-movimento del paziente 1.	14' 12" $\Delta = 16''$	Il paziente 2 termina l'esodo.
7' 01" $\Delta = 6' 35''$	Il paziente 1 inizia il suo movimento.	14' 36" $\Delta = 24''$	Il secondo operatore raggiunge il paziente 3, che inizia il suo movimento.
10' 30" $\Delta = 3' 29''$	Il paziente 1 raggiunge il luogo sicuro.	16' 49" $\Delta = 2' 13''$	Il paziente 3 raggiunge il luogo sicuro.
10' 53" $\Delta = 23''$	Il paziente 1 termina l'esodo.	17' 22" $\Delta = 33''$	Il paziente 3 termina l'esodo.

Tabella 3-9: Eventi della simulazione dello scenario peggiorativo (SIM 2)

I dati ci suggeriscono che quasi il 40% dell'esodo è impegnato dal tempo di pre-movimento del primo paziente. Come già detto nelle sezioni §1.5.2 e §3.2.3, in questo lasso temporale gli operatori sanitari hanno il compito di preparare il paziente allo spostamento, ad esempio disconnettere eventuali elettromedicali dalle utenze, oppure scollegare il paziente dalla rete dei gas medicali ed eventualmente collegarlo a una bombola portatile.

Un altro 50% del tempo è occupato dai tempi di movimento dei tre pazienti; infatti, il loro spostamento dalla stanza di degenza al luogo sicuro è durato in media 2' 47". Infine, nel rimanente 10% circa, il personale sanitario si è spostato verso il paziente che doveva essere movimentato.

3.3.3. CONFRONTO DELLE SIMULAZIONI

Dalla comparazione dei parametri di ingresso e dei risultati tra la due simulazioni effettuate, si possono denotare numerose differenze, raccolte in Tabella 3-10.

		Dato	Simulazione stato di fatto (SIM 1)	Simulazione scenario peggiorativo (SIM 2)
Input	Velocità [m/s]	Degente	0.75	0.40 (media)
		Personale sanitario	0.75	1.35 (media)
	Tempo di riconoscimento dell'allarme [s]	Personale sanitario	0	17 (media)
	Tempo di preparazione all'evacuazione [s]	Degente	10	360 (media)
Output	Tempo di esodo [s]	Paziente 2 (dalla soglia della stanza 2 al raggiungimento del luogo sicuro)	21	108
		Paziente 3 (dall'inizio del movimento al raggiungimento del luogo sicuro)	35	133
	Tempo totale di esodo [minuti]		5' 04"	16' 51"

Tabella 3-10: Differenze tra le simulazioni

Tra tutte, la differenza più considerevole si riscontra nel risultato finale della simulazione, ovvero nel tempo totale di esodo. Infatti, tra la simulazione dello stato di fatto e la simulazione dello scenario peggiorativo vi è un incremento di più del triplo. Questa grande diversità è dovuta, oltre che alle differenze dei dati in ingresso di velocità e tempi di pre-movimento, anche alla presenza degli accompagnatori che seguono il paziente pediatrico e alla presenza degli ostacoli lungo il corridoio. Infatti, i tempi di esodo dei singoli pazienti sono anche quintuplicati, come per l'esempio del paziente 2 per il quale il tempo di esodo è di ×5.1 più alto.

Capitolo 4

Delineazione delle linee guida

A seguito dell'analisi dei risultati avvenuta nel capitolo precedente, ora si svilupperanno indicazioni e consigli utili nella fase di progettazione di una simulazione di emergenza in ambito ospedaliero. L'obiettivo principale di questa sezione è quello di fornire un documento di supporto con il quale sia possibile concepire una prova di evacuazione in ambito ospedaliero capace di sfruttare al meglio l'opportunità.

4.1. SCOPO DELLA SIMULAZIONE DI EMERGENZA

A monte di tutta la fase progettuale, è indispensabile identificare l'obiettivo della simulazione che si andrà a svolgere; infatti, questo potrebbe essere differente a seconda delle esigenze degli organizzatori. Lo scopo potrebbe essere, per esempio, tra i seguenti:

- i. Valutazione delle condizioni reali dei luoghi, degli impianti e delle attrezzature
L'esecuzione di una simulazione di questo tipo potrebbe essere utile per confrontare lo stato dei luoghi e degli impianti presenti con quelli definiti nel progetto antincendio. Per esempio, se il piano di gestione delle emergenze prevede l'esodo verticale con l'ausilio di dispositivi come le sedie di evacuazione *evac+chair* o *carry-chair*, le barelle oppure gli *slide-sheet* per i materassi, svolgere una simulazione che ne preveda l'uso può essere un'opportunità per verificarne la presenza, la funzionalità e l'efficacia. Inoltre, potrebbero essere avvenute piccole modifiche al layout dei luoghi o alle attività svolte non comunicate al SPP o per le quali non si è ravvisata la necessità di revisionare il piano di emergenza. In questo caso, la simulazione potrebbe far emergere criticità nate proprio da queste modifiche anche di lieve entità.
- ii. Verifica della conoscenza delle procedure di emergenza da parte del personale
Si è già discusso di come la formazione del personale avente il compito attuare le specifiche misure gestione dell'emergenza è importante per ridurre il numero di vittime o feriti causati dall'incendio [3]. Per di più, considerando che il tempo di pre-movimento è funzione anche del livello di formazione delle risorse umane [51] e che questo può arrivare al 40% del tempo totale di esodo, una conoscenza approfondita delle procedure contenute nel piano di emergenza ed evacuazione da parte sia del personale sanitario che offre la prima assistenza, sia delle squadre di soccorso interne, risulta imprescindibile per uno svolgimento rapido e corretto dell'esodo.

Per questi motivi, il SPP potrebbe voler eseguire una simulazione di questo tipo per verificare che le molteplici figure aventi un ruolo operativo nella gestione dell'emergenza siano a conoscenza di ciò che devono attuare, al fine, ad esempio, di valutare l'eventuale necessità di sessioni di formazione anticipate rispetto alle scadenze programmate.

iii. Occasione di formazione

L'attività ospedaliera, come le altre, è essere soggetta a numerosi fattori capaci di rendere la formazione pregressa insufficiente. Questi potrebbero essere, per esempio, l'introduzione di nuovo personale all'interno del reparto, la modifica del layout degli ambienti, l'aggiornamento del piano di gestione delle emergenze o, semplicemente, troppo tempo trascorso dall'ultima sessione di formazione sulla materia.

Lo svolgimento di una simulazione di evacuazione potrebbe essere l'occasione per effettuare un aggiornamento della formazione specifica in materia di gestione delle emergenze, utilizzando la simulazione come prova pratica. In questo modo, le nozioni esposte in maniera teorica avrebbero un'applicazione concreta nel breve termine; quindi rendendo la formazione più efficace.

4.2. IDENTIFICAZIONE DEGLI OCCUPANTI PARTECIPANTI

Oltre alla definizione dell'obiettivo della prova, nella sua fase progettuale è indispensabile e obbligatorio [75] valutare quali figure e quante persone prenderanno parte alla prova, in modo da tener conto di situazioni di notevole affollamento inusuale, delle persone con esigenze specifiche (per esempio persone fragili o con mobilità ridotta) e degli occupanti non abituali (come pazienti, visitatori, appaltatori, ecc.). All'interno degli ospedali sono sempre presenti due delle condizioni elencate sopra, solitamente perfino coincidenti, data la presenza certa di persone disabili anche temporaneamente, bambini, anziani, donne in gravidanza e infermi in generale. Inoltre, una prova di evacuazione all'interno di un reparto ospedaliero potrebbe includere lo spostamento di degenti in grave pericolo di vita come, ad esempio, i pazienti dei reparti di rianimazione o terapia intensiva.

Il coinvolgimento di persone già ad altissimo rischio all'interno di un'evacuazione è un'opzione estremamente rischiosa per il paziente, che potrebbe essere superata impiegando controfigure o figuranti (come nel caso descritto al Capitolo 2). Questa scelta non dovrebbe inficiare sulla buona riuscita dell'esercitazione, tantomeno sulla validità dei tempi di esodo registrati, in quanto le operazioni che vengono svolte nel tempo di preparazione al movimento sul degente possono essere simulate anche su figuranti. Questo, però, comporterebbe che la prova sia annunciata, ovvero che il personale risponda all'emergenza in maniera differente rispetto a come lo farebbe se si trovassero in una situazione sconosciuta.

Un'ulteriore opzione potrebbe essere quella di coinvolgere nell'evacuazione solo i pazienti non degenti, di fatto facendo evacuare i reparti o le aree ambulatoriali. In questo modo si potrebbe effettuare una simulazione non annunciata che permetta di valutare comportamenti e tempistiche di esodo sia del personale sanitario, sia dei civili, senza mettere a repentaglio la sicurezza dei degenti. Queste prove potrebbero essere funzionali a rilevare possibili difficoltà da parte dei pazienti nella ricerca della via d'esodo corretta, potenziale sintomo di un sistema di segnalazione carente o insufficiente.

Altra possibilità potrebbe essere quella di utilizzare manichini didattici che simulerebbero, per esempio, degenti in gravi condizioni sorte a seguito dello spostamento oppure particolari criticità mediche da dover gestire anche durante l'evacuazione.

Infine, non è da sottovalutare il coinvolgimento degli appaltatori. Questi, infatti, essendo persone esterne all'azienda sanitaria, non rientrano nel normale flusso di formazione e informazione garantito al personale interno e potrebbero avere una conoscenza insufficiente dei comportamenti da adottare in caso di ordine di evacuazione. In questo caso, la prova di evacuazione potrebbe essere l'opportunità per riscontare queste carenze e, di conseguenza, trattarle migliorando le modalità di erogazione dell'informazione riguardo alle procedure aziendali.

4.3. SCELTA DELLO SCENARIO DA SIMULARE

Svolgere una prova di evacuazione senza definire uno scenario incidentale dal quale nasce questa necessità potrebbe risultare poco utile nei casi in cui lo scopo sia il punto i. o ii. della sezione §4.1 perché la gestione dell'emergenza inizia dal momento dell'inizio della criticità e non dall'inizio della diffusione dell'allarme, e i comportamenti da attuare in questo intervallo temporale devono essere conosciuti tanto quanto quelli che dovranno avvenire successivamente.

La scelta dello scenario da simulare potrebbe ricadere in una delle cause frequenti di incendio esposte nella sezione §1.2 oppure in uno degli scenari incidentali ipotizzati nel progetto antincendio. In questa fase si dovrebbe identificare l'oggetto dal quale si innesca l'incendio e valutare quali impatti potrebbe avere sull'esodo, in modo da creare più o meno gravosi. Per esempio, si prenda come scenario l'incendio di un bidone dei rifiuti posto nei pressi di un'uscita di sicurezza che diventerebbe inutilizzabile. Durante l'esercitazione si potrebbe comunicare agli occupanti l'impossibilità di attraversare quell'uscita mediante l'uso di cartelli o tramite la presenza di un organizzatore in modo che questi siano posti nella condizione di dover cercare una nuova uscita; quindi, potendo valutare le scelte errate di queste persone che potrebbero essere causate da carenze nella segnaletica.

Un ulteriore scenario possibile potrebbe essere l'incendio con origine all'interno di un locale tecnico o comunque normalmente non presidiato. Verosimilmente, il rivelamento è affidato all'impianto automatico che potrebbe non essere presente all'interno del reparto in questione, ma centralizzato a livello di struttura. In questi casi dovrebbe essere presente una procedura interna che comprenda l'identificazione dell'allarme da parte di un addetto e la sua comunicazione a squadre di emergenza interne o al personale sanitario del reparto coinvolto. Con simulazioni di questo tipo è possibile sia la valutazione dell'efficacia delle procedure a monte dell'evacuazione, sia la determinazione dei tempi di rivelazione dell'incendio e di diffusione dell'allarme. Al termine dell'esercitazione questi dati potrebbero essere utilizzati per verificare la corrispondenza dei tempi assunti in fase di progetto con quelli determinati sperimentalmente, in modo che effettuare azioni di miglioramento agli impianti, alle procedure interne o nella formazione del personale, se necessarie.

Infine, potrebbero anche essere scelti scenari al di fuori dell'incendio come le fughe di gas tecnici (es. gas naturale) o medicinali, allagamenti dovuti a perdite interne o a eventi naturali, rilascio di sostanze chimiche o emissioni elettromagnetiche incontrollate.

4.4. MODALITÀ DI OSSERVAZIONE DELLA PROVA

Al fine di poter lavorare sulle criticità emerse durante lo svolgimento della prova di emergenza, è indispensabile essere a disposizione di quanto accaduto.

La modalità più semplice è sicuramente quella di posizionare degli osservatori nei luoghi coinvolti dalla prova che possano vedere ed eventualmente annotare o videoregistrare lo svolgimento della prova. Se venisse adottata questa soluzione, gli osservatori dovrebbero partecipare ai momenti di pianificazione della prova o almeno informati sulle decisioni finali poiché possano essere preparati a identificare le criticità.

Un'ulteriore soluzione, anche integrativa alla precedente, potrebbe essere quella di posizionare delle videocamere nei punti in cui si vuole avere del materiale visionabile in un secondo momento, ad esempio per misurare i tempi di riconoscimento dell'allarme, di pre-movimento e di movimento.

Quanto più possibile dopo il termine della prova, è indispensabile redigere un rapporto contenente almeno quanto visto dal personale così da poterlo fissare ed evitare che le memorie vengano dimenticate o distorte.

4.5. IMPIEGO DI SIMULAZIONI ATTRAVERSO SOFTWARE DEDICATI

In alcuni casi, specie quelli in cui vi sono molti occupanti coinvolti nella prova oppure quando si vogliono simulare scenari gravosi come quello oggetto di studio, potrebbe essere di supporto alla pianificazione della prova eseguire una simulazione attraverso software dedicati. Infatti, se il modello iniziale è ben impostato in termini di numero di occupanti, azioni attese e altri fattori di cui si è discusso precedentemente, il risultato della simulazione software potrebbe far emergere criticità inaspettate che, se risolte prima dell'esecuzione della prova, avrebbero la duplice possibilità di ridurre i rischi associati all'esecuzione della prova stessa e di prevedere sommariamente il comportamento degli occupanti. Questa seconda opportunità potrebbe essere usata per posizionare alcuni osservatori nei punti critici, ovvero punti di confluenza di più flussi d'esodo, restringimenti di larghezza utile, ecc.

Quanto detto sopra non si ritiene possa essere sostitutivo alle prove di emergenza reali proprio perché, come si è discusso ampiamente nel Capitolo 1, il comportamento umano è imprevedibile ed è quasi impossibile poterlo replicare perfettamente in una simulazione eseguita al computer.

Conclusioni

In questo elaborato si è trattato l'argomento delle esercitazioni antincendio come strumento utile al Servizio di Prevenzione e Protezione interno ad una struttura sanitaria per valutare l'applicabilità e l'efficacia del piano di emergenza ed evacuazione adottato.

L'obiettivo primario dell'elaborato era quello di sviluppare una bozza di possibili linee guida a supporto degli organizzatori di una prova di emergenza, in modo da concepirla come un'attività capace di far emergere criticità del sistema di diffusione dell'allarme e di esodo. Questo è stato possibile partendo dall'analisi e dalla rielaborazione dei dati rilevati durante una prova di emergenza annunciata svoltasi all'interno del reparto di pediatria dell'ospedale di Rovereto nell'estate del 2022.

Sin dalla ricerca bibliografica è stato deciso di limitare il campo di studio nell'ambito dell'antincendio per due motivazioni: la prima è per la scarsa presenza di materiale scientifico per settori diversi dall'antincendio, la seconda perché la prova di emergenza oggetto di studio partiva da uno scenario di incendio.

Innanzitutto è stata discussa l'entità del fenomeno degli incendi all'interno delle strutture sanitarie, proponendo dati a carattere nazionale e internazionale; dopodiché, da questi e da precedenti studi scientifici sono state identificate le principali cause di incendio che occorrono in questi ambiti.

In secondo luogo, sono state ripercorse la scienza e la tecnica alle spalle della prevenzione incendi, ponendo l'attenzione al campo della gestione dell'esodo. In particolare, è stata proposta un approfondimento nell'ambito del comportamento umano in fase di emergenza, discutendo le conclusioni di alcuni articoli di ricerca nei campi della velocità di movimento e del tempo di pre-movimento degli occupanti all'interno di ambienti a carattere sanitario. In seguito è stato trattato il tema della simulazione computazionale di scenari di esodo, revisionando gli studi che hanno comparato le funzioni disponibili nei più importanti modelli esistenti. Da questa revisione è stato identificato il software che è stato ritenuto più opportuno per lo svolgimento dello studio.

L'elaborazione dati ha consistito nella realizzazione di due modelli computazionali: uno rappresentante quanto avvenuto nell'esercitazione oggetto di studio, mentre l'altro modificando le condizioni iniziali del precedente in modo da rendere lo scenario più gravoso, quindi l'esodo più complesso. Nella sezione successiva, sono state identificate e discusse dapprima i singoli risultati, poi le differenze tra i due, identificando i limiti e le opportunità dell'esercitazione svoltasi nell'ospedale di Rovereto.

Da quanto proposto, sono stati delineati alcuni punti su cui si dovrebbe porre l'attenzione durante la pianificazione di una prova di emergenza, in modo da rendere questa opportunità il più possibile utile a identificare problematiche o spunti di miglioramento.

Va sottolineato che le linee guida delineate al Capitolo 4 sono state impostate sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni di cui al Capitolo 3. Le simulazioni sono state realizzate a partire dal materiale della prova di evacuazione oggetto di studio e dalla letteratura di settore. Nella seconda simulazione, quella rappresentante lo scenario peggiorativo, la principale difficoltà è stata nel reperire i tempi di pre-movimento; infatti, questi sono stati ricavati a seguito di un'analisi statistica poiché non sono stati trovati dati simili in letteratura. Questo significa che la ricerca nell'ambito di comportamento umano in emergenza è ancora poco sviluppata, rendendo complesso e poco performante lo sviluppo di simulazioni attraverso modelli computazionali.

La debole consistenza dei dati di partenza, anche dovuta al rumore di sottofondo presente nei filmati della prova, unita alle ipotesi assunte sulla base di un singolo caso studio, rappresentano una limitazione agli obiettivi di questo elaborato in quanto non è stato possibile considerare tutti gli aspetti che intervengono nei casi reali, bensì solo quelli riscontrati nel caso studio. Per questi motivi, le linee guida proposte non sono da considerarsi complete ed esaustive, ma come supporto utile a generare spunti di riflessione durante la fase di pianificazione delle prove di emergenza.

Quanto proposto vuole essere il principio di un lavoro più ampio avente come potenziale obiettivo quello di arrivare ad una norma tecnica capace di indirizzare gli addetti del settore a considerare le prove di evacuazione come opportunità dalle quali poter identificare criticità o carenze nei sistemi di rivelazione, allarme ed esodo.

Per approfondire il lavoro svolto finora sarebbe sicuramente utile valutare ulteriori prove di evacuazione svolte all'interno di strutture sanitarie, possibilmente in condizioni differenti. Si potrebbero considerare prove annunciate ma senza una formazione precedente o addirittura prove non annunciate, oppure potrebbero essere considerate prove con il coinvolgimento di degenti non gravi e di pazienti con accompagnatori. Potrebbe anche risultare utile simulare uno scenario di emergenza che metta il personale sanitario nelle condizioni di dover trovare delle soluzioni differenti rispetto a quelle che avrebbero adottato in scenari meno gravosi.

Riferimenti esterni

SIMULAZIONE DELLO STATO DI FATTO



<https://youtu.be/gwqv10j28CU>

SIMULAZIONE DELLO SCENARIO PEGGIORATIVO



<https://youtu.be/qwx3rIg3h5U>

Bibliografia

- [1] K. M. Taaffe, R. Kohl, e D. L. Kimbler, «Hospital evacuation: Issues and complexities», *Proceedings - Winter Simulation Conference*, vol. 2005, pagg. 943–950, 2005, doi: 10.1109/WSC.2005.1574343.
- [2] D. Huang, S. M. Lo, L. Yang, L. Gao, e J. Ty Lo, «Hospital Evacuation under Fire: Risk Identification and Future Prospect», *2019 9th International Conference on Fire Science and Fire Protection Engineering, ICFSFPE 2019*, ott. 2019, doi: 10.1109/ICFSFPE48751.2019.9055882.
- [3] W. Chin Ong e M. Sulieman, «Fire Safety Management Problems in Fire Accidents in Hospital Buildin», *Adv Environ Biol*, vol. 9, n. 4, pagg. 43–46, mar. 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.1004.7609.
- [4] «Messina, incendio all’ospedale Papardo: grande paura - Gazzetta del Sud». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: <https://messina.gazzettadelsud.it/video/cronaca/2023/01/22/messina-incendio-allospedale-papardo-grande-paura-187560a7-0096-45ac-9727-996e1f155996/>
- [5] «Messina, al Papardo 8 sale operatorie fuori uso dopo il rogo: fermato un tossicodipendente». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://messina.gazzettadelsud.it/foto/cronaca/2023/01/23/messina-incendio-allospedale-papardo-fermato-un-tossicodipendente-574b4bfd-a77f-48fc-95e1-39831e818654/>
- [6] «Principio d’incendio all’ospedale di Conegliano, intervengono i vigili del fuoco». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.trevisotoday.it/cronaca/conegliano-ospedale-fumo-incendio-1-febbraio-2023.html>
- [7] «Principio incendio a ospedale Sacco, evacuato ambulatorio - Lombardia - ANSA.it». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/lombardia/notizie/2023/02/17/principio-incendio-a-ospedale-sacco-evacuato-ambulatorio_0cdcd4-fc14-43ff-93ee-7babfd6b8fc0.html
- [8] «Incendio all’ospedale: pazienti evacuati». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.milanotoday.it/cronaca/incendio/cardiologia-sacco.html>
- [9] «Incendio in ospedale Sant’Elia a Caltanissetta - Sicilia - ANSA.it». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/sicilia/notizie/2023/03/09/incendio-in-ospedale-santelia-a-caltanissetta_f3fb793f-5609-4054-a8e3-55f25e3186da.html

- [10] «Scoppia un incendio nell'ospedale Sant'Elia di Caltanissetta: l'edificio avvolto da una nube di fumo nero». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://notizie.virgilio.it/scoppia-un-incendio-nell-ospedale-sant-elia-di-caltanissetta-l-edificio-avvolto-da-una-nube-di-fumo-nero-1560564#:~:text=I%20vigili%20del%20fuoco%20hanno,un%20altro%20straniero%20nel%20stabile.>
- [11] «Principio incendio in bagno pronto soccorso ospedale Catania - Sicilia - ANSA.it». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/sicilia/notizie/2023/03/09/principio-incendio-in-bagno-pronto-soccorso-ospedale-catania_89544cfe-e6cf-4d10-bf53-340e3b87fe25.html
- [12] «Ospedale Corigliano Rossano, paziente sottoposto a tso appicca incendio in pronto soccorso». Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.lacnews24.it/cronaca/ospedale-corigliano-rossano-paziente-sottoposto-a-tso-appicca-incendio-in-pronto-soccorso_168274/
- [13] «Mestre. Ospedale dell'Angelo, paziente dà fuoco alle lenzuola: principio d'incendio nel reparto Psichiatria». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ilgazzettino.it/nordest/veneziamestre_principio_incendio_reparto_psichiatria_paziente_fuoco_lenzuola-7289876.html
- [14] «Paura in ospedale, principio d'incendio nel reparto di ginecologia: evacuati i visitatori». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.romatoday.it/cronaca/incendio-ospedale-sandro-pertini.html>
- [15] «Incendio a Milano, 6 morti in casa riposo: rogo partito da un letto». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.adnkronos.com/cronaca/milano-incendio-in-casa-di-riposo-6-morti-due-feriti-gravi_5i89yvmkaAdmnmfcQUZPH9
- [16] «Bari, incendio all'ospedale Miulli di Acquaviva delle Fonti». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://tg24.sky.it/cronaca/2023/07/11/bari-incendio-ospedale-miulli-acquaviva-fonti>
- [17] «Principio d'incendio al Goretti, fiamme e fumo nella centrale Ced». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ilmessaggero.it/latina/principio_d_incendio_al_goretti_fiamme_e_fumo_nella_centrale_ced-7518061.html?refresh_ce
- [18] «Incendio all'ospedale San Martino a Genova, evacuati tre piani», Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/liguria/notizie/2023/07/19/incendio-allospedale-san-martino-a-genova-evacuati-2-piani_e5226b98-4163-41f7-b456-2307bf8c170f.html

- [19] «Caltanissetta, scoppia un incendio in un ospedale: non ci sono feriti». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.tag24.it/743229-caltanissetta-scoppia-un-incendio-in-un-ospedale-non-ci-sono-feriti/?utm_source=copy&utm_medium=social&utm_campaign=EasySocialShareButtons
- [20] «Incendio in una Rsa di Parma, muore una donna di 62 anni». Consultato: 29 agosto 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.agi.it/cronaca/news/2023-08-14/scoppia-incendio-rsa-parma-muore-donna-22626982/>
- [21] «Centenaria intossicata nell'incendio della Rsa in Maremma». Consultato: 20 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://firenze.repubblica.it/cronaca/2023/10/26/news/centenaria_intossicata_incendio_rsa_manciano_grosseto-418807075/
- [22] «Principio incendio in ospedale a Civitavecchia, domato». Consultato: 20 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/lazio/notizie/2023/10/27/principio-incendio-in-ospedale-a-civitavecchia-domato_445fec0e-3aac-4352-a6bb-71ca10e58054.html
- [23] «Incendio in ospedale nel Lodigiano». Consultato: 20 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/lombardia/notizie/2023/09/23/incendio-in-ospedale-nel-lodigiano_bead58b6-1b37-49e4-b9c7-dcd50c7d2a2d.html
- [24] «Rogo in cortile ospedale Teramo, fumo visibile a chilometri». Consultato: 20 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/abruzzo/notizie/2023/11/07/rogo-in-cortile-ospedale-teramo-fumo-visibile-a-chilometri_0a1a3e25-dd31-4264-bf39-be3492d37f80.html
- [25] «Principio incendio in ospedale Firenze, si pensa a dolo». Consultato: 20 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: https://www.ansa.it/toscana/notizie/2023/11/10/principio-incendio-in-ospedale-firenze-si-pensa-a-dolo_aaf82246-6f6d-41c5-9d63-06d1bfd87701.html
- [26] «Data snapshot: Hospital Fires», US Fire Administration. Consultato: 3 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.usfa.fema.gov/statistics/reports/where-fires-occur/snapshot-hospital.html>
- [27] Bundesverband Technischer Brandschutz, «Brände in Krankenhäusern - bvfa-Statistik». Consultato: 3 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.bvfa.de/121/aktuelles/statistiken/braende-in-krankenhaeusern>

- [28] Home Office of the United Kingdom, «Fire statistics data tables», 2023. Consultato: 12 settembre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/fire-statistics-data-tables>
- [29] «Hospitals don't burn! Hospital Fire Prevention and Evacuation», PAHO, 2014. Consultato: 3 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/34976>
- [30] R. Campbell, «Structure Fires in Health Care Facilities», 2017. Consultato: 3 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Building-and-Life-Safety/Fires-in-Health-Care-Facilities>
- [31] International Organization for Standardization, «ISO 13571 Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires». Geneva, 2012.
- [32] R. G. Gann, «International study of the Sublethal Effects of Fire Smoke on Survivability and Health», Gaithersburg, MD, 2001. doi: 10.6028/NIST.TN.1439.
- [33] Ministry of Business Innovation and Employment, *C/VM2 Verification Method: Framework for Fire Safety Design*. New Zealand, 2014.
- [34] European Committee for Standardization, «EN 1991 Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire». Brussels, 2002.
- [35] C. Thauvoye, B. Zhao, J. Klein, e M. Fontana, «Fire Load Survey and Statistical Analysis», *Fire Safety Science*, vol. 9, pagg. 991–1002, 2008, doi: 10.3801/IAFSS.FSS.9-991.
- [36] International Organization for Standardization, «ISO/TR 16738 Fire-safety engineering – Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people». Geneva, 2009.
- [37] International Organization for Standardization, «ISO 31000 Risk management – Guidelines». Geneva, 2018. Consultato: 29 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.iso.org/standard/65694.html>
- [38] Z. Jiang, «Study on Safe Evacuation in Large Hospital Fires», 2011.
- [39] «Arson attacks at new national children's hospital site are causing 'grave concern' – The Irish Times». Consultato: 25 marzo 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.irishtimes.com/news/health/arson-attacks-at-new-national-children-s-hospital-site-are-causing-grave-concern-1.4862695>
- [40] «Croydon University Hospital A&E department reopens after suspected arson attack | Evening Standard». Consultato: 25 marzo 2023. [Online]. Disponibile su:

<https://www.standard.co.uk/news/london/croydon-university-hospital-fire-patients-fled-evacuation-b1064882.html>

- [41] W. Guan *et al.*, «Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China», *New England Journal of Medicine*, vol. 382, n. 18, pagg. 1708–1720, apr. 2020, doi: 10.1056/NEJMOA2002032.
- [42] M. H. Wood, M. Hailwood, e K. Koutelos, «Reducing the risk of oxygen-related fires and explosions in hospitals treating Covid-19 patients», *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 153, pagg. 278–288, set. 2021, doi: 10.1016/J.PSEP.2021.06.023.
- [43] «EUROPA - MINERVA Home Page - European Commission - LLB on Risk of oxygen-related fires in hospitals treating Covid-19 patients». Consultato: 1 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: https://minerva.jrc.ec.europa.eu/en/shorturl/minerva/llb_on_risk_of_oxygen_related_fires_in_hospitals_treating_covid_19_patients
- [44] «ECRI identifies top 10 health technology hazards for 2010 | Healthcare IT News». Consultato: 1 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.healthcareitnews.com/news/ecri-identifies-top-10-health-technology-hazards-2010>
- [45] L. F. Henderson e D. J. Lyons, «Sexual Differences in Human Crowd Motion», *Nature* 1972 240:5380, vol. 240, n. 5380, pagg. 353–355, 1972, doi: 10.1038/240353a0.
- [46] D. Wang, W. Lv, e W. Song, «Observation and simulation of patients evacuation in a hospital», *Fire Safety Science*, vol. 22, n. 1, pagg. 17–23, 2013.
- [47] «Fire Safety Management and Emergency Plan | County Durham and Darlington Fire and Rescue Service». Consultato: 30 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.ddfire.gov.uk/fire-safety-management-and-emergency-plan>
- [48] R. W. Bukowski e J. S. Tubbs, «Egress Concepts and Design Approaches», in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, New York, NY: Springer New York, 2016, pagg. 2012–2046. doi: 10.1007/978-1-4939-2565-0_56.
- [49] R. Zhu, J. Lin, B. Becerik-Gerber, e N. Li, «Human-building-emergency interactions and their impact on emergency response performance: A review of the state of the art», *Saf Sci*, vol. 127, pag. 104691, lug. 2020, doi: 10.1016/j.ssci.2020.104691.
- [50] S. Gwynne, D. Purser, D. Boswell, e A. Sekizawa, «Understanding and representing staff pre-warning delay», *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 22, n. 2, pagg. 77–99, mag. 2012, doi: 10.1177/1042391512436785.

- [51] S. M. V. Gwynne e K. E. Boyce, «Engineering Data», in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, New York, NY: Springer New York, 2016, pagg. 2429–2551. doi: 10.1007/978-1-4939-2565-0_64.
- [52] S. Gwynne, E. Galea, J. Parke, e J. Hickson, «The Collection Of Pre-Evacuation Times From Evacuation Trials Involving A Hospital Outpatient Area And A University Library Facility», *Fire Safety Science*, vol. 7, pagg. 877–888, 2003, doi: 10.3801/IAFSS.FSS.7-877.
- [53] R. G. Pearson e M. G. Joost, «Egress Behaviour Response Times of Handicapped and Elderly Subjects to Simulated Residential Fire Situations. National Bureau of Standards», *Center for Fire Research, Washington, DC*, 1983.
- [54] T. J. Shields, «Fire and Disabled People in Buildings», *J R Soc Health*, vol. 114, n. 6, pagg. 304–308, dic. 1994, doi: 10.1177/146642409411400605.
- [55] V. Alonso-Gutierrez e E. Ronchi, «The simulation of assisted evacuation in hospitals», 2016. Consultato: 1 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://portal.research.lu.se/en/publications/the-simulation-of-assisted-evacuation-in-hospitals>
- [56] C. W. Johnson, «Using Computer Simulations to Support A Risk-Based Approach For Hospital Evacuation», 2005. Consultato: 1 novembre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson/papers/G-HES.PDF>
- [57] A. P. M. Adams e E. R. Galea, «An Experimental Evaluation of Movement Devices Used to Assist People with Reduced Mobility in High-Rise Building Evacuations», in *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Boston, MA: Springer US, 2011, pagg. 129–138. doi: 10.1007/978-1-4419-9725-8_12.
- [58] A. Kumar *et al.*, «Fire Sensing Technologies: A Review», *IEEE Sens J*, vol. 19, n. 9, pagg. 3191–3202, mag. 2019, doi: 10.1109/JSEN.2019.2894665.
- [59] P. Dvorak, M. Mazanek, e S. Zvanovec, «Fire Emissivity Detection by a Microwave Radiometer», *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 12, n. 11, pagg. 2306–2310, nov. 2015, doi: 10.1109/LGRS.2015.2474121.
- [60] B. Kim e J. Lee, «A Video-Based Fire Detection Using Deep Learning Models», *Applied Sciences 2019, Vol. 9, Page 2862*, vol. 9, n. 14, pag. 2862, lug. 2019, doi: 10.3390/APP9142862.
- [61] H. Li, X. Sun, e K. Zhang, «Voice alarm system in emergency evacuation», *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture*

- Notes in Bioinformatics*), vol. 4562 LNAI, pagg. 723–730, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-73331-7_79.
- [62] «Fire Hazards of Oxygen and Oxygen Enriched Atmospheres», Brussels, 2018. Consultato: 1 aprile 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.eiga.eu/uploads/documents/DOC004.pdf>
- [63] W. Wróblewski *et al.*, «Fire Safety of Healthcare Units in Conditions of Oxygen Therapy in COVID-19: Empirical Establishing of Effects of Elevated Oxygen Concentrations», *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 4315, vol. 14, n. 7, pag. 4315, apr. 2022, doi: 10.3390/SU14074315.
- [64] *Decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011, n. 151 «Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del decreto-legge 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122.»* Italy.
- [65] *Decreto Ministeriale 3 agosto 2015 «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139.»* Italia.
- [66] Corte di Cassazione – Sezione III Penale, «Sentenza n. 29543 del 17 luglio 2009». Roma, 2009.
- [67] E. Kuligowski e R. Peacock, «A Review of Building Evacuation Models». Technical Note (NIST TN), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, luglio 2005. [Online]. Disponibile su: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=902502
- [68] E. Kuligowski, R. Peacock, e B. Hoskins, «A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition». Technical Note (NIST TN), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, luglio 2010. [Online]. Disponibile su: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=906951
- [69] A. L. E. Hunt, «Simulating hospital evacuation», University of Greenwich, 2016. [Online]. Disponibile su: <http://gala.gre.ac.uk/id/eprint/18058/>
- [70] «Unità operativa pediatria - Rovereto». Consultato: 12 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: [https://www.apss.tn.it/Azienda/Unita-operative-e-strutture/Unita-operativa-pediatria-Rovereto/\(people\)/12](https://www.apss.tn.it/Azienda/Unita-operative-e-strutture/Unita-operativa-pediatria-Rovereto/(people)/12)
- [71] «Centro fibrosi cistica Rovereto: il grazie ai donatori», Azienda Provinciale per i Servizi Sanitari. Consultato: 13 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: <https://www.apss.tn.it/Novita/Notizie/Centro-fibrosi-cistica-Rovereto-il-grazie-ai-donatori>

- [72] Columbia University Mailman School of Public Health, «Agent-Based Modeling». Consultato: 26 ottobre 2023. [Online]. Disponibile su: [https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/agent-based-modeling#:~:text=Agent%2Dbased%20models%20are%20computer,epidemiology\)%20are%20assigned%20certain%20attributes](https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/agent-based-modeling#:~:text=Agent%2Dbased%20models%20are%20computer,epidemiology)%20are%20assigned%20certain%20attributes).
- [73] British Standard Institution, *PD 7974-6:2019 - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)*. 2019.
- [74] D. A. Purser e M. Bensilum, «Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations», *Saf Sci*, vol. 38, n. 2, pagg. 157–182, lug. 2001, doi: 10.1016/S0925-7535(00)00066-7.
- [75] *Decreto Ministeriale 2 settembre 2021, «Criteri per la gestione dei luoghi di lavoro in esercizio ed in emergenza e caratteristiche dello specifico servizio di prevenzione e protezione antincendio, ai sensi dell'articolo 46, comma 3, lettera a), punto 4 e lettera b) del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81.» Italia.*