



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Ottobre 2022

Il progetto dei piani di evacuazione in emergenza per le attività scolastiche con l'utilizzo di simulazioni di esodo

Relatore:

Prof. Roberto Vancetti

Correlatori:

Arch. Stefano Zanut

Ing. Emiliano Cereda

Candidata:

Maria Minoia

Indice

Introduzione.....	1
1. La Prevenzione Incendi.....	3
2. La Fire Safety Engineering	6
2.1. Le fasi metodologiche.....	8
3. L'esodo in emergenza.....	11
3.1. L'esodo: i fattori determinanti	16
3.1.1. Ambiente.....	16
3.1.2. Occupanti	19
3.1.3. Incendio	29
4. I piani di emergenza ed evacuazione	32
4.1. I vantaggi delle simulazioni virtuali nella pianificazione dell'emergenza	51
5. Caso studio.....	54
5.1. Modellazione di incendio.....	63
5.2. Modellazione di esodo.....	75
5.3. Analisi.....	84
5.3.1. Simulazioni di incendio	84
5.3.2. Simulazioni di esodo	134
5.3.3. Simulazioni di esodo con incendio in corso: criticità e proposte.....	139
6. Conclusioni	163
Bibliografia	166

Introduzione

La prevenzione incendi nasce con l'obiettivo di salvaguardare la vita umana, tutelare i beni e proteggere l'ambiente: è frutto di un processo iterativo che porta alla definizione di soluzioni progettuali per ognuna delle strategie antincendio presenti nel Codice di prevenzione incendi.

In quest'ambito uno dei temi più caldi degli ultimi anni è rappresentato dalla gestione dei flussi di esodo e dai fattori che in tali circostanze interagiscono.

Una procedura di evacuazione si attiva solitamente in caso di emergenza, quando una o più strategie antincendio falliscono, mettendo a repentaglio la sicurezza delle persone e la tutela dei beni e dell'ambiente. Non sempre però questa misura è sufficiente a limitare l'esposizione alla fonte di pericolo, quindi è importante conoscere le soluzioni alternative e capire come metterle in atto attraverso la predisposizione di un piano di emergenza formulato per gestire la molteplicità di situazioni critiche che possono manifestarsi.

Nel presente contributo si tenta di analizzare le dinamiche alla base di tali situazioni e di individuare un metodo operativo che permetta di progettare l'evacuazione in sicurezza degli edifici scolastici. Per raggiungere lo scopo sono state scelte le scuole (primarie e secondarie di primo grado) come ambito specifico di applicazione. L'interesse nasce dal particolare target di occupanti e dalla difficoltà di elaborare piani di emergenza che possano coinvolgerli, essere adattabili alle diverse situazioni ed età ed inclusivi nell'approccio ai soggetti vulnerabili presenti (bambini, disabili, donne in gravidanza, ...).

Per perseguire lo scopo è stato necessario informarsi preventivamente circa l'assetto normativo e le condizioni attuali di sicurezza nelle attività scolastiche, attingendo al Portale Unico dei Dati della Scuola messo a disposizione dal Ministero dell'Istruzione. Parallelamente è stata consultata la letteratura di settore per comprendere le basi teoriche della pianificazione dell'emergenza ed adattare alle peculiarità dei soggetti coinvolti. Grande attenzione è stata rivolta all'organizzazione dei flussi di esodo (sin dalle prime fasi di gestione degli alunni in aula), all'inclusività del piano di emergenza e alle tecniche di elaborazione, divulgazione e verifica delle procedure, anche attraverso l'utilizzo dei più moderni software di simulazione di esodo ed incendio. Questi strumenti sono spesso alleati del professionista che sceglie di adottare il metodo prestazionale, ma offrono potenzialità notevoli in tutti gli ambiti dell'antincendio e della sicurezza: costituiscono un'interessante risorsa per l'elaborazione dei piani in quanto permettono di analizzare più scenari e conoscere rapidamente gli esiti attraverso la simulazione virtuale; sono utili come strumenti di verifica per la possibilità di moltiplicare gli ambiti di indagine, correggere le problematiche e aggiornare le strategie in funzione delle variazioni impiantistiche, gestionali

e strutturali dell'istituto; fungono da supporto alla formazione delle persone coinvolte grazie alla possibilità di presentare grafici e animazioni; sono ancora più efficaci se sfruttati in collaborazione con le tecniche educative offerte dalla recentissima Realtà Virtuale, in grado di creare ambienti tridimensionali immersivi in cui gli utenti possono diventare alternativamente attori o spettatori.

Con questi presupposti è stato selezionato come sito di interesse l'Istituto comprensivo di Arborio (VC), oggetto delle applicazioni con le quali sperimentare l'efficacia degli strumenti di simulazione, soprattutto relativamente alla gestione alternativa dei flussi di occupanti impossibilitati ad utilizzare le vie di esodo interdette dagli effetti degli incendi simulati nei diversi scenari.

Nel presente lavoro verranno quindi esposte le basi teoriche della prevenzione incendi e della pianificazione dell'emergenza; ci si soffermerà sull'analisi dei meccanismi comportamentali che derivano dall'aleatorietà umana in interazione con l'ambiente circostante e la sorgente o gli effetti del pericolo; infine si presenterà il caso studio applicando i concetti di interesse alle specificità del contesto scolastico selezionato.

L'intento è quello di rendere la procedura di pianificazione semplice e ripetibile: non si ha la pretesa di fornire una traccia di piano di evacuazione universalmente valida, ma si auspica di evidenziare le criticità riscontrabili e fornire gli strumenti per compiere delle scelte ponderate, che rendano le procedure flessibili e calzanti con gli istituti che il professionista si trova man mano ad analizzare.

1. La Prevenzione Incendi

Il corpo normativo italiano in materia di Prevenzione Incendi è stato sviluppato con un processo lungo e complesso, caratterizzato da frequenti modifiche ed integrazioni, da numerosi decreti e documenti legislativi. La prima definizione di “prevenzione incendi” nasce contestualmente all’istituzione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, con il Regio Decreto legge 27/02/1939, ma necessita di molti anni prima di raggiungere una forma compiuta e definitiva. Oggi la prevenzione incendi è la *“funzione preminente di interesse pubblico diretta a conseguire, secondo criteri uniformi sul territorio italiano, gli obiettivi di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell’ambiente attraverso la promozione, lo studio, la predisposizione e la sperimentazione di norme, misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare l’insorgenza di un incendio e degli eventi ad esso comunque connessi o a limitarne le conseguenze”*¹. Questa definizione è inserita nel documento che più di tutti segna una tappa importante all’interno della disciplina, ossia il D.M. 03/08/2015 – Codice di prevenzione incendi (e successivi aggiornamenti dei D.M. 12/04/2019 e D.M. 24/11/2021). Questo nuovo documento nasce con l’intento di razionalizzare il corpo normativo italiano, unificandolo in un testo organico, sistematico, ma soprattutto aggiornato ai nuovi approcci metodologici desunti dagli standard internazionali e aperto alle più variegate forme del progresso tecnologico.

La legislazione italiana impone la valutazione del rischio incendio per tutti gli ambienti identificati come luoghi di lavoro (D. Lgs. n. 81 del 09/04/2008) ai sensi del D.M. 10/03/1998. Per comprendere l’approccio da adottare nelle valutazioni specifiche di ogni attività, resta da chiarire quali siano le distinzioni fondamentali all’interno di questo panorama legislativo.

Si opera quindi una distinzione tra attività normate e non normate, soggette e non soggette: le attività normate, a differenza delle non normate, sono sottoposte a normativa verticale, interna o esterna al Codice di prevenzione incendi; le attività soggette o non soggette, invece, sono quelle che devono o meno essere sottoposte ai controlli di prevenzione incendi da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco.

Alla luce di queste distinzioni, si delineano diverse casistiche:

- attività soggette e normate: se sono presenti delle Regole Tecniche Verticali (RTV) all’interno del Codice e dei decreti prescrittivi antecedenti, il progettista può scegliere

¹ Ministero dell’Interno – D.M. 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi, aggiornamento D.M. 24/11/2021

a quale normativa riferirsi (regime del doppio binario), mentre se non sono presenti RTV specifiche, si devono utilizzare i decreti antecedenti al Codice

- attività soggette e non normate: secondo quanto previsto dal D.M. 12/04/2019, è obbligatorio l'utilizzo del Codice di prevenzione incendi
- attività non soggette, normate e non normate: il Codice può essere utilizzato solo come riferimento o linea guida, ma è in ogni caso obbligatorio eseguire la valutazione del rischio incendio redatta ai sensi del D.M. 10/03/1998.

Si ritrova un primo riferimento in merito alle attività sottoposte ai controlli di prevenzione incendi, all'interno del D.P.R. n. 689 del 26/03/1959 e poi nella Legge n. 966 del 26/07/1965 che propone un elenco di 100 attività. Questo elenco nel tempo ha subito diversi aggiornamenti e modifiche, per giungere alla sua versione definitiva nel D.P.R. n. 151 del 01/08/2011, il cui Allegato riporta le odierne 80 attività da sottoporre ai controlli. Anche in questo caso, come per il Codice, il decreto è stato promulgato con l'intento di semplificare l'approccio e le procedure per l'ottenimento del consenso all'esercizio dell'attività.

La prevenzione incendi costituisce il fattore di connessione che coordina e rende sistematico l'approccio alla progettazione integrata. Il Codice, con gli obiettivi e principi fondanti di salvaguardare la vita umana, tutelare i beni e proteggere l'ambiente, disciplina la materia organizzandola in quattro sezioni:

- Generalità (G): *“contiene i principi fondamentali per la progettazione della sicurezza antincendio applicabili indistintamente a tutte le attività”*
- Strategia antincendio (S): *“contiene le misure antincendio di prevenzione, protezione e gestionali applicabili a tutte le attività, per comporre la strategia antincendio al fine di mitigare il rischio d'incendio”*
- Regole tecniche verticali (V): *“contiene le regole tecniche verticali, che completano, integrano o sostituiscono le misure della precedente sezione S per specifiche applicazioni tecniche o determinate tipologie d'attività”*
- Metodi (M): *“contiene la descrizione di metodologie progettuali quantitative per la progettazione di misure antincendio, calibrate sulle particolari problematiche tecniche affrontate nella determinata attività”².*

² Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015, *cit.*

La progettazione della sicurezza antincendio delle attività si delinea così come un processo iterativo e strutturato, che può essere affrontato con due approcci: il primo, semi-prescrittivo, permette al progettista di eseguire la valutazione del rischio ed individuare le soluzioni tra quelle proposte nel Codice (l'approccio prescrittivo dei decreti tradizionali lascia esigui margini al progettista in quanto il normatore ha preventivamente eseguito la valutazione ed impone specifiche soluzioni); il secondo, prestazionale, concede più libertà nell'analisi degli occupanti, dell'ambiente e dello sviluppo dell'incendio e dei suoi effetti, al fine di configurare soluzioni atte a perseguire gli obiettivi della sicurezza antincendio.

Alla luce di queste distinzioni, le sezioni G, S e V possono essere utilizzate per affrontare la progettazione con l'approccio semi-prescrittivo, semplificato, guidato e ad oggi più diffuso, mentre la sezione M è dedicata all'impostazione dell'approccio prestazionale, sicuramente più flessibile ma più complesso, sia nelle metodologie che negli strumenti.

Come specificato in precedenza, vige l'obbligo di valutazione del rischio incendio per tutti gli ambienti identificati come luoghi di lavoro. Per le attività soggette, il Codice delinea un iter per eseguire tale valutazione e minimizzare i fattori che concorrono alla definizione di rischio: frequenza (prevenzione) e conseguenze su beni e persone (protezione).

Nell'ottica dell'approccio semi-prescrittivo, vengono forniti gli strumenti per stabilire tre profili di rischio, R_{vita} , R_{beni} e $R_{ambiente}$, singolarmente connessi ai tre obiettivi della prevenzione incendi, rispettivamente salvaguardia della vita umana, salvaguardia dei beni artistici e strategici, tutela dell'ambiente. Sulla base dei tre profili e con criteri differenti, vengono attribuiti i livelli di prestazione per ognuna delle dieci strategie presenti nel Codice; questi livelli conducono all'individuazione di soluzioni di immediata applicazione tra quelle conformi prescritte oppure alla selezione di soluzioni alternative o, più raramente, in deroga (quest'ultime richiedono l'attivazione di un complesso procedimento secondo la normativa vigente quindi, tra tutte, non rappresentano la prima opzione).

L'approccio prestazionale si inserisce nel panorama della progettazione antincendio a partire da queste ultime due soluzioni: sia le alternative che quelle in deroga, infatti, richiedono ulteriori valutazioni attraverso le quali il progettista deve dimostrare il raggiungimento o il superamento del livello di prestazione della corrispondente soluzione conforme, con metodi e strumenti tecnici alternativi. Questo approccio nuovo, però, oltre ad essere utile per gli scopi citati, può essere selezionato come primo metodo di progettazione: in questo caso le valutazioni del rischio, prima guidate, vengono interamente affidate al progettista che, secondo la propria esperienza, applica i metodi dell'ingegneria della sicurezza antincendio così come verrà meglio specificato al capitolo che segue.

2. La Fire Safety Engineering

Il D.M. 09/05/2007 introduce il concetto di Fire Safety Engineering o FSE (approccio prestazionale alla sicurezza antincendio) e ne definisce le fasi ma non fornisce dettagli sullo sviluppo operativo (valori numerici dei livelli di prestazione, scenari di incendio da prevedere e tra i quali scegliere come più gravosi, progettazione dell'esodo e modelli da utilizzare per le analisi). Il documento risolve queste lacune rimandando alla consultazione della letteratura tecnica condivisa, tra cui la ISO/TR 13387:2008 che chiarisce l'essenza dell'approccio a partire dalla definizione di Fire Safety Engineering coniata nel 1999 dall'International Standard Organization: *“applicazione di principi ingegneristici, regole tecniche e giudizi esperti basati sulla valutazione scientifica del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano, finalizzati alla tutela della vita umana, alla protezione dei beni e dell'ambiente, alla quantificazione dei rischi d'incendio e dei relativi effetti ed alla valutazione analitica delle misure antincendio ottimali, necessarie a limitare entro livelli prestabiliti, le conseguenze dell'incendio”*.

Il Codice di prevenzione incendi riprende i concetti del D.M. del 2007 e della normativa tecnica internazionale nell'ambito della definizione di soluzioni alternative. Nel caso il professionista non adotti soluzioni conformi, deve dimostrare il raggiungimento di uno specifico livello di sicurezza utilizzando strumenti e metodi con cui caratterizzare scenari di progetto, analizzare quantitativamente gli effetti dell'incendio e confrontarli con prestabilite soglie prestazionali.

Si delineano così le potenzialità di questi metodi, soprattutto nei sistemi complessi, tecnologicamente avanzati o con particolare rilevanza architettonica, per i quali l'approccio tradizionale rigido, risulta più difficilmente applicabile. Nello specifico, i metodi della FSE possono essere volti alla salvaguardia della vita umana (Life Safety) come problema pre-flashover e allo studio del livello di sicurezza delle strutture (Structural Safety) come problema post-flashover. Per capire a cosa ci si riferisca con il termine flash-over, si deve far riferimento al fenomeno incendio. Il suo sviluppo può essere rappresentato graficamente con curve temperatura-tempo o potenza-tempo, su cui si possono distinguere quattro fasi:

- ignizione: ha inizio il processo di combustione
- crescita: l'incendio si sviluppa in funzione di combustibile e ventilazione
- flashover (incendio pienamente sviluppato): tutti i materiali nell'ambiente partecipano al processo di combustione
- decadimento: estinzione per carenza di ossigeno o per esaurimento del combustibile.

Si delineano quindi due macro fasi: una antecedente il flashover, in cui è possibile intervenire con una strategia di protezione attiva volta allo spegnimento dell'incendio, una successiva al flashover in cui si opera con protezione passiva per il contenimento degli effetti.

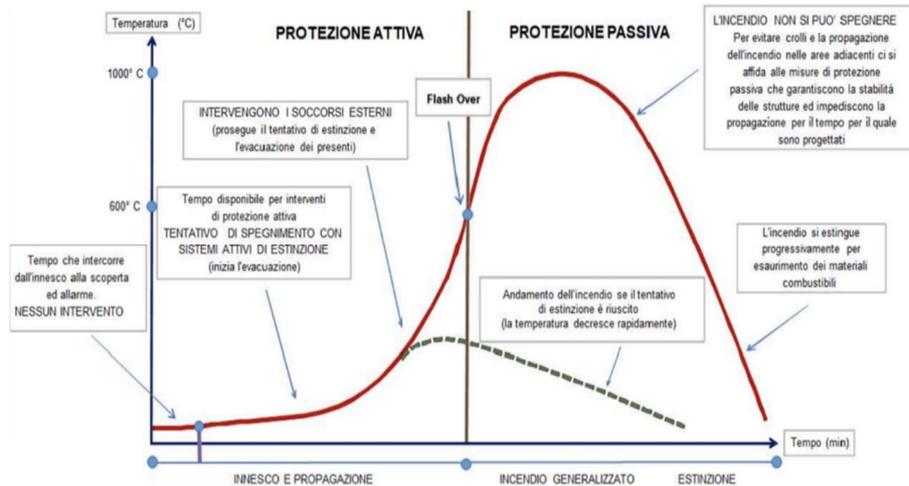


Figura 1 – Curva temperatura-tempo (Vancetti R. – Materiale didattico del corso di FSE, a. 2022)

La definizione delle curve temperatura-tempo e potenza-tempo è fondamentale nell'approccio ingegneristico in quanto permette di quantificare gli effetti dell'incendio. In particolare le curve temperatura-tempo (o di incendio) rappresentano l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura dei gas di combustione nell'intorno della superficie degli elementi strutturali, mentre le curve potenza-tempo o RHR – Rate of Heat Release (o HRR – Heat Release Rate) esprimono l'andamento temporale della potenza termica rilasciata dall'incendio e rappresentano un dato di input per le modellazioni di incendio.

Sono proprio le modellazioni, di incendio e di esodo, a rappresentare gli strumenti cardine dell'approccio prestazionale. I primi, utili a delineare l'andamento nel tempo dell'incendio, si suddividono in analitici (per stimare in modo accurato gli effetti della combustione) e numerici (per effettuare analisi complesse con interazioni di più processi chimico-fisici dipendenti dal tempo). I secondi, necessari per prevedere il comportamento degli occupanti, si suddividono in idraulici (in cui l'individuo è assimilato ad una particella di fluido e il problema è risolto con le leggi della fluidodinamica) e comportamentali (con cui è possibile definire specifiche leggi ed associarle ad ogni tipo di occupante per regolare le interazioni con l'ambiente e tra individui).

In ambito progettuale i modelli vengono utilizzati per effettuare simulazioni con lo scopo di quantificare il tempo di sviluppo degli effetti dell'incendio e il tempo necessario agli occupanti per esodare verso luogo sicuro (o alla struttura per mantenere la capacità portante,

in funzione degli obiettivi iniziali). Questi due intervalli di tempo vengono confrontati per verificare che la soluzione alternativa permetta di raggiungere un livello di sicurezza adeguato, secondo le procedure previste dal Codice ed illustrate nel paragrafo seguente.

2.1. Le fasi metodologiche

La sezione Metodi del Codice di prevenzione incendi è organizzata in tre capitoli:

- M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio: sono descritte le fasi utili per l'applicazione dell'approccio prestazionale
- M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale: è spiegata la procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari
- M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale: è descritta la modalità con cui perseguire tale obiettivo con i metodi dell'ingegneria per la sicurezza antincendio.

Il capitolo M.1 intende fornire al progettista una guida metodologica per definire soluzioni idonee al raggiungimento di obiettivi progettuali specifici, attraverso lo sviluppo di due fasi: Fase I – Analisi preliminare, Fase II – Analisi quantitativa.

La Fase I, utile per l'individuazione delle condizioni più rappresentative di rischio per l'attività e delle soglie di prestazione cui riferirsi, si compone di:

- Definizione del progetto: parte più generale in cui si chiarisce lo scopo del progetto e si descrivono attività (destinazione d'uso, vincoli, condizioni al contorno) e occupanti
- Identificazione degli obiettivi di sicurezza antincendio: ci si sofferma sugli aspetti di tutela della vita e dei beni e sulla minimizzazione dei danni ad edificio ed impianti
- Definizione delle soglie di prestazione: si individuano qualitativamente e quantitativamente le soglie relative all'incapacitazione degli occupanti esposti ad effetti termici dell'incendio (temperatura massima ed irraggiamento ammissibile), tossicità/irritazione dei gas e riduzione di visibilità dovuta alla propagazione dei fumi
- Individuazione degli scenari di incendio di progetto: alla luce degli aspetti dei punti precedenti, si schematizzano gli eventi che potrebbero ragionevolmente verificarsi.

La Fase II, finalizzata al calcolo degli effetti dell'incendio da confrontare con i livelli di prestazione individuati per gli scenari, si sviluppa in:

- Elaborazione delle soluzioni progettuali: la Fase I di ricerca e documentazione confluisce nell'elaborazione di soluzioni progettuali coerenti con le criticità individuate, con lo scopo di soddisfare gli obiettivi di sicurezza antincendio prefissati
- Valutazione delle soluzioni progettuali: per i diversi scenari si descrive quantitativamente l'evoluzione dell'incendio e si calcolano gli effetti su occupanti, struttura e ambiente (utilizzando anche i modelli di simulazione)
- Selezione delle soluzioni progettuali idonee: per selezionare la soluzione progettuale finale tra quelle analizzate, si confrontano i dati ottenuti con le soglie di prestazione.

Il capitolo M.2 descrive la procedura per identificare, selezionare e quantificare gli scenari più gravosi tra quelli che ragionevolmente potrebbero verificarsi. Nello specifico si delineano le condizioni di esercizio probabili e si identificano gli scenari di incendio attraverso lo sviluppo di alberi degli eventi ed analisi storiche che guidano il professionista nell'individuazione qualitativa delle varie opzioni; poi si selezionano gli scenari di progetto, gli unici di cui si quantificano i dati di input relativamente ad occupanti, focolare ed attività, al fine di ottenere risultati numerici da cui desumere soluzioni. In questo modo il processo è ottimizzato in termini di impegno progettuale, tempi e costi.

I dati di input devono in particolare riguardare tre aspetti:

- attività: è descritta nel suo complesso dal punto di vista architettonico-distributivo, strutturale, impiantistico e gestionale, evidenziando i fattori che potrebbero influenzare lo sviluppo dell'incendio e la diffusione dei suoi effetti, quindi l'esodo delle persone
- occupanti: sono individuate le caratteristiche tipologiche degli individui presenti nell'edificio (stato psico-fisico, impiego, familiarità con i luoghi, ...) e il massimo affollamento previsto, per valutare la risposta ad un eventuale stato emergenziale
- incendio: è caratterizzato quantitativamente per localizzazione, materiali coinvolti, prodotti della combustione e potenza sprigionata (con stima della curva RHR o utilizzo dei focolari predefiniti forniti dal Codice limitatamente ad alcune condizioni).

Il capitolo M.2 si delinea quindi come il fulcro dell'approccio prestazionale: viene analizzata la dinamica dell'incendio con modalità diverse dall'approccio tradizionale, il cui parametro principale è il carico di incendio (energia totale disponibile e area sottesa dalla curva RHR).

Il capitolo M.3 infine si occupa della salvaguardia della vita: si studia il sistema d'esodo anche in relazione alle complesse interazioni tra gli occupanti e tra occupanti, ambiente ed incendio. Il Codice specifica che *“la progettazione ideale di un sistema d'esodo dovrebbe*

assicurare agli occupanti la possibilità di raggiungere un luogo sicuro in sicurezza e permanervi, senza mai incontrare gli effetti dell'incendio". Questo obiettivo è per l'appunto ideale, in quanto in alcuni casi, come per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco, è difficilmente applicabile. Per questo motivo il capitolo M.3 propone una soluzione basata sul confronto tra due intervalli di tempo:

- ASET (Available Safe Escape Time): tempo disponibile per l'esodo, tra l'innesco dell'incendio e il momento in cui si creano condizioni incapacitanti per la fuga. È valutato quantitativamente con i modelli di incendio
- RSET (Required Safe Escape Time): tempo necessario affinché gli occupanti raggiungano un luogo sicuro, parzialmente determinato con i modelli di esodo.

Per un sistema d'esodo efficace, deve risultare $ASET > RSET$, con un certo margine di sicurezza che il professionista tenta di massimizzare attraverso scelte progettuali che aumentino ASET e/o riducano RSET ($t_{\text{marg}} = ASET - RSET$ deve essere compreso entro specifiche soglie previste dal Codice e mai minore di 30 secondi).

Il parametro ASET può essere calcolato con metodo semplificato, basato su altezza dei fumi e temperature standard, o con metodo avanzato, attraverso l'analisi dei modelli di gas tossici, gas irritanti, calore e visibilità. Il primo approccio è molto conservativo ed è applicabile sulla base delle limitazioni definite nella ISO/TR 16738:2009; il secondo, invece, prevede la valutazione quantitativa dei risultati delle simulazioni di incendio: l'ASET risulta essere il minore tra i tempi ottenuti dai quattro modelli citati.

Per il calcolo del parametro RSET, più strettamente connesso agli occupanti e alla loro reazione ad uno stato di emergenza, si rimanda al capitolo successivo.

3. L'esodo in emergenza

Il Codice di prevenzione incendi presenta il sistema d'esodo come *“l'insieme delle misure di salvaguardia della vita che consentono agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano”*. Questa definizione è articolata attorno al concetto cardine della salvaguardia della vita, piuttosto che della sicurezza antincendio: la complessa progettazione del sistema d'esodo, infatti, mira a garantire l'incolumità delle persone nelle più disparate situazioni emergenziali, riguardanti incendi, esplosioni, calamità naturali, eventi atmosferici violenti o eventi dolosi. Per questo si parla genericamente di esodo in emergenza ma, nonostante ciò, la disciplina di prevenzione incendi è l'unica che si occupa di fornire regole e prescrizioni operative in merito, individuando modalità di esodo e soluzioni progettuali diverse per ogni tipo di emergenza, in funzione del contesto, della destinazione d'uso e delle caratteristiche degli occupanti. Contesti critici potrebbero ad esempio essere rappresentati da edifici alti, attività strategiche, attività in strutture tutelate, ma anche manifestazioni di pubblico spettacolo all'aperto, in cui la gestione della folla diventa uno degli aspetti più importanti da governare.

Analizzando l'evoluzione nel tempo degli approcci alla progettazione del sistema d'esodo, ci si rende conto che è l'idea stessa di esodo che si sta trasformando: il modello a corsie e il concetto di modulo che provengono dall'approccio tradizionale, sono ormai stati superati per far spazio ad un'interpretazione più ampia del problema, una che considera gli aspetti dimensionali degli utenti, le loro peculiarità, ma anche i tempi di reazione e di movimento e, nell'ottica dell'inclusione, le diverse forme di disabilità. Tutto ciò si traduce nel dimensionamento dei sistemi di evacuazione: il Codice propone la strada semi-prescrittiva (capitolo S.4) basata su densità di affollamento, lunghezze dei percorsi e larghezze unitarie e la strada prestazionale (capitolo M.3) che fonda la progettazione sul confronto tra due intervalli di tempo, in particolare sulla disuguaglianza $ASET > RSET$: il primo rappresenta il tempo disponibile per l'esodo, mentre il secondo quello necessario agli occupanti per raggiungere un luogo sicuro. ASET può essere determinato con i metodi specificati al capitolo precedente, mentre RSET necessita di valutazioni più complesse, in quanto deriva dalla combinazione di diversi fattori che tentano di tradurre in valori quantificabili, aspetti legati all'attività, alle caratteristiche dell'incendio e al comportamento degli occupanti.

Il confronto tra i due valori di tempo può essere schematizzato come nell'illustrazione che segue, di immediata lettura ed interpretazione.

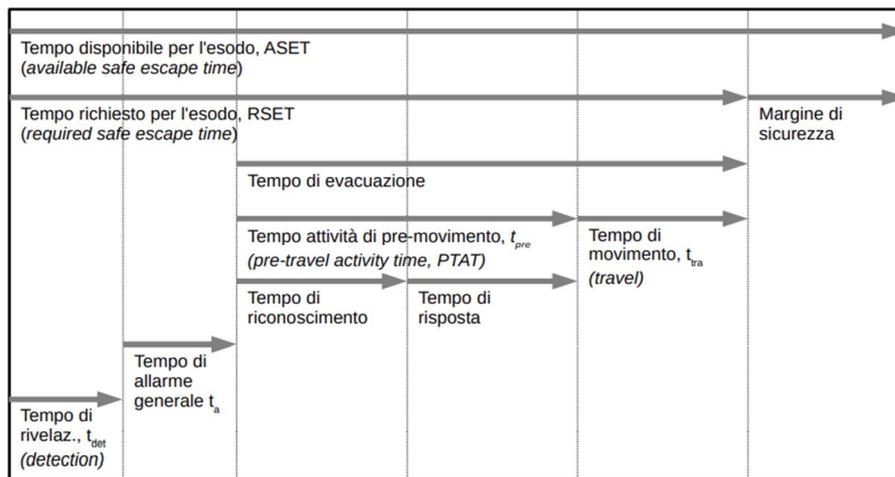


Figura 2 – D.M. 24/11/2021 Illustrazione M.3-1: Confronto tra ASET e RSET

In particolare RSET è dato dalla somma:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tra}$$

Con:

- t_{det} , tempo di rivelazione (*detection*)
- t_a , tempo di allarme generale (*alarm*)
- t_{pre} , tempo di pre-movimento (*pre-travel activity time, PTAT*)
- t_{tra} , tempo di movimento (*travel*)

Il t_{det} è il tempo necessario al sistema di rivelazione per percepire l'incendio ed è quindi variabile in funzione dello scenario di incendio analizzato e della tipologia di sistema previsto nell'attività (manuale o automatico). Può essere calcolato in modo analitico o attraverso le modellazioni di incendio usate per il calcolo di ASET.

Il t_a è l'intervallo di tempo compreso tra la rivelazione dell'incendio e la diffusione dell'allarme generale agli occupanti. Esso dipende dal tipo di impianto e può essere assunto pari a zero solo se alla rivelazione dell'incendio corrisponde l'attivazione diretta dell'allarme; per i casi in cui il sistema di rivelazione allerta una centrale di gestione dell'emergenza che dirama la segnalazione dopo aver verificato l'effettiva presenza dell'incendio, deve essere opportunamente valutato dal professionista che quantifica il ritardo dovuto alle operazioni di controllo.

Il t_{pre} è il tempo che intercorre tra la percezione dell'allarme e l'istante in cui l'occupante inizia a spostarsi verso un luogo sicuro. È dato dalla somma di altri due parametri: il tempo di riconoscimento, durante il quale l'utente continua a svolgere la propria attività fin quando non riconosce il bisogno di reagire all'allarme, e il tempo di risposta, nel quale egli termina

la propria attività per dedicarsi ad azioni legate all'emergenza. A seconda dello scenario considerato questi tempi manifestano un'elevata aleatorietà perché sono legati alle complesse interazioni degli occupanti durante l'emergenza.

Il t_{tra} è il tempo effettivamente necessario agli occupanti per spostarsi verso un luogo sicuro, una volta terminate le attività di pre-movimento. Il tempo di movimento può essere determinato attraverso le simulazioni di esodo e dipende dalle caratteristiche geometriche e distributive dell'attività e delle vie d'esodo, dalla posizione degli occupanti all'interno dell'edificio, dalla loro velocità lungo i percorsi, quindi dalle interazioni con gli altri occupanti, con l'ambiente e l'incendio.

Riassumendo, il parametro ASET e il tempo di movimento possono essere determinati rispettivamente con i modelli di incendio e di esodo; i tempi di rivelazione ed allarme ottenuti da simulazioni di incendio in cui, grazie al posizionamento di opportune sonde (ad esempio di fumi e calore) dislocate nell'edificio, si ricavano i tempi entro i quali si attivano i rispettivi impianti; il tempo più complesso da determinare è infine quello di pre-movimento, dipendente dai tempi di riconoscimento e risposta. Ad eccezione di ASET e t_{tra} , gli altri possono derivare anche dalla consultazione di norme e linee guida (come la ISO/TR 16738:2009) e da dati sperimentali.

La capacità di risposta di un individuo ad una situazione emergenziale, dipende dalla sua abilità di percezione ed interpretazione dei segnali di pericolo, quindi dalla conseguente reazione con movimenti efficaci e tempestivi. Il problema risiede nel comportamento adottato prima di procedere con l'effettiva evacuazione. L'individuo compie azioni fisiche, sensoriali e mentali che possono essere scandite secondo tre diversi intervalli temporali: percezione del pericolo attraverso gli stimoli esterni, validazione delle informazioni ricevute, conseguente risposta agli indicatori di pericolo. Infine movimento verso un luogo sicuro. Tutte queste fasi si traducono in un consistente ritardo nella fuga, un ritardo che occupa gran parte del tempo totale di esodo e che quindi rappresenta un aspetto cruciale da valutare nelle simulazioni. Sfortunatamente gli aspetti del processo di evacuazione caratterizzati da una più forte aleatorietà, sono insiti nel t_{pre} . Le sperimentazioni e gli studi nell'ambito della disciplina antincendio hanno dimostrato che i fattori determinanti per un esodo efficace, dipendono soprattutto dal grado di formazione degli occupanti e dalla familiarità con l'edificio, oltre che dalle peculiarità di ognuno. Inoltre tutto è influenzato dalle interazioni degli stessi con l'ambiente e con le fonti di pericolo: la configurazione distributiva, gli ostacoli lungo i percorsi di fuga, i sistemi di rivelazione ed allarme, incidono in diversa misura sui tempi di risposta.

Spesso le sperimentazioni vengono condotte organizzando prove di evacuazione in contesti ed edifici differenti per tipologia distributiva, destinazione d'uso e sistemi di protezione antincendio. Le prove sono condotte in strutture pubbliche e private e, nonostante vengano percepite come una formalità, sono valide non solo per la formazione degli occupanti, ma anche per raccogliere dati utili ad una comprensione più ampia del comportamento umano in emergenza. È stato dimostrato che in molti casi, la velocità di risposta ad una situazione di pericolo dipende dal grado di familiarità con l'edificio: un dipendente di una struttura aperta al pubblico molto probabilmente ha ricevuto una formazione preventiva per gestire le emergenze e avrà costruito delle mappe mentali cognitive per orientarsi ed individuare le vie di uscita. Di contro, però, un occupante che ha familiarità con i luoghi, percependo una maggiore padronanza negli spostamenti, si attarderà nel completare le attività che stava svolgendo prima dell'emergenza, raccogliere gli oggetti di valore o lasciare spazio alla curiosità di fronte all'evento straordinario, sottostimando di fatto la pericolosità insita nel proprio comportamento. Al contrario, un utente con scarsa conoscenza dei luoghi, sarà portato a seguire a ritroso il percorso che ha utilizzato per accedere all'edificio, muovendosi incurante delle vie di esodo più vicine e della segnaletica presente.

In aggiunta, molto dipende dai sistemi di diffusione dell'allarme: è stato riscontrato che la percezione dell'urgenza varia sulla base della tipologia di segnale e delle parole utilizzate. I sistemi di allarme vocale antincendio (EVAC) sono i più efficaci perché diffondono messaggi in tempo reale, con cui si possono fornire informazioni sulla posizione del focolare e trasferire con più immediatezza l'urgenza della fuga grazie agli aspetti para-verbali della voce dell'oratore. Inoltre sono solitamente giudicati come più credibili dagli occupanti rispetto le semplici sirene o le voci preregistrate che si rivelano inefficaci o dannose, perché troppo generiche e poco idonee ai casi in cui vi è scarsa familiarità con i luoghi.

Ulteriore aspetto da considerare riguarda il comportamento degli occupanti in presenza di fumo: camminare in ambienti con ridotta visibilità è reputata un'azione insolita ma le rilevante sperimentali dimostrano che tale comportamento si verifica spesso in caso di emergenza, soprattutto quando le persone cercano di allertare o aiutare gli altri all'interno dell'edificio, di combattere l'incendio o semplicemente per curiosità. Si è portati ad attraversare ambienti contaminati dal fumo pur di mettersi in salvo, sottovalutando i problemi connessi con l'inalazione e il disorientamento: pur riducendo la velocità e camminando lungo il perimetro della stanza, ad un certo punto, si accusano difficoltà respiratorie o irritazione agli occhi e si ha paura, quindi si è costretti a cambiare direzione o tornare indietro, prolungando la propria esposizione agli effetti dell'incendio.

Tutti i fattori citati contribuiscono ad aumentare il tempo di pre-movimento e possono essere sintetizzati in quattro motivazioni principali per cui un individuo ritarda l'evacuazione:

- errore di percezione quando i segnali di allarme non sono stati visti e sentiti
- errore di interpretazione/comprendimento per segnali non interpretati come indizi di un'emergenza in atto
- errore di valutazione nel caso di allarme considerato poco rilevante (ad esempio quando in un'attività si verificano frequentemente falsi allarmi)
- errore di decisione quando nello spostamento verso un luogo sicuro, viene imboccato un percorso sbagliato³.

Alla luce delle considerazioni esposte, il progettista può determinare il tempo di pre-movimento consultando fonti di letteratura o verificando l'attendibilità e l'adeguatezza di risultati sperimentali, ma può anche scegliere di stimare il t_{pre} attraverso i metodi tabellari della ISO/TR 16738:2009, dalla quale il Codice estrapola una tabella di seguito riportata.

Parametri di descrizione dell'attività tratto da ISO/TR 16738	Tempi di attività di pre-movimento ISO/TR 16738	
	$\Delta t_{pre (1st)}$ primi occupanti in fuga	$\Delta t_{pre (99th)}$ ultimi occupanti in fuga
Esempio 1: albergo di media complessità <ul style="list-style-type: none"> • occupanti: <i>Ciii, sleeping and unfamiliar</i>; • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; • gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	20'	40'
Esempio 2: grande attività produttiva <ul style="list-style-type: none"> • occupanti: <i>A, awake and familiar</i>; • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout complesso</i>; • gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>. 	1' 30"	3' 30"
Esempio 3: residenza sanitaria assistenziale <ul style="list-style-type: none"> • occupanti: <i>D, sleeping and unfamiliar</i>; • sistema di allarme: rivelazione automatica ed allarme generale mediato dall'intervento di verifica dei dipendenti; • complessità geometrica edificio: <i>edificio multipiano e layout semplice</i>; • gestione della sicurezza: <i>ordinaria</i>; • presenza di addetti in quantità sufficiente a gestire l'evacuazione dei diversamente abili. 	5'	10'

Figura 3 – D.M. 24/11/2021 Tabella M.3-1: Esempi di valutazione del tempo di pre-movimento

Dalla lettura della tabella si nota come la norma tenti di sistematizzare la quantificazione del tempo di pre-movimento, richiedendo la caratterizzazione di occupanti, edificio ed incendio per individuare i parametri in grado di influenzare i tempi di risposta ad un'emergenza. Le

³ Hofinger G., Kuenzer L., Zinke R. – *Human factors in evacuation simulation, planning and guidance*, a. 2014

distinzioni più nette per tabulare i valori del tempo di pre-movimento riguardano lo stato dell'occupante (sonno o veglia), la sua familiarità con l'edificio, la qualità dei sistemi di allarme (parametro A della ISO), il livello di complessità dell'edificio (parametro B) e il livello di gestione della sicurezza antincendio (parametro M). I dati mostrano intervalli di valori riferiti a due sottofasi del tempo di pre-movimento, ossia il tempo dei primi occupanti che iniziano l'esodo e quello impiegato dagli altri occupanti. La ISO/TR 16738:2009 propone anche diverse distribuzioni di tipo log-normale che devono essere comprese entro i margini degli intervalli tabulati: esse presentano diverse ampiezze e picchi (sempre spostati verso la prima fase), in funzione del sistema di gestione della sicurezza antincendio. Il documento fornisce anche esempi ulteriori con l'intento di presentare una più ampia casistica e ridurre l'aleatorietà nella determinazione del tempo di pre-movimento, che però rimane elevata vista la scarsità di dati disponibili e la difficoltà nell'applicarli in contesti differenti da quelli di sperimentazione della norma.

Ad ogni modo, potendo concludere che ad ogni occupante è associato un tempo di pre-movimento (quindi un RSET) e, essendo la salvaguardia della vita l'obiettivo primario della progettazione, saper prevedere il comportamento umano in emergenza, diventa lo scopo principale della modellazione in quanto permette di trovare soluzioni che riducano il t_{pre} .

3.1. L'esodo: i fattori determinanti

Per quanto detto nei paragrafi precedenti, è evidente che il sistema di esodo e i tempi di evacuazione, dipendano in sostanza dalle interazioni che si instaurano tra gli occupanti, l'edificio e l'incendio. La progettazione secondo l'approccio prestazionale non può quindi prescindere dalla caratterizzazione di questi tre fattori che diventano i parametri essenziali da definire per eseguire delle modellazioni idonee e fruttuose. Infatti la prerogativa per l'utilizzo dei software e degli strumenti della FSE, è la descrizione prima qualitativa poi quantitativa di questi elementi che diventano i dati di input delle simulazioni.

3.1.1. Ambiente

Ogni individuo interagisce quotidianamente con lo spazio circostante, sia aperto che confinato, articola i propri movimenti nei pieni e nei vuoti degli edifici, utilizza oggetti e sistemi. In questa interazione sviluppa mappe mentali e processi cognitivi che gli permettono di esibire due fondamentali abilità, l'orientamento e il wayfinding. Tramite l'orientamento, una persona è in grado di capire dove si trova all'interno di uno spazio, con il wayfinding riesce ad individuare il percorso da seguire per raggiungere una determinata destinazione a

partire dalla posizione in cui si trova. In caso di emergenza l'utilizzo di queste abilità è amplificato in quanto l'individuo indirizza tutte le capacità fisiche e cognitive nell'individuazione di una via di fuga verso un luogo sicuro.

In tutto ciò gioca un ruolo fondamentale la familiarità con l'edificio: gli utenti che frequentano abitualmente un luogo, ne conoscono la configurazione geometrica e hanno meno difficoltà nell'utilizzare i percorsi di esodo, ma anche gli utenti saltuari agiscono in termini di familiarità in quanto sono istintivamente portati ad utilizzare le vie note e raggiungere l'esterno dell'edificio, tornando lungo il percorso seguito per entrarvi.

Si possono quindi individuare fattori ambientali che influiscono sui tempi di evacuazione:

- destinazione d'uso
- affollamento
- configurazione geometrica e distributiva
- dislocazione delle vie di esodo
- segnaletica
- sistemi di allarme e di gestione della sicurezza

La **destinazione d'uso** è il primo fattore rilevante in quanto ogni attività comporta differenti sistemi distributivi e impiantistici, diverse modalità di utilizzo degli spazi e soprattutto diversi profili di utenti (genere, età, nazionalità, ecc.). Direttamente connesso alla destinazione d'uso è l'**affollamento** previsto per i locali dell'attività, fattore sicuramente fondamentale nell'individuazione delle modalità di evacuazione e, non a caso, assunto come dato di input nella strategia S.4 – Esodo del Codice, insieme al profilo di rischio R_{vita} (riferito alla tipologia di occupanti quindi indirettamente connesso con la destinazione d'uso). Infatti la valutazione dell'affollamento massimo dei locali, rappresenta il primo passo per il dimensionamento delle vie di esodo: lo scopo non è soltanto la salvaguardia della vita, ma anche la qualità della fruizione degli spazi e dell'evacuazione eventualmente in atto. Il parametro della qualità dell'esodo è stimato sulla base della densità di affollamento, nei locali, nei percorsi e in corrispondenza dei varchi di uscita, dove è necessario limitare la formazione di spazi angusti e di pericolose code, per consentire un attraversamento fluido, ordinato e sicuro. Naturalmente, questo discorso non può prescindere da considerazioni riguardanti la progettazione architettonica e funzionale che vi è a monte: gli elementi tecnici e i sistemi tecnologici scelti per garantire le prestazioni di un edificio, hanno impatti sulla **configurazione geometrica e distributiva** dello stesso, quindi sulle modalità con cui gli occupanti interagiscono con gli spazi. Come detto, ogni individuo esibisce le proprie abilità di orientamento e wayfinding, a prescindere dalle condizioni ordinarie e di emergenza ma,

se nel quotidiano il processo è relativamente semplice sulla base delle informazioni a cui si ha accesso e dell'inclusività con cui sono stati progettati gli spazi, in situazioni di pericolo, diventa più complesso gestire le mappe mentali dei locali e le relazioni con l'ambiente esterno in quanto bisogna individuare rapidamente la **dislocazione delle vie di esodo**, spesso ignorata durante l'utilizzo ordinario. L'intero processo dipende anche dall'accessibilità visiva e fisica dei percorsi, a sua volta influenzata dalla loro lunghezza, dalla disposizione degli arredi fissi e mobili, dalla qualità delle pavimentazioni e dalla presenza di porzioni verticali o in pendenza che possono diventare fonte di pericolo e inciampo, in grado di ostacolare le procedure di evacuazione e creare situazioni di panico.

Nel tema del wayfinding e della riconoscibilità dei luoghi si inseriscono anche la **segnaletica** e l'illuminazione di sicurezza, alle quali si delegano queste funzioni nonostante l'analisi di molti casi reali abbia messo in luce che in situazioni di emergenza soltanto il 7-8% delle persone coinvolte ha notato la presenza di segnali⁴. La causa di questo comportamento umano è da imputare alla localizzazione della segnaletica, non sempre adeguata, accessibile o visibile e, nei casi in cui il posizionamento sia corretto, alla condizione emotiva di stress e paura che riduce la gamma di informazioni elaborate e restringe il campo percettivo, portando gli individui ad emulare il comportamento altrui o ad utilizzare i percorsi più familiari, nonostante possano risultare affollati o distanti da raggiungere. Inoltre la segnaletica deve essere inclusiva, semplice ed immediata e prevedere l'utilizzo di più lingue e canali sensoriali; dovrebbe anche integrare i segnali tecnici convenzionali, dotati di simboli e lettere di dimensioni adeguate e con un elevato contrasto cromatico (per una più rapida percezione anche a distanza), con elementi a parete o a pavimento che permettano l'orientamento tattile. Non è da trascurare neanche l'aspetto legato all'interpretazione delle planimetrie di evacuazione: spesso si dà per scontato che tutti sappiano leggerle ed utilizzarle per orientarsi ma se questo non è scontato nel quotidiano, deve esserlo ancora meno in emergenza, quando non ci si sofferma a decifrarle, piuttosto si tenta la fuga ottimizzando le proprie capacità. La segnaletica, se opportunamente pensata ed installata, si dimostra un efficace strumento di gestione passiva delle emergenze, da affiancare ai **sistemi di allarme e di gestione della sicurezza**, che agiscono attivamente attraverso impianti e personale adeguatamente formato. In particolare essi sono fondamentali quando si deve individuare tempestivamente la fonte di pericolo per diffondere in modo chiaro ed immediatamente comprensibile il segnale di allarme, affinché gli occupanti reagiscano con azioni ragionate

⁴ Zanut S. – *Beni culturali, accessibilità e sicurezza: la scommessa della progettazione inclusiva in Rivista Antincendio*, a. 2019

ed efficaci. Per questi motivi i segnali di allarme devono essere ben distinguibili, multisensoriali e multicanali, devono essere in grado di fornire indicazioni utili a conoscere la localizzazione del pericolo ed individuare le vie di fuga per allontanarsene. La risposta allo stato di emergenza dipende infatti da come e quanto rapidamente il pericolo viene percepito e compreso: spesso le persone tendono a sottostimare i segnali che ricevono dall'esterno, li trascurano interpretandoli come "l'ennesimo falso allarme", soprattutto se costituiti da segnali visivi o sonori basici che trasmettono informazioni carenti e poco chiare. Per ovviare ad un simile errore di valutazione, intervengono in maniera efficace, come detto precedentemente, i sistemi di allarme vocale antincendio (EVAC) che trasmettono informazioni relative alla situazione straordinaria in atto, in tempo reale. Con gli stessi obiettivi interviene il personale che, negli ambienti classificati come luoghi di lavoro, viene periodicamente formato per comprendere le situazioni di emergenza ed attuare azioni idonee. La formazione è intensificata soprattutto nei luoghi in cui gli occupanti non possono essere formati, come quelli di transito o commerciali: in questi casi il personale fornisce informazioni circa i comportamenti da adottare e conduce gli altri utenti verso le uscite, talvolta occupandosi di tutelare i beni presenti. Oltre al personale, in alcune attività complesse e con più elevato rischio, sono previste squadre interne di gestione delle emergenze addestrate per prestare supporto o soccorrere utenti coinvolti e persone la cui disabilità rende difficoltoso o impossibile completare l'esodo in autonomia.

3.1.2. Occupanti

La sezione M del Codice ritiene che l'analisi degli occupanti sia una tappa fondamentale per la configurazione di un sistema d'esodo efficace. Di conseguenza, ai fini della progettazione prestazionale, suggerisce di descriverli almeno in termini di affollamento complessivo e densità, tipologia, familiarità con gli spazi e con le vie d'esodo, stato di veglia/sonno.

In realtà, essendo strettamente connesso con l'aleatorietà tipica del comportamento umano, il fattore occupanti è molto più complesso da descrivere e caratterizzare. Ogni individuo infatti, oltre a distinguersi per peculiarità fisiche e intellettive, interagisce e instaura relazioni con ciò che lo circonda manifestando attitudini e singolarità psicologiche.

La materia si mostra quindi nella sua complessità attraverso l'interazione tra tutti questi fattori e si fa ancora più intricata quando interviene uno stato emergenziale a modificare gli equilibri. Per comprendere e trattare l'argomento nell'ottica degli obiettivi della disciplina antincendio, viene proposta di seguito una schematizzazione che semplifica le caratteristiche tipiche del comportamento umano suddividendole in due categorie:

- **individuali**, ossia connesse ai tratti cognitivi, fisici e psicologici che caratterizzano il singolo rendendolo un unico complesso. Tra gli aspetti individuali spiccano: genere, età, nazionalità, disabilità, conoscenza dell'ambiente, percezione, curiosità, panico, attaccamento agli oggetti, stato, impegno, mansione e attitudine
- **sociali**, ossia relative alle relazioni che l'individuo instaura con gli altri quindi inerenti al ruolo ricoperto in una situazione specifica e alle tendenze comportamentali tipiche degli esseri umani, come il comportamento gregario o l'appartenenza sociale.

Tutti questi fattori influenzano gli occupanti e le loro scelte e incrementano o riducono i tempi di reazione e di movimento. Per questi motivi le caratteristiche citate verranno approfondite per far emergere gli aspetti che più si ripercuotono sulla qualità dell'esodo.

Tra le caratteristiche **individuali** il **genere** può influire sui tempi e sull'esodo soprattutto in ambienti per i quali la naturale inclinazione di uomini e donne può diversificarne il comportamento, accentuando specifici aspetti: è stato osservato⁵ che in situazioni di emergenza gli uomini, con più probabilità, si impegnano in azioni attive di lotta contro la situazione in atto, mentre le donne manifestano il proprio atteggiamento altruistico ed allertano o aiutano gli altri occupanti coinvolti. In aggiunta, dalle osservazioni di casi reali, si è riscontrato che gli uomini si muovono con un andamento più celere rispetto alle donne.

Altro aspetto da tenere certamente in conto, è legato all'**età**: questo fattore influisce soprattutto su tempi di reazione, velocità di movimento e ingombro geometrico degli individui. Infatti, in base alla fascia d'età, si possono individuare diverse categorie⁶ con proprie peculiarità: bambini fino ai 5 anni per i quali sono necessari passeggini o adulti che li assistano nei movimenti (ne conseguono ingombri maggiori e velocità minori); bambini fino ai 12 anni che non hanno difficoltà di movimento senza assistenza ma possiedono un andamento con velocità ridotta; ragazzi e adulti fino ai 50 anni, "utenti standard" con velocità moderata; adulti fino ai 65 anni che potrebbero avere una velocità ridotta; anziani oltre i 65 anni con potenziale necessità di assistenza, di ausili per il movimento o di corrimano per procedere lungo le scale (anche in questo caso ne conseguono ingombri maggiori e velocità minori). In parallelo è necessario considerare i tempi di reazione, che sono certamente maggiori per bambini ed anziani ma possono variare in generale in funzione dello stato di

⁵ Fahy R. F., Proulx G., Aiman L. – *"Panic" and human behaviour in fire, a. 2009*

⁶ Proulx G., Laroche C., Pineau J. – *Methodology for evacuation drill studies, a. 1996*

disorientamento e confusione che potrebbe insorgere per i molteplici stimoli sensoriali generati da un'emergenza. Lo stato psico-fisico può aggravarsi negli utenti che non hanno familiarità con i luoghi: le fasce di età under 12 e over 65 sono le più critiche ma la conoscenza dei luoghi e la formazione ricevuta circa le azioni da compiere durante l'esodo, possono migliorare le capacità di tutti, soprattutto dei più vulnerabili. Ad esempio un bambino, negli spazi che generalmente frequenta, è guidato da un adulto (genitore o insegnante) ma con la percezione dello spazio attorno a sé e la formazione (come accade con le prove di evacuazione scolastiche), potrebbe imparare a reagire autonomamente ad uno stato di emergenza; allo stesso modo, in accordo con le capacità di indagine, individuazione e percezione del pericolo, gli anziani potrebbero essere istruiti circa i comportamenti da adottare per gestire le situazioni non ordinarie.

Nell'elenco delle caratteristiche individuali che hanno impatti sull'esodo, vi è anche la **nazionalità**: secondo i dati ISTAT del 2022, la percentuale di residenti stranieri in Italia è dell'8,8%; a questa, secondo i dati del 2019 (le statistiche riferite ai viaggi in Italia per gli anni 2020-2022, essendo inficiate dalla pandemia di COVID-19, non rappresentano il trend italiano tipico), si aggiungono i turisti stranieri per una percentuale pari al 49,5%.

In particolare il fattore culturale è importante nei luoghi pubblici e di transito ed è strettamente connesso con la comprensione dei segnali di allarme e con la lettura della segnaletica. I messaggi vocali, ad esempio, devono essere trasmessi in più di una lingua (e il più delle volte lo sono), ma questo non implica che siano compresi da tutti e che la reazione sia tempestiva, in quanto ogni nazione ha abitudini e sistemi di segnalazione codificati diversamente. Inoltre, attivate le procedure di esodo, è più probabile che gli utenti stranieri emulino il comportamento degli altri occupanti piuttosto che interpretare la segnaletica: questa potrebbe avere colori e pittogrammi differenti nei diversi Paesi quindi non essere immediatamente comprensibile in situazioni caotiche come quelle di emergenza.

Le valutazioni sui sistemi di esodo non possono sicuramente prescindere dal considerare le varie forme di **disabilità**, con il duplice obiettivo di arricchire la comprensione delle dinamiche che si innescano durante un'evacuazione e di rispettare i principi dell'inclusività, comunemente condivisi e prescritti normativamente e dal Codice di prevenzione incendi.

“Le definizioni associate al termine disabilità si sono evolute nel tempo fino alla più attuale proposta dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) che la rappresenta come

*conseguenza di una complessa relazione tra la condizione di salute di un individuo, i fattori personali e i fattori ambientali che rappresentano le circostanze in cui egli vive e si muove*⁷.

Si deduce quanto possa essere elevato il grado di vulnerabilità delle persone con disabilità nel momento in cui un così ampio numero di fattori interagisce, quotidianamente dal punto di vista dell'accessibilità (intesa in senso lato), in emergenza per la salvaguardia della vita.

Lo scenario diventa ancora più complesso se si tiene conto delle declinazioni con le quali la disabilità può manifestarsi: motorie, sensoriali e cognitive.

Tra le disabilità motorie, connesse alle disfunzioni degli apparati necessari al movimento, è possibile distinguere diversi gradi di autonomia in relazione alla necessità del singolo di utilizzare ausili per la deambulazione e di richiedere assistenza in situazioni ordinarie e in caso di emergenza. Alle disabilità sensoriali si associano tutti quei disturbi che compromettono l'utilizzo normale dei canali di percezione visiva ed uditiva. Le disabilità cognitive riguardano invece le problematiche connesse con la comprensione e l'elaborazione delle informazioni ricevute. Tutte queste forme possono presentarsi singolarmente o essere concomitanti e talvolta può diventare complesso riconoscerle sulla base di specifici indicatori visivi o relazionali pertanto non è possibile trascurare i casi in cui le persone siano affette da patologie invalidanti non percepibili dall'esterno.

Inoltre l'esperienza mostra che oltre alle disabilità comunemente conosciute, tra gli individui più vulnerabili è necessario includere gli anziani, gli obesi, le donne in gravidanza e coloro che vivono in una condizione che ne limita temporaneamente le abilità. A questi si possono associare le persone che in caso di pericolo manifestano comportamenti riconducibili ad uno stato transitorio di disabilità: la paura e lo stress a cui si è sottoposti durante un'emergenza, possono impedire a chiunque di compiere le operazioni più semplici.

Con l'obiettivo di semplificare il problema e offrire una trattazione più sistematica e mirata alla gestione delle emergenze, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) propone una classificazione della disabilità, selezionando i parametri utili all'ottimizzazione degli interventi di soccorso attraverso schemi e tabelle che permettano di delineare rapidamente il quadro della situazione e le relative modalità di gestione. Nello specifico valuta le capacità residue di movimento e di interazione del soggetto da assistere, contrapponendo gli individui autonomi a quelli che necessitano di supporto; aggiunge una schematizzazione relativa all'utilizzo di ausili di movimento e una che considera la concomitanza con disabilità sensoriali e cognitive. Tali classificazioni vengono poi sovrapposte a tabelle che sintetizzano

⁷ Zanut S. – *Beni culturali, accessibilità e sicurezza: la scommessa della progettazione inclusiva*, cit.

i tempi necessari al completamento delle diverse procedure di soccorso e i carichi di ausilio richiesti agli operatori in caso di emergenza.

Volgendo lo sguardo al panorama italiano, le statistiche ISTAT rivelano che nel 2019 le persone con disabilità, ossia con gravi disturbi e limitazioni nello svolgimento delle attività quotidiane, sono più del 5% della popolazione: tra queste i più numerosi sono gli anziani di età superiore a 75 anni. Riflettendo sui dati, ci si rende conto che molte persone riscontrano abitualmente problemi nella fruizione di beni e servizi, a causa della carenza di sistemi e soluzioni che permettano loro di accedere in autonomia agli spazi e di muoversi liberamente all'interno. Traslando la problematica nel contesto della sicurezza in caso di emergenza, le prestazioni che gli edifici non mostrano in ingresso, sono ancora più carenti in uscita: in caso di necessità tutti devono poter raggiungere autonomamente un luogo dove fermarsi ed eventualmente attendere i soccorsi, senza temere per la propria incolumità.

Nel quadro che si è automaticamente delineato, è immediato comprendere come sia necessaria una svolta nelle modalità di gestione delle emergenze poiché, se la comprensione dei fattori che intervengono in situazioni di pericolo è complessa, la messa in pratica di strategie funzionali al corretto raggiungimento dell'obiettivo di salvaguardia della vita di tutti, diventa impossibile. Un punto di partenza potrebbe sicuramente essere rappresentato dall'inclusione delle persone con disabilità all'interno dei processi decisionali: nessuno meglio di chi è direttamente coinvolto può comprendere quali siano le problematiche più frequentemente riscontrate. Una scelta strategica di simile portata potrebbe anche migliorare i sistemi di allarme ed orientamento e i programmi di formazione delle squadre di soccorso (interne ed esterne), incentrandoli sull'intensificazione del dialogo tra assistente e assistito. In caso di emergenza è infatti fondamentale che tutti sappiano come agire, quante persone siano necessarie per compiere una specifica procedura di evacuazione e quanto tempo si richiede per il suo completamento.

È inoltre determinante sapere con quali mezzi di comunicazione approcciarsi al disabile e quali manovre attuare per condurlo al sicuro, senza esagerare con azioni che, se non correttamente eseguite, potrebbero avere ripercussioni su chi effettua il soccorso e sulla persona assistita. È bene anche tener presente che l'azione coercitiva deve essere adottata soltanto in assenza di tempo e di altre risorse.

I programmi di formazione dei Vigili del Fuoco prevedono modalità di assistenza (relazione e azione) specifiche per le diverse disabilità: ad esempio il soccorritore deve essere adeguatamente istruito per interfacciarsi con persone autistiche, estremamente reattive agli stimoli esterni (soprattutto uditivi); altro caso è rappresentato da individui affetti dalla

sindrome di Down o da persone con disabilità sensoriali, specialmente per quanto riguarda la comunicazione durante l'emergenza; esempi ancora differenti riguardano i vari stadi di limitazione motoria o l'eventualità che possano coesistere varie forme di disabilità.

Aspetto che sin ora è rimasto in secondo piano ma che sicuramente rientra nell'ottica dell'inclusione e dell'accessibilità, riguarda la scelta di segnaletica e sistemi di allarme e orientamento che non siano discriminanti in termini dimensionali e di raggiungimento, ma anche di percezione ed interpretazione. È infatti importante che, a prescindere dalla conoscenza dell'edificio, i mezzi di comunicazione per trasmettere informazioni agli occupanti, siano multisensoriali e multicanali per permettere a tutti di espletare le proprie capacità di orientamento e wayfinding in autonomia.

A conclusione di questa complessa e variegata trattazione, si auspica che nel perseguire gli obiettivi di salvaguardia ed inclusività, in un futuro prossimo, *“assieme al biglietto del museo riceveremo anche una cartina di orientamento con indicati i percorsi da seguire in caso di evacuazione, ma stampati in rilievo per essere letti anche da persone cieche, oppure ci accoglieranno delle guide che c'informeranno sulle norme di sicurezza che caratterizzano quel luogo utilizzando anche la lingua dei segni”*⁸.

Uno dei fattori individuali più volte citato è la **conoscenza dell'ambiente**. Come detto si agisce sempre per familiarità, sia quando si frequenta abitualmente un luogo che nel caso opposto. Le persone che conoscono l'edificio, sanno come ottimizzare l'utilizzo dei percorsi e delle uscite in base alla dislocazione degli ambienti e potrebbero aver ricevuto una formazione inerente alla gestione delle situazioni di emergenza. Di contro, potrebbero sottovalutare la pericolosità insita nell'attardarsi a completare una certa attività nel momento in cui viene diffuso l'allarme. Specularmente le persone che non frequentano abitualmente un luogo, per familiarità con i percorsi noti, sono portate a intraprendere a ritroso il cammino seguito per accedere all'edificio (quindi a non utilizzare al meglio le uscite), ma sono anche quelle che, allertate dal suono di un allarme, potrebbero essere le prime a fuggire.

La **percezione** di uno stato emergenziale dipende dalla capacità individuale di utilizzare i sensi per analizzare gli stimoli provenienti dall'esterno ma anche dall'abilità di stimare il rischio, quindi di fare previsioni sullo sviluppo e sulla propagazione del pericolo. Ne deriva una diversa prontezza nella fuga o in alternativa nella rimozione della sorgente di pericolo.

⁸ Zanut S. – *Così si elaborano i piani di emergenza inclusivi negli ambiti museali in Rivista antincendio*, a.2016

Nel caso di incendio, ad esempio, oltre a sentire o vedere i segnali d'allarme diffusi, è possibile che gli occupanti entrino in contatto con gli effetti della combustione (percepiscano i fumi e l'incremento di temperatura, vedano le fiamme, accedano ad ambienti contaminati): in questi casi le fonti di pericolo sono direttamente individuate quindi è più probabile incorrere in errori di stima e decisione (scegliendo di agire invece che fuggire, anche in situazioni potenzialmente dannose), piuttosto che in errori di percezione ed interpretazione.

La stessa tipologia di errori si riscontra quando l'individuo, sottovalutando il pericolo, si fa sopraffare dalla **curiosità**: si ferma ad osservare l'evento per il fatto stesso che sia fuori dalla routine, chiede informazioni ad altri, scatta foto o fa video, inizia ad evacuare quando gli effetti dell'incendio sono prossimi e la situazione è diventata poco sicura e gestibile. Ne consegue un incremento dei tempi di evacuazione.

È da sottolineare che la curiosità nasce da un bisogno tipicamente umano che può essere soddisfatto soltanto con la nuova conoscenza che deriva dall'osservare la situazione in atto o avere informazioni a riguardo. Questo porta necessariamente ad un maggiore senso di controllo, essenziale per compiere azioni adeguate in condizioni di emergenza. È proprio su questo aspetto che intervengono i sistemi di allarme che diffondono messaggi e non semplici sirene. Gli stessi risultano efficaci se anche il personale che si occupa di gestire le emergenze divulga dati utili ad agire in modo consapevole invece che considerare gli occupanti una folla priva di discernimento e nascondere o codificare le informazioni.

Tutto ciò può portare alla riduzione delle cosiddette situazioni di **panico**. Il panico è solitamente delineato come un comportamento irrazionale che le persone manifestano durante le situazioni di emergenza. In realtà sembra che il panico, da essere un elemento essenziale e una risposta comune alle situazioni non ordinarie, si stia trasformando in un mito destinato a sparire soprattutto nell'ambito della prevenzione incendi dove, alla luce delle analisi su casi reali, si è riscontrato piuttosto che le persone hanno provato paura o ansia di fronte al pericolo. Il panico nasce quando le persone vengono raggiunte dagli effetti dell'incendio e ritengono che nell'edificio siano presenti poche vie di fuga in relazione all'affollamento: piuttosto che sviluppare un atteggiamento altruistico diffuso, entrano in competizione. Tutto ciò porta alla nascita di una crisi sociale: le persone cercano di muoversi più velocemente compiendo gesti scoordinati ed inconsulti che portano all'incremento delle interazioni fisiche e alla formazione di calche (i cosiddetti "colli di bottiglia").

Come conseguenza negativa si verificano rallentamenti e, come spesso accade in situazioni caotiche, se si verificano caduti o feriti che diventano ostacoli fisici all'esodo, la situazione

peggiora. Tali condizioni sono di frequente accomunate da ciò che viene definito panico, ma andrebbero lette in un'ottica più ampia, ricercando gli aspetti progettuali e gestionali che ne hanno determinato l'insorgenza, senza attribuire indistintamente la colpa agli occupanti.

È necessario mettere in luce anche aspetti connessi con le valutazioni che si effettuano a posteriori: in alcuni casi un comportamento è ritenuto razionale se assunto in prima persona e completamente guidato dal panico se osservato negli altri; in altri casi i sopravvissuti ad un'emergenza usano il termine panico per descrivere il proprio comportamento, anche se in effetti le azioni compiute dimostrano il contrario. Inoltre giudicare che durante un incendio si sia creato panico, dipende molto dagli esiti: ad esempio il rientrare in un edificio in fiamme è considerata un'azione inopportuna ed irrazionale se sfocia in una fatalità, come un gesto eroico se si traduce in vite salvate. Tutto dipende dalla prospettiva da cui si guardano gli eventi e da quanto si sia coinvolti negli stessi, quindi imparziali nel giudicarli.

Il rientrare in un edificio in fiamme o in ambienti contaminati dal fumo è spesso connesso con l'**attaccamento agli oggetti** (o alle persone come verrà successivamente descritto per caratterizzare i fattori sociali). Questo aspetto ha iniziato a ricevere la rilevanza che merita soltanto in tempi recenti, quando ci si è resi conto che induce comportamenti ricorrenti. Le dinamiche di esodo, specialmente in ambienti che le persone frequentano con assiduità (ne sono un esempio residenze, uffici e scuole), possono essere fortemente influenzate in termini di tempi di risposta e di evacuazione. Si è infatti riscontrato che di frequente le persone si attardano per recuperare gli oggetti di valore (soprattutto se l'emergenza è rappresentata da un incendio) e di conseguenza si spostano all'interno dell'edificio in maniera imprevedibile, dispiegando una serie di azioni non direttamente connesse con l'esodo, anche per recuperare oggetti collocati in stanze lontane dalla propria posizione originaria (cambiano direzione, attraversano ambienti contaminati dal fumo, tornano indietro lungo il percorso o rientrano nell'edificio). Spesso tutto ciò comporta un'esposizione prolungata agli effetti della combustione e quindi un pericolo non calcolato per la propria salute anche a lungo termine (insorgenza di malattie respiratorie o del sistema immunitario, problemi cardiaci, ecc.).

Da non sottovalutare è anche lo **stato** in cui si trova l'individuo nel momento in cui insorge un'emergenza. La rapidità con cui si percepisce uno stimolo esterno e lo si interpreta come segnale di pericolo, dipende dalle caratteristiche situazionali del singolo: all'interno dello stesso edificio possono crearsi infinite combinazioni di attività svolta, collocazione dell'occupante, condizione fisica (seduta, prona, supina, passiva, in movimento), stato di coscienza (veglia, sonno, assunzione di alcool o di sostanze stupefacenti). Nelle sezioni

prescrittive del Codice tutto ciò viene racchiuso nel profilo di rischio R_{vita} , ma nell'ottica della progettazione prestazionale gli stessi concetti si traducono in tempi di reazione e di movimento. È infatti scontato sottolineare che uno stato di incoscienza o di passività potrebbero comportare un ritardo notevole nell'evacuazione ed è proprio per questi motivi che nelle attività con maggiori rischi connessi con lo stato dell'occupante, come le strutture ricettive o di intrattenimento, è opportuno che il segnale di allarme giunga efficacemente agli occupanti e permetta loro di rispondere con la maggiore prontezza possibile.

Altro aspetto che comporta un ritardo di reazione, riguarda l'**impegno** dell'occupante all'attivazione dello stato di emergenza. Di frequente negli studi condotti su casi reali, si è osservato che le persone si impegnano nella conclusione dell'attività che stanno svolgendo prima di intraprendere le operazioni di evacuazione. Questo accade specialmente in ambienti in cui gli occupanti svolgono attività di un certo rilievo o trattano dati importanti, oppure in spazi museali o su mezzi di trasporto, dove si è pagato un biglietto per potervi accedere e in primo luogo non si è disposti a perdere il denaro impiegato. Tale atteggiamento risulta dannoso per l'incolumità propria e degli altri e diventa più evidente quando si ritiene che quello diffuso sia un falso allarme, quindi meno rilevante dell'attività che si sta svolgendo.

Direttamente dipendente dall'impegno è la **mansione**: gli ambiti in cui è possibile riconoscere una gerarchia di ruolo quindi un diverso grado di responsabilità rispetto alle attività svolte, sono accomunati dalla manifestazione di atteggiamenti di emulazione da parte degli individui che sentono di non possedere una funzione rilevante. A titolo di esempio si può far riferimento ad attività in cui la modalità tradizionale di fruizione degli spazi, comporta l'individuazione di un punto focale di visibilità verso il quale è rivolta l'attenzione degli occupanti, come all'interno di aule didattiche e sale teatrali, in cui si riscontra che le procedure di evacuazione della platea si innescano per emulazione nel momento in cui l'insegnante o gli attori sul palco terminano l'attività che stanno svolgendo per intraprendere azioni direttamente connesse con la fuga. Questo accade probabilmente per la fiducia che istintivamente si ripone in coloro che, svolgendo una certa mansione, hanno familiarità con i luoghi e sono stati formati al riconoscimento dell'allarme e alla gestione dell'emergenza.

L'ultimo fattore tra quelli citati che può risultare determinante nella valutazione delle caratteristiche individuali, è l'**attitudine** con cui ogni persona si esprime quotidianamente e in particolare in condizioni critiche. Anche in questo caso, come per i comportamenti che si manifestano in relazione alla mansione svolta, interviene l'emulazione: in luoghi pubblici

dove si ritiene che gli occupanti privi di uno specifico ruolo o non facilmente distinguibili a mezzo di divise, abbiano lo stesso grado di conoscenza in merito alle procedure di evacuazione, accade che alla diffusione dell'allarme, alcuni si attivino per iniziare ad esodare, altri lo facciano solo successivamente per imitazione o per scelta. Per questo motivo si configura una situazione in cui gli individui che arbitrariamente o casualmente hanno assunto un ruolo di leader, siano seguiti da tutti gli altri che diventano followers. Questo atteggiamento può diventare altamente proficuo quando il leader individua rapidamente il percorso più breve verso la salvezza, altrettanto dannoso se lo stesso si ritrova a guidare la folla nonostante non abbia competenze o capacità e di conseguenza a condurla, più o meno consapevolmente, verso il pericolo anziché al sicuro.

Le caratteristiche individuali sin qui descritte sono utili alla comprensione delle dinamiche di esodo ma anche per spiegare quali siano i processi e le interazioni sociali che si instaurano tra gruppi di persone. Tra le caratteristiche **sociali** che hanno un impatto importante sulle procedure di evacuazione ritroviamo la tendenza umana ad assumere un **comportamento gregario** e a creare ruoli leader-follower come quelli appena trattati. Che siano persone completamente estranee o persone con cui si ha un certo legame, in una situazione di emergenza in cui tutti sono guidati dallo stesso obiettivo, è fondamentale condividere atteggiamenti di affiliazione, altruismo, cooperazione e comunicazione, per evitare di sfociare nell'opposto, la competizione, il panico. Nella maggior parte delle analisi effettuate su casi reali si è riscontrato che, a meno di condizioni estreme, è l'attitudine positiva a prevalere: le persone sono portate a supportarsi e assistersi a vicenda dimostrando che non sempre è corretto sfiduciare della naturale inclinazione umana all'altruismo.

I gruppi (o cluster) si formano anche per imitazione sociale, in quanto si tende a fare ciò che si osserva negli altri. Talvolta questo atteggiamento può risultare controproducente diventando causa di sovraffollamenti localizzati e di un utilizzo non ottimale dei percorsi.

Altro è il caso in cui il comportamento gregario è appositamente adottato per rispettare procedure di evacuazione per le quali si è stati formati: è ciò che accade all'interno delle scuole dove, in caso di emergenza o di prove di evacuazione, gli studenti sono invitati a disporsi in fila indiana per raggiungere il luogo sicuro, camminando in modo ordinato e a passo sostenuto (senza correre), al fine di evitare disordine o panico. In questi casi esistono indicazioni specifiche anche sul comportamento da adottare nell'utilizzo delle vie d'esodo verticali: è opportuno favorire un esodo scorrevole lasciando che coloro che hanno già impegnato i vani scale, completino l'evacuazione. Quando le persone non sono formate a rispettare tali comportamenti, accade che coloro che hanno già imboccato il percorso

verticale, sentano di avere la priorità lasciando che solo pochi si introducano nel flusso verso il basso. Questo atteggiamento può portare a rallentamenti e alla formazione di zone ad elevata densità che riducono la qualità complessiva dell'esodo.

Altro aspetto da considerare è che non sempre l'atteggiamento altruistico risulta fruttuoso: coloro che prestano assistenza ai più vulnerabili non è detto siano formati per farlo, pertanto i tentativi di soccorso potrebbero rivelarsi inadatti e trasformare il binomio assistente-assistito in un ostacolo fisico all'incolumità di tutti.

Inoltre è importante notare che quando si formano piccole o grandi aggregazioni di persone, la velocità del gruppo è quella del più lento: pur mantenendo una certa distanza di sicurezza per evitare eccessive interazioni fisiche, si ha la tendenza ad attendere che tutti siano abbastanza coesi e allineati e questo porta ad un rallentamento complessivo del deflusso.

Il comportamento gregario diventa ancora più evidente quando tra gli occupanti vi sono forti legami, quindi un senso di **appartenenza sociale** che induce a formare gruppi più coesi ed omogenei, talvolta con atteggiamenti egoistici nei confronti di chi non ne fa parte. La creazione di piccole affiliazioni entro le quali è più semplice avere il controllo dei componenti, è utile per gestire il processo decisionale durante uno stato di emergenza: quando il rischio è elevato e in gioco vi è la vita dei propri cari, l'individuo percepisce che, nonostante le informazioni a disposizione non siano numerose, è necessario che le proprie decisioni, spesso irrevocabili, risultino tempestive ed efficaci. Avere tutti i componenti del nucleo familiare o di amici entro un raggio di influenza ridotto, permette di gestire meglio gli spostamenti e controllare costantemente che si stia procedendo insieme verso l'uscita.

Come accennato in precedenza riguardo l'attaccamento agli oggetti accade che, pur di accertarsi che tutti siano al sicuro o salvare i propri affetti, le persone compiano azioni pericolose attraversando ambienti contaminati da fumo o rientrando nell'edificio. Questo comportamento apparentemente sconsiderato e talvolta letale è comunque da leggere alla luce delle considerazioni sin qui esposte, valutandolo per come effettivamente si configura: una manifestazione dell'istinto umano di protezione e senso di controllo dinanzi ad una condizione di pericolo che suscita paura e ansia.

3.1.3. Incendio

Se il rapporto dialogico tra occupanti ed ambiente si instaura costantemente e può o meno agevolare la comprensione dello spazio da parte dell'individuo, il terzo fattore più volte citato, interviene solo nel caso in cui l'emergenza sia rappresentata da un incendio. Per

descrivere è necessario caratterizzare il **focolare** (inteso come sorgente di energia termica) e i **prodotti della combustione** (calore, fumo, gas tossici e nocivi) che variano in relazione al materiale coinvolto (quantità e qualità), alla sua distribuzione spaziale e alle sorgenti di innesco. Sulla base di queste variabili il focolare sprigiona potenza termica a velocità ed intensità differenti, con conseguenze su strutture, beni, ambiente e persone. In particolare:

- **fiamme e calore**, provocano ustioni, compromettono l'incolumità delle persone e sono in grado di danneggiare beni e strutture, innescando, in qualche caso, cinematismi di collasso, durante lo sviluppo dell'incendio e in seguito all'estinzione, nella fase di raffreddamento (la capacità portante negli elementi strutturali si riduce a causa della dilatazione e successiva contrazione termica);
- **gas** tossici e nocivi, a seguito dell'esposizione e dell'inalazione, possono provocare irritazione e perdita di conoscenza per intossicazione e anossia. In aggiunta i più pericolosi gas corrosivi procurano anche ustioni;
- i **fumi**, propagandosi, per gli inesperti, in maniera imprevedibile, riducono la visibilità, rendono indisponibili le vie d'esodo, oscurano la segnaletica e disorientano gli occupanti che di conseguenza scelgono percorsi sbagliati e sono costretti a ridurre la velocità di fuga.

Tra tutti questi fattori è stato riscontrato che i decessi sono dovuti all'inalazione di fumi e gas che provocano effetti immediati, quali perdita di conoscenza e limitazioni psico-motorie ed effetti a lungo termine, come cancro, malattie polmonari e del sistema immunitario.

Per limitare il verificarsi di tali conseguenze, è necessario ridurre il tempo entro il quale un incendio viene rilevato, evitando il raggiungimento di condizioni insostenibili. Inoltre, a prescindere dalla creazione di situazioni estreme ed incapacitanti, gli occupanti reagiscono allo stato di emergenza in funzione della percezione sensoriale degli effetti della combustione: gli stimoli olfattivi e visivi di fumo e fiamme sono indicatori di fuga molto più efficaci rispetto ad un allarme antincendio ma, poiché la modalità di propagazione di questi effluenti dipende dalla configurazione interna dell'edificio, è necessario progettare adeguatamente gli spazi per evitare che le persone arrivino ad accorgersene. In aggiunta è fondamentale installare sistemi in grado di rilevare precocemente l'incendio e di intervenire per contenerne gli effetti, adottare adeguate strategie di ventilazione e prevedere impianti di allarme efficaci nel sollecitare gli occupanti a fuggire. In tutto ciò influiscono le peculiarità di ognuno e l'attività svolta durante l'emergenza: gli incendi fatali si verificano spesso durante la notte in edifici residenziali o in strutture ricettive in cui le persone sono

addormentate, oppure quando gli occupanti hanno scarsa familiarità con l'edificio e non riescono a fuggire in autonomia, o ancora in luoghi con elevate densità di affollamento.

Un discorso di dettaglio merita il comportamento degli occupanti all'interno di ambienti contaminati da fumo: come detto nei paragrafi precedenti, erroneamente si dà per scontato che le persone non li attraversino. In realtà, pur di mettersi in salvo, si sottovalutano i problemi connessi con l'inalazione e il disorientamento, avventurandosi in locali anneriti dai fumi: di conseguenza si è costretti a ridurre la velocità, cambiare direzione, tornare indietro ed utilizzare i muri come guida nel movimento. La scelta di addentrarsi in ambienti di questo tipo è dovuta anche all'attaccamento ad oggetti e persone: non di rado accade che si rientri nell'edificio dopo essersi messi in salvo, per verificare che tutti i componenti del gruppo siano al sicuro o per recuperare oggetti di valore.

Il problema degli effluenti dell'incendio riguarda anche le modalità di propagazione orizzontale e verticale: i fumi sono composti da particelle liquide e solide (fumo visibile) disperse nella frazione gassosa (fumo non visibile) e hanno diverse velocità e direzioni di diffusione che comportano la contaminazione anche di volumetrie distanti dal focolare. L'entità del rischio per gli occupanti dipende dalla tipologia di combustibile e dalla presenza di aperture, ostruzioni, cavedi e vani scale, quindi è importante progettare spazi e strategie di ventilazione per garantire una rapida ed efficace diluizione dei fumi e mitigarne gli effetti.

Come si può notare, non sempre è stato possibile mantenere una distinzione netta tra i diversi fattori legati ad ambiente, occupanti ed incendio: tutti sono strettamente connessi da interazioni ed influenze reciproche e, per comprendere come intervenire affinché queste diventino proficue e non dannose, è necessario individuare strategie di azione, soluzioni e piani che migliorino il rapporto dialogico tra gli occupanti e l'ambiente e riducano al minimo l'esposizione alle situazioni di emergenza in generale, agli incendi nello specifico.

4. I piani di emergenza ed evacuazione

Comprese le dinamiche in emergenza e i fattori che in tale circostanza risultano determinanti, è importante porre l'attenzione sulle modalità con cui gestire eventi critici ed improvvisi che provocano un incremento del rischio a causa della manifestazione di pericoli reali o potenziali. In circostanze simili si cerca di riportare la situazione alla normalità con azioni rapide e mirate che possano ridurre al minimo i danni a cose e persone. Per farlo si attuano strategie di prevenzione in esercizio e protezione-azione in emergenza, effettuando un'analisi dell'attività che porti all'individuazione dei rischi che la caratterizzano: partendo dal presupposto che una condizione di "rischio zero" non è raggiungibile, l'obiettivo è minimizzarlo fino al raggiungimento di valori accettabili ed intervenire sul rischio residuo con la predisposizione di opportuni piani. Nascono a tale scopo i piani di emergenza che si configurano quindi come *"l'insieme delle misure straordinarie, delle procedure e delle azioni che è necessario attuare per fronteggiare e ridurre i danni derivanti da eventi anche particolarmente gravi ma a bassa probabilità di accadimento e comunque non completamente evitabili con interventi preventivi"*⁹.

Oggi è diffusa la convinzione che il piano di emergenza e quello di evacuazione siano sovrapponibili. In realtà un piano di emergenza si compone solitamente di più sezioni, tra cui il piano di evacuazione, il piano di prevenzione incendi e il piano di primo soccorso. Questo perché le emergenze possono configurarsi secondo vari gradi di intensità, localizzazione ed estensione e coinvolgere persone e cose in misura diversa. Esistono infatti le emergenze interne all'edificio, come quelle di tipo sanitario, gli incendi, le esplosioni o i crolli strutturali e le emergenze esterne, identificabili in quelle provocate dalle calamità naturali (terremoti, esondazioni ed eruzioni) o dallo sversamento di sostanze inquinanti. È possibile inoltre attuare una distinzione tra le emergenze di primo livello che coinvolgono tutti gli occupanti dell'insediamento e possono richiedere l'intervento delle autorità, e quelle di secondo livello, confinate in aree specifiche dell'attività e quindi non necessariamente pericolose per tutte le persone presenti. Per questi motivi e per i rischi intrinseci che lo spostamento rigido di una folla da un luogo incerto ad uno sicuro può comportare, non è scontato che un'emergenza comporti l'abbandono dell'insediamento (da parte della totalità

⁹ Bellina L., Cesco Frare A., Garzi S., Marcolina D. – *Gestione del sistema sicurezza e cultura della prevenzione nella scuola, a. 2013*

o di alcuni degli individui coinvolti) e la decisione di evacuare è presa collegialmente da un gruppo di persone (tra esperti, responsabili ed autorità competenti), mai dal singolo.

Alla luce di queste considerazioni, la logica temporale richiederebbe di effettuare prima l'analisi dei rischi, poi redigere il piano di emergenza e infine quello di evacuazione, tentando di configurare il maggior numero di scenari possibili e fronteggiare le più disparate situazioni. La difficoltà risiede nell'individuazione dei rischi: la normativa italiana richiede a tutte le aziende di dotarsi di un piano di emergenza ma non fornisce un elenco dei rischi da considerare. Questo perché sarebbe complesso proporre una lista che, per quanto dettagliata, rischierebbe di risultare incompleta inducendo in errore l'utilizzatore: la mancata elencazione di un rischio potrebbe essere interpretata come possibilità che questo non si verifichi nel contesto analizzato. Pertanto si richiede di identificare e valutare la situazione specifica dell'attività ed individuare misure mirate attraverso un piano di emergenza. In particolare il D. Lgs. n. 81 del 09/04/2008 impone che il datore di lavoro predisponga il documento di valutazione dei rischi (DVR) attraverso il quale identificare tutti i fattori di rischio e le relative misure di prevenzione e protezione. A tale prescrizione, il D.M. 10/03/1998 aggiunge l'obbligo per il datore di lavoro (insieme al responsabile del servizio di prevenzione e protezione e agli addetti alla prevenzione incendi e al primo soccorso), di allegare al DVR il piano di emergenza ed evacuazione (PEE) per tutte le attività con almeno 10 dipendenti e soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco. Le stesse devono anche effettuare, con cadenza annuale, una prova di evacuazione, per testare la corretta esecuzione delle procedure. In vista della prova e di eventuali emergenze reali, tutti i lavoratori devono essere formati, informati ed addestrati, al fine di conoscere con esattezza i comportamenti da adottare e quelli da evitare per la salvaguardia della vita.

Mentre il DVR individua tutti i fattori di rischio, il PEE è un documento che presenta in modo sintetico e schematico le procedure che i lavoratori (e gli occupanti in generale) devono attuare per gestire le situazioni di emergenza ed eventualmente innescare l'evacuazione dall'edificio, creando una gerarchia di ruoli, responsabilità e compiti che facciano svolgere in maniera fluida ed efficace le operazioni necessarie.

Il D.M. 10/03/1998 esplicita chiaramente che i fattori da considerare per la stesura del piano di emergenza ed evacuazione sono:

- le caratteristiche dei luoghi con particolare riferimento alle vie di esodo
- il sistema di rivelazione e di allarme incendio
- il numero delle persone presenti e la loro ubicazione

- i lavoratori esposti a rischi particolari
- il numero di addetti all'attuazione ed al controllo del piano nonché all'assistenza per l'evacuazione (gestione di emergenze, evacuazione, lotta antincendio, pronto soccorso)
- il livello di informazione e formazione fornito ai lavoratori
- i doveri del personale di servizio incaricato di svolgere specifiche mansioni con riferimento alla sicurezza antincendio
- i doveri del personale cui sono affidate particolari responsabilità in caso di incendio
- i provvedimenti necessari per assicurare che tutto il personale sia informato sulle procedure da attuare
- le specifiche misure da porre in atto nei confronti dei lavoratori esposti a rischi particolari
- le specifiche misure per le aree ad elevato rischio di incendio
- le procedure per la chiamata dei Vigili del Fuoco, per informarli al loro arrivo e per fornire la necessaria assistenza durante l'intervento
- le misure specifiche per l'evacuazione dei disabili
- la planimetria dell'edificio e i punti di raccolta esterni.

Tali prescrizioni sono applicabili in generale a tutti i luoghi di lavoro pertanto, essendo valide anche per le **attività scolastiche**, oggetto del caso studio trattato nel capitolo successivo, verranno di seguito contestualizzate e dettagliate.

Il percorso normativo che disciplina l'edilizia scolastica è piuttosto articolato e può essere così sintetizzato:

- D.M. 18/12/1975, "Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica"
- D.M. del 26/08/1992 del Ministero dell'Interno, "Norme di prevenzione incendi per l'edilizia scolastica"
- Legge 11/01/1996, n. 23, "Norme per l'edilizia scolastica"
- D.M. 21/06/1996, n. 292, "Individuazione del datore di lavoro"
- D.M. 24/07/1998, n. 331, "Disposizioni concernenti la riorganizzazione della rete scolastica"
- D.P.R. 20/03/2009, n. 81, "Norme per la riorganizzazione della rete scolastica"¹⁰.

Inoltre nell'Allegato al D.P.R. n. 151 del 01/08/2011 le "*Scuole di ogni ordine, grado e tipo, collegi, accademie con oltre 100 persone presenti*" figurano all'attività n. 67, pertanto sono

¹⁰ Parisi G. – *Le scuole in Rivista Antincendio*, a. 2013

attività soggette ai controlli dei Vigili del Fuoco, oltre che normate dal D.M. 26/08/1992 e dalla RTV 7 del Codice di prevenzione incendi (introdotta dal D.M. 07/08/2017).

È possibile a questo punto istituire un parallelismo tra un generico luogo di lavoro e un'attività scolastica: si fa corrispondere al dirigente il ruolo del datore¹¹, al personale (docenti e ATA – Amministrativo, Tecnico e Ausiliario) e agli alunni (terzi non addetti o equiparati a lavoratori dipendenti¹²) le competenze e responsabilità dei lavoratori. Ne consegue che, come in tutti i luoghi di lavoro, tutti devono essere formati ed aggiornati su rischi e procedure da adottare in emergenza, al fine di minimizzare l'insorgenza di pericoli e conoscere le modalità per fronteggiarli quando si manifestano.

Le procedure cui si è fatto riferimento sono contenute nel piano di emergenza ed evacuazione: esso istituisce compiti e ruoli gerarchicamente assegnati ai soggetti coinvolti, regola i flussi e le interazioni tra individui, stabilisce norme comportamentali generali e disposizioni specifiche per situazioni rischiose o con alto grado di vulnerabilità.

Il D.M. 26/08/1992 sancisce i contenuti minimi dei piani di emergenza ed evacuazione ed impone l'esecuzione di almeno due prove l'anno per la verifica della corretta esecuzione delle procedure. Inoltre il PEE deve essere aggiornato in funzione delle variazioni intervenute su struttura, attrezzature, organizzazione o numero di persone, essendo questi i fattori rilevanti nella definizione del livello di rischio dell'attività. Infatti il decreto propone una classificazione delle scuole sulla base delle effettive presenze contemporanee di alunni e personale, a cui anche il piano deve attenersi:

- tipo 0: scuole con numero di presenze contemporanee fino a 100 persone;
- tipo 1: scuole con numero di presenze contemporanee da 101 a 300 persone;
- tipo 2: scuole con numero di presenze contemporanee da 301 a 500 persone;
- tipo 3: scuole con numero di presenze contemporanee da 501 a 800 persone;
- tipo 4: scuole con numero di presenze contemporanee da 801 a 1200 persone;
- tipo 5: scuole con numero di presenze contemporanee oltre le 1200 persone.

¹¹ Si specifica che per le attività scolastiche i soggetti responsabili sono identificabili nel dirigente e nell'Ente locale che fornisce gli ambienti da destinare ad uso scolastico. Il primo deve occuparsi delle misure gestionali e di sicurezza antincendio, il secondo ha l'obbligo di eseguire gli interventi di manutenzione

¹² Il D. Lgs. n. 81 del 09/04/2008 all'art. 2 prevede che siano equiparati a lavoratori *“gli allievi degli istituti di istruzione nei quali si faccia uso di laboratori, attrezzature di lavoro in genere, agenti chimici, fisici e biologici ivi comprese le attrezzature fornite di videoterminali limitatamente al periodo in cui l'allievo sia effettivamente applicato alle strumentazioni o ai laboratori in questione”*

Nel medesimo decreto si fa riferimento a strategie di compartimentazione, resistenza e reazione al fuoco, ad impianti (per le generiche funzionalità, la lotta all'incendio o la diffusione dell'allarme), vie d'esodo e spazi a rischio specifico (per: esercitazioni, informazione e attività parascolastiche, depositi, autorimesse, servizi tecnologici e servizi logistici come mense e dormitori).

Ma delineare il quadro normativo non è sufficiente a comprendere con quali modalità predisporre un piano di emergenza ed evacuazione, soprattutto a causa della difficoltà insite nel concetto di **previsione** (delle situazioni di pericolo e del comportamento umano) che è alla base di tutto il processo di elaborazione. Infatti la redazione di un piano di emergenza mette dinanzi a criticità legate in particolare alla definizione di scenari di rischio: è complesso individuare gli elementi potenzialmente pericolosi e prospettare l'evolversi di situazioni critiche. A ciò si aggiunge l'aleatorietà delle reazioni umane, certamente poco prevedibili in situazioni ordinarie, ancor meno in caso di emergenza (si precisa che è più facilmente prevedibile il comportamento di gruppo che quello del singolo in quanto nel primo caso si assiste alla riproposizione di schemi generali simili a sé stessi, quindi più facilmente rappresentabili). Il tutto è valido anche per la fase di verifica del piano: essendo difficile conoscere l'esito dell'applicazione delle strategie ipotizzate, vengono organizzate prove realistiche con le quali osservare l'andamento della situazione e gli atteggiamenti adottati dalle persone coinvolte. Naturalmente quest'ultime devono essere adeguatamente formate per fronteggiare situazioni con elevato stimolo emotivo, motorio, sensoriale e cognitivo, pertanto anche in questa fase nascono delle criticità: bisogna individuare le modalità più efficaci per trasferire le nozioni, diversificandole in base all'età, all'incarico ricoperto e alla prestanza fisica ed emotiva dell'individuo.

Per tanti e tali motivi le amministrazioni locali risultano spesso inadempienti alle prescrizioni normative, con piani assenti o elaborati semplicemente fotocopiandoli da altri, carenza di campagne di formazione e mancata esecuzione di prove per la verifica delle procedure. Tutto deriva dalla scarsa conoscenza della disciplina e dall'assenza della cultura della sicurezza che non viene quindi trasmessa alla popolazione scolastica, la quale a sua volta non ha i mezzi teorici e pratici per reagire ai pericoli.

Il primo passo per risollevare la situazione è proprio ampliare la **conoscenza**, inquadrando il problema e comprendendo quali siano gli aspetti fondanti. In particolare in un ambiente come quello scolastico non si possono applicare ciecamente i concetti noti dall'osservazione del comportamento degli adulti, in quanto i bambini hanno modalità di reazione differenti di

fronte alle criticità, in primo luogo per la diversa percezione del pericolo, poi per le caratteristiche fisiche. È importante allora attingere ai casi studio disponibili oltre che all'esperienza personale prima di individuare opportune strategie comportamentali e modalità con cui divulgarle, quindi elaborare un piano di emergenza. Pertanto, alla luce della letteratura di riferimento e richiamando i concetti del capitolo precedente, si propone di seguito una breve disamina del problema dal punto di vista dei più piccoli.

Si premette che il D.M. 26/08/1992 prevede una classificazione delle scuole per numero di presenze contemporanee ma non una per fascia d'età e grado scolastico cosa che, stando alle evidenze della letteratura e degli studi di riferimento¹³ risulta invece determinante nella diversificazione dei **parametri di movimento** e nella manifestazione di alcuni **comportamenti**. In particolare, nei primi anni delle elementari i bambini hanno caratteristiche più simili a quelli dell'asilo piuttosto che ai più grandi dello stesso ordine scolastico. Infatti si verifica un incremento della velocità (lungo percorsi orizzontali e verticali) e una riduzione dei tempi di pre-movimento all'aumentare dell'età, fino ai 12 anni, limite oltre il quale è possibile assimilare i parametri dei bambini a quelli degli adulti. Inoltre è stato riscontrato che i primi sono più propensi a muoversi in flussi con densità maggiori rispetto ai secondi e ad occupare tutta la larghezza disponibile ai varchi e nei corridoi; poi, soprattutto i più piccoli, sono soliti scendere le scale mettendo entrambi i piedi sullo stesso gradino ed utilizzare il corrimano per procedere con più confidenza, specialmente se non assistiti da un adulto.

Non si evidenziano differenze nel comportamento tra maschi e femmine ma una tendenza generale ad affidarsi a coloro che svolgono una mansione di riferimento per ricevere guida, conforto e assistenza. In contrasto, in gruppi omogenei è più frequente che, all'aumentare del grado scolastico, si sia più inclini a seguire i propri pari procedendo anche in modo più fluido rispetto al caso in cui sia l'insegnante a ricoprire il ruolo di leader.

Seguendo più nel dettaglio le fasi di un'evacuazione reale o simulata, è stato osservato che la formazione del personale e degli alunni risulta essenziale per l'esecuzione delle corrette procedure con ordine e sinergia: alla diffusione dell'allarme (riconosciuto come tale nella maggior parte dei casi in cui viene impartita una preparazione preventiva), l'istinto dei più giovani è quello di cercare conferma sul da farsi negli occhi e nel comportamento

¹³ Si intendono i Testi ai punti da 7-8-10-12-13-19-20 in Bibliografia da cui sono stati desunti e rielaborati i dati relativi ai parametri di movimento e ai comportamenti dei bambini

dell'insegnante, punto focale nelle consuete configurazioni didattiche. Talvolta vi è la tendenza a raccogliere i propri oggetti o a vestirsi per poi disporsi in gruppi omogenei e compatti che rimangono tali nel corso dell'evacuazione dall'aula e dall'edificio. In particolare si osserva un comportamento gregario che si basa sull'imitazione e sull'appartenenza sociale: i più grandi si muovono in fila indiana (strategia che agevola l'evacuazione) mentre i più piccoli sono soliti avanzare in file di due studenti, in alcuni casi tenendosi per mano (purtroppo questo riduce la velocità di movimento), ma mantenendo comunque una distanza interpersonale di 0,35-0,45 m. In ogni caso, contrariamente a quanto ci si aspetterebbe, i primi si muovono in modo più caotico mentre i secondi risultano più silenziosi ed ordinati. Tutti rispettano la logica arresto-precedenza: prima di avanzare a seguito del gruppo classe che precede, attendono che la via d'esodo sia libera ma, nonostante ciò, si riscontrano rallentamenti e disturbi in corrispondenza dei restringimenti.

Un ultimo aspetto importante riguarda la conoscenza dei luoghi: sia gli alunni che il personale frequentano quotidianamente gli ambienti scolastici e questo permette loro di creare mappe mentali con le quali orientarsi durante l'esodo senza l'utilizzo della segnaletica. Questo potrebbe avere risvolti positivi dal punto di vista della riduzione dei tempi di evacuazione o negativi per la creazione imprevista di sovraffollamenti localizzati nel caso in cui i gruppi classe decidano di affidarsi esclusivamente alla familiarità con i luoghi e non alle direttive del piano o alle incombenze che incontrano lungo il percorso.

Questi brevi richiami hanno permesso di affacciarsi nell'articolato mondo del comportamento umano e in particolare in quello dei bambini, ancora poco esplorato. Nel seguito, sulla base degli aspetti salienti evidenziati, si tenterà di proporre un **metodo di elaborazione, divulgazione e verifica** dei piani di emergenza ed evacuazione, partendo dagli aspetti generali, per poi presentare un focus sulle modalità di gestione dell'evacuazione a partire dal microambiente delle aule.

Per iniziare, nell'ambito della pianificazione e gestione dell'emergenza è possibile delineare due scenari differenti:

- *“edifici e luoghi in cui le attività insediate, gli spazi e le persone operanti al loro interno sono note, così come le specifiche necessità di ciascun ospite, addetto/lavoratore: [...] il piano di emergenza potrà contenere misure specifiche calibrate sulle esigenze del singolo;*
- *edifici e luoghi in cui le attività insediate e gli spazi sono noti, così come i lavoratori impiegati, mentre sono estranei gli utenti: [...] il piano di emergenza, oltre a tener*

conto del personale impiegato, deve prevedere situazioni generiche inclusa la presenza di persone con specifiche necessità, sconosciute fino al momento dell'evento"¹⁴.

Le attività scolastiche appartengono alla prima tipologia pertanto il piano di emergenza deve essere il più possibile contestualizzato nell'istituto, calzante con i suoi aspetti critici e in grado di sfruttare le potenzialità presenti. Per questo è essenziale che il documento di valutazione dei rischi venga redatto preventivamente per mettere in luce le caratteristiche della scuola e immaginare strategie di intervento su misura. Di fatto in un edificio scolastico le situazioni di emergenza possono scaturire dall'utilizzo di strumenti per le attività didattiche e di laboratorio, da aspetti (strutturali ed impiantistici) relativi all'edificio, da cause esterne non direttamente dipendenti dall'istituto, da attività temporanee di cantiere oppure da atti volontari. Immaginare le conseguenze di eventi nati da tali circostanze e tentare di mitigare gli effetti dannosi, è il punto di partenza per elaborare un piano efficace. Per tutti questi motivi, è importante disporre di una traccia, una linea guida che aiuti ad impostare il lavoro: reperire e fotocopiare acriticamente schemi da manuali e software, riproponendo protocolli identici a sé stessi e avulsi dal contesto reale di applicazione, non è un atto a favore di sicurezza. Certamente però si possono individuare azioni comuni a tutte le situazioni di emergenza e criteri generali di attuazione delle procedure: esse devono essere precise e sufficientemente dettagliate da permettere un'applicazione immediata; chiare e concise (non troppo generiche) per essere comprensibili da tutti; flessibili al fine di risultare adattabili alle svariate situazioni emergenziali; verificabili ed aggiornabili in funzione delle modifiche che potrebbero interessare l'assetto strutturale ed organizzativo della scuola.

Il piano di emergenza allora deve contenere: la descrizione generale della struttura, inclusi i sistemi di rivelazione e comunicazione; l'identificazione degli eventi pericolosi più plausibili e probabili; l'individuazione delle figure cui affidare specifici compiti durante le emergenze e con le quali costituire le squadre di intervento; la valutazione delle azioni da attuare in successione fino all'eventuale evacuazione dall'edificio; i protocolli di assistenza alle squadre di soccorso e quelli per ripristinare le condizioni di esercizio.

Il tutto può essere articolato in capitoli secondo quanto proposto nella tabella che segue:

¹⁴ Romano G., Schiavone E., Zanut S. – *Aspetti connessi con la disabilità nella gestione di situazioni di emergenza*, a. 2016

GENERALITÀ	Dati identificativi e riferimenti generali della scuola
	Caratteristiche dell'edificio con planimetrie interne ed esterne
	Distribuzione e localizzazione della popolazione scolastica con classificazione secondo il D.M. 26/08/1992
	Identificazione delle aree ad alta vulnerabilità
ORGANIZZAZIONE DELL'EMERGENZA	Obiettivi del piano
	Informazione
	Classificazione delle emergenze
	Localizzazione del centro di coordinamento
	Composizione della squadra di emergenza Squadra di prevenzione incendi Squadra di evacuazione Squadra di pronto soccorso
PROCEDURE DI EMERGENZA ED EVACUAZIONE	Compiti della squadra di evacuazione per funzione Scheda del coordinatore dell'emergenza Scheda del responsabile dell'area di raccolta Scheda del responsabile della chiamata di soccorso Scheda del responsabile dell'evacuazione della classe Scheda del responsabile di piano Scheda degli studenti
	Compiti della squadra di prevenzione incendi Incendio di ridotte proporzioni Incendio di vaste proporzioni
	Sistema di comunicazione delle emergenze
	Enti esterni di pronto intervento
	Chiamate di soccorso
	Aree di raccolta interne ed esterne
	Norme per l'evacuazione
	Norme per l'incendio
NORME DI COMPORTAMENTO IN BASE AL TIPO DI EMERGENZA E MANSIONE	Norme per l'emergenza sismica
	Norme per l'emergenza elettrica
	Norme per la segnalazione della presenza di un ordigno
	Norme per l'emergenza tossica o che comporti il confinamento
	Norme per l'allagamento
	Norme per i genitori e gli utenti esterni
	Ubicazione, utilizzo e controlli
	Sostanze estinguenti per tipo di incendio
PRESIDI ANTINCENDIO	Effetti delle sostanze estinguenti
	Punti di inertizzazione dell'istituto
	Segnaletica di emergenza
	Registro delle esercitazioni periodiche
	Registro della formazione e dell'addestramento
REGISTRO DELLE EMERGENZE	Registro dei controlli e delle manutenzioni
	Registro degli utenti con disabilità e localizzazione
	Registro degli utenti esterni e localizzazione
	Modulo di evacuazione
	Modulo dell'area di raccolta
ALLEGATI	Modulo informativo per il piano di emergenza
	Planimetrie del piano di evacuazione

Tabella 1 – Struttura piano di emergenza ed evacuazione

Nella complessità del quadro che si è delineato, è essenziale creare una struttura organizzativa suddivisa per **aree di competenza e responsabilità** da assegnare alle squadre di intervento. È opportuno agire secondo queste modalità, individuando il numero di addetti in base alle dimensioni dell'edificio, all'affollamento e al livello di rischio e prevedendo titolari e sostituti per far fronte ai turni del personale e all'eventualità che un componente del team sia assente. Parallelamente deve essere progettata una catena di comando efficiente: durante un'emergenza la consultazione è essenziale, ma una sola persona ha la responsabilità complessiva delle decisioni e deve quindi conoscere le mansioni gerarchicamente attribuite al personale, impartire indicazioni e saper gestire la situazione in caso di imprevisti, evitando il verificarsi di sovrapposizioni decisionali e attuative.

Così il dirigente scolastico è colui che in esercizio controlla periodicamente che nell'edificio permangano le condizioni di sicurezza prestabilite, verifica il mantenimento in efficienza delle vie d'esodo, delle attrezzature, dei dispositivi e degli impianti. Nomina le squadre con compiti specifici, si occupa della documentazione e prevede corsi di aggiornamento periodico del personale in materia di sicurezza e uso di dispositivi di emergenza, controllando, nel caso in cui essa si verifichi, che le disposizioni del piano vengano rispettate. È proprio in caso di emergenza che esplica il ruolo di coordinatore: ricevuta comunicazione del pericolo, si reca eventualmente sul posto per valutare la situazione o nel punto di raccolta interno dal quale, coadiuvato da collaboratori e personale amministrativo, gestisce le procedure di intervento in base al tipo di emergenza in atto. Valuta se avvertire gli enti di soccorso esterno (della cui chiamata si occupa il personale della squadra di coordinamento) e, nel caso in cui tutti convengano con la decisione di evacuare l'edificio, impartisce l'ordine e si muove verso il punto di raccolta esterno, portando con sé copia del piano di emergenza. Terminato lo stato di crisi, è l'unico (in assenza di squadre esterne di soccorso) che può dichiarare la cessazione dell'emergenza e far tornare tutti nell'edificio.

Parallelamente il personale non docente deve sorvegliare gli ambiti dell'istituto per individuare rapidamente situazioni di pericolo e, nell'eventualità esse si manifestino, avvisare la squadra di coordinamento. Solitamente si occupa di diffondere l'allarme e disattivare gli impianti nei relativi punti di intercettazione. Nel caso venga attivata una procedura di evacuazione, il personale non docente deve anche assicurarsi che l'edificio sia sgombero: durante la ricognizione dei locali, se è stato addestrato per farlo, presta assistenza ai disabili e a chi ne ha bisogno, chiude le porte delle aule lasciate aperte e segnala eventuali dispersi al coordinatore del punto di raccolta. Lo stesso personale ricopre mansioni di

controllo e gestione dei flussi in ingresso e in uscita ai varchi principali, accoglie le squadre degli enti di soccorso e le guida verso la zona interessata dall'emergenza.

Della gestione dell'aula invece si occupano i docenti: in esercizio tengono lezioni periodiche sul tema della sicurezza scolastica e sul comportamento da adottare in caso di emergenza, diversificando le procedure in base alla posizione di partenza alla diffusione dell'allarme. Illustrano agli studenti il PEE e le planimetrie affisse in ogni aula, abituandoli anche a riconoscere segnali (sonori e visivi) codificati. Si occupano di assegnare specifici compiti agli alunni, in modo da istruirli alla gestione dell'emergenza e supervisionarli nel caso si verifichi, rimanendo in ogni caso il punto di riferimento, in grado di infondere calma e sicurezza. Al manifestarsi di una situazione di emergenza, il docente ha il ruolo di guida della classe: in caso di evacuazione, dopo aver preso il registro e il modulo per fare l'appello, invita gli alunni a disporsi in fila indiana costituendo un gruppo compatto per abbandonare l'aula e raggiungere il punto di raccolta esterno; segue i percorsi per i quali è stato formato, apportando variazioni solo se incontra pericoli. In caso l'emergenza non comporti l'evacuazione ma il confinamento, ad esempio se il fumo nei corridoi è troppo denso per azzardare una fuga (o in generale per le emergenze esterne), aiuta i bambini a rimanere calmi al proprio posto e a coprire le vie respiratorie, con indumenti o fazzoletti.

Infine gli studenti, alla diffusione dell'allarme, devono interrompere le attività, lasciare gli oggetti personali, seguire le indicazioni dell'insegnante, procedere con ordine e calma per abbandonare il proprio banco (spingendovi la sedia contro) e disporsi in fila indiana senza creare intralcio. Per uscire dall'aula devono rispettare la logica delle precedenze quindi immettersi nei corridoi una volta terminato il transito delle altre classi. Tra gli studenti vengono anche individuati, per ogni classe, coloro che assolvono compiti di apri-fila (essere i primi del gruppo per guidare i compagni e aiutare l'insegnante) e chiudi-fila (controllare che tutti rispettino le procedure e chiudere la porta dell'aula in caso di evacuazione).

Partendo dal presupposto che non si può essere certi di non aver bisogno di assistenza in caso di emergenza, è quantomai necessario che la gestione dell'istituto e dell'aula sia inclusiva, anche perché tra le persone con **disabilità**, i bambini si classificano tra i più vulnerabili. In particolare, oltre a confrontarsi con le difficoltà connesse con gli aspetti architettonici che potrebbero condurre alla necessità di individuare procedure e percorsi specifici per le persone con disabilità motoria, è necessario tener conto delle altre forme di disabilità, sensoriale e cognitiva. Per questo motivo, prima di pensare alle modalità di assistenza, bisogna identificare le persone che verrebbero interessate ed includerle in un

elenco allegato al piano, sempre disponibile in situazioni critiche. In parallelo sarebbe opportuno coinvolgere le persone con disabilità nel processo decisionale ed organizzativo ed eseguire una ricognizione dei percorsi insieme per segnalare le criticità ancora irrisolte. Lo scopo è elaborare un piano che non sia speciale e distinto ma organico ed inclusivo, in cui la gestione delle persone vulnerabili non rimanga soltanto una postilla.

Dal punto di vista dei fattori strettamente connessi all'edificio, è importante prevedere segnaletica e impianti di diffusione dell'allarme multisensoriale e multicanale, spazi calmi in cui attendere i soccorsi, rampe e percorsi utilizzabili in autonomia e corrimano con numeri in rilievo che identifichino il piano o la posizione raggiunta. In ogni caso, per gli ambienti scolastici è solitamente presente un docente di sostegno a supporto dei bambini con disabilità sensoriali e cognitive, formato per essere di aiuto nel quotidiano, ma anche in emergenza. È proprio in caso di emergenza che le vulnerabilità si accentuano, ad esempio nella percezione ed interpretazione dell'allarme: si veda nel primo caso la condizione degli utenti con problemi alla vista o all'udito, nel secondo le difficoltà incontrate dai bambini autistici che presentano ipersensibilità agli stimoli sensoriali (specialmente uditivi) e, non essendo in grado di riconoscere l'allarme antincendio, manifestano crisi di aggressività. Un'esperienza condotta in una scuola elementare di Pordenone ha evidenziato come un bambino autistico non abbia riconosciuto la sirena che avviava la prova di evacuazione (con lo stesso impianto a campanelli usato normalmente per l'attività) *“perché quella è valida solo alla ricreazione”*¹⁵. Un problema simile si potrebbe risolvere prevedendo un'altra tipologia di allarme oppure adottando prima terapie di desensibilizzazione graduale dell'udito del bambino, poi tecniche didattiche dedicate per abituarlo al riconoscimento del segnale.

In concomitanza è determinante istituire regole di comportamento e protocolli per assistere le persone in difficoltà, formando il personale addetto ed invitando coloro che non hanno le capacità o la formazione ad evitare di compiere gesti eroici per non compromettere l'incolumità di tutti. Nel binomio assistente-assistito, affinché il soccorso sia efficace, entrambi i componenti devono ricevere l'adeguata formazione: in primo luogo bisogna insegnare ad avvicinarsi l'uno all'altro, poi prevedere procedure diversificate in base al tipo di disabilità. Per le persone con limitazioni sensoriali e patologie cognitive, ad esempio, è necessario che il soccorritore sia abile nell'entrare delicatamente in contatto fisico con chi assiste e farsi comprendere (anche in situazioni critiche) con gesti e segnali codificati. Al contrario per le persone con disabilità motorie bisogna utilizzare una certa cautela nei movimenti, sia per il sollevamento che per il trasporto.

¹⁵ Zanut S. – *Scuole a prova di incendio anche per i disabili in Rivista antincendio, a. 2006*

Quindi in una scuola sarebbe possibile prevedere che gli insegnanti di sostegno assolvano al compito di tutori dei propri alunni e li accompagnino verso il punto di raccolta e che altro personale (ad esempio docenti o ATA) si occupi dell'evacuazione dei disabili motori. In ogni caso sarebbe appropriato che le persone più a rischio siano le prime ad abbandonare l'aula e, se al piano terra dirigersi al punto di raccolta, se ai piani sopraelevati e le condizioni dell'assistito non permettono l'evacuazione autonoma, attendere i soccorsi delle squadre dei V.V.F. nello spazio calmo dedicato. Si specifica che dare priorità di uscita ai disabili dipende dalla scelta di minimizzare le interferenze dovute al diverso ingombro e andamento insito nel binomio sopracitato e dalla necessità di non abbandonare l'aula lasciando senza sorveglianza i bambini in difficoltà.

La consultazione della letteratura di riferimento ha permesso di cogliere aspetti di dettaglio dai quali sono emerse alcune **proposte**, ad esempio per diversificare la configurazione dei gruppi di evacuazione in base all'età. La maggiore efficienza deriva da una disposizione in fila indiana che però risulta poco gestibile per i bambini dell'asilo e dei primi anni delle elementari: per questi si potrebbe pensare alla creazione di gruppi di due che si incolonnano senza tenersi per mano (questo, come anticipato, è stato dimostrato riduca l'efficienza¹⁶). Per quanto riguarda il posizionamento dell'insegnante nel gruppo, si potrebbe optare per una configurazione in testa per i più piccoli per fungere da guida, nel mezzo per i più grandi, in funzione di controllo (in questo caso l'alunno apri-fila ricoprirebbe il ruolo di leader).

Un'altra proposta interessante, desunta dalle strategie di gestione delle emergenze in ambito industriale, riguarda l'utilizzo di indumenti di riconoscimento per il personale e per gli alunni che ricoprono mansioni specifiche: il dirigente, in veste di coordinatore, potrebbe indossare un giubbino ad alta visibilità per essere facilmente individuabile nei punti di raccolta; analogamente gli studenti apri e chiudi-fila potrebbero ricevere in dotazione un cappellino con colore diverso per ogni classe, da indossare all'inizio dell'evacuazione per permettere a tutti di delimitare visivamente il gruppo. Questo potrebbe semplificare anche l'incolonnamento dei bambini che alla diffusione dell'allarme temporaneamente non sono in aula: istituire una regola secondo cui devono affiancarsi all'apri-fila del primo gruppo che incontrano, permetterebbe di ridurre la probabilità di dispersi.

Tornando all'ambito del vestiario, è acceso il dibattito sull'indossare indumenti per coprirsi dal freddo (e scarpe negli asili), prima di procedere all'evacuazione: non sempre i vestiti

¹⁶ Shuqi Xue, Xiaomeng Shi, Nirajan Shiwakoti – *Would walking hand-in-hand increase the traffic efficiency of children pedestrian flow?*, a. 2021

risultano facilmente e rapidamente accessibili, talvolta sono custoditi in locali non collocati lungo i percorsi di esodo quindi prenderli prima di uscire risulta un'azione poco sicura, sia per l'allungamento dei tempi che per la possibilità di dirigersi verso il pericolo. In aggiunta non è consigliabile vestirsi durante le esercitazioni e non prevedere tale sequenza di azioni in emergenze reali poiché *“l'elemento chiave della formazione, soprattutto dei bambini, è la ripetizione e la pratica”*¹⁷. In alternativa si potrebbe individuare un locale accessibile anche dall'esterno in cui conservare coperte o simili per proteggere i bambini dal clima ostile.

In ultimo è importante trattare la gestione degli utenti esterni eventualmente presenti: solitamente si spostano nell'istituto accompagnati dal personale e, in caso di emergenza, devono accodarsi allo stesso e seguire le istruzioni per procedere all'esterno. Nell'ottica della riduzione dei dispersi, sarebbe opportuno prevedere un registro degli accessi da allegare al piano ed utilizzare per le verifiche nei punti di raccolta.

Nello svolgimento del presente capitolo si è fatto più volte cenno ai **punti di raccolta**: essi rappresentano le aree in cui i dipendenti si raccolgono dopo aver abbandonato l'edificio e dove effettuano le verifiche sui presenti e sui dispersi. In funzione delle esigenze e delle tipologie di emergenza individuate come probabili, possono essere selezionati più punti ma è essenziale che come primo requisito siano collocati in un luogo abbastanza vicino da essere raggiunto agevolmente, ma abbastanza lontano da non risentire dell'evento da cui l'evacuazione vuole proteggere. I punti di raccolta dovrebbero essere contrassegnati da una lettera o un colore e prevedere in dotazione un presidio di pronto intervento.

Tra i punti di raccolta è individuabile una seconda tipologia, un punto interno definito centro di coordinamento delle emergenze e collocato solitamente all'ingresso del plesso: esso è dotato di una cassetta di pronto soccorso e possibilmente di un kit di evacuazione comprendente una copia del piano di emergenza con i registri allegati, alcune copie dei moduli per l'appello e la verbalizzazione (di prove ed emergenze), le planimetrie dell'istituto ed eventualmente il giubbino ad alta visibilità per il coordinatore.

Un piano di emergenza ed evacuazione è costituito anche da una parte grafica rappresentata dalle **planimetrie**, documento di supporto alle mappe mentali degli utenti abituali e sintesi illustrata del piano di emergenza ed evacuazione. Esse sono essenzialmente piante

¹⁷ Lárusdóttir A. R. – *Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools, a. 2014*

dell'istituto e delle sue pertinenze (in scala e formati idonei), corredate da elementi di dettaglio e codici simbolici per fornire informazioni circa:

- *“i vari piani dell’edificio e l’area circostante, con particolare riferimento alla destinazione d’uso di tutti i locali e delle aree esterne, alle vie di esodo, alle zone calme e alle eventuali compartimentazioni antincendio*
- *il tipo, il numero e l’ubicazione delle attrezzature e degli impianti di estinzione degli incendi*
- *l’ubicazione degli allarmi e della centrale di controllo*
- *l’ubicazione degli interruttori generali dell’alimentazione elettrica, delle valvole di intercettazione delle alimentazioni idriche, del gas e di altri fluidi combustibili*
- *i percorsi da seguire per raggiungere un luogo sicuro e le zone di raccolta esterne*
- *la chiara ed inequivocabile identificazione di tutte le uscite di sicurezza, delle scale interne ed esterne e delle porte incontrate lungo i percorsi d’esodo”*¹⁸.

A discrezione del dirigente possono contenere anche un manuale sintetico delle procedure di emergenza, una legenda della segnaletica e dei simboli e i numeri per richiedere i soccorsi. Tali planimetrie sono conservate in allegato al piano ma sono anche parte integrante della segnaletica in quanto vanno affisse in posizioni ben visibili e sgombrere da altro materiale didattico, in punti strategici dell’edificio (in termini di flussi ed affluenza), in luoghi presidiati, in laboratori, palestre e auditorium (dettagliando la disposizione dei posti a sedere) e in ogni aula scolastica. Se le prime sono più ricche e dettagliate, quelle nelle aule possono e dovrebbero essere snellite per una comprensione più immediata. Queste infatti vengono mostrate agli alunni e illustrano le vie di esodo prossime agli ambienti in cui sono collocate (magari suddivise in settori sulla base della dislocazione dei vani scale e della raggiungibilità delle uscite dai vari punti del Piano). Le vie possono essere tracciate con simboli e colori diversi per ogni aula (associando il colore dei cappellini degli apri/chiodi-fila) o diversi per ogni percorso-uscita (con il colore del punto di raccolta) e si potrebbero replicare gli stessi codici cromatici su pareti e pavimenti per facilitare l’apprendimento, soprattutto dei piccoli.

¹⁸ Bellina L., Cesco Frare A., Garzi S., Marcolina D. – *Gestione del sistema sicurezza e cultura della prevenzione nella scuola, cit.*

Le planimetrie sono anche dette mappe “voi siete qui”: indicano la posizione iniziale dell’utente permettendogli di espletare le capacità di orientamento e wayfinding. Devono quindi essere elaborate secondo criteri che agevolino tali facoltà in situazioni critiche:

- “completezza: la mappa deve contenere le informazioni necessarie per l’orientamento
- *percettibilità, chiarezza sintattica e confusione visiva*: i codici grafici devono essere percepiti ed interpretati facilmente
- *chiarezza semantica*: i simboli non devono fornire indicazioni ambigue
- *pragmaticità*: i contenuti devono essere efficaci e adatti al luogo di affissione
- *posizionamento generale*: la collocazione deve essere valutata attentamente per una adeguata visibilità e per non essere inficiata da altri contenuti informativi
- *corrispondenza*: le informazioni grafiche devono avere riscontro con la realtà
- *allineamento del testo nella mappa*: i testi devono essere letti senza necessità di orientare diversamente il capo
- *ridondanza*¹⁹: non vi deve essere un affollamento e una sovrapposizione di informazioni che potrebbero compromettere la capacità di decifrare i contenuti.

A tutti questi criteri è necessario sommare l’inclusività e prevedere quindi l’installazione di planimetrie con contenuto multisensoriale (ad esempio con percorsi in rilievo e ausilio vocale per una fruizione senza discriminazioni).

Alla luce di quanto detto sin ora il piano di emergenza ed evacuazione può essere considerato un manuale che raccoglie le informazioni necessarie all’attuazione del piano stesso, una guida facilmente consultabile che considera la presenza di persone con diversi profili e necessità. È rivolto a tutti gli occupanti dell’istituto, a coloro che intervengono in prima persona, ai non addetti e agli esterni eventualmente presenti (visitatori o imprese impegnate a vario titolo nell’attività). Diventa il mezzo di riferimento più utile quando le strategie di prevenzione (sistemi tecnologici, impianti, attrezzature e presidi) falliscono e mettono gli occupanti dinanzi ad un pericolo che potrebbe minacciarne la sicurezza. Se adeguatamente formulato per essere confacente alle specifiche dell’istituto, diventa la risposta migliore all’emergenza, in grado di ridurre e limitare le conseguenze.

Fornite le indicazioni per la stesura, occorre illustrare le modalità di divulgazione e verifica.

¹⁹ Carattin E., Zanut S. – *I principi del Wayfinding, l’orientamento in emergenza in Rivista antincendio, a. 2009*

Il datore di lavoro ha l'obbligo di comunicare i contenuti del piano e diffondere la cultura della sicurezza attraverso opportune campagne di **formazione, informazione ed addestramento**. Prima di tutto è importante comprendere il significato di questi termini:

- *“formazione (saper essere): processo educativo attraverso il quale trasferire ai lavoratori e agli altri soggetti del sistema di prevenzione e protezione conoscenze e procedure utili all'acquisizione di competenze necessarie allo svolgimento in sicurezza dei rispettivi compiti e alla identificazione, riduzione e gestione dei rischi*
- *informazione (sapere): complesso delle attività dirette a fornire conoscenze utili alla identificazione, alla riduzione e alla gestione dei rischi in ambiente di lavoro*
- *addestramento (saper fare): complesso delle attività dirette a far apprendere ai lavoratori l'uso corretto di attrezzature, macchine, impianti, sostanze, dispositivi, anche di protezione individuale, e le procedure di lavoro”²⁰.*

Le figure che hanno l'obbligo di aderire a queste campagne sono: il dirigente, il personale amministrativo, i collaboratori scolastici e gli assistenti tecnici, i docenti e gli allievi.

Per affrontare una situazione critica, la strategia più efficace consiste in un'adeguata preparazione con programmi basici per tutti e di livello proporzionalmente crescente per le persone con determinati compiti e per i componenti delle squadre di intervento. Tali programmi, oltre ai concetti universali in materia di sicurezza, dovrebbero contenere aspetti di formazione psicologica (in quelli rivolti ai soccorritori si aggiungono schemi per interagire con la persona in difficoltà e tecniche di assistenza in scenari diversi). In ambito scolastico, oltre alla formazione gerarchizzata per compiti e mansioni, è previsto che i docenti formino gli alunni circa le procedure da adottare, i segnali di allarme codificati, i percorsi di esodo e le planimetrie affisse nelle aule. Per farlo possono servirsi della diversificazione cromatica e simbolica per la definizione dei percorsi e di semplici strumenti che fungano anche da giochi (canali preferenziali di apprendimento per i più piccoli) per la trasmissione di automatismi da attivare in caso di emergenza. Un esempio è il “bruco” (nato dall'idea di un Gruppo di Lavoro della provincia di Livorno²¹), ossia una corda (imbottita con stoffe colorate per somigliare ad un animale) dotata di maniglie che i bambini afferrano

²⁰ Bellina L., Cesco Frare A., Garzi S., Marcolina D. – *Gestione del sistema sicurezza e cultura della prevenzione nella scuola, cit.*

²¹ Gruppo di Lavoro formato da pedagogisti e funzionari comunali, da funzionari tecnici dei Vigili del fuoco e da professionisti esterni esperti del settore presso il Comune di Rosignano Marittimo (LI). Pollari I. – *Scuole materne e asili: Miniguida alla sicurezza in Rivista antincendio, a. 2010*

per essere raggruppati, contati e guidati dalla propria aula al luogo sicuro. Le dimensioni e la conformazione del “bruco” sono frutto di sperimentazioni per ottimizzarne l’impiego lungo le vie di esodo e per ridurre disturbi nel movimento sincrono.

Esistono anche tecniche di insegnamento in grado di coinvolgere attivamente i bambini nella valutazione dei comportamenti da adottare in emergenza attraverso la partecipazione di attori che commettono errori muovendosi in un ambiente: i piccoli spettatori devono individuare le azioni non adeguate e correggerle al fine di realizzare un’esatta sequenza di intervento.

L’ambito della simulazione è ciò che crea un legame tra la formazione del personale e la verifica dell’efficacia del piano. Le modalità di **verifica** negli istituti scolastici sono essenzialmente rappresentate dalle prove che vengono svolte almeno due volte l’anno: queste sono utili per testare le procedure ed allenare le persone a reagire correttamente in situazioni critiche. Le esercitazioni possono diventare mezzi di divulgazione in grado di trasferire dati in modo semplificato e creare poche interpretazioni alternative di fronte agli scenari di rischio. Possono essere strutturate in vario modo e solitamente sono preannunciate quando si vuole addestrare il personale, eseguite senza preavviso per verificare che le informazioni siano state recepite. Inoltre, in base al livello di rischio dell’attività e all’oggetto di indagine, si può scegliere se organizzare prove che coinvolgano solo la catena di comando, parte dell’edificio o l’intera struttura: ovviamente dalla prima all’ultima tipologia il grado di complessità aumenta e l’impegno richiesto nella pianificazione della prova risulta superiore per garantire che gli occupanti non siano esposti agli stessi rischi di un’emergenza reale. Infatti una delle maggiori criticità delle prove è rappresentata dalla difficoltà di prevedere lo svolgimento reale e le reazioni degli utenti. Per questo è importante introdurre elementi che rendano le simulazioni realistiche e credibili: è il caso dell’utilizzo di macchine a fumo per riprodurre il verificarsi di un incendio o del coinvolgimento di attori che fingono di non poter comunicare, di essere feriti, di utilizzare ausili per il movimento o necessitare di assistenza. Si può anche fingere che una o più vie di fuga diventino inagibili: un addetto, ad un certo istante dall’inizio della prova, si pone davanti ad una porta o un varco e dichiara a voce l’impossibilità di utilizzare quel percorso. Oppure si potrebbe scegliere di coinvolgere le autorità con il duplice scopo di ottenere dati di monitoraggio e amplificare l’efficacia degli effetti di realismo: durante un’emergenza reale potrebbe accadere che gli occupanti non interpretino correttamente il segnale di allarme ma, sentendo le sirene dei V.V.F. capiscano l’urgenza della situazione.

Il **monitoraggio** è l’altro aspetto di interesse nella fase di verifica: questo può avvenire con metodi sofisticati oppure basarsi sui dati di verbalizzazione ottenuti al termine della prova,

sui test di funzionamento e corretto utilizzo delle vie d'esodo e sulla riconoscibilità dei segnali di allarme. In ogni caso è necessaria una dettagliata pianificazione dello svolgimento e, se l'obiettivo è ottenere dati circa il comportamento e i parametri di movimento degli occupanti, è necessario: studiare il piano di emergenza in uso e le planimetrie dell'edificio; eseguire sopralluoghi ed impostare regole condivise per il monitoraggio; programmare il giorno di esecuzione (comunicato agli utenti solo nel caso di prove con preavviso); installare preventivamente videocamere e microfoni; addestrare gli addetti incaricati di raccogliere e registrare le informazioni di interesse.

Eseguita la prova è importante somministrare **questionari** "self-report" che permettano di interpretare la prova dal punto di vista delle persone coinvolte. Queste schede di valutazione a posteriori devono essere formulate in modo da ottenere risposte codificabili che siano facilmente comparabili con altri elaborati (come le planimetrie di evacuazione o i moduli di comportamento). I questionari devono essere distribuiti subito dopo la prova o nei giorni successivi in modo da accrescere l'autoconsapevolezza degli utenti e cogliere criticità e aspetti positivi da una prospettiva diversa dalle videocamere. Per questi motivi solitamente le domande sono incentrate sulla registrazione di: sensazioni e impressioni, interazione con gli altri e l'ambiente, iniziative prese, conoscenze o esperienze pregresse, percezione dei segnali di allarme e utilizzo di dispositivi e segnaletica. In ambito scolastico bisogna confrontarsi con gli adulti e con i bambini: se con i primi è più semplice usare un simile format, con i secondi sarebbe più proficuo richiedere l'esecuzione di un disegno o di un breve testo che documentino l'accaduto.

Il monitoraggio e i questionari nascono con scopo costruttivo e migliorativo (oltre che per la raccolta di dati) quindi, ottenute le informazioni, è possibile introdurre nel piano gli elementi correttivi per migliorare gli aspetti critici che non hanno funzionato.

Per quanto riguarda l'addestramento e la verifica si distingue una tipologia diretta, se eseguita con prove di evacuazione, da una indiretta se lo scopo è l'utilizzo di percorsi di esodo in contesti diversi dalle simulazioni: è il caso dell'uso cadenzato (ad esempio mensile) di porte e scale di emergenza da parte di piccoli gruppi durante il normale svolgimento delle attività. Questo permette di accrescere la consapevolezza dell'esistenza, del posizionamento e della possibilità di utilizzo di vie abitualmente non percorse quindi non contemplate dalla maggior parte degli utenti durante un'emergenza. Lo stesso ragionamento vale per gli spazi calmi, più probabilmente noti agli addetti, ma non a chi potrebbe averne bisogno: la fruizione regolare di tali ambienti permetterebbe ai più di identificarli a livello distributivo, conoscerne

l'utilità ed entrare in contatto con i presidi previsti (come i sistemi di comunicazione). È anche importante che lo spazio calmo venga segnalato ed introdotto nei corsi di formazione.

Il tutto diventa efficace se si prevede il controllo continuo delle vie d'esodo, la manutenzione di impianti e dispositivi e l'aggiornamento permanente del personale (ad esempio adottando manuali con schede operative, facilmente distribuibili e consultabili).

4.1. I vantaggi delle simulazioni virtuali nella pianificazione dell'emergenza

In questo panorama così vasto e complesso è possibile proporre nuove metodologie di azione, in grado di sfruttare le più moderne tecniche di simulazione virtuale e le potenzialità offerte dallo sviluppo tecnologico. In particolar modo ci si riferisce agli strumenti della Fire Safety Engineering (FSE), ancora relegati all'ambito della progettazione antincendio ma non per questo meno adatti ad applicazioni diverse e in principio impensate, come quelle connesse con la gestione dell'emergenza. *“I software di simulazione, in particolare, rappresentano non solo una modalità di verifica virtuale di quanto elaborato nel piano di emergenza, ma anche un vero e proprio strumento per supportare una loro progettazione efficace, ovvero una loro modifica in funzione delle varie necessità che potrebbero porsi a seguito di variazioni organizzative. Infine potrebbero costituire un utile strumento di supporto per informare correttamente le persone interessate con modalità meno astratte”*²². Grazie all'integrazione dei moderni sistemi offerti dalla metodologia BIM e il mondo dell'antincendio e della progettazione prestazione affrontata con la FSE, le esercitazioni virtuali potrebbero trasformarsi in ottime alleate delle reali: permettono infatti di configurare scenari diversi e di risolverli rapidamente con piccole variazioni nei parametri.

Le simulazioni diventano strumento di progettazione, formazione, verifica e gestione.

*“Simulare significa imitare processi reali indipendentemente dal momento di accadimento, generando artificialmente condizioni capaci di visualizzare un evento e la sua evoluzione”*²³: ciò significa che i programmi disponibili per la simulazione di fenomeni chimico-fisici e di comportamento, si basano sulla domanda “what if”, ossia “cosa succederebbe se”, alla quale

²² Zanut S., Ronchi E., Così F. – “Fuori tutti, c'è un incendio a scuola” ...ma è solo una simulazione virtuale in Rivista antincendio, a. 2017

²³ Zanut S. – Ronchi E. – Così F. – “Fuori tutti, c'è un incendio a scuola” ...ma è solo una simulazione virtuale, cit.

il progettista deve prestare attenzione per individuare e calibrare i dati di input e valutare criticamente le informazioni estratte. La base quindi è la conoscenza dei processi e dei meccanismi, ma anche del più consono utilizzo degli strumenti: configurare un incendio ed un'evacuazione in ambiente virtuale (FDS – Fire Dynamics Simulator e EVAC – Evacuation), oltre a richiedere un elevato onere computazionale, presuppone un bagaglio di conoscenze improntato sulla capacità di previsione, sia dell'evoluzione di un incendio, che dei comportamenti umani e della reciproca interazione.

I risvolti positivi nell'elaborazione o correzione di un piano con questi strumenti, dipendono dalla possibilità di considerare variabili difficili da valutare in modo diverso: modalità di raggruppamento degli utenti prima dell'uscita dall'aula, individuazione di ingorghi, calcolo dei tempi di conclusione dell'esodo, valutazione della qualità dei flussi, ecc.

Le potenzialità riguardano anche l'ambito della gestione e della verifica, in termini di fonte del pericolo e modalità di propagazione dei suoi effetti: in funzione dell'indisponibilità dei percorsi causata da un incendio, dalle temperature elevate, dalla presenza di fumi o ancora da crolli strutturali, è possibile individuare tragitti differenti da quelli di una classica planimetria di emergenza ed utilizzare gli stessi scenari come base per condurre prove reali. Infine la possibilità di sfruttare gli output grafici oltre che per la valutazione dei risultati da parte del progettista, anche per l'informazione del personale, mostra gli ulteriori vantaggi: dinanzi ai possibili scenari che influenzano la disponibilità dei percorsi, l'occupante può ricevere una formazione mirata che lo indirizzi alla scelta ragionata di vie alternative a quelle normalmente previste. Per farlo, oltre ad immagini ed animazioni su monitor tradizionali, è possibile sfruttare le potenzialità del mondo complesso della Realtà Virtuale (VR – Virtual Reality), già utilizzata in ambito internazionale per l'addestramento degli operatori di soccorso (medico, antincendio, ...) e del personale specializzato nella gestione di situazioni che, se altrimenti sperimentate con pratiche in campo, risulterebbero pericolose e complesse per dimensioni o dispiego di risorse. Allo stesso modo è possibile applicare queste tecniche in ambito didattico, riducendo il divario tra documenti, concetti teorici ed addestramento pratico: le simulazioni immersive consentono di riprodurre situazioni realistiche in ambiente virtuale per verificare l'efficacia del piano e la competenza delle persone che, davanti al pericolo reale, fronteggiano con procedure note le problematiche a quel punto già sperimentate, limitando al minimo l'improvvisazione, estremamente rischiosa in emergenza.

In particolare per Realtà Virtuale si intende uno strumento capace di duplicare fedelmente la realtà in uno scenario tridimensionale generato in ambiente BIM: al suo interno l'utente può vivere un'esperienza immersiva che coinvolge tutti i sensi. Il tutto è reso possibile grazie

all'utilizzo di computer, controllers e visori (ed eventualmente piattaforme di deambulazione). Vista l'affinità con il mondo dei videogiochi, spesso si parla di “*serious game*” o “*game based learning*”²⁴, ossia mezzi di intrattenimento e giochi di ruolo (con cui i partecipanti possono essere attori o osservatori), ma anche tecniche educative innovative. Questi applicativi permettono a progettisti, committenti ed utenti di vivere esperienze in prima persona in ambito progettuale, manutentivo, ispettivo e formativo ma anche della sicurezza antincendio. In quest'ultimo campo ad oggi si utilizzano software distinti di incendio e di esodo ma in ogni caso è necessario formulare preventivamente gli scenari di esodo con incendio in corso e caricarli successivamente nell'ambiente virtuale: gli attori possono muoversi all'interno grazie alla creazione di punti di vista o seguendo il percorso di un occupante nel modello, ma non possono interagire. Inoltre è possibile vivere l'esperienza individualmente o condividerla con più utenti in tempo reale grazie alla creazione di avatar.

Nell'ambito didattico e dell'addestramento in emergenza tali tecniche avanzate consentono di trasmettere le informazioni in modo più efficace ed immediato rispetto ai tradizionali corsi frontali: l'utilizzo più frequente prevede la creazione di sessioni con istruttore e studenti in postazioni interconnesse con le quali è possibile attuare le procedure previste dal piano di emergenza. Gli stessi scenari possono essere riproposti più volte, identici a sé stessi o con piccole variazioni che generano situazioni diverse: gli studenti hanno la possibilità di interiorizzare le procedure fronteggiando scenari realistici con un elevato grado di coinvolgimento (anche emotivo), rispetto alla semplice esposizione di contenuti, schemi e planimetrie. Ne derivano altri vantaggi come la possibilità di verificare: la percorribilità delle vie d'esodo, l'efficacia e l'intuitività di segnaletica e percorsi, il livello di qualità offerto lungo il tragitto, il calcolo di parametri utili alla caratterizzazione di incendi ed occupanti. Il tutto è estremamente vantaggioso anche per la possibilità di moltiplicare le verifiche e magari “*in futuro sarà possibile interagire con il modello e valutare in tempo reale le conseguenze di determinate azioni dell'utente sul comportamento dell'incendio*”²⁵.

²⁴ Zanut S. – *Simulare le situazioni critiche per imparare ad affrontare e difendersi dai rischi in Rivista antincendio, a. 2014*

²⁵ Così F., Vancetti R., Cereda E. – *La Realtà Virtuale: un nuovo strumento a servizio della progettazione con la Fire Safety Engineering in Rivista antincendio, a. 2019*

5. Caso studio

L'intento del presente contributo è stato quello di dimostrare l'efficacia dell'utilizzo degli strumenti di simulazione di incendio e di esodo nella progettazione dei piani di emergenza ed evacuazione all'interno delle attività scolastiche, attraverso l'applicazione ad un istituto di istruzione primaria e secondaria di primo grado.

Le scuole *“sono centro di formazione ma anche centro di aggregazione comunitaria ed è quindi quanto mai importante garantire una adeguata sicurezza di questi luoghi”*²⁶. Infatti il concetto di scuola racchiude in sé aspetti di formazione e didattica ma anche di condivisione e aggregazione comunitaria: ogni momento trascorso negli ambienti scolastici può diventare motivo di crescita, dai dialoghi con i compagni alle lezioni frontali, dalle attività ginniche a quelle di laboratorio, dalla ricreazione ai momenti di gioco. Ne consegue che nessun luogo quanto la scuola ha le potenzialità di trasmettere conoscenza da una generazione all'altra: perché non iniziare da qui per promuovere la diffusione di nuovi temi, come la cultura della sicurezza e dell'emergenza, oggi ancora troppo spesso trascurata?

L'educazione sui comportamenti da adottare in caso di emergenza dovrebbe partire proprio dalle elementari in modo da prefigurare un futuro in cui tutti i cittadini siano più pronti ad affrontare situazioni critiche e a gestirle collaborando senza generare panico diffuso.

Il primo passo è rappresentato dall'elaborazione di piani di emergenza da attuare quando le strategie di sicurezza falliscono: le procedure devono essere adeguatamente divulgate tra il personale e gli alunni per poi verificarne l'efficacia attraverso le prove eseguite durante l'anno scolastico. Premesso che non esistono modelli di piani di emergenza dalla validità universale, le procedure devono essere calibrate sull'istituto e costantemente aggiornate per non rischiare di creare ulteriori pericoli in situazioni già critiche per la sicurezza di persone, beni e ambiente, soprattutto per le difficoltà di attuazione dettate dalla tipologia di utenza: *“i bambini non possiedono le cognizioni linguistiche, logiche, operative che si richiedono”*²⁷ e talvolta il personale non coglie l'importanza dell'educazione sul tema.

Pertanto l'obiettivo è quello di individuare un metodo operativo per la gestione delle emergenze attraverso l'utilizzo di piani elaborati sfruttando le potenzialità delle simulazioni di incendio e di esodo, ottime alleate del professionista che vuole tratteggiare strategie calzanti con il contesto di interesse. Tali strumenti infatti permettono di ricevere risposte immediate circa le problematiche e i dubbi sorti in fase di analisi e di calibrare la

²⁶ Luraschi F., Luraschi D. – *La cultura della sicurezza nelle scuole in Rivista antincendio*, a. 2019

²⁷ Pollari I. – *Indirizzi per la gestione delle emergenze negli edifici scolastici in Rivista antincendio*, a. 2009

modellazione in funzione delle informazioni ottenute e delle opzioni di intervento via via selezionate. I vantaggi dell'utilizzo delle simulazioni si esplicano anche nella formazione ed informazione delle figure coinvolte: dinanzi agli scenari che potrebbero verificarsi per una evacuazione con incendio in corso che impedisce l'utilizzo di alcune vie di fuga, gli occupanti vengono abituati ad elaborare prontamente scelte di percorso alternative a quelle previste nelle documentazioni e nelle planimetrie classiche. In ultimo i modelli offrono la possibilità di verificare l'efficacia delle procedure adottate e di aggiornarle in funzione delle variazioni che possono intervenire nell'istituto.

Quindi le domande di ricerca erano: le modalità di elaborazione dei piani e di organizzazione delle prove di emergenza nelle attività scolastiche sono efficaci? Vi sono dei margini di miglioramento nella redazione, divulgazione e verifica delle procedure se si sfruttano le potenzialità degli strumenti oggi disponibili?

Per cominciare è stato necessario analizzare la condizione attuale di sicurezza nelle scuole. Da dicembre 2014 è attivo il Sistema Nazionale dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica (SNAES), istituito con la Legge 11/01/1996, n. 23 con l'intento di realizzare una piattaforma che racchiuda i dati relativi al patrimonio scolastico italiano. I Comuni e le Province, trasmettendo i propri dati (entro il primo dicembre di ogni anno), danno corpo al database nazionale al quale è possibile accedere attraverso il Portale Unico dei Dati della Scuola, messo a disposizione dal Ministero dell'Istruzione. Lo scopo è censire la popolazione scolastica, lo stato degli edifici, i progetti dell'offerta formativa e la conformità normativa e creare un dataset aggiornato e dal libero accesso. Questo diventa uno strumento di monitoraggio dello stato di salute delle scuole, utile per pianificare gli interventi e programmarli per priorità in base al fabbisogno.

Si è scelto di attingere dalla piattaforma per analizzare le condizioni in cui verte il patrimonio scolastico italiano: nell'anno 2020-2021 sono 60.906 gli edifici scolastici attivi sul territorio nazionale, ospitanti circa 9,5 milioni di persone (tra alunni e personale docente e ATA) ossia il 16% della popolazione italiana. Degli studenti, il 3,6% presenta una forma di disabilità ma meno del 30% delle scuole ha provveduto all'abbattimento delle barriere a favore dell'inclusività. Dal punto di vista degli adempimenti normativi, si propongono grafici di sintesi relativi all'ottenimento del certificato di prevenzione incendi e alla predisposizione del documento di valutazione dei rischi e del piano di emergenza ed evacuazione. I dati mostrano come la situazione non sia ancora positiva nell'ambito antincendio, mentre sia sbilanciata in meglio per quanto riguarda la valutazione dei rischi e i piani di emergenza, anche se questo non assicura che i documenti siano opportunamente redatti e rispettino le

specificità dell'istituto cui si riferiscono. A ciò si aggiunge l'assenza di dati relativi all'esecuzione di prove di evacuazione negli ultimi anni: a causa della pandemia di COVID-19 molti istituti non hanno ottemperato agli obblighi di legge per le restrizioni imposte e l'inadeguatezza dei piani di emergenza alle nuove disposizioni. Gli ultimi dati risalgono al 2018: secondo il "XVI Rapporto sulla sicurezza delle scuole" ad opera di Cittadinanzattiva, l'88% delle scuole svolge le prove di evacuazione sul rischio sismico, l'80% sul rischio incendio, l'8% su quello idrogeologico e il 2% su quello vulcanico.

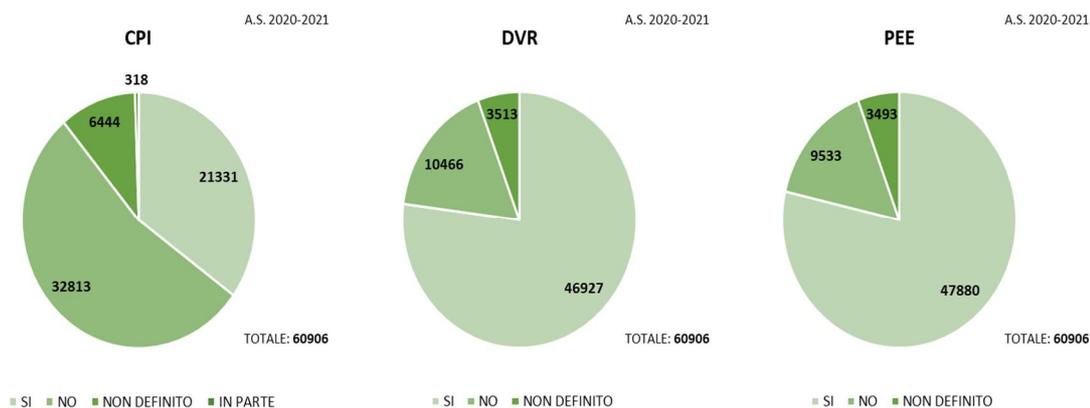


Figura 4 – Elaborazione dati Portale Unico dei Dati della Scuola, A.S. 2020-2021

Dal punto di vista della sicurezza la scuola risulta un organismo complesso e l'analisi dei dati dimostra quanto sia necessaria un'azione immediata. Purtroppo l'inadempienza alla normativa è più spesso dovuta all'indisponibilità di risorse che alla negligenza. Allo stesso tempo non è detto che sicurezza significhi sostenere costi elevati: partendo dall'utilizzo delle risorse gestionali disponibili, programmando interventi di manutenzione ed adeguamento, ma soprattutto puntando sulla conoscenza (con formazione e prove sul campo), si potrebbero migliorare gli ambienti scolastici, accogliendo alunni e personale in luoghi più sicuri. In parallelo sarebbe opportuno rivedere ed aggiornare alcune normative e continuare ad arricchire le piattaforme ad accesso libero al fine di ottenere una banca dati unica e completa a cui gli addetti del settore possano accedere per programmare le strategie di azione.

Con questi obiettivi è stato selezionato l'Istituto Comprensivo statale di Arborio (VC), in particolare la sede principale (C.so Umberto I, 129) ospitante la scuola primaria e secondaria di primo grado. Allo stesso sono state adattate le conoscenze acquisite in sinergia con le simulazioni virtuali per dimostrare l'efficacia di tali strumenti nell'elaborazione di un piano di emergenza, in particolare per l'individuazione di percorsi alternativi in caso di compromissioni dovute alla presenza di un incendio.

L'edificio, realizzato nel 2002, sorge in un contesto prevalentemente rurale con case sparse nel circondario e si sviluppa su due piani fuori terra, come mostrato nelle figure seguenti:



Figura 5 – Inquadramento contesto



Figura 6 – Inquadramento scuola

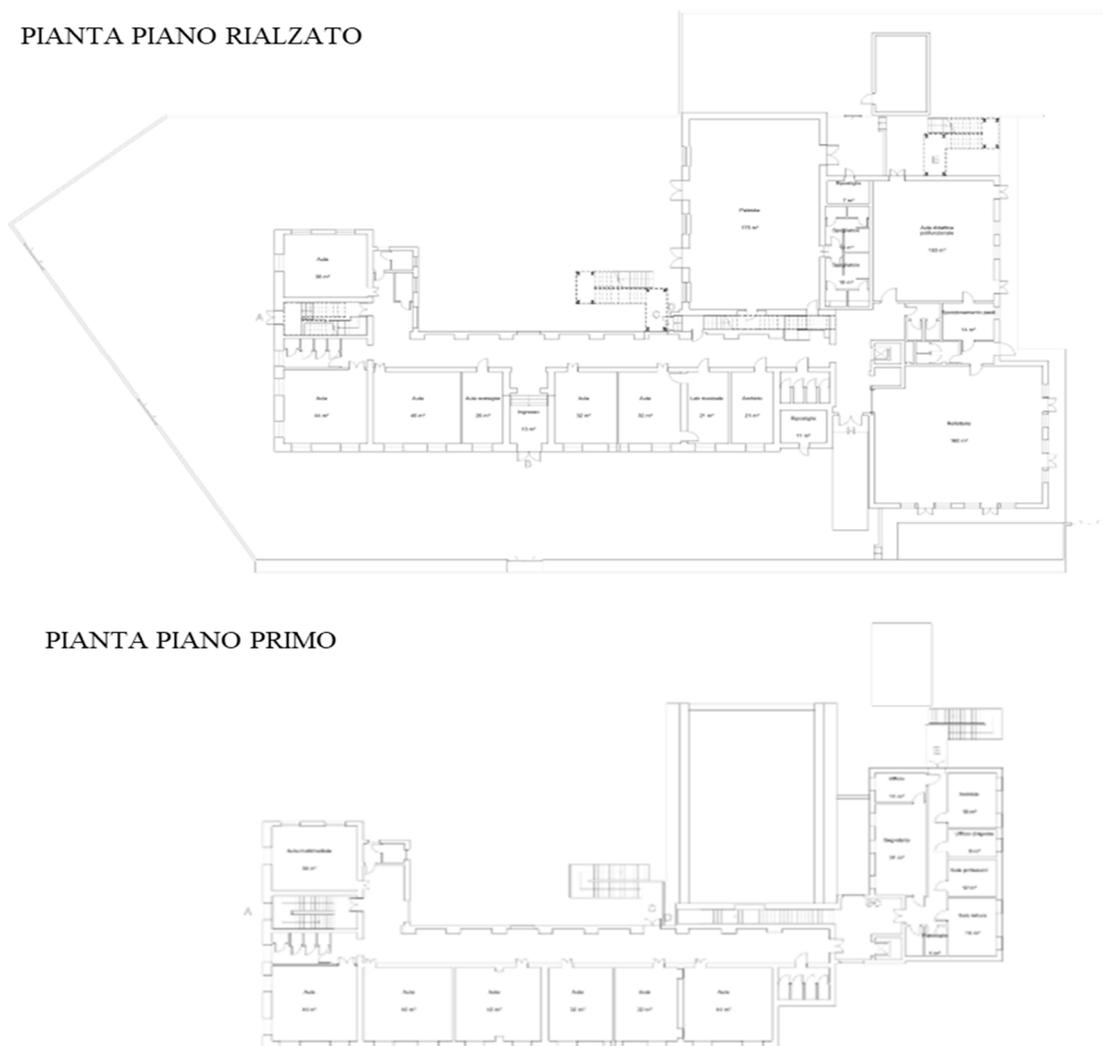


Figura 7 – Piante edificio

Il layout interno non risulta complesso in quanto ad entrambi i piani le aule sono collocate sul fronte meridionale dell'edificio e sono collegate da un corridoio distributivo centrale che si inserisce tra i due vani scale di accesso al piano superiore. Esternamente sono presenti due scale per consentire l'esodo in sicurezza da entrambe le maniche dell'edificio. Al piano inferiore, rialzato, si accede con dei gradini all'ingresso principale e con una rampa situata a ridosso del locale refettorio. Nell'edificio è presente un ascensore con funzione di normale collegamento tra i piani ma non utilizzabile in caso di emergenza.

Il presente istituto, oggetto dell'esercitazione prevista nel corso di "Prevenzione per la sicurezza antincendio", è stato analizzato per individuare le più consone soluzioni per ognuna delle strategie indicate nel Codice di prevenzione incendi, utilizzando le sezioni G+S e la V.7 per le attività scolastiche. In particolare l'edificio è classificato secondo un R_{vita} A2 (ad esclusione della palestra, B2), un R_{beni} pari ad 1 e un $R_{ambiente}$ Non significativo. Di seguito si riporta una tabella che sintetizza i livelli di prestazione per le dieci strategie:

ATTIVITÀ 67 - SCUOLE	
Misura	Livello di prestazione
S.1. Rezione al fuoco	III
S.2. Resistenza al fuoco	III
S.3. Compartimentazione	II
S.4. Esodo	I
S.5. Gestione della sicurezza antincendio	II
S.6. Controllo dell'incendio	II
S.7. Rivelazione ed allarme	II
S.8. Controllo di fumi e calore	II
S.9. Operatività antincendio	II
S.10. Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio	I

Tabella 2 – Livelli di prestazione

In particolare si specifica che per la strategia S.3 si è scelto di compartimentare i due macro ambiti delle aule ad ogni piano, la zona uffici, l'aula polifunzionale, la palestra, il refettorio e i due archivi. Per quanto riguarda la S.7, invece, si è preferito adottare un impianto di rivelazione manuale per tutti i locali, ad esclusione di quelli con presenza non continuativa (archivi e aula multimediale) per i quali si è optato per un impianto di rivelazione fumi. La diffusione dell'allarme avviene a mezzo dello *“stesso impianto a campanelli usato normalmente per l'attività scolastica”*²⁸, adottando un particolare suono nella pianificazione dell'emergenza. In merito alla S.8 è stata prevista come soluzione conforme l'adozione di estintori polivalenti per i fuochi di classe A, B e C validi per tutta l'attività e degli ulteriori estintori a CO₂ da posizionare in corrispondenza dei presidi elettrici (come i dispositivi localizzati nelle aule multimediali e nella zona uffici). In merito agli smaltitori di fumo, si è scelto di individuare gli stessi infissi già presenti nell'edificio, selezionando le due finestre dei corridoi ad entrambi i piani e quelle destinate all'aerazione dello spazio calmo al piano superiore (tutte di tipo SEb ossia con apertura automatica asservita ad IRAI).

Per la strategia S.4, le lunghezze di tutti i percorsi di esodo sono di molto inferiori a 60 m (massimo valore indicato dal Codice sulla base del profilo R_{vita}) mentre le larghezze delle vie orizzontali e verticali sono state verificate tenendo conto della larghezza unitaria (sempre corrispondente ad uno specifico R_{vita}) e dell'affollamento massimo dei locali, assumendo in ogni caso una larghezza non inferiore a 800 mm. Nell'ambito della progettazione del sistema d'esodo, come anticipato, è stato individuato uno spazio calmo al piano superiore in cui attendere i soccorsi in caso di necessità: è un locale ricavato nella zona antistante il vano

²⁸ Ministero dell'Interno – D.M. 3 agosto 2015, *cit.*

ascensore, compartimentato rispetto agli ambiti adiacenti e collegato direttamente all'esterno con uno dei vani scale interni.

Per il dimensionamento del sistema d'esodo, il Codice individua come dati principali il profilo di rischio R_{vita} e l'affollamento dei locali. Per la definizione della capienza massima si è fatto riferimento al D.M. 18/12/1975, all'interno del quale, per attività didattiche normali sono previsti $1,8 \text{ m}^2/\text{alunno}$: con questo dato a disposizione, moltiplicando per le superfici delle aule, sono stati calcolati i valori di affollamento massimo ipotizzabile, considerando come limite superiore quello imposto dal D.M. del 26/08/1992 e pari a 26 persone/aula. Successivamente sono state fatte assunzioni sulle presenze totali di alunni con disabilità: 3 bambini con disabilità motoria al primo Piano, 2 al Piano rialzato, 3 con disabilità cognitiva o sensoriale al primo Piano, 2 al Piano rialzato. Con queste premesse sono stati considerati gli ulteriori insegnanti di sostegno nel caso di studenti con disabilità cognitiva-sensoriale limitando comunque il numero di studenti per aula ad un massimo di 22 per rispettare quanto previsto dal D.P.R. n. 81 del 20/03/2009.

A questi valori sono stati sommati 5 collaboratori scolastici e 4 assistenti amministrativi (compreso il dirigente) sulla base delle Tabelle degli organici di diritto per numero di studenti e valutando la distribuzione di locali uffici ed aule. Infine sono stati considerati 3 insegnanti ogni due aule quindi 18 docenti totali e alla somma del personale dipendente è stato aggiunto un ulteriore 30% per considerare la presenza di eventuali utenti esterni. In questo modo le presenze complessive ammontano ad un totale di 259 occupanti.

Piano	0 (Primaria)					1 (Secondaria)					
	1A	2A	3A	4A	5A	1A	2A	3A	1B	2B	3B
Alunni	20	21	25	16	16	21	21	16	21	21	16
Alunni con disabilità	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
Insegnanti	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Insegnanti di sostegno				1	1		1	1	1		
Collaboratori scolastici	2					3					
Insegnanti non in aula	2										
Assistenti amministrativi	4										
Utenti esterni	8										
Utenti totali	259										

Tabella 3 – Affollamento

Il lavoro di Tesi è stato quindi impostato per il passo successivo, ossia l'utilizzo di modelli di calcolo, secondo un processo articolato in tre fasi:

- modellazione 3D: utilizzando il software *Autodesk – Revit*, è stato realizzato il modello tridimensionale dell'edificio con le informazioni geometrico-spaziali di supporto alle simulazioni successive
- modellazione di incendio: l'interoperabilità tra gli strumenti BIM e FDS ha permesso di integrare le informazioni del modello digitale con i dati relativi alla caratterizzazione dell'incendio (è stato utilizzato il software *Thunderhead – PyroSim*)
- modellazione di esodo: il modello BIM è stato utilizzato efficacemente anche nei sistemi di calcolo agent-based di tipo semi-comportamentale, ossia modelli in cui è possibile realizzare utenti con caratteristiche fisiche e di comportamento che si muovono nel mondo digitale simulando le modalità di scelta umane (il software utilizzato è *Thunderhead – Pathfinder*).

Questi strumenti di supporto all'elaborazione, divulgazione e verifica del piano di emergenza, permettono sinergicamente di plasmare scenari realistici in cui gli occupanti si muovono attraversando ambienti più o meno contaminati dagli effetti dell'incendio alla ricerca del percorso migliore per fuggire dai pericoli. Permettono di reperire informazioni circa l'affollamento dei locali, l'esposizione ad agenti tossici o nocivi, i tempi di evacuazione, la movimentazione dei fumi, la qualità dell'evacuazione lungo i percorsi, le temperature raggiunte... Dalla ponderata combinazione di questi aspetti e dei risultati dei modelli, il progettista verifica l'efficacia delle soluzioni, ottimizza le procedure di emergenza ed effettua valutazioni sugli obiettivi di sicurezza per occupanti, beni e ambiente.

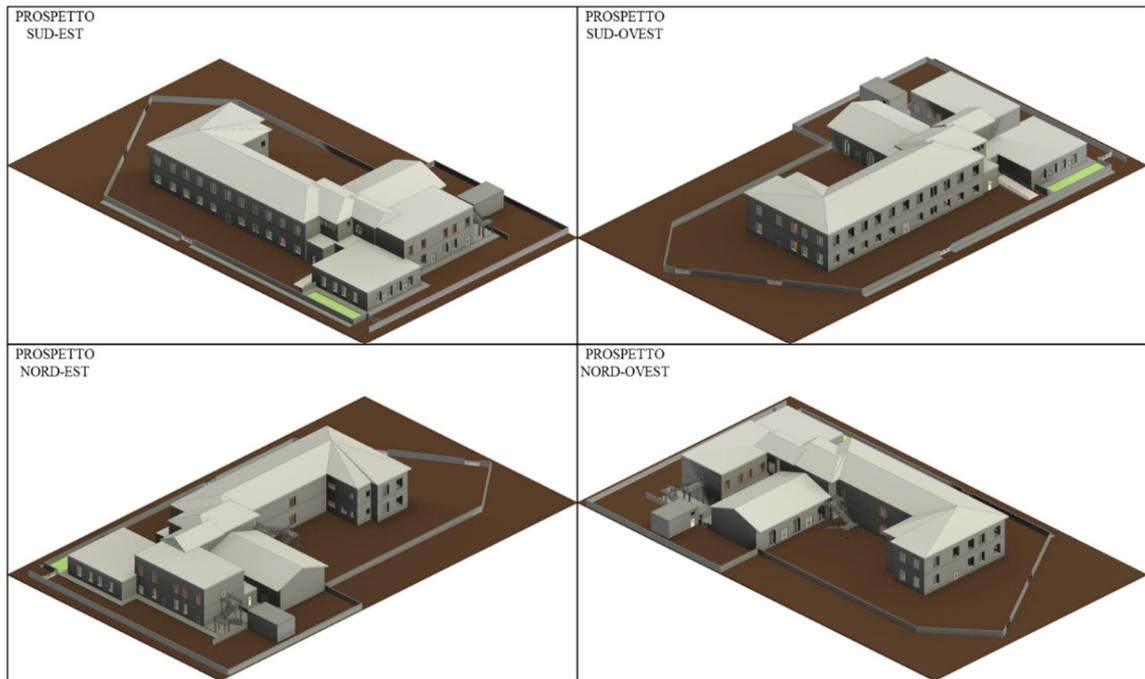


Figura 8 – Modello 3D

5.1. Modellazione di incendio

Terminata la modellazione tridimensionale, sono stati considerati 5 scenari di incendio deducendoli dalla consultazione delle statistiche sugli incendi nelle scuole. In particolare, dalle cronache italiane degli ultimi dieci anni e da reports nazionali ed internazionali²⁹, è stato riscontrato che gli inneschi sono maggiormente imputabili ad atti dolosi, malfunzionamenti elettrici o degli apparecchi di riscaldamento e alla presenza di cantieri (ad esempio per l'utilizzo di fiamme libere). Non potendo considerare incendi dolosi, sono stati individuati gli apparecchi elettrici più probabilmente presenti in un edificio scolastico, giungendo alla selezione di una fotocopiatrice, un PC e un distributore automatico.

SCUOLA	LUOGO	DATA	DANNI-CAUSA
PRIMARIA	Cernusco sul Naviglio	04/07/2022	Incendio in facciata-causa ignota
PRIMARIA	Trentola Ducenta	31/05/2022	Incendio nel teatro della scuola-causa ignota
PRIMARIA	Parma	14/03/2022	Incendio nei bagni della scuola-causa ignota
PRIMARIA	Bellinzona	11/03/2022	Incendio in un locale tecnico sotterraneo-malfunzionamento di una stufa elettrica con produzione di scintille
PRIMARIA	Villorba	22/02/2022	Incendio innescato da un televisore-cortocircuito
PRIMARIA	Potenza	17/09/2021	Incendio in copertura-probabili lavori in corso
PRIMARIA	Varano de Melegari	18/03/2021	Incendio innescato da un montascale nel corridoio della palestra-probabile cortocircuito
PRIMARIA	Volla	03/05/2018	Incendio nei bagni della scuola-cortocircuito
PRIMARIA	Fornia	05/11/2015	Incendio nel seminterrato-probabili scarti di cantiere
MEDIA	Mortara	08/07/2022	Incendio in aula-causa ignota
MEDIA	Verona	25/01/2022	Incendio in biblioteca e danni all'impianto elettrico-probabile incendio doloso
MEDIA	Cesena	17/12/2021	Incendio innescato da un cestino nei bagni-probabile incendio doloso
MEDIA	Brindisi	29/03/2017	Incendio in aula-probabile incendio doloso
MEDIA	Cavoretto	16/10/2015	Incendio innescato dalle caldaie in copertura-probabile malfunzionamento
MEDIA	Olbia	22/03/2012	Incendio in copertura-cicca di sigaretta da un edificio vicino
MEDIA	Legnano	20/03/2001	Incendio in copertura-lavori in corso per posa della guaina: perdita di gas da un cavo difettoso collegato ad una bombola
COMPRESIVO	Frosinone	23/06/2022	Incendio nella scuola-causa ignota
COMPRESIVO	Castrignano del Capo	18/02/2022	Incendio in copertura-cortocircuito di un inverter dell'impianto fotovoltaico
COMPRESIVO	Potenza	22/01/2022	Incendio innescato dal materiale in disuso nei locali tecnici sotterranei-causa ignota
COMPRESIVO	Diano d'Alba	17/01/2022	Incendio nel seminterrato-guasto all'impianto elettrico
COMPRESIVO	Ancona	14/10/2021	Incendio in cucina-malfunzionamento di una lavastoviglie
COMPRESIVO	Matera	23/07/2021	Incendio in copertura-fiamma libera su una guaina
COMPRESIVO	Milano	30/12/2020	Incendio in segreteria-cortocircuito di un PC
COMPRESIVO	Palermo	16/12/2020	Incendio nel locale caldaie-cortocircuito di un quadro elettrico
COMPRESIVO	Lograto	26/09/2017	Incendio nella scuola-fiamma libera
COMPRESIVO	Sori	25/11/2012	Incendio nel sottotetto-causa ignota

Tabella 4 – Cronache incendi nelle scuole italiane negli ultimi dieci anni

²⁹ Direzione Centrale per la Prevenzione e sicurezza tecnica del Dipartimento dei Vigili del Fuoco – *Statistica degli incendi di grande rilevanza verificatisi nelle scuole, centri commerciali, attività alberghiere e di pubblico spettacolo finalizzati all'individuazione delle cause e degli effetti prodotti, a. 1990-1999*

Topical Fire Report Series U.S. Department of Homeland Security – *School Building Fires (2009-2011), a. 2014*

Di seguito gli scenari verranno così richiamati:

- Scenario 1: fotocopiatrice, Piano 1
- Scenario 2: PC, Piano 1
- Scenario 3: fotocopiatrice, Piano 0 (sinistra)
- Scenario 4: distributore, Piano 0
- Scenario 5: fotocopiatrice, Piano 0 (centro)

La procedura ha avuto inizio con l'esportazione del modello BIM dal software *Revit* e con la successiva importazione in *PyroSim*: il formato di scambio IFC è stato fondamentale per l'interoperabilità del processo.

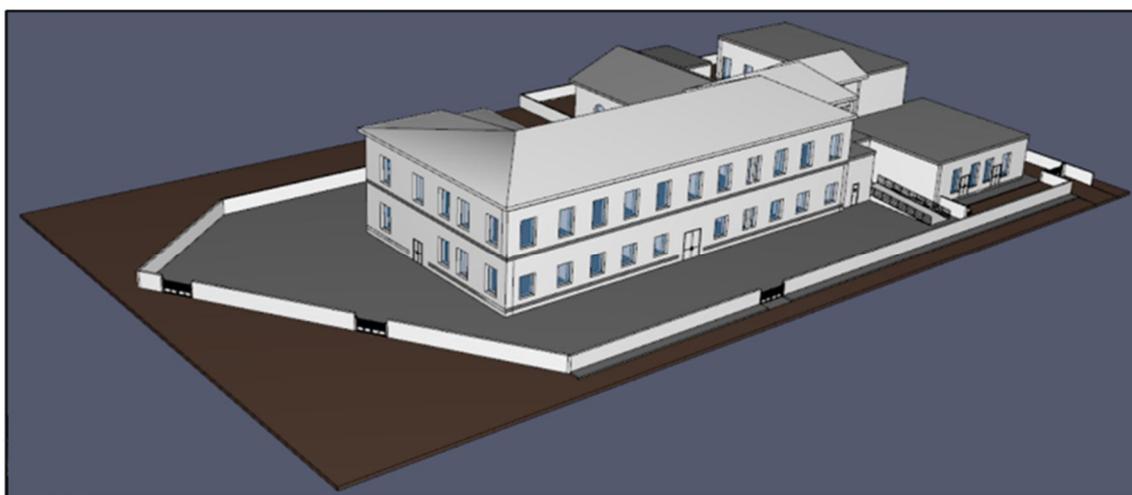


Figura 9 – Interoperabilità BIM-FDS

Procedendo, è stata definita una mesh, ossia un dominio di calcolo costituito da un gran numero di celle di forma parallelepipedica. Tale step, che costituisce il primo effettivo per lo sviluppo di un modello di incendio, deve essere opportunamente calibrato in quanto influisce sui tempi di calcolo e sull'accuratezza dei risultati finali: l'esecuzione di una simulazione si traduce nella risoluzione di bilanci di massa e di energia a mezzo di sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali, per ogni cella, nel tempo e nello spazio tridimensionale. All'infittimento della mesh corrisponde un maggior grado di dettaglio dei risultati ma anche un tempo di calcolo ed uno sforzo computazionale superiori. È quindi fondamentale trovare il giusto equilibrio tra i tempi e la precisione, in funzione degli obiettivi.

Nel caso in esame si è scelto di realizzare una mesh con celle di 0,25x0,25x0,25 m. Per ogni scenario è stata estesa, in tutte le direzioni, allo spazio strettamente necessario ad includere l'ingombro della scuola per ridurre il più possibile il dominio di calcolo.

Altro aspetto importante nella sua definizione, è l'apertura delle superfici che la delimitano e la loro trasformazione da adiabatiche a superfici di tipo vent (ad eccezione di quella alla base che rappresenta il piano di calpestio): questo permette gli scambi di massa ed energia con l'esterno, in modo che la simulazione sia il più possibile realistica.



Figura 10 – Definizione mesh di calcolo

Il passo successivo è rappresentato dalla caratterizzazione dei focolari in termini di reazione, combustibile, prodotti e potenza sprigionata. Innanzitutto sono state effettuate alcune ricerche circa i materiali che più frequentemente vengono utilizzati per la realizzazione di fotocopiatrici, computer e distributori automatici. In particolare è stato riscontrato che per i primi due viene impiegato il policarbonato (PC) mentre per i distributori vi sono combinazioni di polistirene (PS), polipropilene (PP) e poliuretano espanso (PUR). Si è fatto quindi ricorso al SFPE Handbook of Fire Protection Engineering per valutare quale materiale scegliere come rappresentativo delle tre reazioni di combustione, sulla base della quantità di prodotti rilasciati. Tra tutti è stato quindi selezionato il propilene, con produzione di particolato (Y_{soot}) approssimativamente corrispondente alla media tra i valori dei materiali considerati. Individuati il materiale principale e i prodotti, è stata impostata la corrispondente reazione di combustione nel software.

1198

Table 36.11 Stoichiometric yields of major products^a

Material	Formula	Ψ_{O}	Ψ_{CO_2}	Ψ_{CO}	Ψ_{s}	Ψ_{HC}
Carbon-hydrogen atoms in the structure						
PE	CH ₂	3.43	3.14	2.00	0.857	1.00
PP	CH ₂	3.43	3.14	2.00	0.857	1.00
PS	CH	3.08	3.38	2.15	0.923	1.00
Expanded polystyrene						
GM47	CH _{1.1}	3.10	3.36	2.14	0.916	1.00
GM49	CH _{1.1}	3.10	3.36	2.14	0.916	1.00
GM51	CH	3.08	3.38	2.15	0.923	1.00
GM53	CH _{1.1}	3.10	3.36	2.14	0.916	1.00
Carbon-hydrogen-oxygen-nitrogen atoms in the structure						
POM	CH ₂ O	1.07	1.47	0.933	0.400	0.467
PMMA	CH _{1.6} O _{0.40}	1.92	2.20	1.40	0.600	0.680
Nylon	CH _{1.8} O _{0.17} N _{0.17}	2.61	2.32	1.48	0.634	0.731
Wood (pine)	CH _{1.7} O _{0.83}	1.21	1.67	1.06	0.444	0.506
Wood (oak)	CH _{1.7} O _{0.72} N _{0.001}	1.35	1.74	1.11	0.476	0.543
Wood (Douglas fir)	CH _{1.7} O _{0.74} N _{0.002}	1.32	1.72	1.10	0.469	0.536
Polyester	CH _{1.4} O _{0.22}	2.35	2.60	1.65	0.709	0.792
Epoxy	CH _{1.3} O _{0.20}	2.38	2.67	1.70	0.727	0.806
Polycarbonate	CH _{0.88} O _{0.19}	2.26	2.76	1.76	0.754	0.872
PET	CH _{0.80} O _{0.40}	1.67	2.29	1.46	0.625	0.667
Phenolic foam	CH _{1.1} O _{0.24}	2.18	2.60	1.65	0.708	0.773
PAN	CHN _{0.33}	2.87	2.50	1.59	0.681	0.681
Flexible polyurethane foams						
GM21	CH _{1.8} O _{0.30} N _{0.05}	2.24	2.28	1.45	0.622	0.715
GM23	CH _{1.8} O _{0.35} N _{0.06}	2.11	2.17	1.38	0.593	0.682
GM25	CH _{1.7} O _{0.32} N _{0.07}	2.16	2.22	1.41	0.606	0.692
GM27	CH _{1.7} O _{0.30} N _{0.08}	2.21	2.24	1.43	0.612	0.698
Rigid polyurethane foams						
GM29	CH _{1.1} O _{0.23} N _{0.10}	2.22	2.42	1.54	0.660	0.721
GM31	CH _{1.2} O _{0.22} N _{0.10}	2.28	2.43	1.55	0.662	0.729
GM37	CH _{1.2} O _{0.20} N _{0.08}	2.34	2.51	1.60	0.685	0.753
Rigid polyisocyanurate foams						
GM41	CH _{1.0} O _{0.19} N _{0.11}	2.30	2.50	1.59	0.683	0.740
GM43	CH _{0.91} O _{0.20} N _{0.11}	2.25	2.49	1.58	0.679	0.732

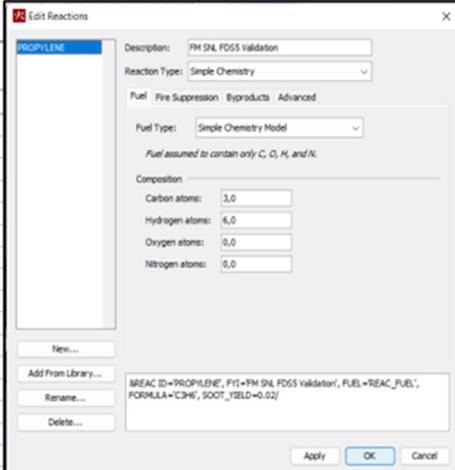


Figura 11 – SFPE Handbook Tabella 36.11: Prodotti di combustione. Reazione di combustione in *PyroSim*

L'ultimo parametro necessario per definire completamente le reazioni è rappresentato dalla curva potenza-tempo (curva RHR – Rate Heat Release). Per tutti gli scenari è stata desunta da ricerche di letteratura e poi rielaborata per l'importazione nel modello di incendio. Per gli Scenari 1, 3 e 5 la curva è stata ottenuta da un articolo della *Rivista antincendio* (2017) a cura di Zanut S., Ronchi E., Cosi F.³⁰ e relativo ad un'attività scolastica in cui si innescava un incendio a partire da una fotocopiatrice. Per gli Scenari 2 e 4 si è invece fatto riferimento al SFPE Handbook, rispettivamente alle curve 8a in Fig. 26.29 e R3 in Fig. 26.83. Per quest'ultima, non essendo stato individuato un andamento specifico relativo ad un distributore automatico, si è scelta verosimilmente la curva di un refrigeratore, apparecchio che più di tutti può ricondursi a quello dello scenario in esame.

In seguito sono stati importati in *PyroSim* i dati numerici elaborati dalle ricostruzioni per attribuirli alle superfici generate in associazione ai quattro tipi di focolari. Per ognuno sono stati inseriti i valori del *Heat Release Rate Per Area (HRRPUA)* tenendo conto del

³⁰ Zanut S., Ronchi E., Cosi F. – “Fuori tutti, c'è un incendio a scuola” ...ma è solo una simulazione virtuale, cit.

successivo dimensionamento del focolare. Il software richiede che la potenza di picco venga divisa per l'area della superficie utilizzata come *burner* e che tutte le potenze che rappresentano l'andamento nel tempo vengano rapportate alla potenza massima. Nel caso dei focolari analizzati le potenze di picco e le superfici sono le seguenti:

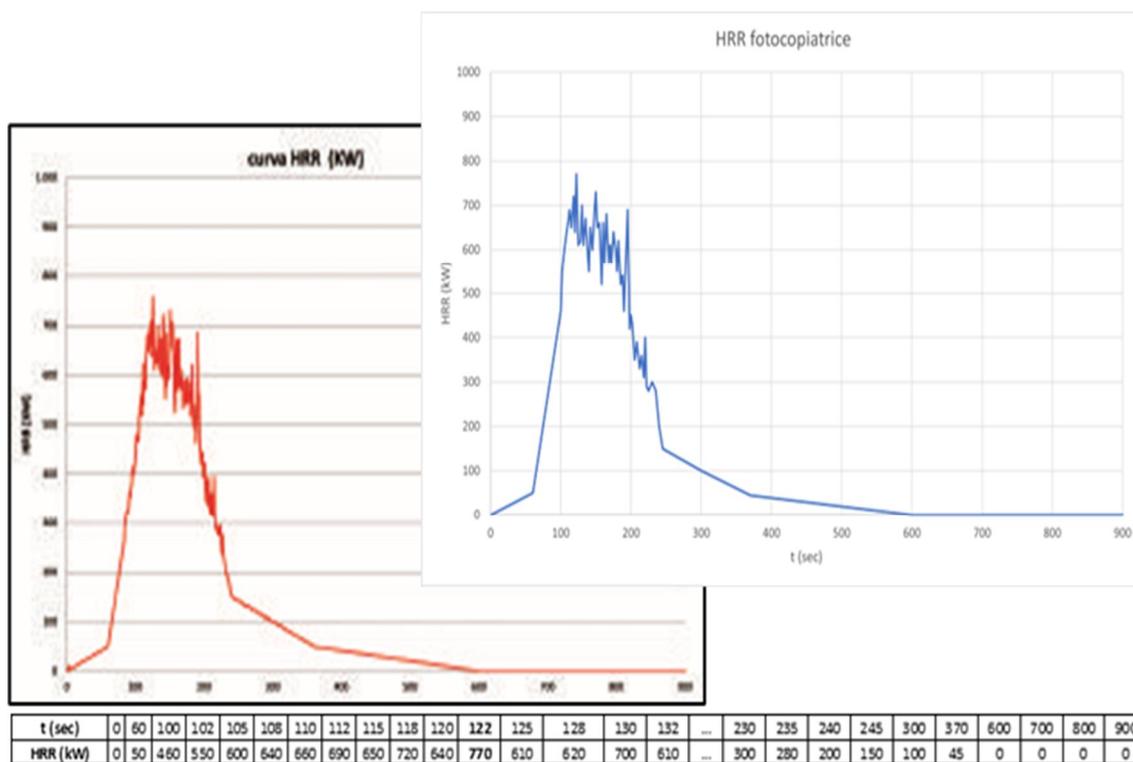
Scenario	Tempo (sec)	Potenza di picco (kW)	Superficie focolare (m ²)
1	122	770,0	0,42
2	900	120,2	0,18
3	122	770,0	0,42
4	2060	852,0	1,50
5	122	770,0	0,42

Tabella 5 – Potenza di picco – Superficie *burner*

Il successivo punto ha riguardato la creazione di cinque elementi di forma parallelepipedica per riprodurre i focolari. Le superfici superiori sono state realizzate con il comando *Draw a Block Obstruction* e dimensionate secondo i dati presenti nella tabella precedente: ad ognuna delle superfici *burner* è stata quindi associata una diversa curva RHR. Tutte le altre invece sono state caratterizzate come inerti.

In ultimo sono stati localizzati i focolari in punti in cui verosimilmente potrebbero trovarsi nel layout distributivo di un istituto scolastico:

- Scenario 1: fotocopiatrice collocata nel corridoio del Piano 1 in adiacenza all'uscita verso le scale di sicurezza esterne
- Scenario 2: PC posizionato al Piano 1 nell'aula multimediale collocata nell'angolo in alto a sinistra dell'edificio
- Scenario 3: fotocopiatrice collocata nel corridoio del Piano 0 in adiacenza ai servizi igienici sul lato sinistro
- Scenario 4: distributore posizionato nel corridoio del Piano 0 in adiacenza all'aula didattica polifunzionale sul lato destro.
- Scenario 5: fotocopiatrice collocata nel mezzo del corridoio del Piano 0



Edit Surfaces

Surface ID: HRR_FOTOC

Description:

Color: ■ Appearance:

Surface Type: Burner

Heat Release: Thermal Geometry Particle Injection Advanced

Heat Release

Heat Release Rate Per Area (HRRPUA): 1833,33 kW/m²

Mass Loss Rate: 0,0 kg/(m²·s)

Ramp-Up Time: Custom

Extinguishing Coefficient: 0,0 m³/(kg·s)

Ramping Function Values

Function Input: Time

Time (s)	Fraction
1	0,0
2	0,06
3	0,6
4	0,71
5	0,78
6	0,83
7	0,86
8	0,9
9	0,84
10	0,94
11	0,83
12	1,0
13	0,79
14	0,81

Obstruction Properties

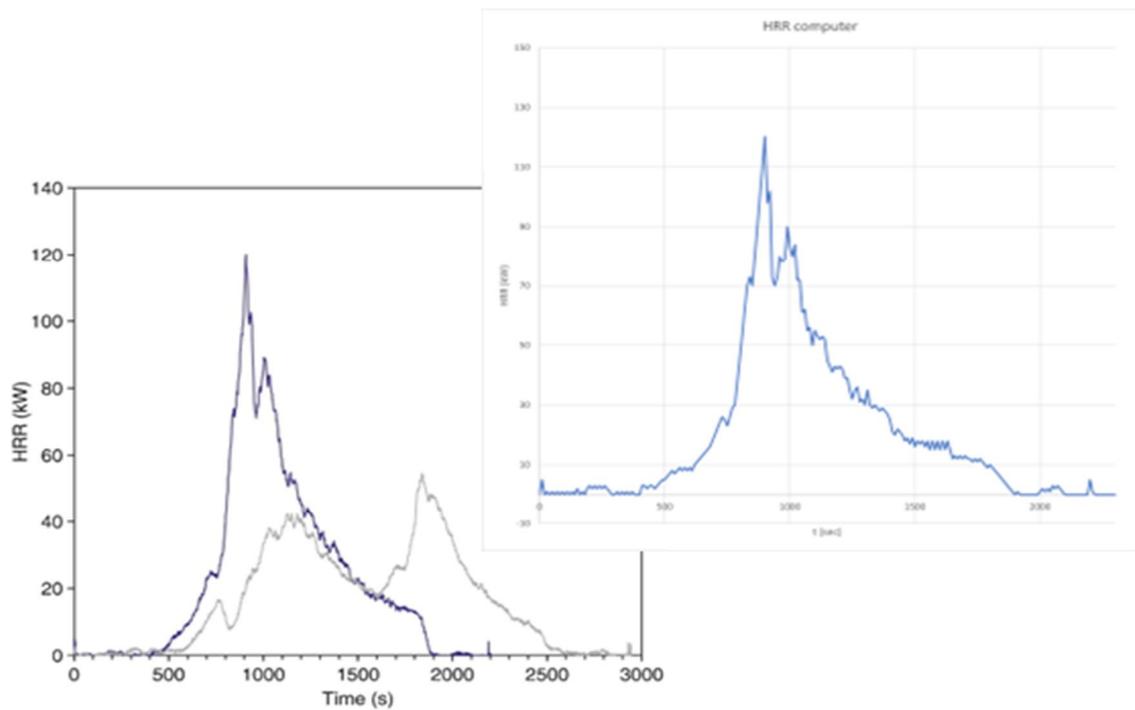
General Geometry Surfaces Advanced

Single

Multiple

Face	Surface
Min X	INERT
Max X	INERT
Min Y	INERT
Max Y	INERT
Min Z	INERT
Max Z	HRR_MACCH

Figura 12 – Curve RHR fotocopiatrice per Scenari 1-3-5: Fonte e rielaborazione



t (sec)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	...	880	890	900	910	920	...	2210	2220	2230	2240	2250	2260	2270	2280	2290	2300
HRR (kW)	0	5	0	1	0	1	0	1	0	1	...	100	110	120,2	98	102	...	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Edit Surfaces

Surface ID: HRR_PC
 Description:
 Color: ■ Appearance:
 Surface Type: Burner
 Heat Release: Thermal Geometry Particle Injection Advanced
 Heat Release
 Heat Release Rate Per Area (HRRPUA): 667,78 kW/m²
 Mass Loss Rate: 0,0 kg/(m²s)
 Ramp-Up Time: Custom Edit Values...
 Extinguishing Coefficient: 0,0 m²/(kg s)

Ramping Function Values

Function Input: Time

Time (s)	Fraction
1	0,0
2	0,041597
3	0,0
4	8,319468E-3
5	0,0
6	8,319468E-3
7	0,0
8	8,319468E-3
9	0,0
10	8,319468E-3
11	0,0
12	8,319468E-3
13	0,0
14	8,319468E-3

Obstruction Properties

General Geometry Surfaces Advanced

Single Multiple

Face	Surface
Min X	INERT
Max X	INERT
Min Y	INERT
Max Y	INERT
Min Z	INERT
Max Z	HRR_FOTOC

Figura 13 – Curve RHR computer per Scenario 2: Fonte e rielaborazione

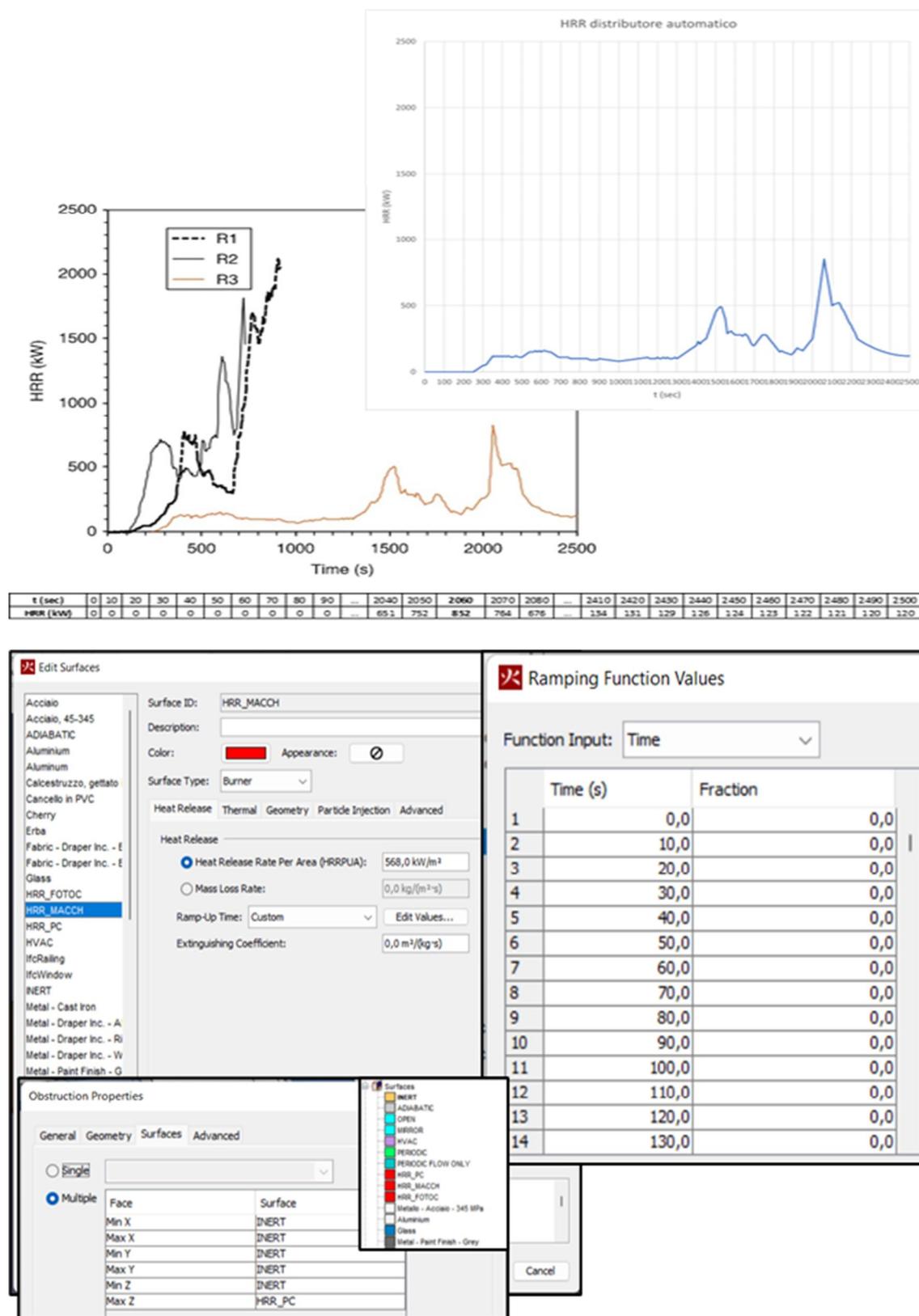


Figura 14 – Curve RHR distributore automatico per Scenario 4: Fonte e rielaborazione

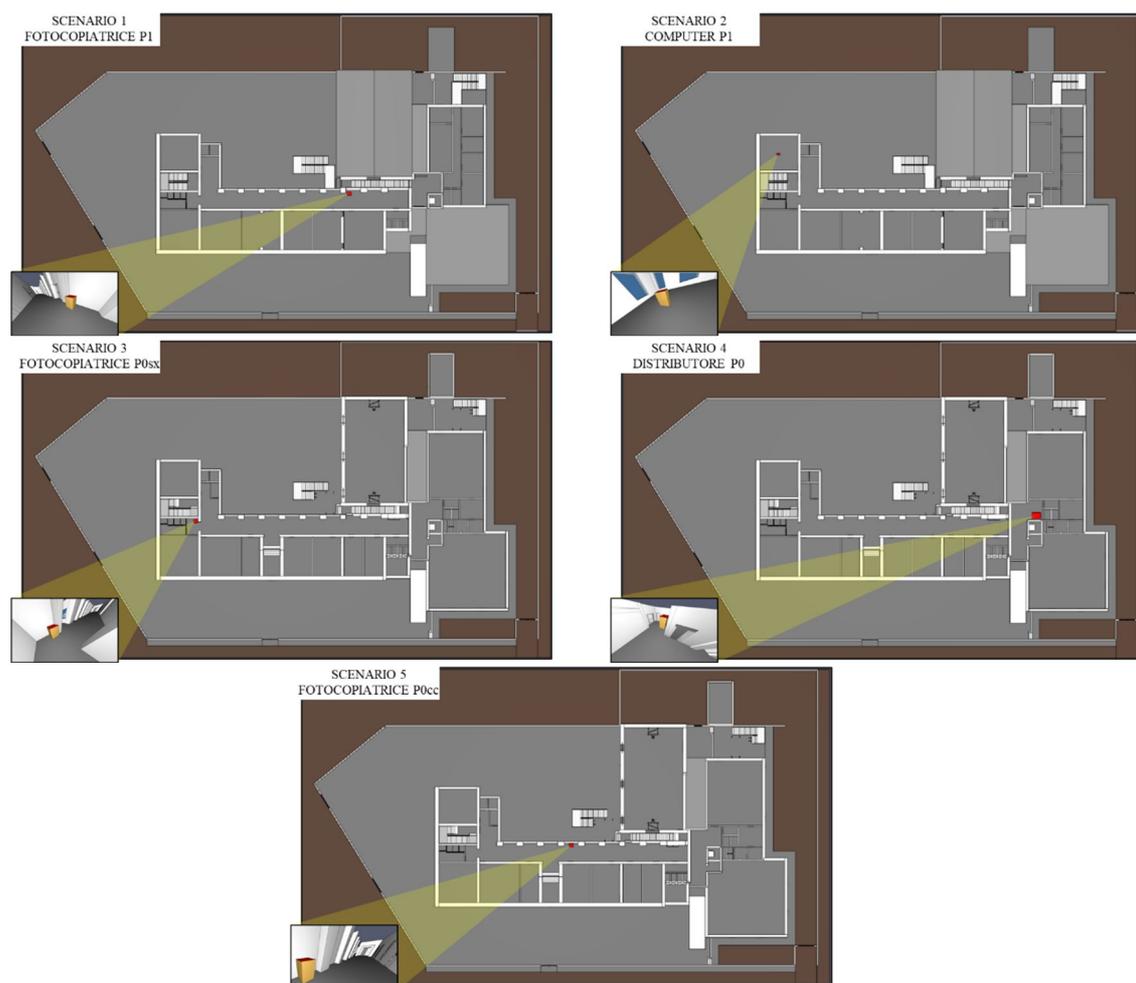


Figura 15 – Localizzazione focolari negli scenari

Ultimo aspetto importante nell'impostazione del modello, riguarda la caratterizzazione e il posizionamento dei dispositivi e degli strumenti di controllo dai quali estrapolare i dati di output. In particolare ci si è serviti di *Devices*, *Slices* e *Isosurfaces*. Tutti possono essere calibrati per esportare valori di temperatura, visibilità, FED, irraggiamento o altri parametri, a diverse quote e in diverse posizioni in pianta. In particolare i *Devices* estraggono valori puntuali delle grandezze variabili nel tempo, le *Slices* sono dei piani utili alla visualizzazione di diversi parametri secondo range specifici e le *Isosurfaces* rappresentano l'andamento volumetrico delle stesse grandezze in base a valori soglia impostati.

Nei diversi scenari sono stati posizionati 12 gruppi di *Devices* (contenenti sonde di FED, temperatura, visibilità e irraggiamento, ossia le grandezze corrispondenti a tre dei quattro modelli per le verifiche di incendio avanzate e per il calcolo del tempo di ASET), privilegiando vie di esodo orizzontali e verticali, uscite e aule. Per osservare l'andamento delle grandezze nei punti strategici per l'evacuazione evitando al contempo di appesantire la simulazione, sono stati abilitati solo i *Devices* di interesse in base al piano dell'edificio e all'area di indagine. Nello specifico per gli scenari riferiti al Piano 1 è stata la scelta la zona

delle scale e del corridoio, lo spazio calmo e un'aula; per gli scenari al Piano 0 sono state selezionate le scale, il corridoio, un'aula e le uscite (la principale e quella dotata di rampa).

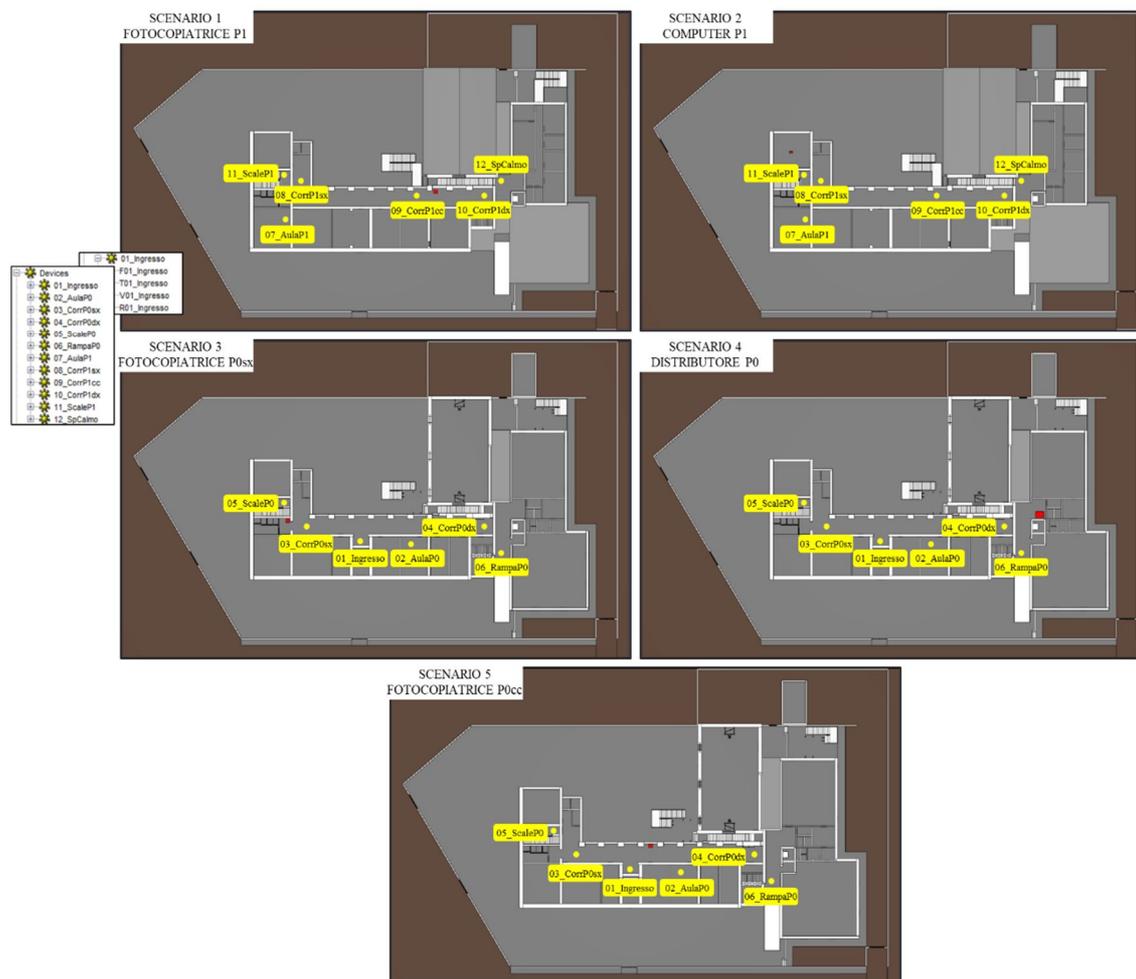


Figura 16 – Localizzazione *Devices* negli scenari

Inoltre sono state collocate *Slices* a quote diverse (1,5 e 2 m a partire da entrambi i piani di calpestio) e in direzione x e y (secanti vani scale, corridoi ed uscite).

Infine sono state impostate le *Isosurfaces* di temperatura e visibilità per le soglie di occupanti e soccorritori, rispettivamente, di $60^{\circ} - 80^{\circ} \text{C}$ e $10 - 5 \text{ m}$.



Figura 17 – Localizzazione Slices e Isosurfaces

Ulteriore aspetto indispensabile per creare scenari verosimili e con condizioni al contorno efficaci, riguarda l'impostazione di controlli sugli elementi porte e finestre. Una non contemplazione di questi aspetti avrebbe alterato la modellazione falsandone gli esiti: è stato quindi utilizzato il comando *Controls* che, tra le altre cose, permette di gestire l'apertura degli infissi interni ed esterni in base ad intervalli temporali scelti dall'utente. Nello specifico sono stati impostati dei controlli per le aperture di smaltimento nel corridoio e per le porte, diversificando tra accesso alle scale, ingressi principali e porte di aule e altri locali. La scelta di distinguere tra le diverse tipologie è dettata dalla volontà di rappresentare alcuni varchi che rimangono aperti (per scale, ingressi e porte a tenuta) durante l'evacuazione e vengono chiusi al termine, altri invece che, pur se chiusi, non essendo a tenuta, consentono il passaggio dei fumi tra i vari ambienti.

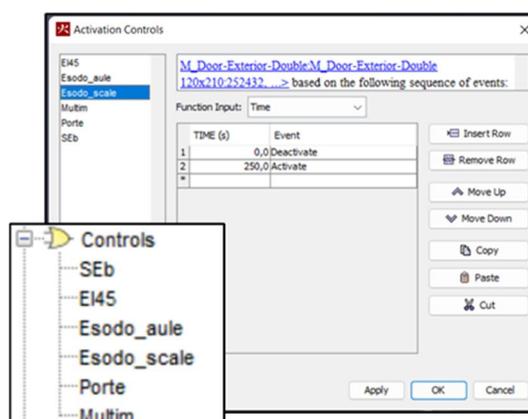


Figura 18 – Impostazione dei controlli sugli elementi

Ultimo aspetto importante riguarda i tempi di simulazione, impostati in base agli obiettivi e all'andamento delle curve RHR (per raggiungimento del picco ed estensione complessiva). In particolare per gli Scenari 1, 3 e 5, con coinvolgimento delle fotocopiatrici, la simulazione è stata prolungata fino a 600 sec, per lo Scenario 2 con PC fino a 1300 sec, per il 3 con distributore automatico fino a 2300 sec. In ogni caso si è tentato di cogliere tutto l'andamento delle curve fino quasi all'annullamento della potenza, nonostante questo abbia comportato tempi di simulazione piuttosto elevati.

SCENARI 1-3-5	SCENARIO 2	SCENARIO 4																														
<table border="1"><tr><td colspan="2">Simulation Parameters</td></tr><tr><td>Simulation Title:</td><td><input type="text"/></td></tr><tr><td>Time</td><td>Output Environment Particles Simulator Radiation</td></tr><tr><td>Start Time:</td><td><input type="text" value="0,0 s"/></td></tr><tr><td>End Time:</td><td><input type="text" value="600,0 s"/></td></tr></table>	Simulation Parameters		Simulation Title:	<input type="text"/>	Time	Output Environment Particles Simulator Radiation	Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>	End Time:	<input type="text" value="600,0 s"/>	<table border="1"><tr><td colspan="2">Simulation Parameters</td></tr><tr><td>Simulation Title:</td><td><input type="text"/></td></tr><tr><td>Time</td><td>Output Environment Particles Simulator Radiation</td></tr><tr><td>Start Time:</td><td><input type="text" value="0,0 s"/></td></tr><tr><td>End Time:</td><td><input type="text" value="1300,0 s"/></td></tr></table>	Simulation Parameters		Simulation Title:	<input type="text"/>	Time	Output Environment Particles Simulator Radiation	Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>	End Time:	<input type="text" value="1300,0 s"/>	<table border="1"><tr><td colspan="2">Simulation Parameters</td></tr><tr><td>Simulation Title:</td><td><input type="text"/></td></tr><tr><td>Time</td><td>Output Environment Particles Simulator Radiation</td></tr><tr><td>Start Time:</td><td><input type="text" value="0,0 s"/></td></tr><tr><td>End Time:</td><td><input type="text" value="2300,0 s"/></td></tr></table>	Simulation Parameters		Simulation Title:	<input type="text"/>	Time	Output Environment Particles Simulator Radiation	Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>	End Time:	<input type="text" value="2300,0 s"/>
Simulation Parameters																																
Simulation Title:	<input type="text"/>																															
Time	Output Environment Particles Simulator Radiation																															
Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>																															
End Time:	<input type="text" value="600,0 s"/>																															
Simulation Parameters																																
Simulation Title:	<input type="text"/>																															
Time	Output Environment Particles Simulator Radiation																															
Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>																															
End Time:	<input type="text" value="1300,0 s"/>																															
Simulation Parameters																																
Simulation Title:	<input type="text"/>																															
Time	Output Environment Particles Simulator Radiation																															
Start Time:	<input type="text" value="0,0 s"/>																															
End Time:	<input type="text" value="2300,0 s"/>																															

Figura 19 – Estensione temporale delle simulazioni

5.2. Modellazione di esodo

L'iter procedurale ha proseguito con le simulazioni di esodo. Una volta importato il modello BIM in formato IFC nel software *Pathfinder*, si è proceduto con la rappresentazione geometrica di dettaglio per rendere possibili tutti i passaggi successivi. *Pathfinder* infatti utilizza geometrie tridimensionali distinguendo tra pavimenti calpestabili e spazi vuoti rappresentanti ostruzioni in cui fisicamente gli occupanti non possono muoversi (le stesse geometrie, in fase di simulazione vengono tradotte in elementi solamente bidimensionali). Gli occupanti possono spostarsi in uno spazio continuo rappresentato da una mesh triangolare e scandito da *Rooms*, *Doors* e da elementi rampa e scala per superare i dislivelli. Sono stati modellati i singoli locali per ogni Piano e gli elementi di collegamento tra gli stessi, poi anche i pavimenti esterni, le porte e i varchi di accesso alle pertinenze dell'istituto in modo che ogni spazio fosse effettivamente utilizzabile dagli occupanti. La modellazione di dettaglio ha riguardato i punti di raccolta esterni e il vano ascensore: i primi sono stati rappresentati attraverso stanze che gli utenti possono raggiungere come target della simulazione (nel piano di evacuazione principale per il Piano 1, ad eccezione della zona uffici, è previsto il punto di raccolta posteriore, mentre per il Piano 0 quello anteriore); l'ascensore invece è stato collocato schematizzando la porta come elemento non valicabile per impedirne l'utilizzo e renderlo realistico, ossia un ascensore non di soccorso.

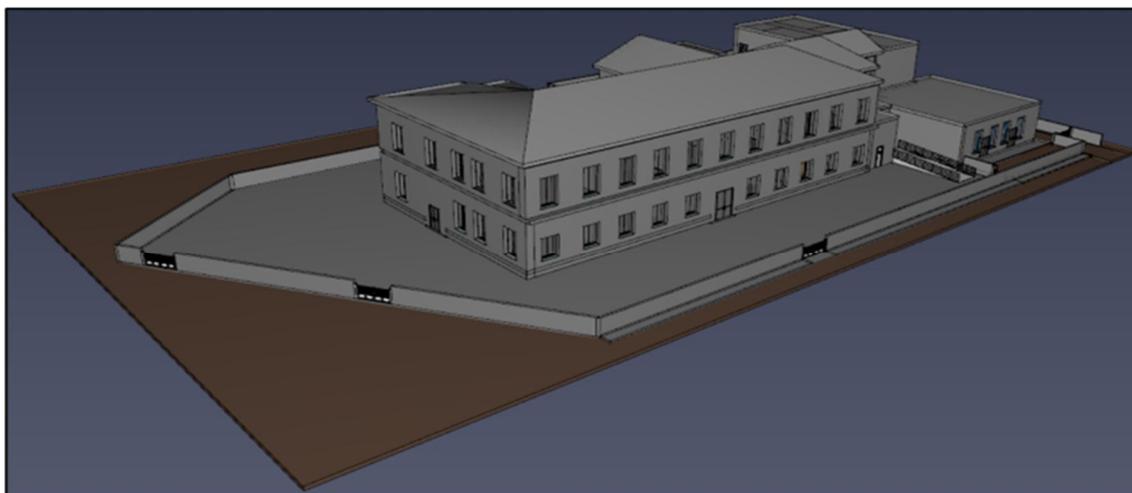


Figura 20 – Interoperabilità BIM-EVAC

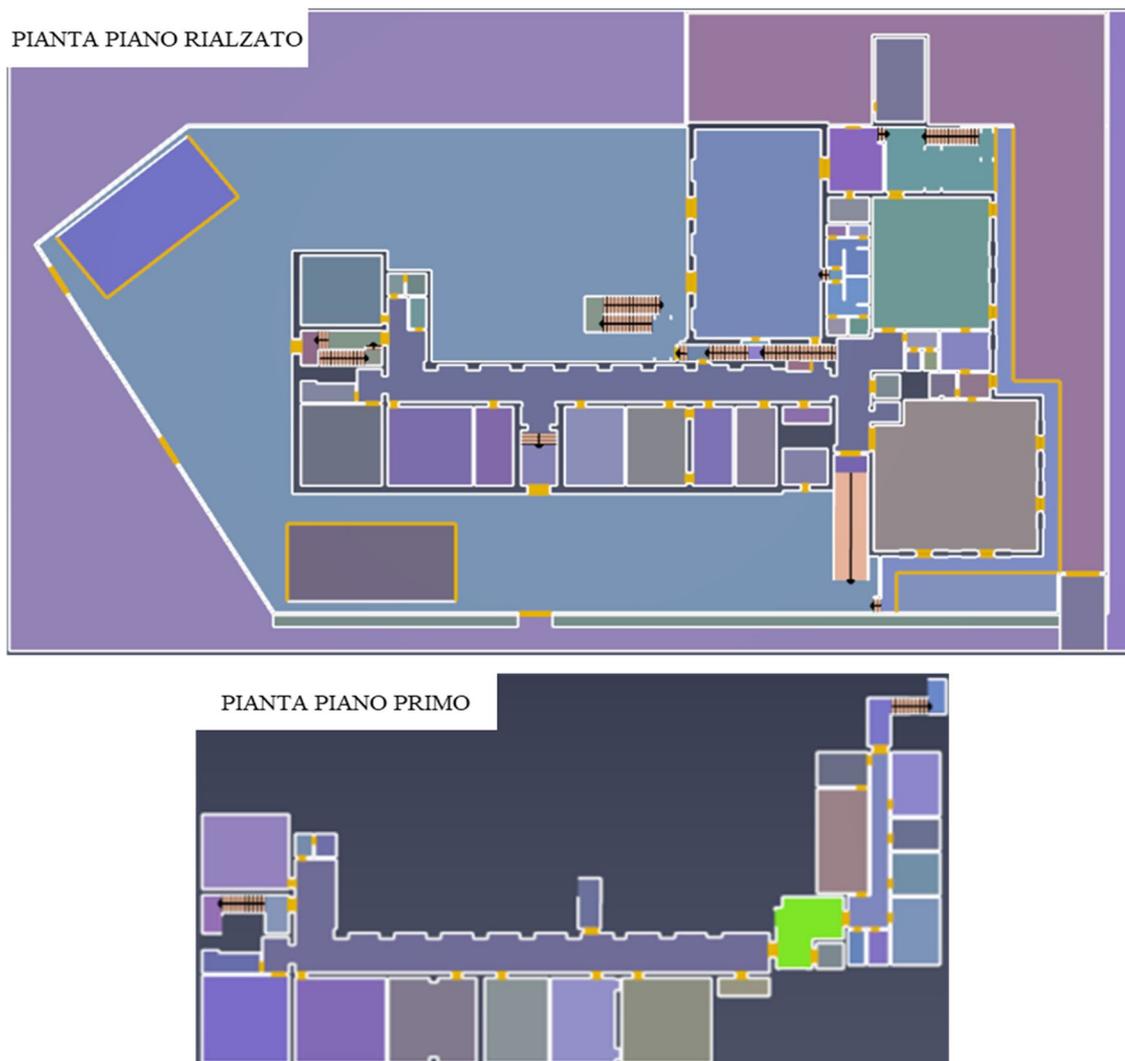


Figura 21 – Definizione geometrie (il locale in verde rappresenta lo spazio calmo)

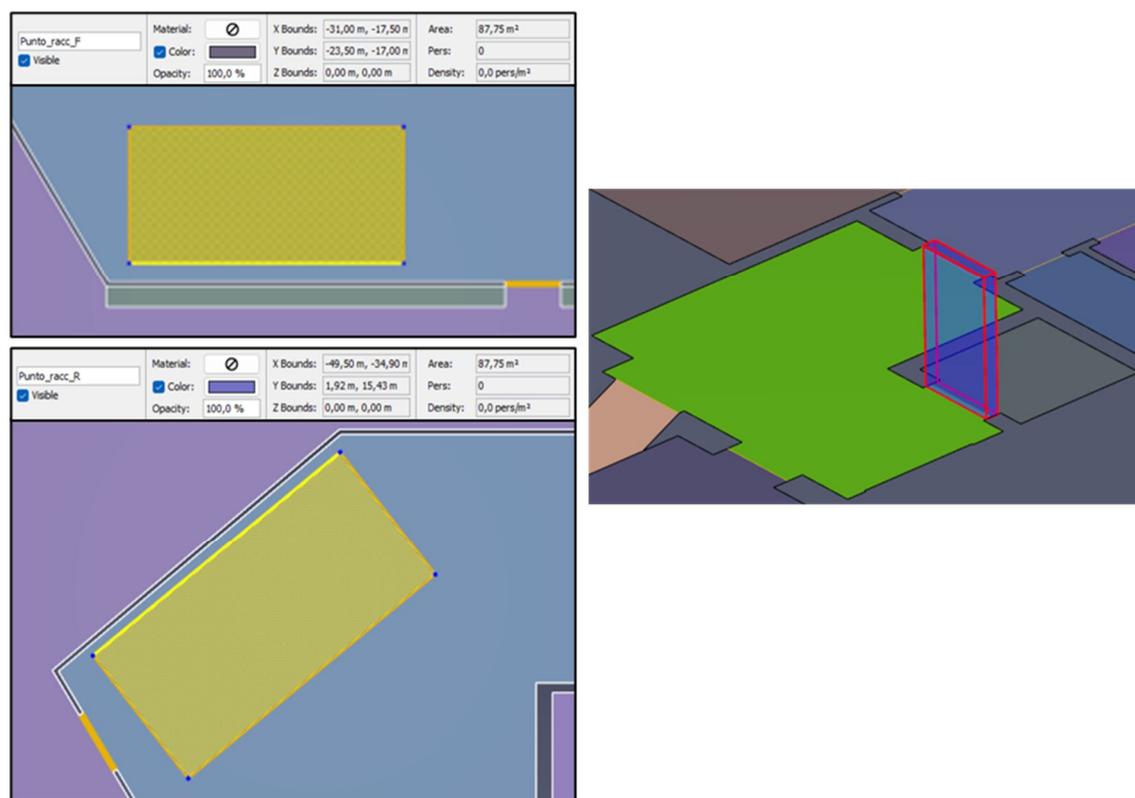


Figura 22 – Definizione geometrica di dettaglio: punti di raccolta e ascensore (in rosso varco non utilizzabile)

Per realizzare uno scenario realistico e verosimile, oltre alla modellazione geometrica, è fondamentale reperire informazioni relative all'affollamento e ai profili di occupanti. Per la loro caratterizzazione si devono definire i *Profiles* (ingombro spaziale e parametri di movimento) e i *Behaviors* (azioni compiute in successione per raggiungere il luogo sicuro designato). Nel presente lavoro i dati sui profili di occupanti derivano dal confronto tra l'ISO/TR 16738:2009 e la ricerca di un percorso di tesi di laurea³¹ relativo ad un'attività scolastica che risultava estremamente calzante con il tema di interesse. Nello specifico sono state selezionate le seguenti tipologie di occupanti: alunni fino al 2° anno, alunni dal 3° anno, insegnanti, personale ATA, utenti esterni, alunni con disabilità cognitiva-sensoriale, alunni con disabilità motoria, Vigili del Fuoco. A tutti sono stati associati gli ingombri cilindrici predefiniti del software (diametro 45,58 cm e altezza 1,82 m). L'eccezione è rappresentata dagli alunni, cui è stata assegnata un'altezza di 1,20 m e dagli alunni con disabilità, modellati incrementando gli ingombri e riducendo la velocità. Per quest'ultimi la forma cilindrica standard è stata sostituita da poligonali utili a rappresentare le diverse modalità di assistenza: per le disabilità cognitive-sensoriali è stato usato il binomio cilindro-esagono, per quelle motorie prima cilindro-rettangolo (per il movimento verso l'esterno attraversando la rampa

³¹ Di Claudio A. – FSE: *La gestione delle emergenze nell'edilizia scolastica, a. 2019-2020*

del Piano 0 oppure dalle aule allo spazio calmo del Piano 1), poi cilindro-rettangolo-cilindro (per il movimento dallo spazio calmo all'esterno con assistenza delle squadre di V.V.F).

Per quanto riguarda le velocità sono stati rappresentati i vari andamenti in base all'età degli utenti e alle difficoltà dovute ad una forma di disabilità. Per gli adulti, con riferimento all'ISO/TR 16738:2009 è stato assunto il valore di movimento su superfici orizzontali pari a 1,19 m/s. Per i bambini si è fatto riferimento al lavoro di tesi citato, differenziando le velocità in base alle fasce di età: 0,98 m/s per gli alunni di prima e seconda elementare (il valore deriva dall'osservazione dell'andatura di una bambina che si dirige in bagno prima di una prova di evacuazione), 1,19 m/s (come per gli adulti) per i più grandi. Per gli alunni con disabilità si è fatto ancora riferimento all'ISO/TR 16738:2009, assumendo cautelativamente il valore di 0,69 m/s corrispondente ai deambulanti assistiti, mentre per i V.V.F. la velocità è stata incrementata fino a 1,5 m/s.

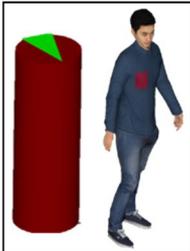
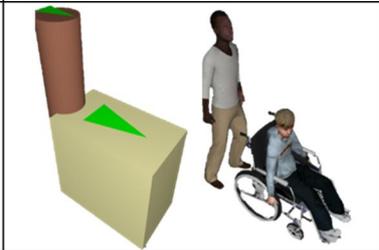
	<p>Bambino: utente standard con velocità differenti in base alla fascia di età e geometria cilindrica di altezza ridotta</p>		<p>Bambino con disabilità cognitiva-sensoriale e insegnante di sostegno: assistente modellato come il profilo Adulto, assistito con velocità ridotta e geometria esagonale</p>
	<p>Adulto: utente standard con velocità e geometria cilindrica predefinita</p>		<p>Alunno con disabilità motoria e personale di soccorso: assistente modellato come il profilo Adulto, assistito con velocità ridotta e geometria rettangolare</p>
	<p>Vigile del Fuoco: utente standard con velocità incrementata e geometria cilindrica predefinita</p>		<p>Alunno con disabilità motoria e Vigili del Fuoco: assistenti modellati come il profilo Vigile del Fuoco, assistito con velocità ridotta e geometria rettangolare</p>

Tabella 6 – Tipologie occupanti



Figura 23 – Definizione profili occupanti

Il secondo step per caratterizzare gli occupanti riguarda la definizione di itinerari comportamentali, i *Behaviors*, con cui si impone agli utenti di compiere azioni in sequenza prima di raggiungere il luogo sicuro (o eventualmente lo spazio calmo). Nel caso di una scuola, in cui l'evacuazione avviene per classi, prima di tutto è stato necessario impostare il comportamento dei singoli gruppi guidati dagli insegnanti: il software richiede che tutti i componenti condividano lo stesso set di azioni quindi sono stati creati dei comportamenti unici per ognuna delle classi. Oltre a questi sono stati previsti altri itinerari per gli alunni con disabilità e i propri assistenti (insegnanti di sostegno per disabilità cognitiva-sensoriale, personale preposto per disabilità motoria) diversificando le procedure in base al Piano di riferimento: per il Piano 0 è stato previsto che gli occupanti esodino utilizzando la rampa adiacente al locale refettorio; per il Piano 1 gli occupanti con disabilità motoria si spostano verso lo spazio calmo e attendono i soccorsi, mentre quelli che possono procedere, utilizzano le scale ma vengono assistiti. In ogni caso tutti gli occupanti con disabilità, secondo le procedure previste, sono i primi ad uscire dalle aule per ridurre le interferenze durante l'esodo della classe (a causa del diverso ingombro e velocità) e per evitare che i bambini più in difficoltà siano gli ultimi a rimanere in aula. Altri itinerari, per il semplice raggiungimento

dei punti di raccolta, sono stati impostati per gli utenti esterni eventualmente presenti e per il personale senza particolari mansioni.

Nel complesso è necessario specificare alcuni aspetti riguardo le procedure di soccorso: per gli alunni con disabilità motoria al Piano 1 è stato previsto il comportamento *Change profile* affinché, giunti nello spazio calmo con l'assistenza del personale, attendano i soccorsi e vengano assistiti dai V.V.F. che sopraggiungono. In questo modo cambiano le modalità di trasporto e gli ingombri in quanto da una forma cilindro-rettangolo dell'alunno su sedia a ruote che viene condotto dall'assistente, si passa ad una cilindro-rettangolo-cilindro dell'alunno trasportato lungo le scale da due soccorritori. Quest'ultimi hanno il profilo Vigile del Fuoco (ingombro standard e velocità 1,5 m/s) e tre comportamenti: 2 fanno ricognizione per soccorrere i feriti/dispersi, 2 si occupano dell'estinzione dell'incendio (quindi la loro collocazione varia in funzione dello scenario), 2 prestano soccorso nello spazio calmo.

Nell'ambito delle impostazioni di soccorso rientra anche la creazione di *Teams* di assistenza, ossia squadre di cui fanno parte occupanti con specifici set di comportamenti. Con questi è possibile istituire un'associazione biunivoca tra la categoria di assistente e quella di assistito. Infatti sono stati creati *Teams* per l'assistenza di disabili cognitivi-sensoriali e *Teams* per i disabili motori (diversificando le procedure del Piano 0 da quelle del Piano 1) e un *Team* di V.V.F. che prestano soccorso agli utenti nello spazio calmo.

Per quanto riguarda le impostazioni comportamentali delle classi, come detto, è stato utilizzato il comando di raggruppamento in quanto si è dimostrato il più efficace nel rappresentare la dislocazione degli alunni in aula attorno all'insegnante (il *leader* nel modello) e il successivo spostamento in fila indiana lungo le vie di esodo. È stato necessario prevedere priorità di movimento e tempi di attesa iniziali per permettere agli occupanti con disabilità di muoversi per primi e per simulare le attività di pre-movimento e il criterio di arresto-precedenza all'uscita dall'aula nel caso di percorsi occupati da altre classi.

Altre impostazioni per la caratterizzazione dei gruppi riguardano le modalità di interazione reciproca e con gli spazi. In merito al primo aspetto è stata impostata una distanza interpersonale di 0,4 m, in accordo con quanto desunto da un articolo relativo al movimento dei bambini, secondo cui la distanza più probabile si attesta attorno a 0,35-0,45 m³².

Per quanto riguarda l'interazione con l'ambiente si è preferito impostare che le porte vengano oltrepassate sfruttando l'intera larghezza per mantenere una corrispondenza con le

³² Shuqi Xue, Xiaomeng Shi, Nirajan Shiwakoti – *Would walking hand-in-hand increase the traffic efficiency of children pedestrian flow?*, cit.

evidenze di letteratura che testimoniano l'assenza di margini laterali nell'attraversamento dei varchi da parte dei bambini. Parallelamente il set di comandi per l'utilizzo delle scale è stato programmato per mantenere la destra con franco libero del corrimano, per consentire la creazione di file di classi che si susseguono. Nell'ottica del mantenimento della fila, è stato necessario anche perfezionare i valori di alcuni parametri (*Maximum Distance* e *Slowdown Time*) per evitare che gli occupanti di uno stesso gruppo, durante il movimento, si scollegassero tra loro e dal proprio leader.

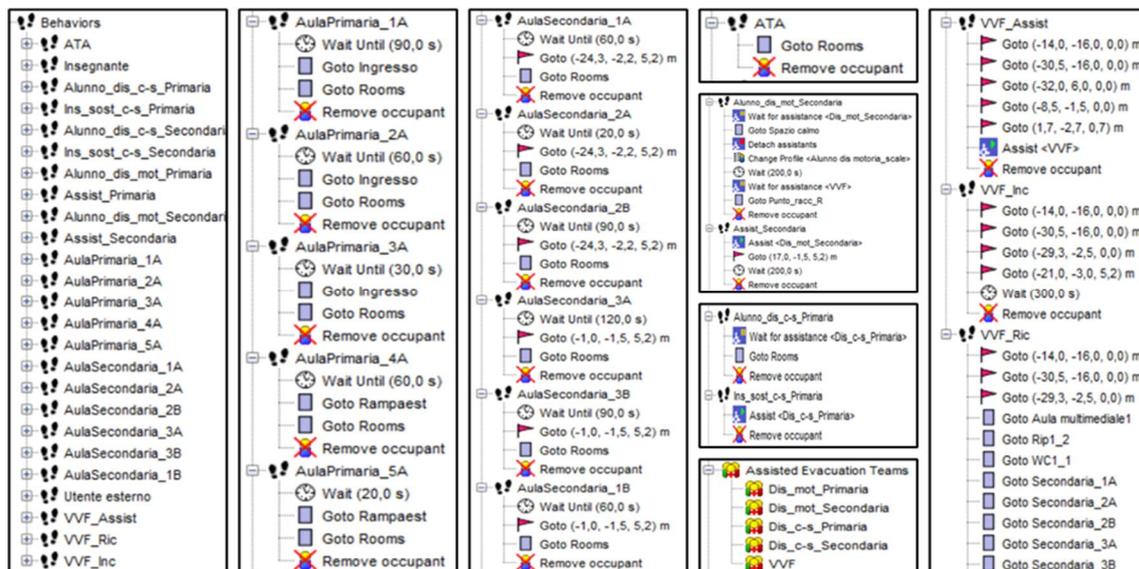


Figura 24 – Impostazione Behaviors e Teams

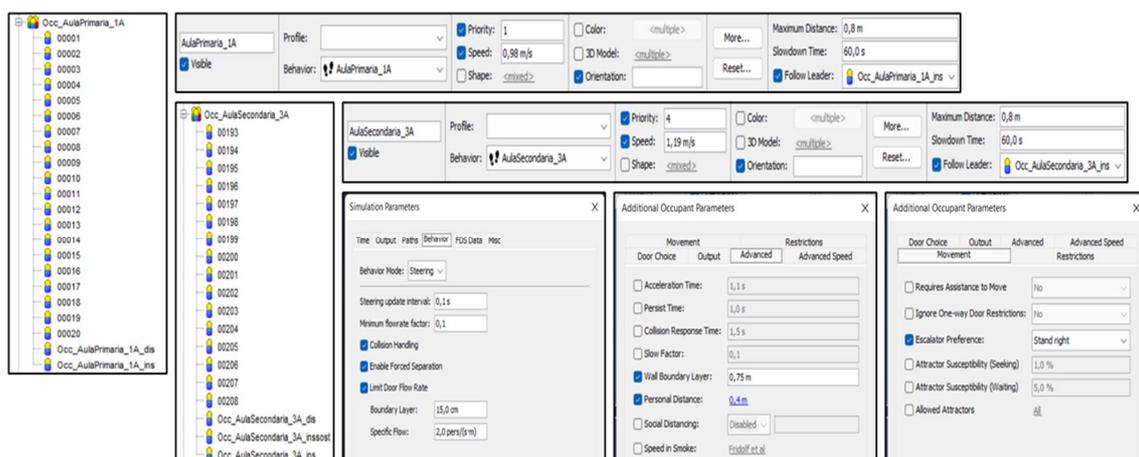


Figura 25 – Impostazione gruppi classe

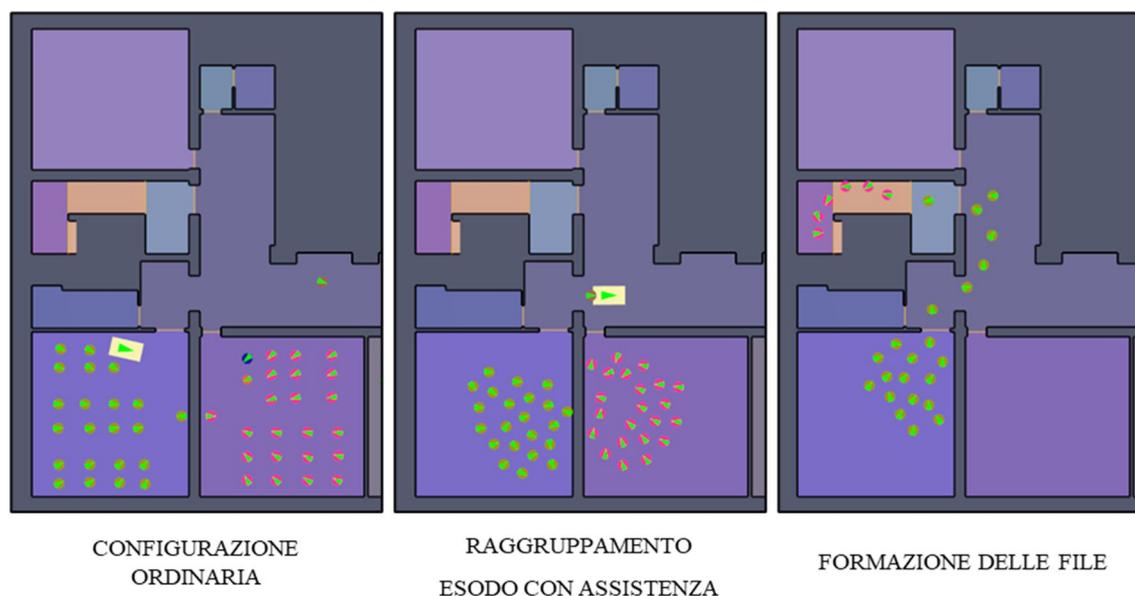


Figura 26 – Modalità di esodo dall'aula

Ultimo aspetto considerato riguarda la collocazione degli occupanti nel modello: gli alunni e gli insegnanti sono stati introdotti all'interno di ogni aula rispettando gli indici di affollamento calcolati in precedenza mentre il personale ATA e gli utenti esterni sono stati dislocati nell'edificio considerando un utilizzo verosimile degli spazi (ad esempio nei corridoi e nella zona uffici).

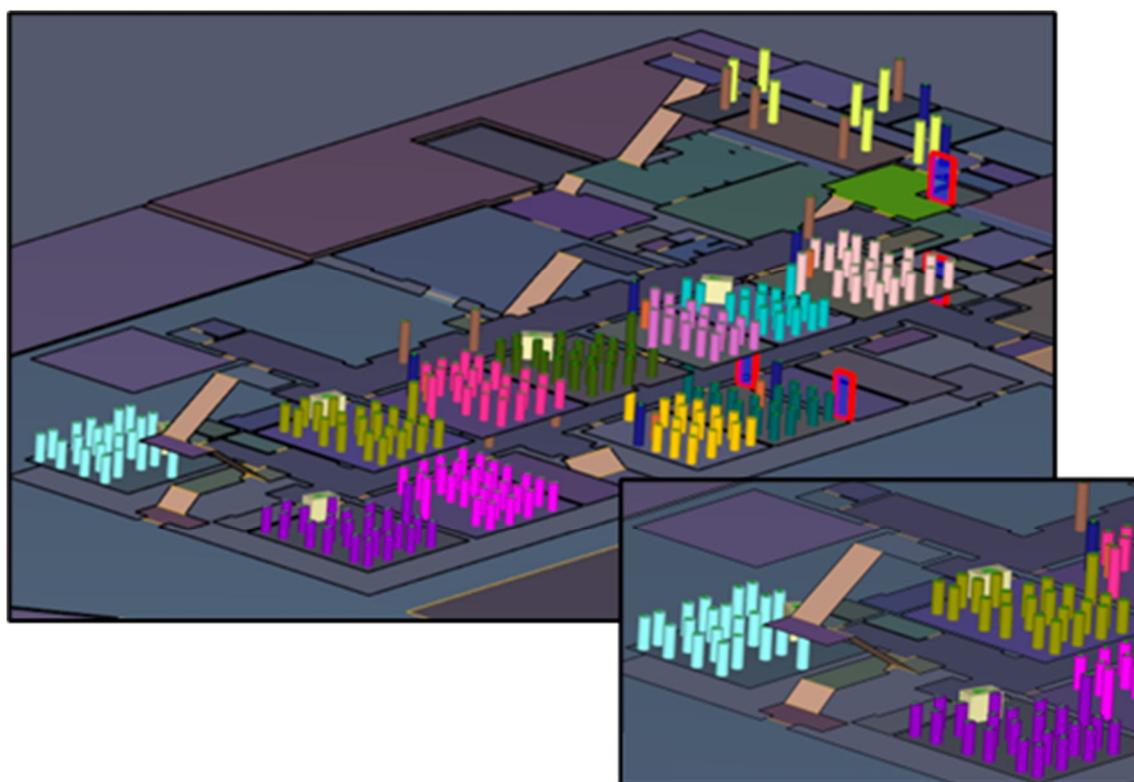


Figura 27 – Dislocazione occupanti nel modello



Figura 28 – Dislocazione classi nel modello

5.3. Analisi

L'approccio utilizzato nella fase di analisi dei risultati ha seguito un procedimento articolato in tre punti:

- Analisi simulazioni di incendio

Sono stati valutati gli aspetti critici di ciascuno dei cinque scenari, estrapolando i dati relativi ai parametri di visibilità e temperatura attraverso gli strumenti di indagine impostati nei modelli (*Slices, Isosurfaces, Devices*)

- Analisi simulazioni di esodo

Sono stati estrapolati gli esiti delle modellazioni di esodo relativamente alle procedure del piano di evacuazione principale declinato in due differenti scenari

- Analisi simulazioni di esodo con incendio in corso: criticità e proposte

I risultati dei cinque modelli di incendio sono stati interpretati in relazione alla seconda alternativa delle procedure del piano di evacuazione principale. Ne è stata verificata l'efficacia individuando gli aspetti critici rispetto alle incombenze generate dagli effetti dei cinque focolari. Successivamente, per gestire l'indisponibilità delle vie d'esodo e la creazione di condizioni incapacitanti dovute agli effluenti dell'incendio, sono state individuate alternative all'esecuzione delle procedure del piano principale e proposte per la modifica gestionale e nell'assetto dell'istituto.

5.3.1. Simulazioni di incendio

Nel seguito si esporranno gli output di incendio a partire dal confronto tra la curva RHR inserita e quella generata dal software in base all'andamento della combustione; successivamente verranno proposti e sintetizzati alcuni dei valori numerici estrapolati dai *Devices* e i risultati grafici relativi a *Slices* e *Isosurfaces*.

Per tutti gli scenari la curva RHR ottenuta dal software corrisponde quasi perfettamente a quella inserita in fase di programmazione della simulazione: le uniche differenze riscontrabili riguardano l'estensione nel tempo della curva inserita, solitamente maggiore di quella estrapolata, la quale invece dipende dalle impostazioni di durata della simulazione. Tali riscontri risultano essenziali per verificare la correttezza dei risultati dal punto di vista dell'andamento della combustione e delle massime potenze raggiunte.

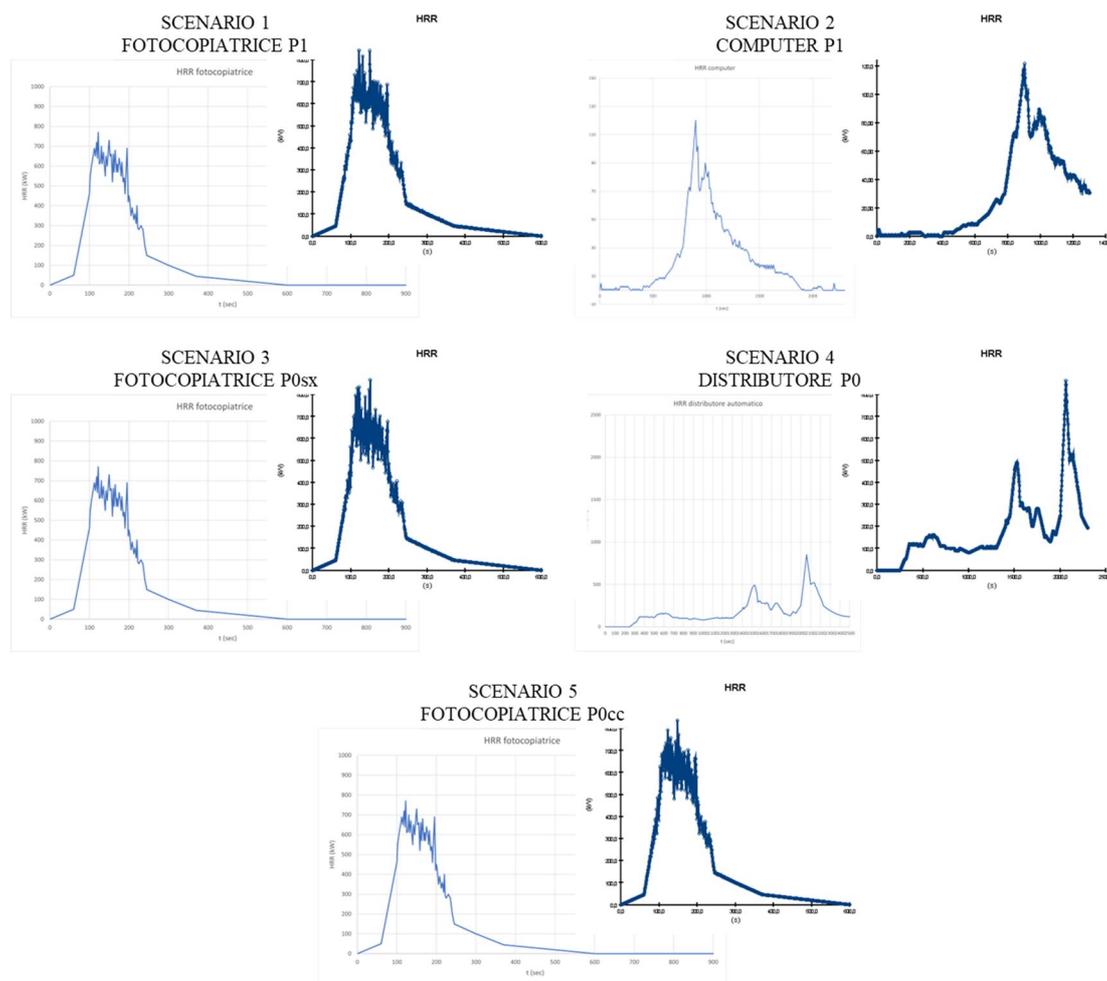


Figura 29 – Curve RHR nei diversi scenari: Rielaborazione ed estrapolazione

I risultati grafici di visibilità e temperatura sono stati estrapolati ad intervalli di tempo impostati in base all'andamento dei cinque scenari. In particolare verranno analizzate: *Slices* alle quote significative per il Piano in esame (1,5 e 2 m dal piano di calpestio) e alla quota più prossima del Piano non direttamente interessato dall'incendio (all'istante iniziale e finale di ogni simulazione); *Slices* in diverse direzioni x-y, secanti i percorsi e le vie di esodo; *Iso surfaces* e output numerici (elaborati sottoforma di diagrammi) di *Devices* significativi.

Scenario 1

Il primo scenario è relativo ad una fotocopiatrice collocata nel corridoio del Piano 1 in adiacenza all'uscita verso le scale di sicurezza esterne.

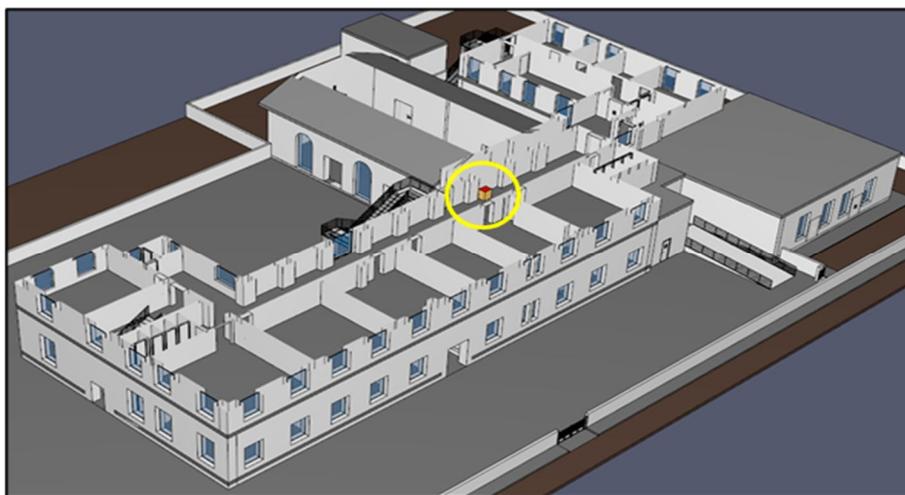


Figura 30 – Scenario 1 di incendio: localizzazione focolare

Strumenti di analisi del parametro visibilità: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

I risultati grafici delle *Slices* relative alla propagazione dei fumi e all'andamento della temperatura sono stati estrapolati ad intervalli di tempo costanti (di 60 sec). Dall'analisi emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano alle estremità del corridoio per poi distribuirsi sull'intera lunghezza dal secondo 180. Nei minuti successivi continuano a diffondersi anche nell'aula all'estrema sinistra e in entrambi i locali destinati ai servizi igienici. I fumi stratificano in alto per poi discendere lungo le pareti fino alla quota di imposta di porte e serramenti: da quel punto in poi si muovono verso l'esterno grazie alle due aperture di smaltimento nel corridoio oppure verso gli ambienti comunicanti privi di chiusure a tenuta.

L'analisi delle *Slices* in direzione x-y e la lettura dei diagrammi dei *Devices* completa il quadro: i fumi si mantengono quasi sempre al di sopra di 1,5 m dal piano di calpestio (ad eccezione delle zone cieche più estreme del corridoio) grazie anche alla diffusione orizzontale che avviene in corrispondenza dei varchi tra i locali; la visibilità raggiunge minimi di 5 – 6 m, sia nella parte centrale del corridoio più vicina al focolare, che nelle zone più lontane dove i fumi si accumulano per assenza di aperture verso l'esterno.

Infine si può notare come la modellazione dei controlli sui varchi di accesso alle vie di esodo verticali e allo spazio calmo sia stata efficace: nel primo caso la condizione si mantiene stabile nel corso della simulazione, con cadute di visibilità limitate agli istanti in cui le porte

rimangono aperte per permettere l'esodo degli occupanti; nel secondo caso, poiché la porta rimane aperta solo negli istanti relativi all'accesso degli occupanti che usufruiscono del luogo sicuro temporaneo, la situazione si mantiene costante ed identica allo stato iniziale. La situazione è analoga per i controlli impostati sul vano ascensore, compartimentato per evitare di essere invaso dai fumi e provocare la diffusione degli effluenti tra i Piani.

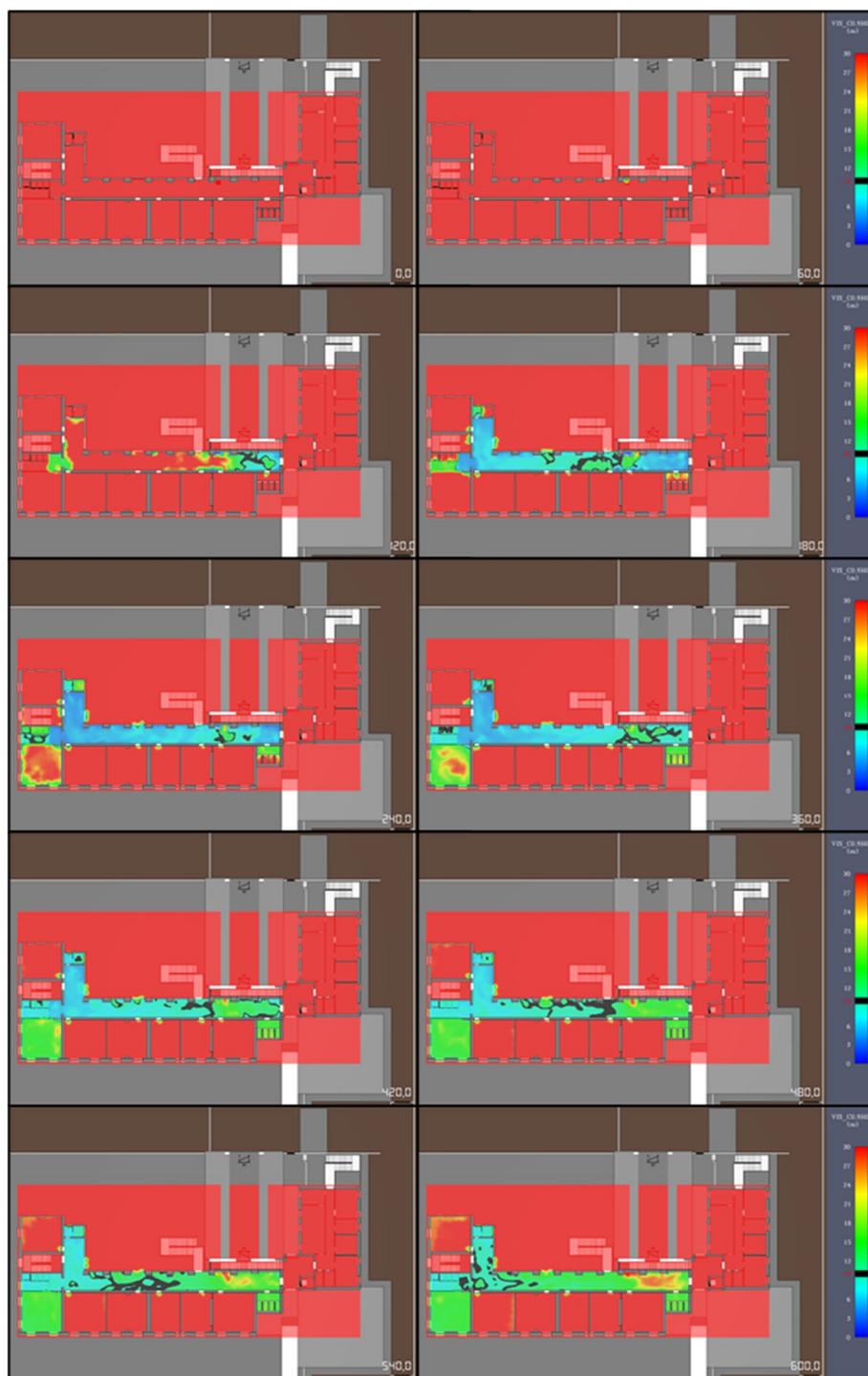


Figura 31 – Slices di visibilità Scenario 1: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

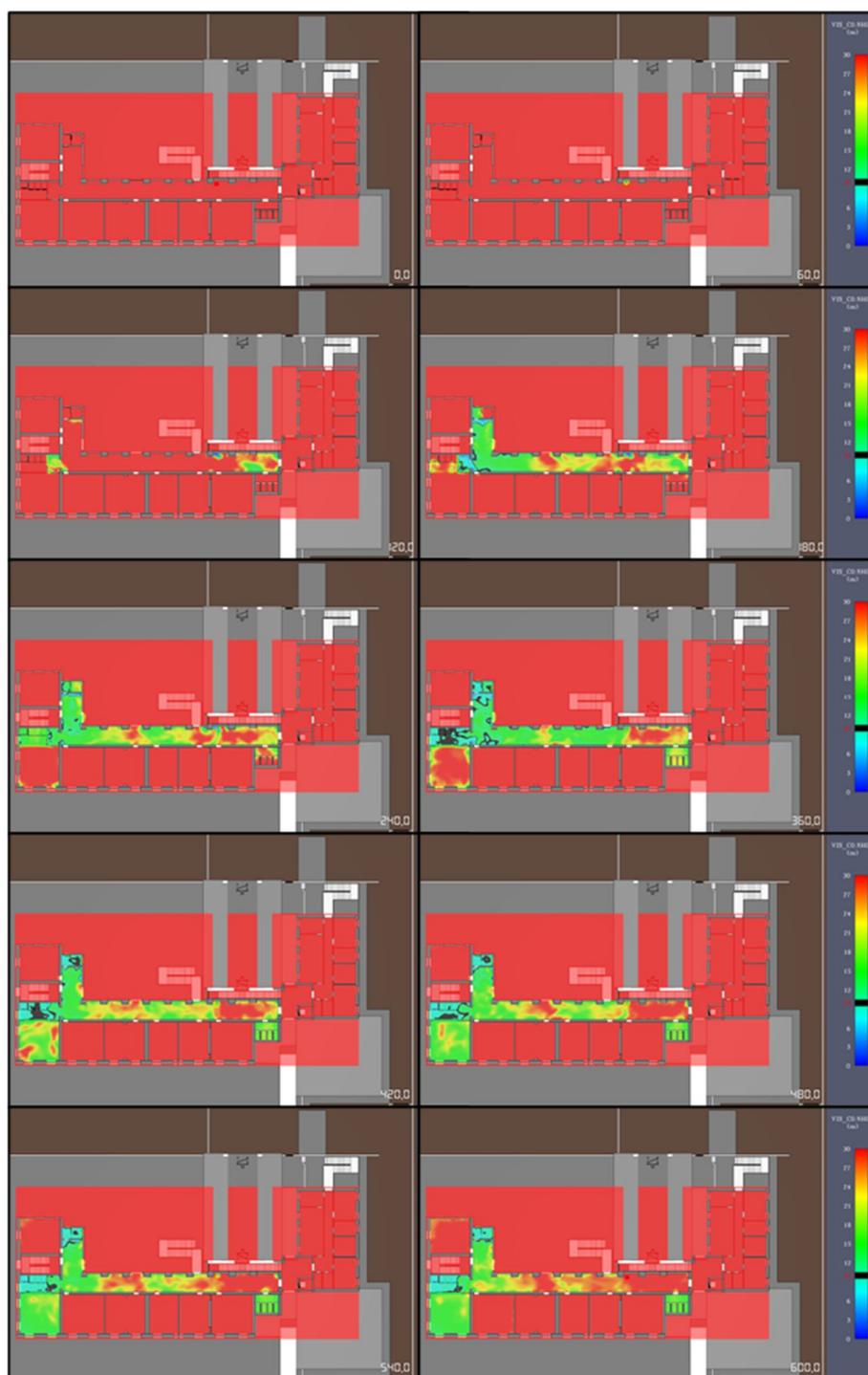


Figura 32 – Slices di visibilità Scenario 1: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano primo

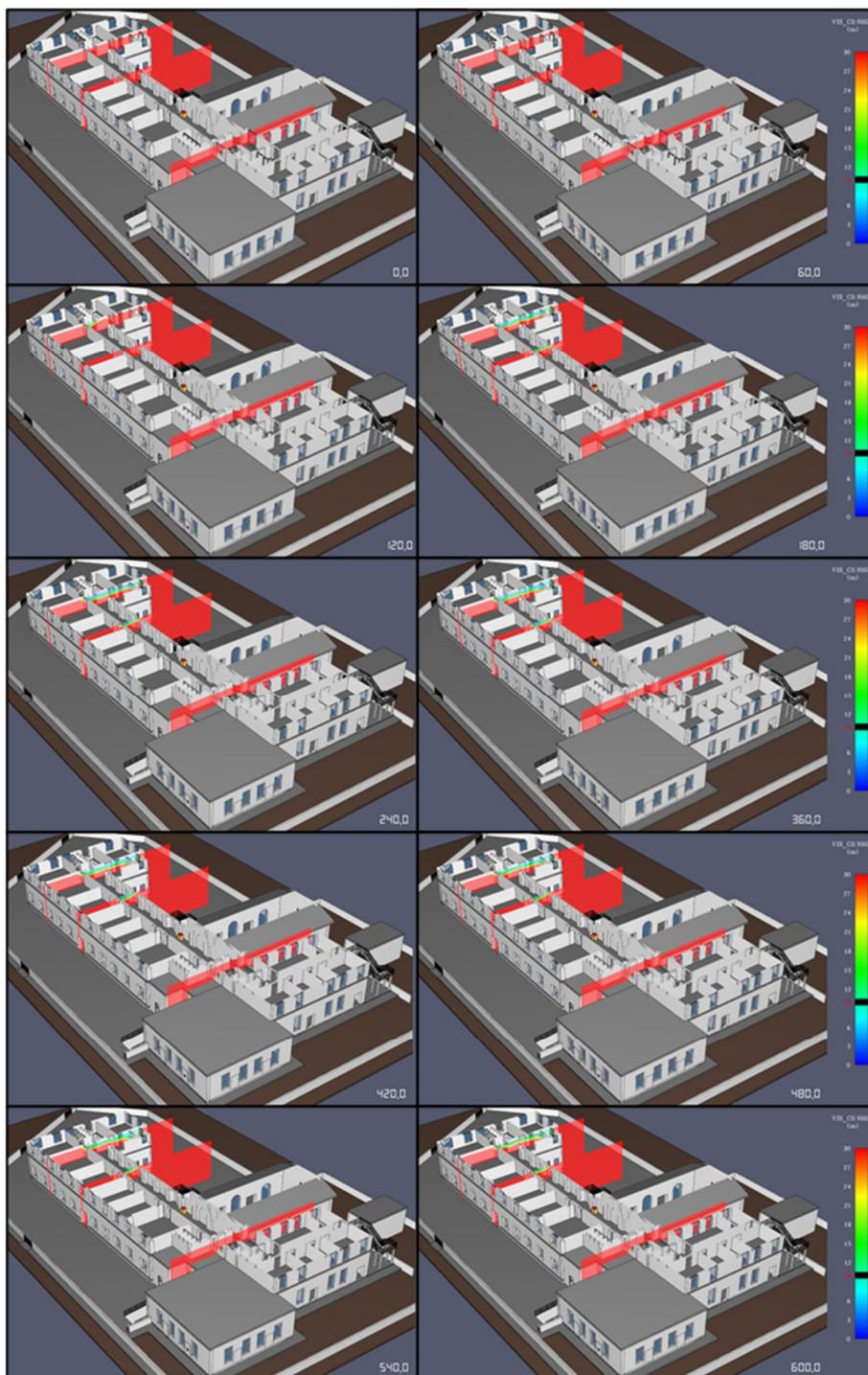


Figura 33 – Slices di visibilità Scenario 1: Direzione x



Figura 34 – Slices di visibilità Scenario 1: Direzione y

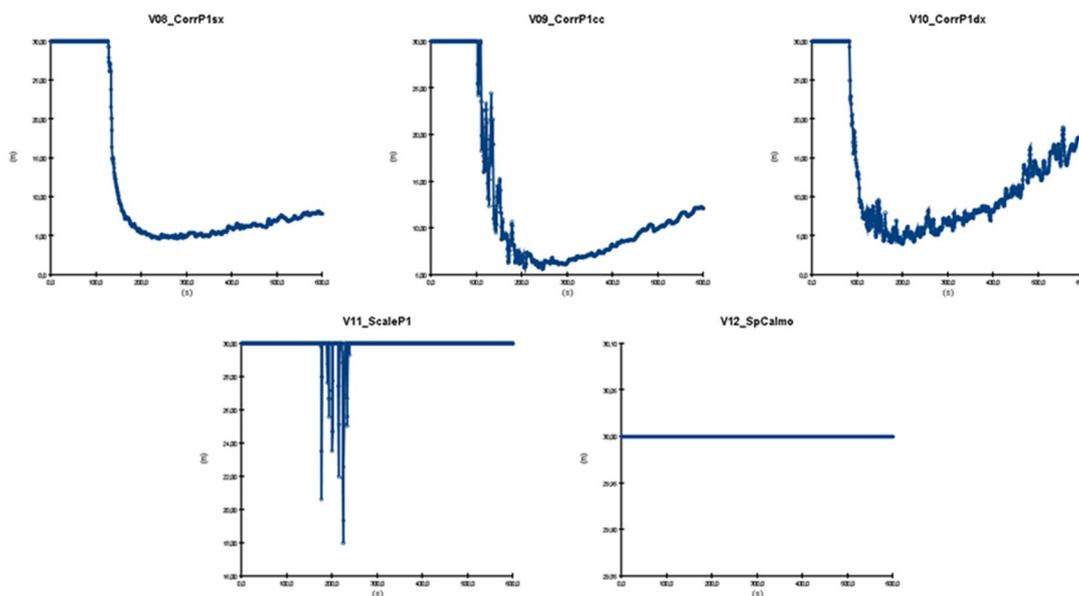


Figura 35 – *Devices* Scenario 1: Estrapolazione valori significativi di visibilità

Le *Isosurfaces* sono state selezionate per delineare la configurazione dei fumi in punti critici dell'edificio e in istanti di tempo significativi. In questo caso mostrano l'andamento dei fumi quindi della visibilità entro 5 e 10 m a 0, 300 e 600 sec, ossia all'inizio della simulazione, nella fase intermedia e alla fine. Il punto scelto è il corridoio del Piano 1 in modo che sia visibile anche il focolare e la direzione di diffusione degli effluenti. Si nota come gli effetti dell'incendio contaminino la zona di distribuzione all'avanzare della combustione e vengano smaltiti verso l'esterno o gli altri locali man mano che la potenza termica si riduce.

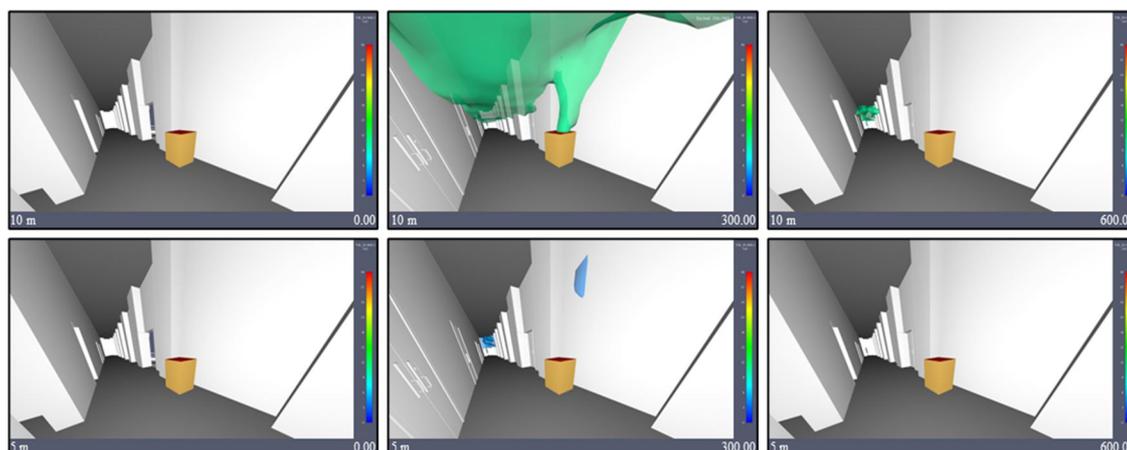


Figura 36 – *Isosurfaces* di visibilità Scenario 1

Infine la *Slice* al Piano inferiore non direttamente interessato dall'incendio, estrapolata ai secondi 0 e 600 di simulazione, dimostra che le compartimentazioni e le strategie di smaltimento sono adeguate a confinare gli effetti dell'incendio al solo Piano di innesco.



Figura 37 – *Slices* di visibilità Scenario 1: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

Strumenti di analisi del parametro temperatura: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

La lettura delle *Slices* di temperatura è più interessante se affiancata alla consultazione dei diagrammi dei *Devices*: ovviamente i gradienti più elevati si registrano in corrispondenza del focolare e nelle immediate vicinanze, mentre lungo il corridoio le temperature oscillano raggiungendo massimi di $40^{\circ} - 50^{\circ}$ C. La condizione di temperatura nelle vie d'esodo verticali e nello spazio calmo ha un andamento analogo a quello della visibilità precedentemente descritta.

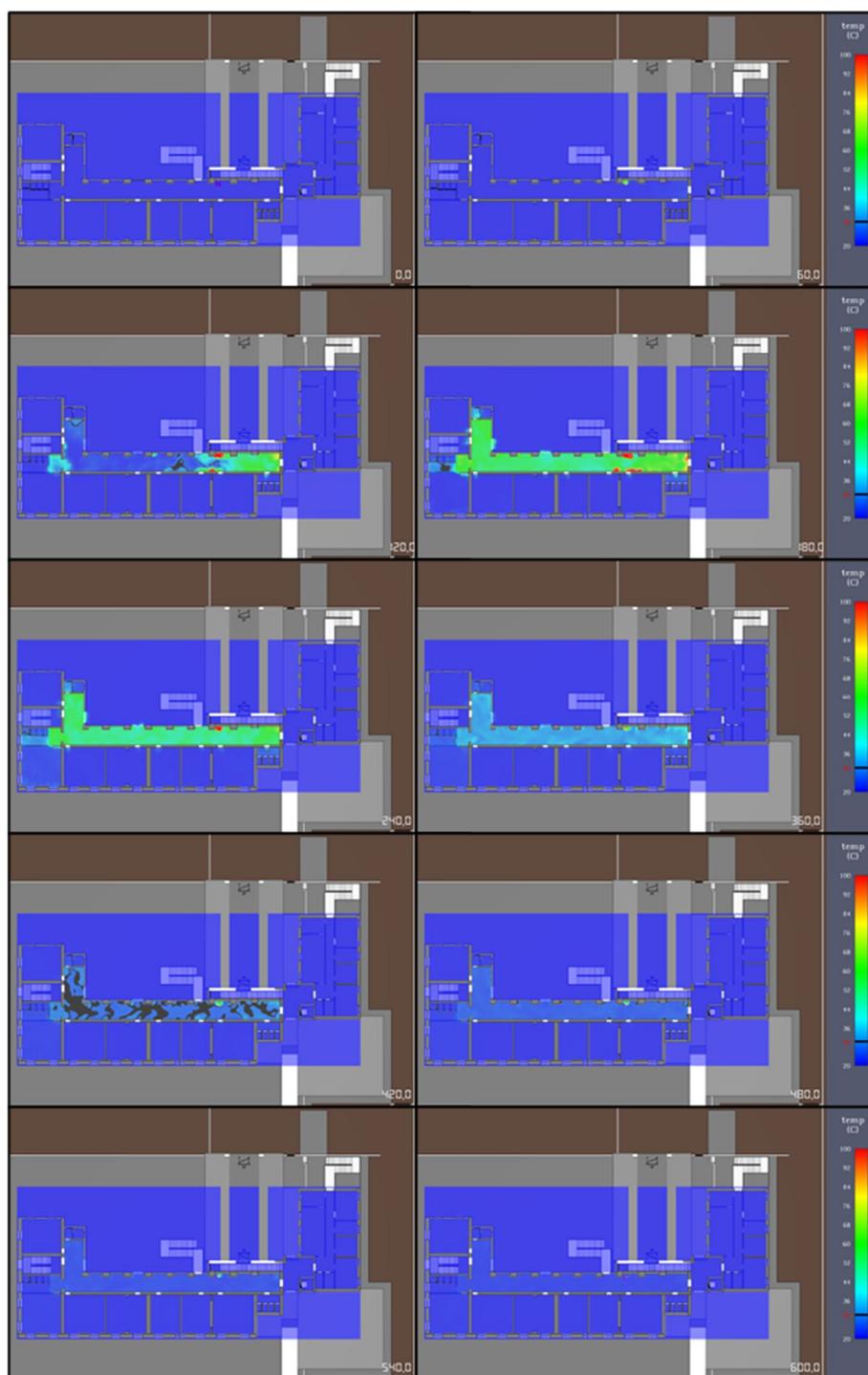


Figura 38 – Slices di temperatura Scenario 1: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

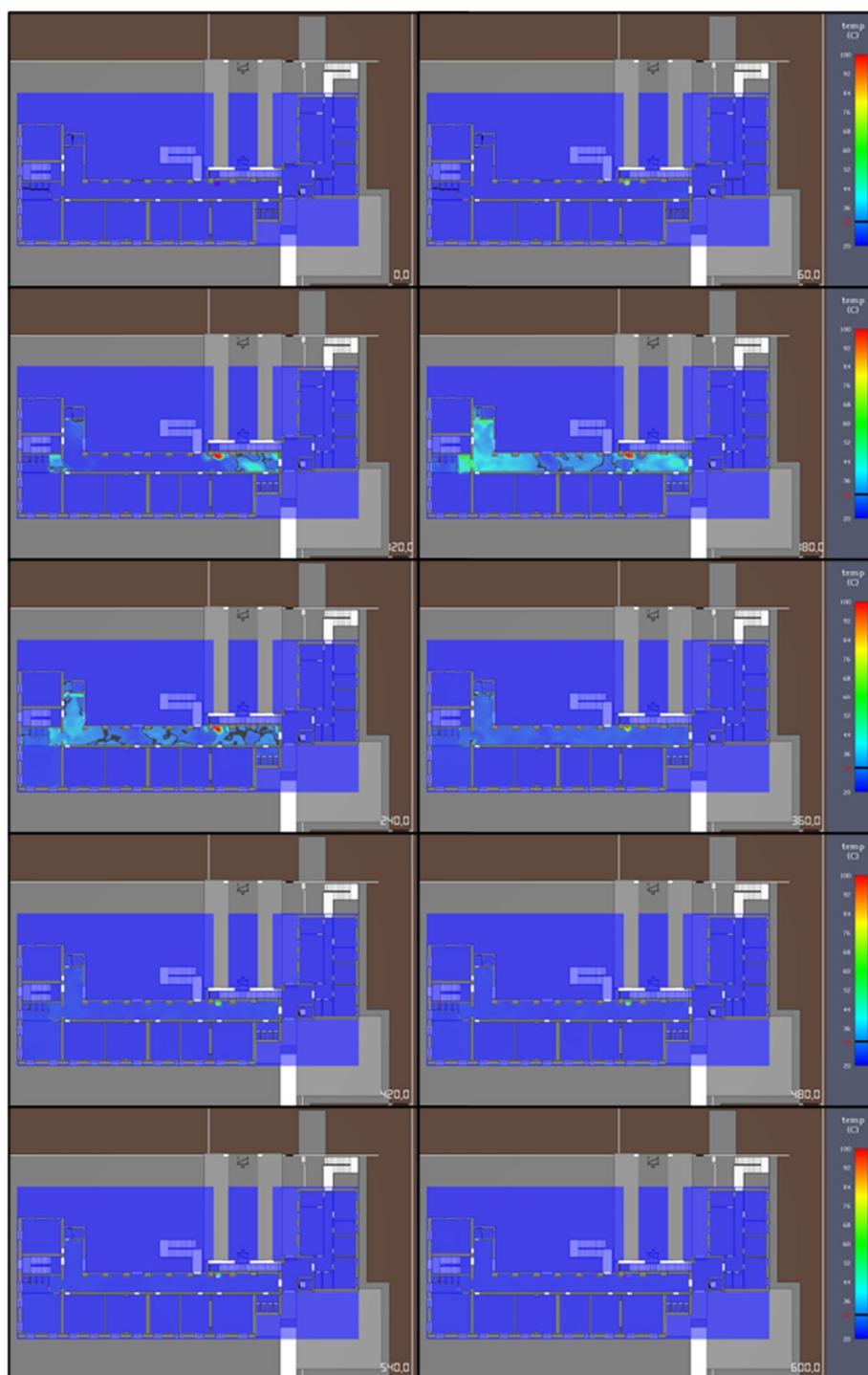


Figura 39 – Slices di temperatura Scenario 1: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano primo

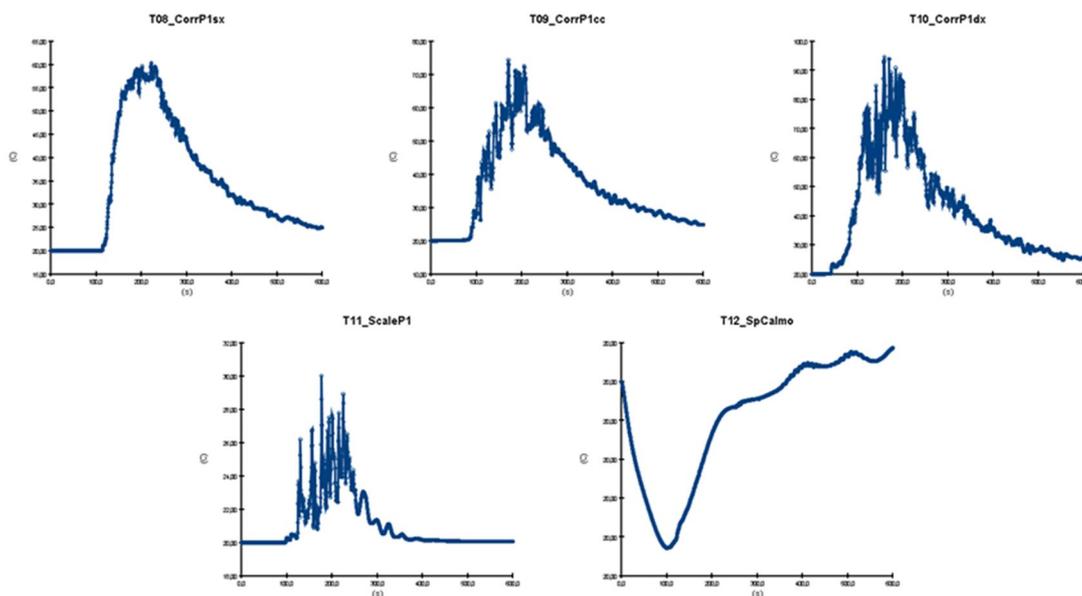


Figura 40 – *Devices* Scenario 1: Estrapolazione valori significativi di temperatura

Le *Isosurfaces* di temperatura sono state selezionate per mostrare l'andamento delle condizioni termiche nell'edificio agli istanti di tempo 0, 300 e 600 sec per le soglie di 60° e 80° C. Anche in questo caso si osserva la corrispondenza con i dati estrapolati dagli altri strumenti di indagine all'interno del corridoio del Piano 1.

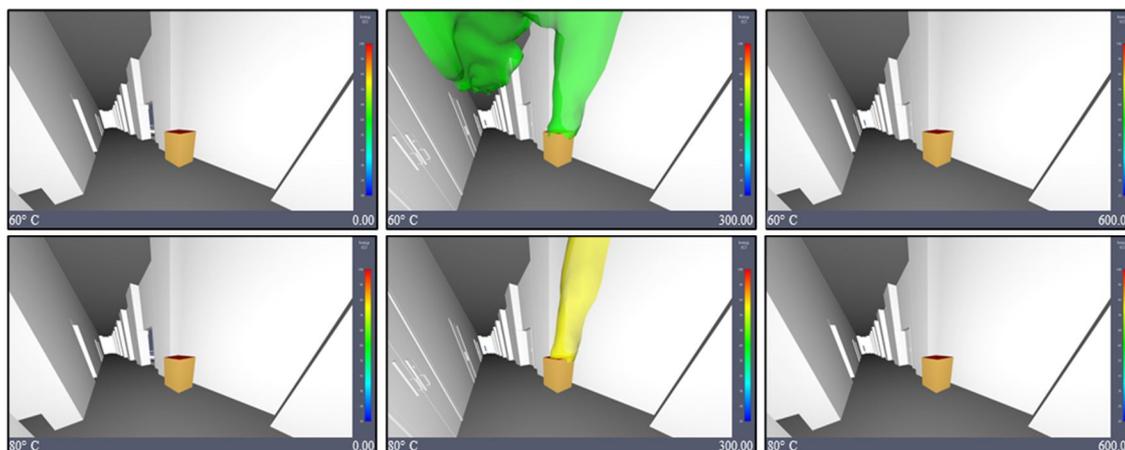


Figura 41 – *Isosurfaces* di temperatura Scenario 1

Infine la *Slice* al Piano inferiore non direttamente interessato dall'incendio, estrapolata ai secondi 0 e 600 di simulazione, dimostra che le compartimentazioni e le strategie di smaltimento sono adeguate a confinare gli effetti dell'incendio al solo Piano di innesco.

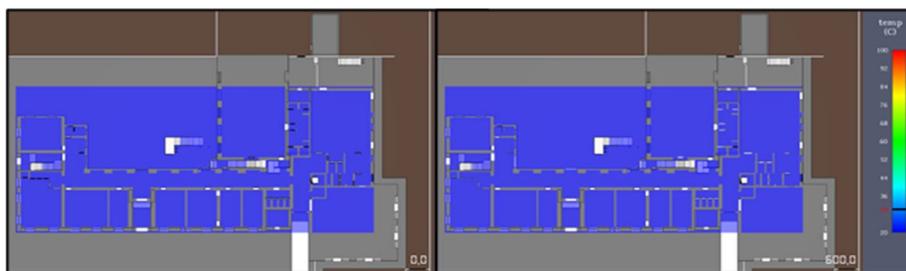


Figura 42 – Slices di temperatura Scenario 1: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

Scenario 2

Il secondo scenario è relativo ad un PC posizionato al Piano 1 nell'aula multimediale collocata nell'angolo in alto a sinistra dell'edificio.



Figura 43 – Scenario 2 di incendio: localizzazione focolare

Strumenti di analisi del parametro visibilità: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

I risultati grafici delle *Slices* relative alla propagazione dei fumi e all'andamento della temperatura, sono stati estrapolati ad intervalli di tempo scelti sulla base della simulazione. Tali intervalli sono stati ulteriormente selezionati per le *Slices* in direzione x-y per evitare di appesantire la trattazione vista la ridotta potenzialità di questo scenario di interferire con le procedure di evacuazione. Dall'analisi emerge che durante la simulazione i fumi rimangono confinati al solo locale di innesco, per iniziare a diffondersi nel corridoio da circa 900 sec. Anche in questo caso la stratificazione dei fumi si verifica in corrispondenza del solaio di copertura e lungo le pareti dell'aula multimediale. Le *Slices* in direzione x-y e i *Devices* di visibilità dimostrano che il corridoio rimane libero da contaminazioni di prodotti dell'incendio praticamente per tutto l'intervallo di analisi, pertanto tale scenario non risulta

critico dal punto di vista dell'evacuazione. La situazione è analoga nel vano scale interno, nello spazio calmo e nel vano ascensore.

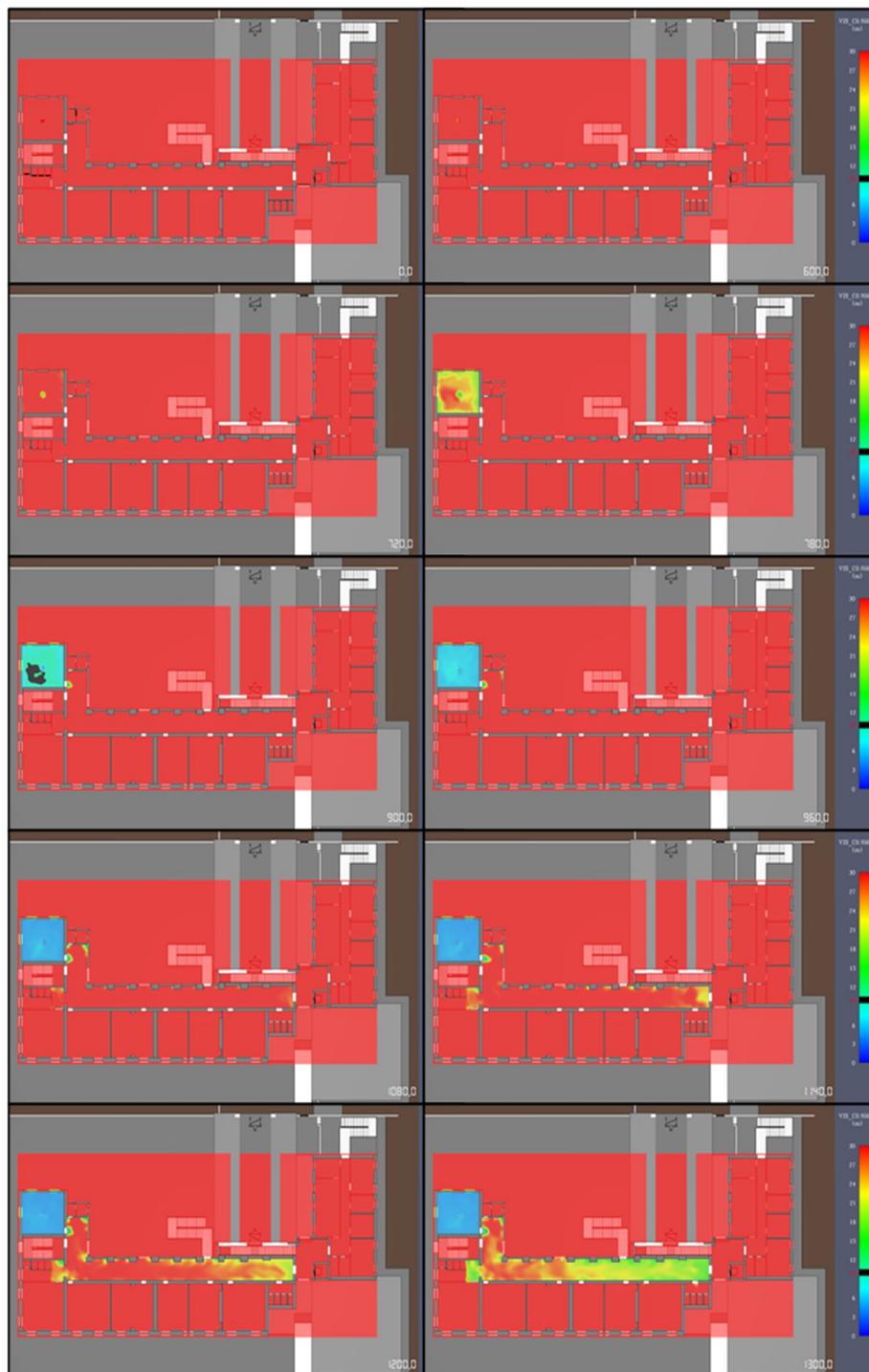


Figura 44 – Slices di visibilità Scenario 2: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

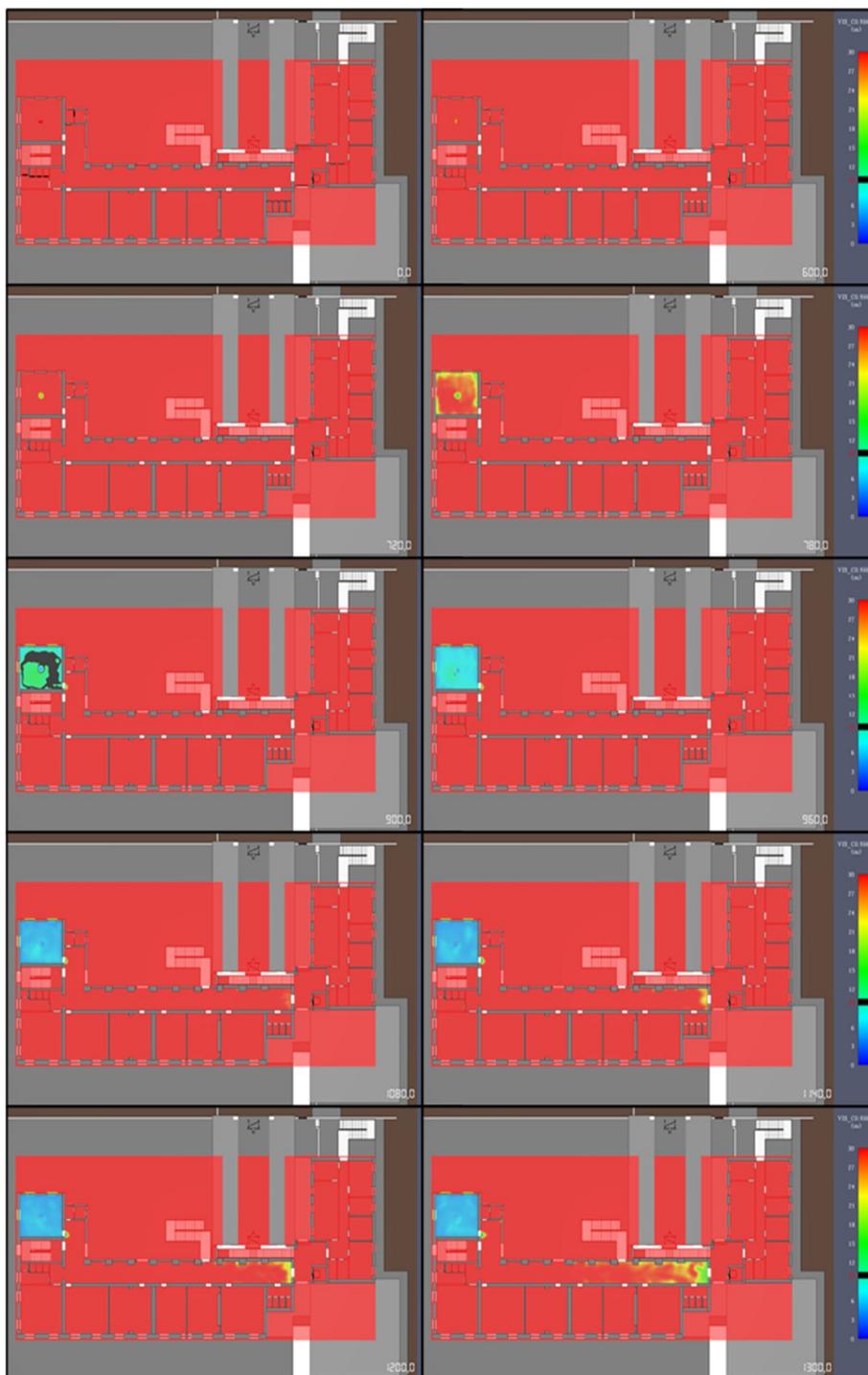


Figura 45 – Slices di visibilità Scenario 2: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano primo

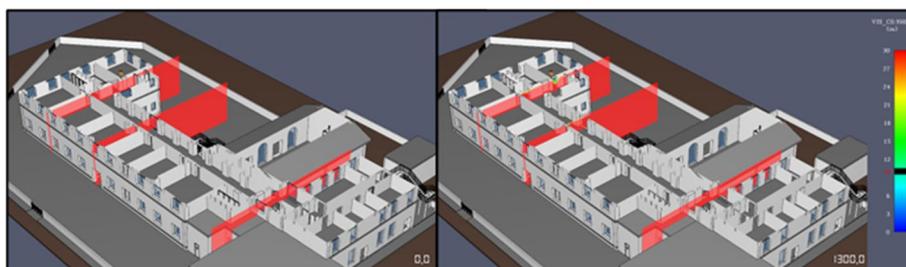


Figura 46 – Slices di visibilità Scenario 2: Direzione x

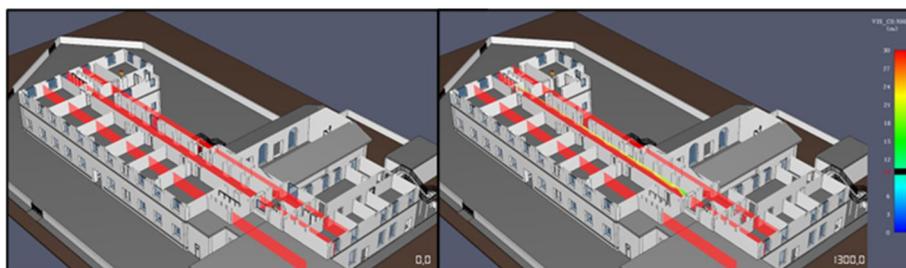


Figura 47 – Slices di visibilità Scenario 2: Direzione y

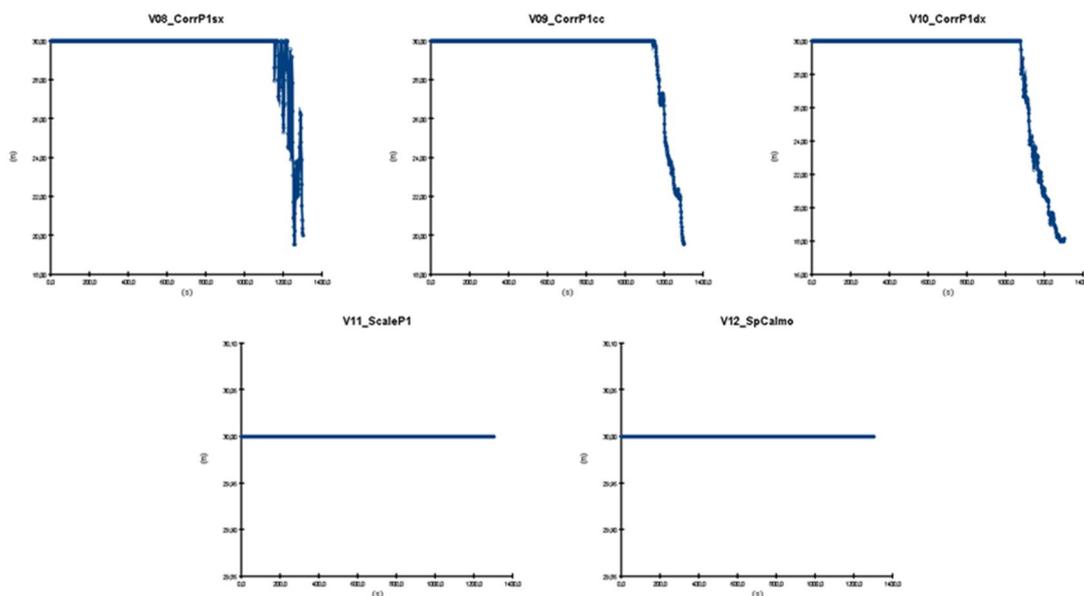


Figura 48 – Devices Scenario 2: Estrapolazione valori significativi di visibilità

Le *Isosurfaces* di visibilità selezionate a 0 e 1300 secondi nella zona di corridoio di fronte alla porta dell'aula multimediale, dimostrano che si risente degli effetti dell'incendio solo all'interno del locale di primo innesco e che i fumi si immettono nella zona di distribuzione solo a simulazione avanzata, quando gli occupanti hanno completato l'evacuazione.

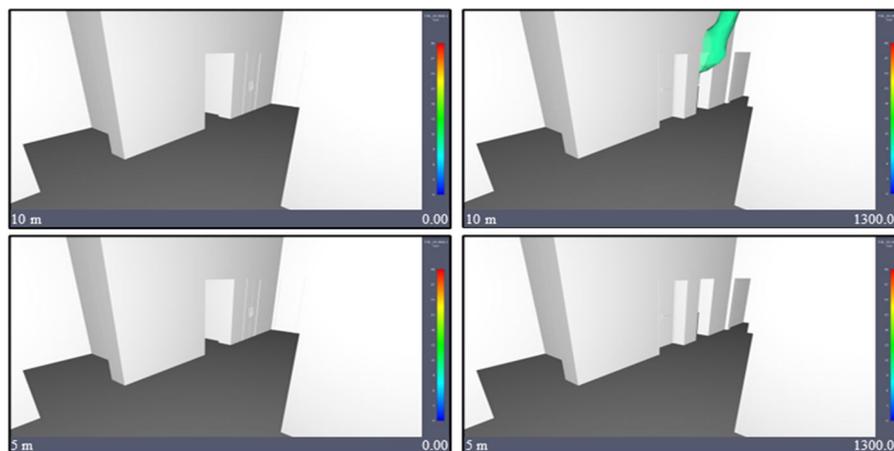


Figura 49 – *Isosurfaces* di visibilità Scenario 2

Anche la *Slice* al Piano inferiore non direttamente interessato dall'incendio, estrapolata ai secondi 0 e 1300 di simulazione, è concorde con quanto rilevato dai dispositivi collocati nel Piano di primo innesco.



Figura 50 – *Slices* di visibilità Scenario 2: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

Strumenti di analisi del parametro temperatura: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

Le *Slices* e i *Devices* di temperatura mostrano che le condizioni all'interno del corridoio rimangono essenzialmente invariate nel corso della simulazione (i picchi massimi, inferiori a 30° C, si registrano attorno a 1200 sec).

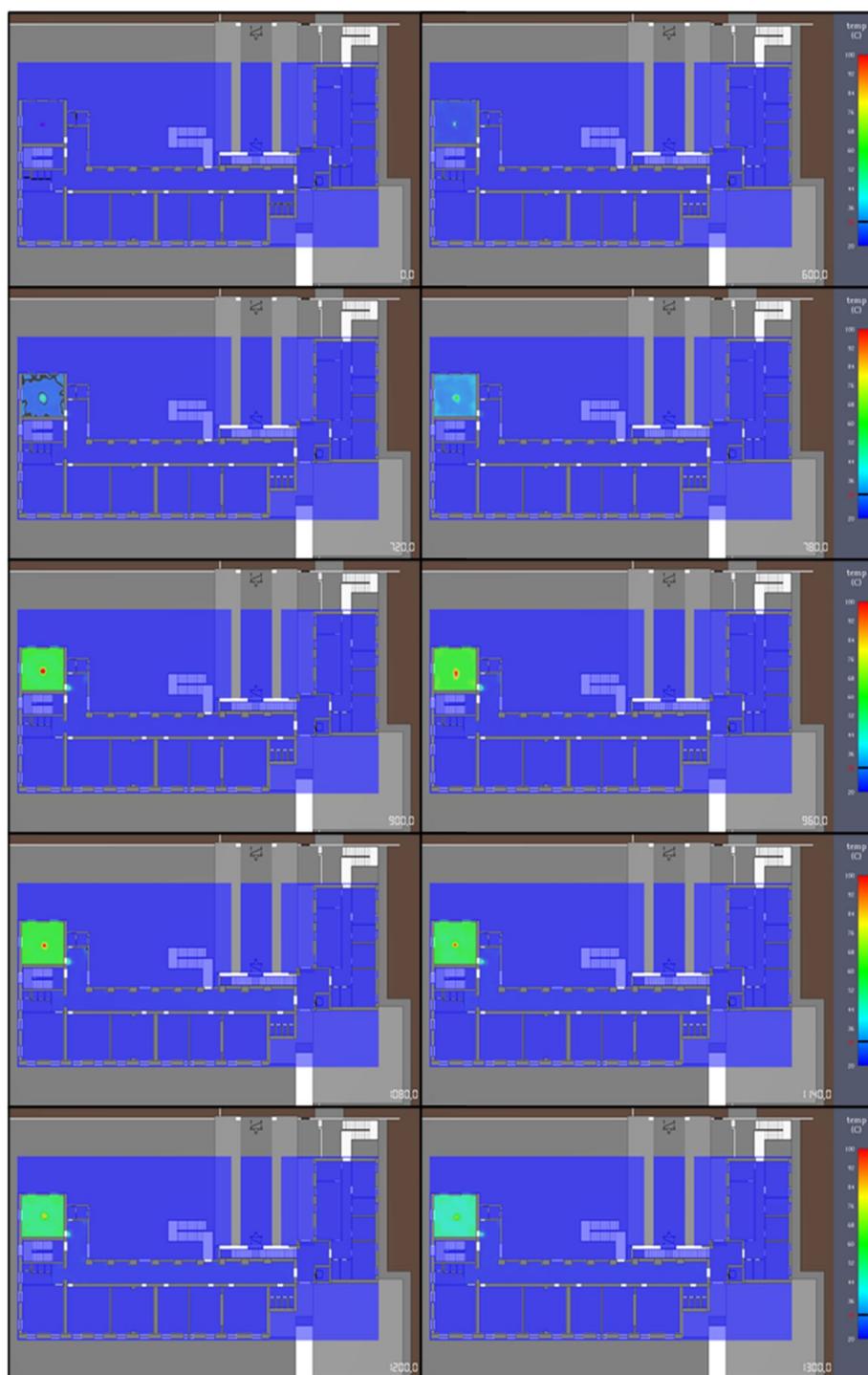


Figura 51 – Slices di temperatura Scenario 2: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

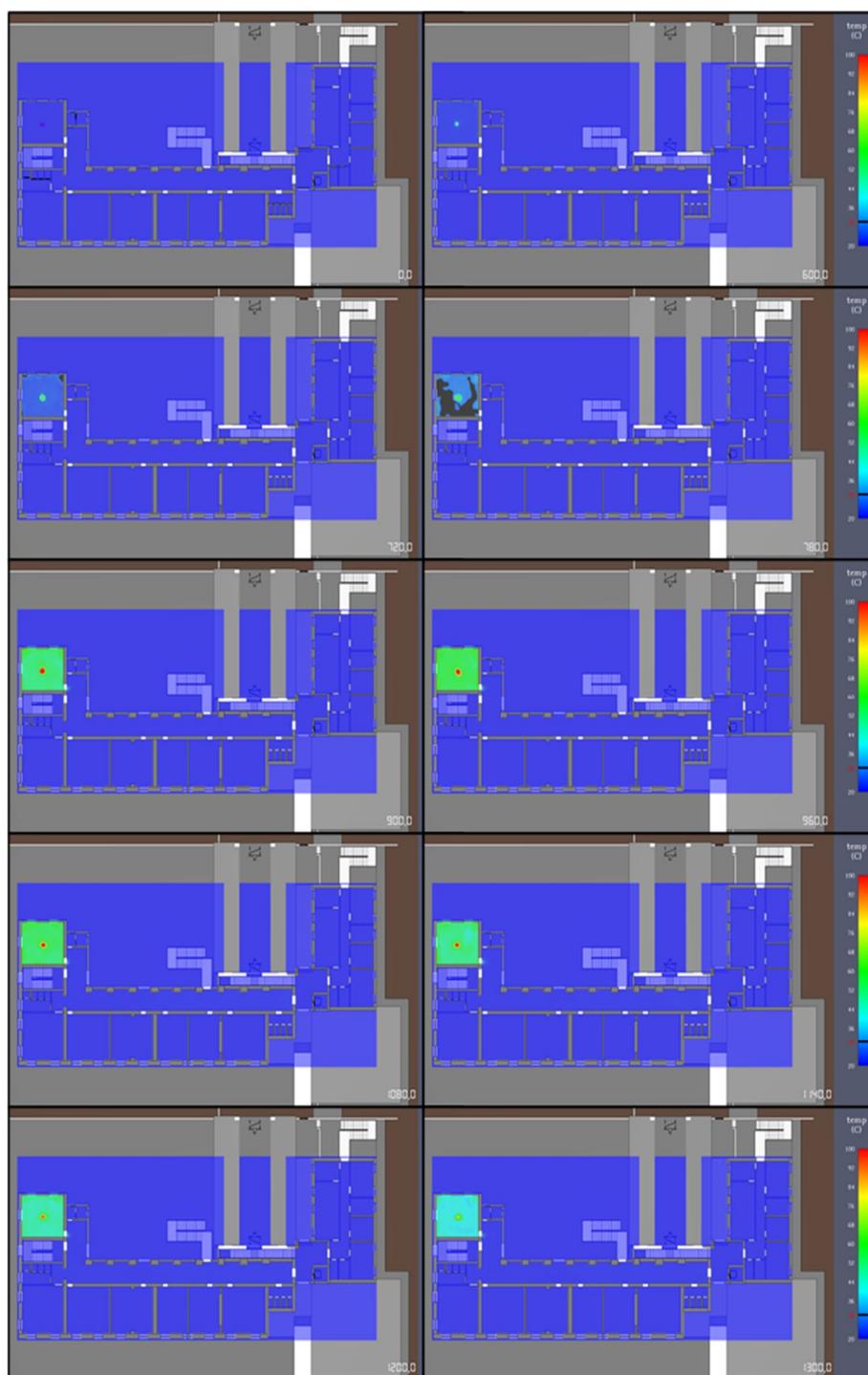


Figura 52 – Slices di temperatura Scenario 2: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano primo

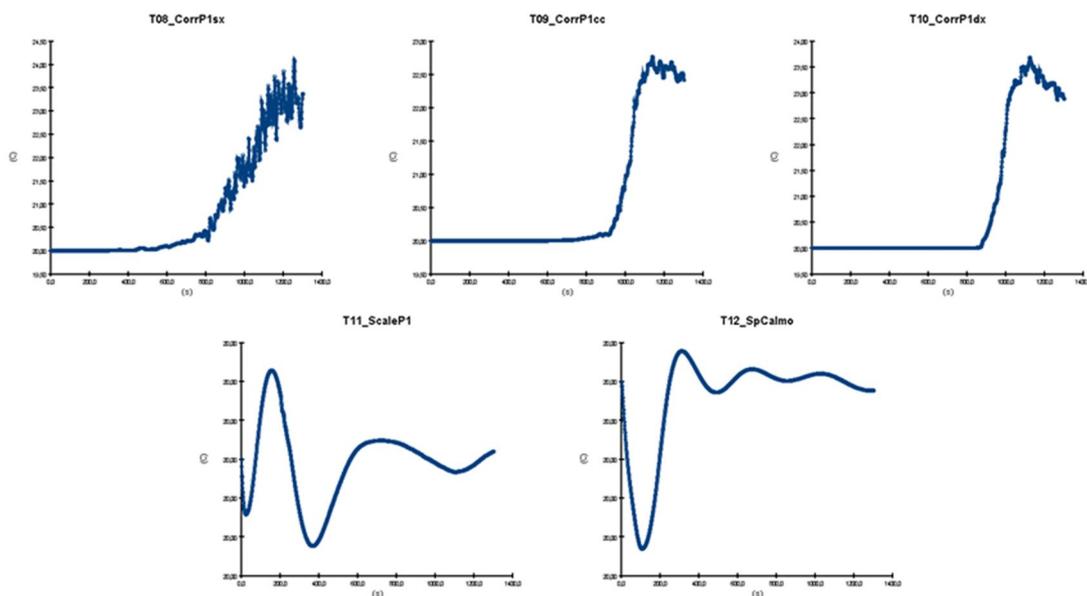


Figura 53 – *Devices* Scenario 2: Estrapolazione valori significativi di temperatura

Le *Isofaces* di temperatura, come quelle di visibilità, prospettano una situazione stabile nel corridoio per tutto il corso della simulazione: le immagini a 0 e 1300 sec, nonostante la porta dell'aula multimediale sia aperta nel secondo caso rispetto al primo, mostrano che il corridoio rimane libero dagli effetti dell'incendio.

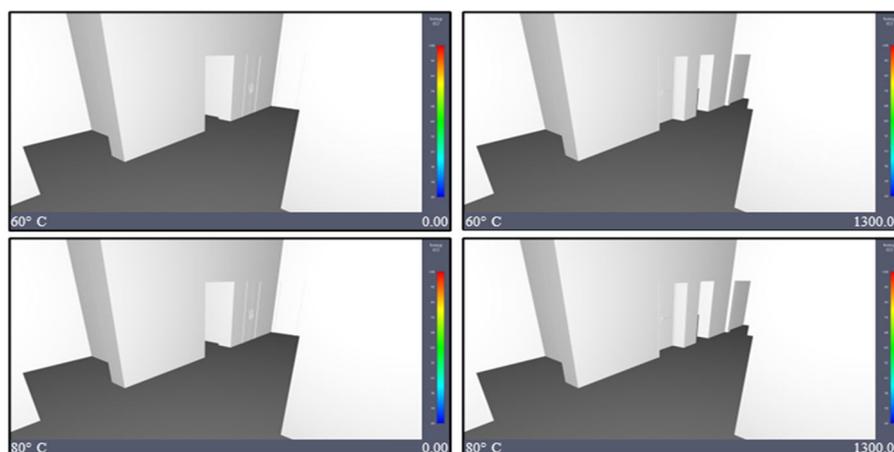


Figura 54 – *Isofaces* di temperatura Scenario 2

Anche la *Slice* al Piano inferiore, estrapolata ai secondi 0 e 1300 di simulazione, è concorde con quanto rilevato in precedenza.

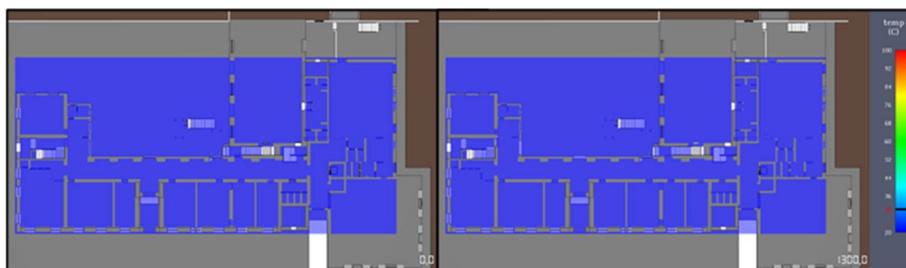


Figura 55 – Slices di temperatura Scenario 2: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

Scenario 3

Il terzo scenario è relativo ad una fotocopiatrice collocata nel corridoio del Piano 0 in adiacenza ai servizi igienici sul lato sinistro.

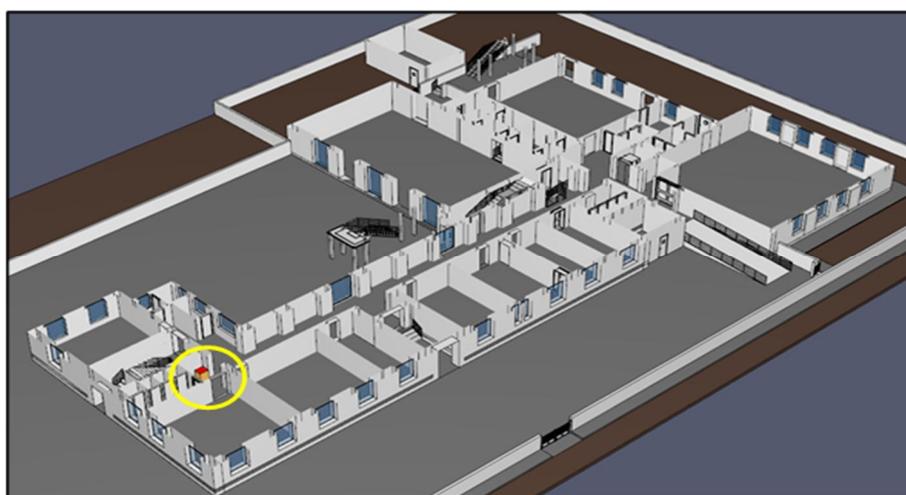


Figura 56 – Scenario 3 di incendio: localizzazione focolare

Strumenti di analisi del parametro visibilità: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

I risultati grafici relativi alla propagazione dei fumi e all'andamento della temperatura, sono stati estrapolati ad intervalli di tempo costanti (di 60 sec). Dall'analisi emerge che sin dai primi minuti di simulazione i fumi si accumulano alle estremità del corridoio per poi distribuirsi sull'intera lunghezza dal secondo 180. Nei minuti successivi continuano a diffondersi anche nell'aula all'estrema sinistra, in entrambi i locali destinati ai servizi igienici, nell'ingresso e nella zona di distribuzione antistante il refettorio e l'aula polifunzionale. La concentrazione maggiore si verifica in corrispondenza della zona a ridosso con la palestra e con il vano scale sulla sinistra. Come per il primo scenario, i fumi stratificano in alto per poi discendere lungo le pareti fino alla quota di imposta di porte e

serramenti, quando vengono smaltiti verso l'esterno o si distribuiscono tra i locali non compartimentati con elementi a tenuta.

L'analisi delle *Slices* in direzione x-y e la lettura dei diagrammi dei *Devices* completa il quadro: i fumi si mantengono quasi sempre al di sopra di 1,5 m dal piano di calpestio grazie anche alla diffusione orizzontale che avviene in corrispondenza dei varchi tra i locali; la visibilità raggiunge minimi di 5 – 6 m, in tutto il corridoio e nei punti di accesso all'edificio a circa 250 sec. Infine i controlli impostati sul vano ascensore, compartimentato per evitare di essere invaso dai fumi e provocare la diffusione degli effluenti tra i Piani, hanno avuto esito positivo, come dimostra anche la *Slice* al Piano superiore non direttamente interessato dall'incendio (estrapolata ai secondi 0 e 600 di simulazione).

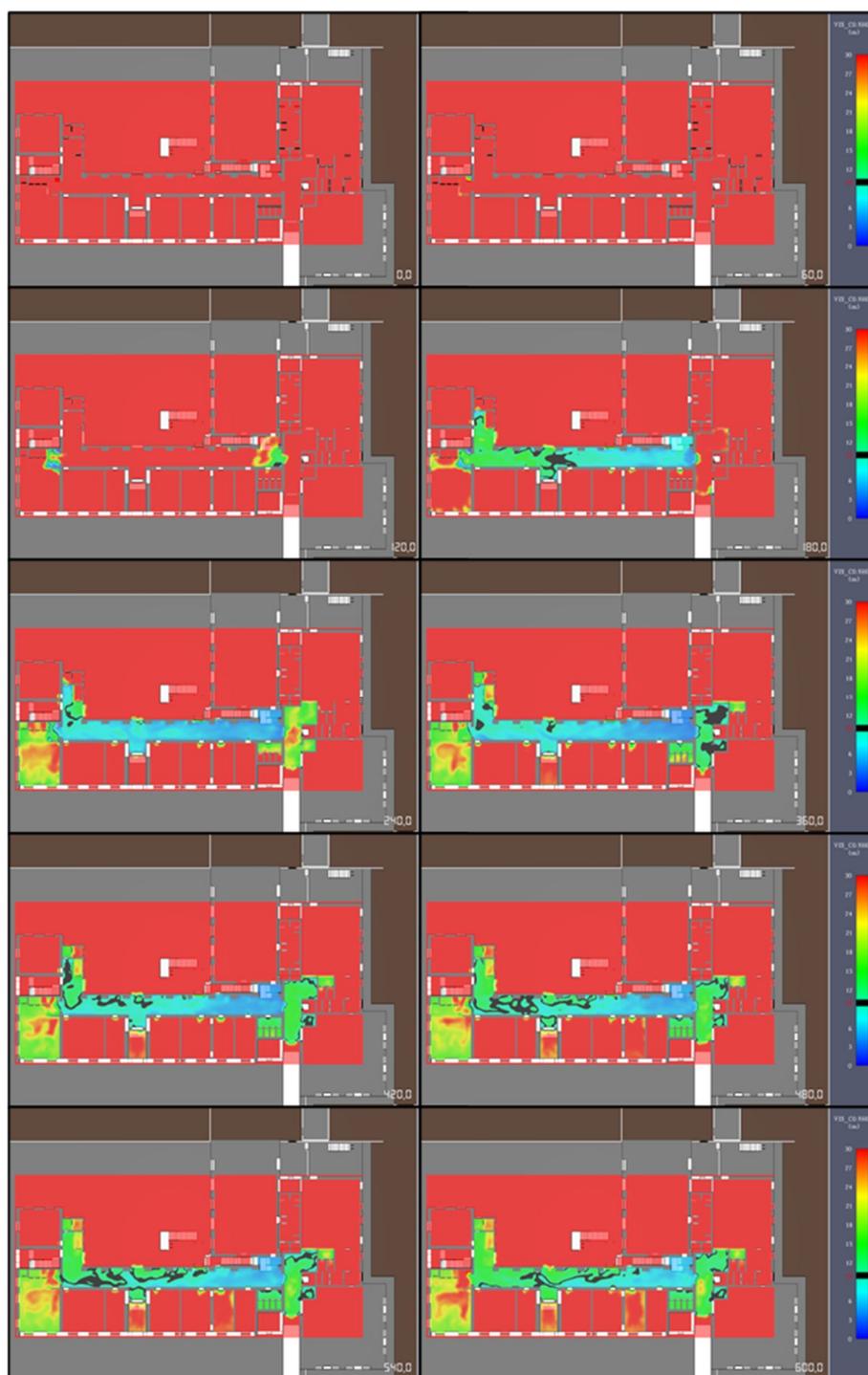


Figura 57 – Slices di visibilità Scenario 3: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

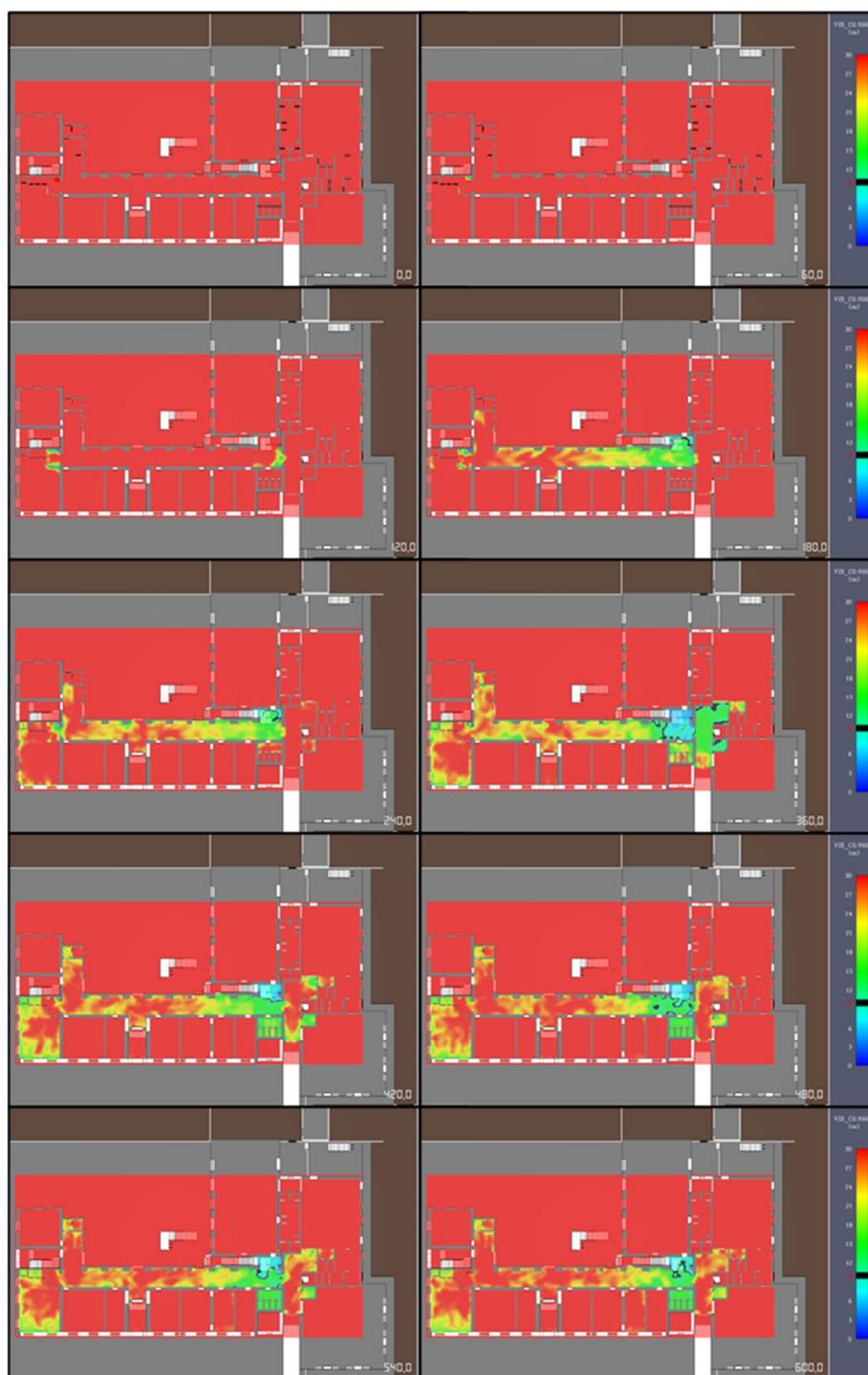


Figura 58 – Slices di visibilità Scenario 3: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

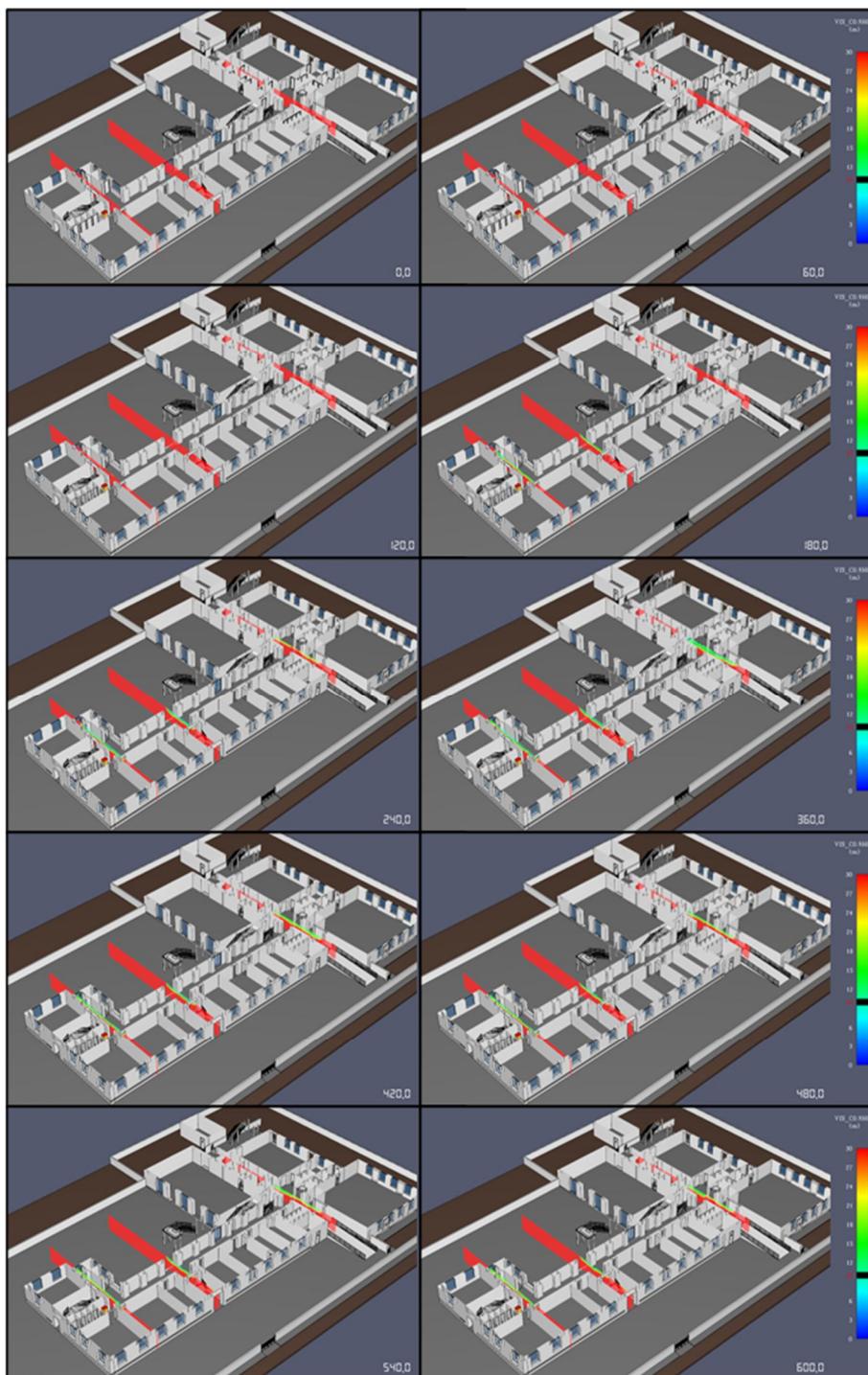


Figura 59 – Slices di visibilità Scenario 3: Direzioni x

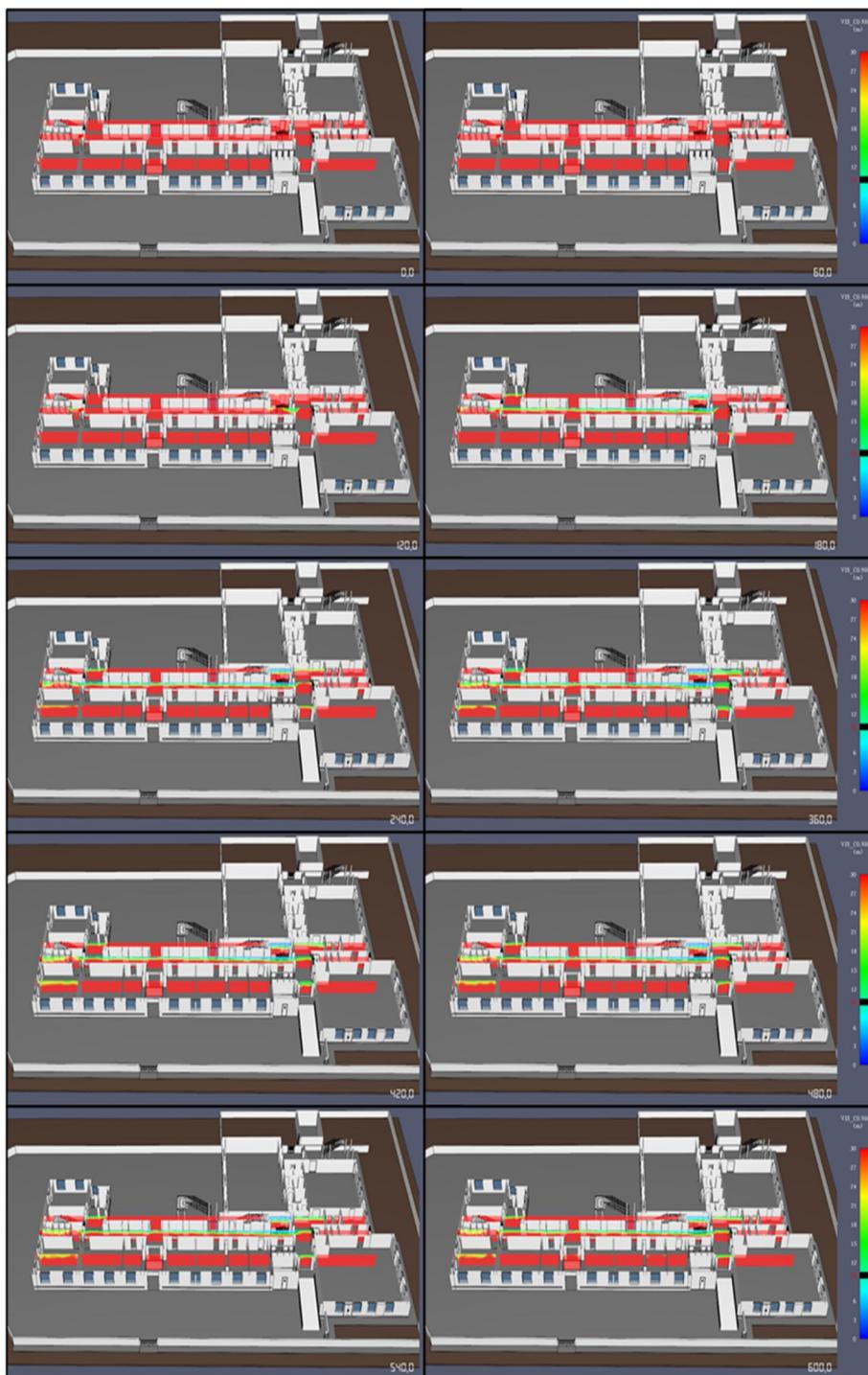


Figura 60 – Slices di visibilità Scenario 3: Direzioni y

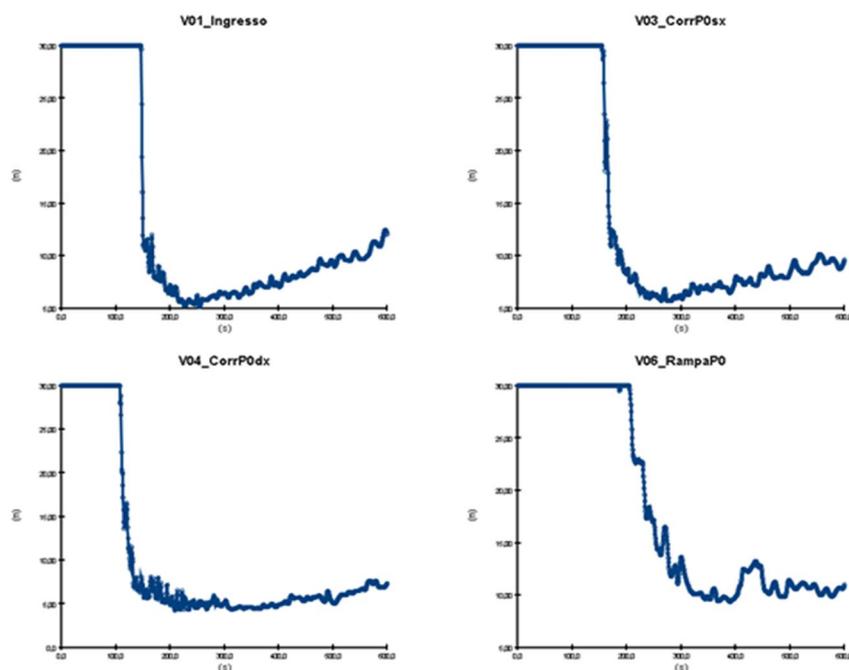


Figura 61 – *Devices* Scenario 3: Estrapolazione valori significativi di visibilità

Le *Isosurfaces* di visibilità sono state estrapolate nel corridoio in un punto che permette di osservare la situazione all'ingresso dell'edificio e in corrispondenza del focolare. Le immagini mostrano l'andamento della visibilità per le soglie di 10 e 5 m all'inizio, nel mezzo e al termine della simulazione: come si può notare i fumi invadono il corridoio ma si mantengono nella parte alta dell'ambiente in quanto, raggiunta la porta di accesso principale (che rimane aperta durante l'evacuazione), vengono smaltiti verso l'esterno lasciando libera la zona utile per gli occupanti.

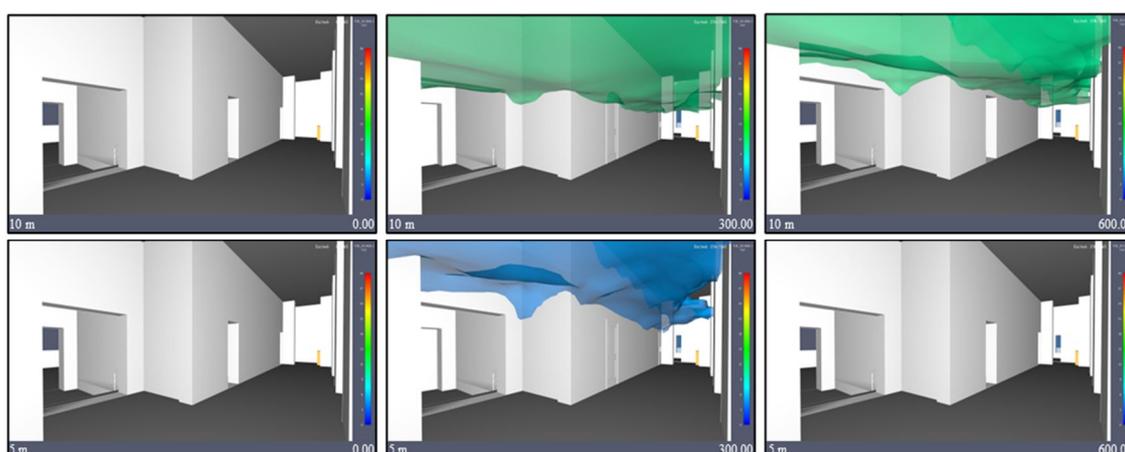


Figura 62 – *Isosurfaces* di visibilità Scenario 3

La *Slice* al Piano inferiore, estrapolata ai secondi 0 e 600 di simulazione, mostra che anche in questo caso le strategie di compartimentazione sono state efficaci nel contenere l'incendio al solo Piano di primo innesco.

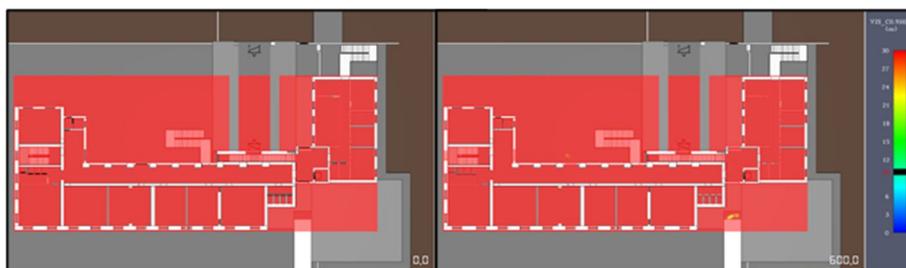


Figura 63– *Slices* di visibilità Scenario 3: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

Strumenti di analisi del parametro temperatura: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

Le *Slices* di temperatura sono state analizzate in parallelo ai relativi *Devices*: i gradienti massimi si registrano in corrispondenza del focolare e delle zone adiacenti, mentre in tutte le zone di distribuzione le temperature oscillano raggiungendo massimi compresi tra 60° e 80° C a circa 200 sec anche in punti distanti dalla zona di innesco.

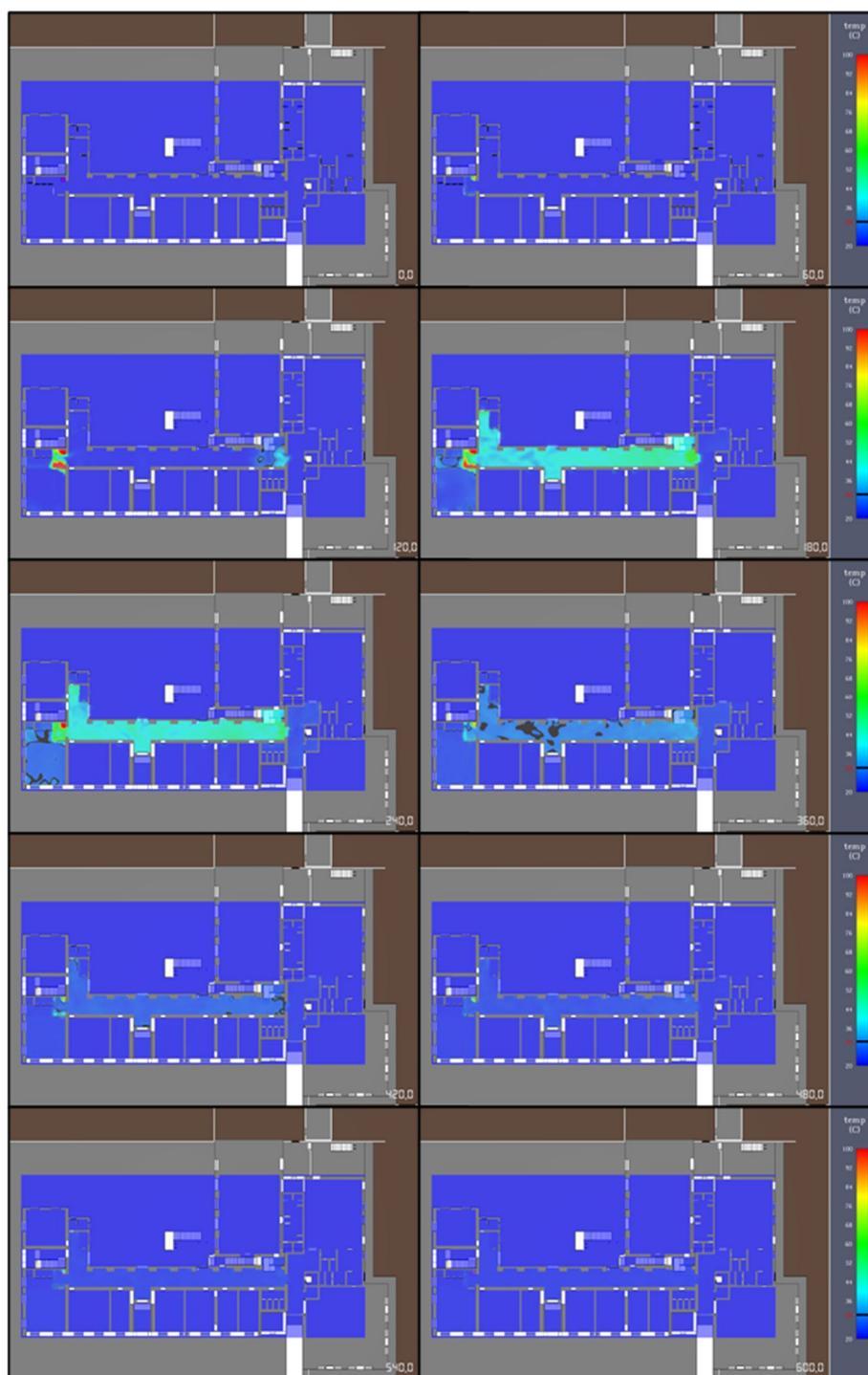


Figura 64 – Slices di temperatura Scenario 3: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

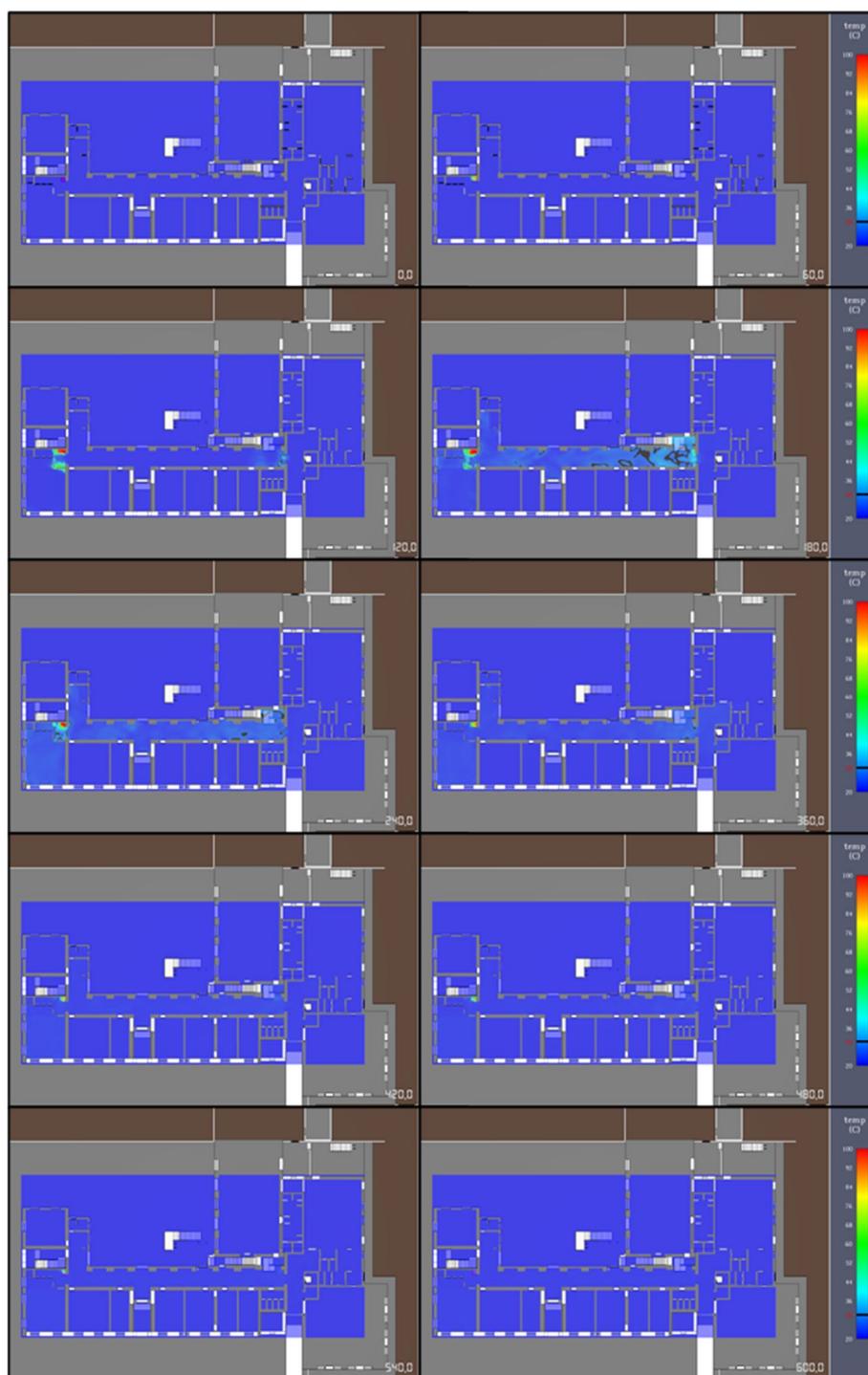


Figura 65 – Slices di temperatura Scenario 3: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

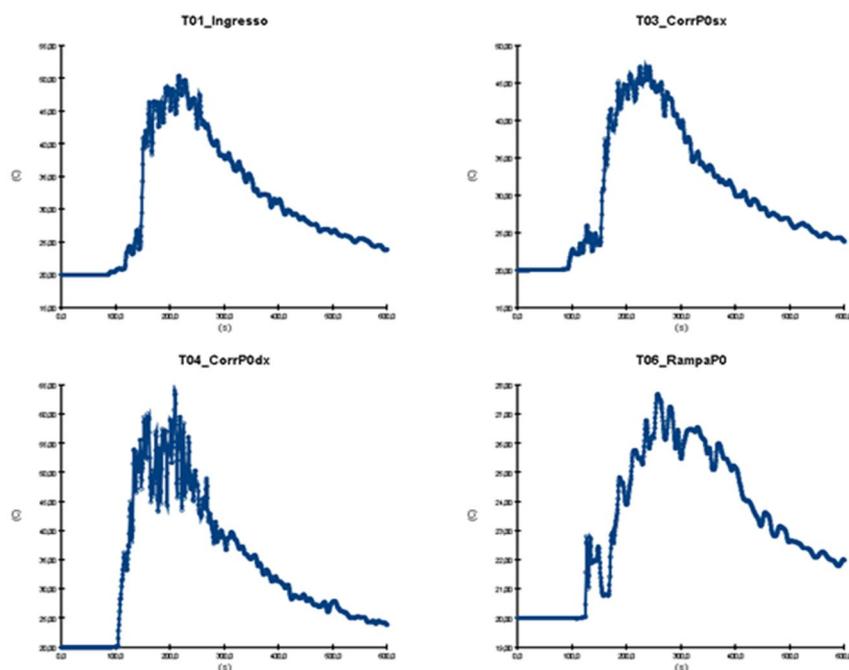


Figura 66 – *Devices* Scenario 3: Estrapolazione valori significativi di temperatura

Le *Isofaces* in corrispondenza dell'ingresso al Piano rialzato, per le soglie di 60° – 80° C e agli istanti 0 – 300 – 600 di simulazione, mostrano che le temperature più elevate si raggiungono nelle zone alte dei locali, ossia nei punti in cui si stratificano i fumi: questo fa sì che la situazione in basso rimanga più o meno invariata fino al decadimento della curva associata al focolare.

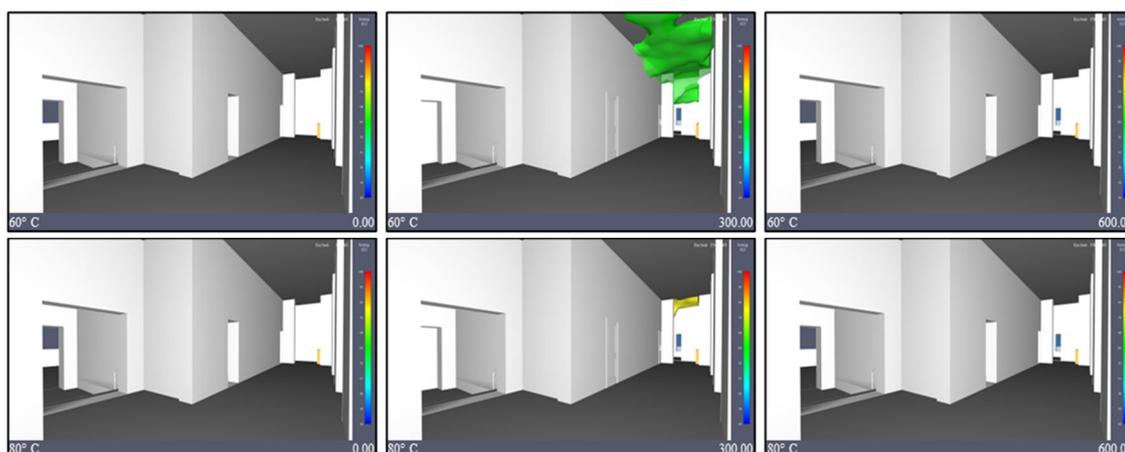


Figura 67 – *Isofaces* di temperatura Scenario 3

Le *Slices* al Piano primo sono ancora una volta rassicuranti in quanto mostrano che la temperatura si mantiene invariata in tutti i locali all'interno del compartimento superiore a quello di innesco.



Figura 68 – Slices di temperatura Scenario 3: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

Scenario 4

Il quarto scenario è relativo ad un distributore posizionato nel corridoio del Piano 0 in adiacenza all'aula didattica polifunzionale sul lato destro.

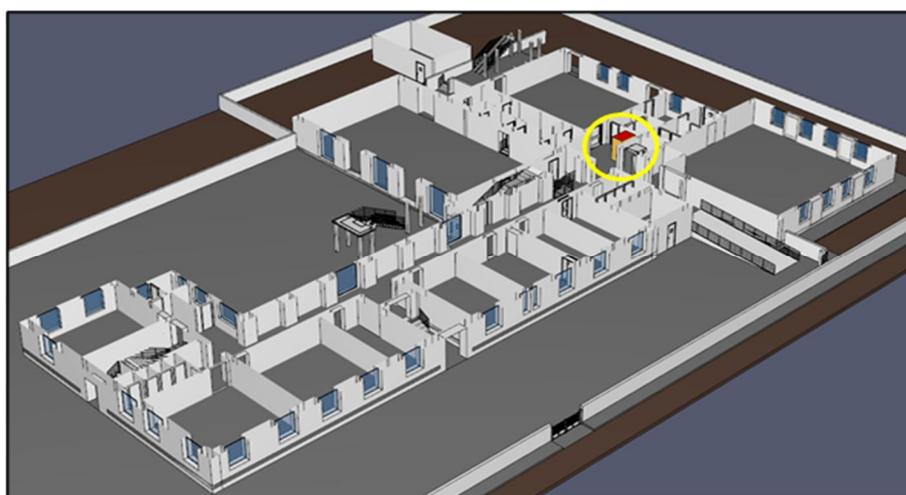


Figura 69 – Scenario 4 di incendio: localizzazione focolare

Strumenti di analisi del parametro visibilità: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

I risultati grafici relativi alla propagazione dei fumi e all'andamento della temperatura, sono stati estrapolati ad intervalli di tempo scelti sulla base della simulazione. Come per il secondo scenario tali intervalli sono stati ulteriormente selezionati per le *Slices* in direzione x-y per evitare che la trattazione fosse appesantita da dati poco rilevanti e ridondanti, vista la ridotta potenzialità di questo scenario di interferire con le procedure di evacuazione del Piano rialzato. Dall'analisi emerge che durante tutta la simulazione i fumi rimangono confinati alla sola zona di innesco ed iniziano a diffondersi all'interno del corridoio da circa 2160 sec, vista anche la presenza della porta di accesso con rampa che funge da punto di deflusso dei fumi sia durante che al termine dell'evacuazione.

Anche in questo caso i fumi stratificano in alto (infatti le *Slices* a quota superiore mostrano una situazione certamente più critica di quelle a quota inferiore) per poi discendere lungo le pareti e farsi strada attraverso le porte dei locali privi di chiusure a tenuta e lungo il corridoio (una volta scesi al di sotto della quota di imposta del varco di comunicazione).

Le *Slices* in direzione x-y e i *Devices* di visibilità mostrano che il corridoio rimane libero da contaminazioni praticamente per tutto l'intervallo di analisi, pertanto tale scenario non risulta critico dal punto di vista dell'evacuazione del Piano. L'eccezione è rappresentata dalle possibili interferenze con l'utilizzo della rampa, essenziale per le persone con disabilità motoria che vogliono muoversi in autonomia o con un'assistenza solo parziale.

Come nello scenario precedente, i controlli impostati sul vano ascensore hanno avuto esito positivo, come dimostra anche la *Slice* al Piano superiore non direttamente interessato dall'incendio (estrapolata al secondo 0 e 2300 di simulazione).

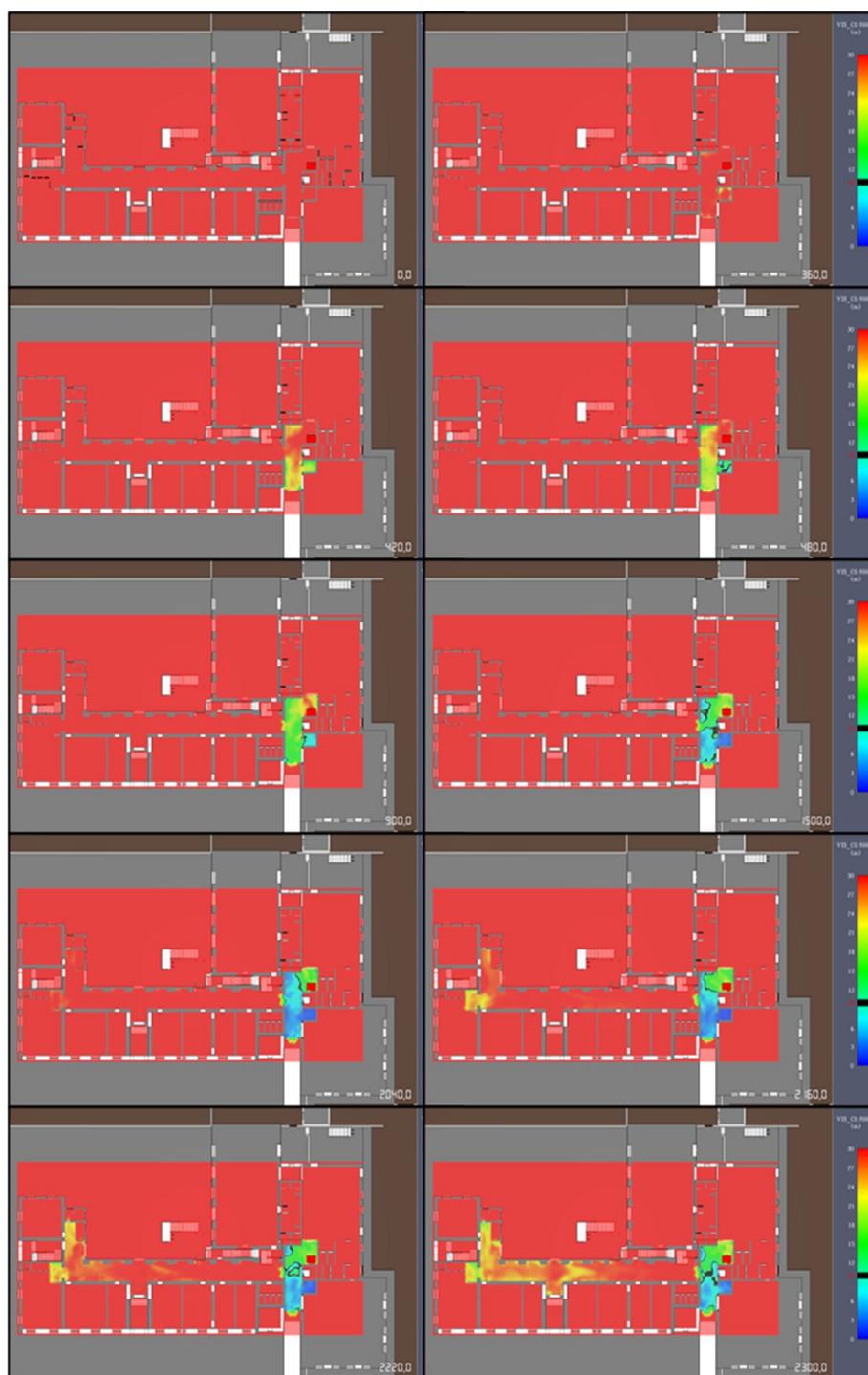


Figura 70 – Slices di visibilità Scenario 4: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

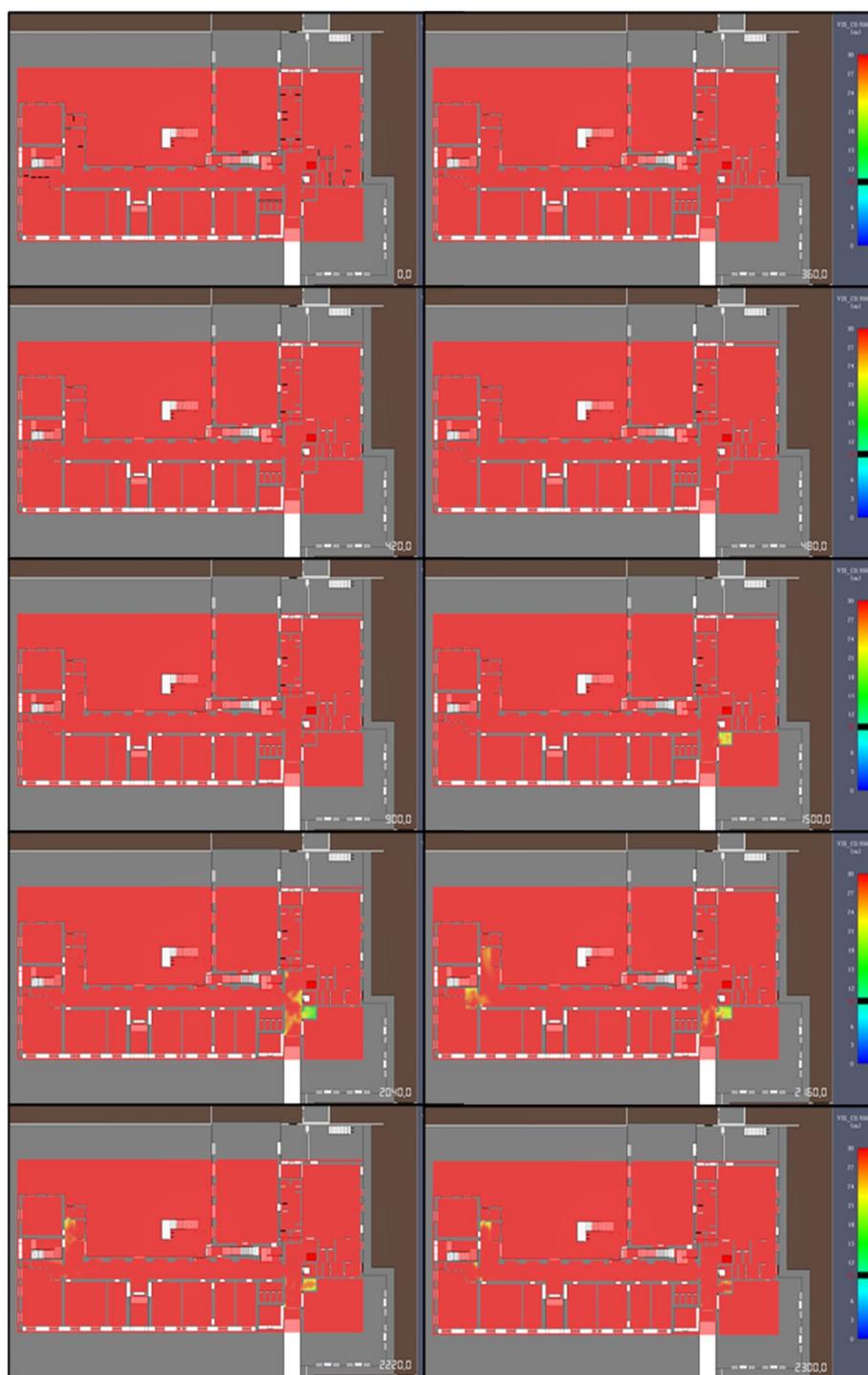


Figura 71 – Slices di visibilità Scenario 4: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

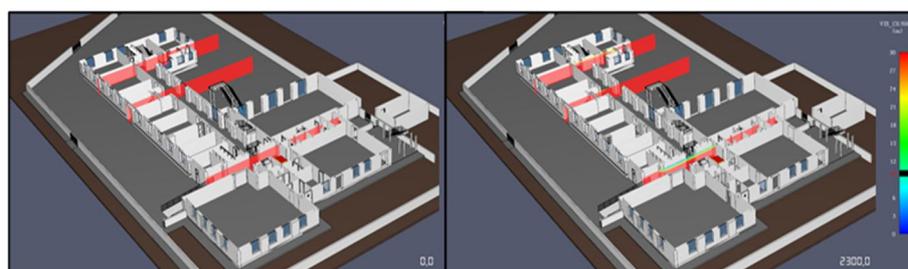


Figura 72 – Slices di visibilità Scenario 4: Direzioni x

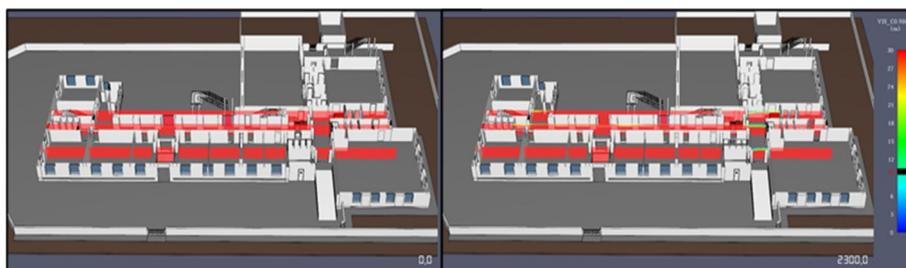


Figura 73 – Slices di visibilità Scenario 4: Direzioni y

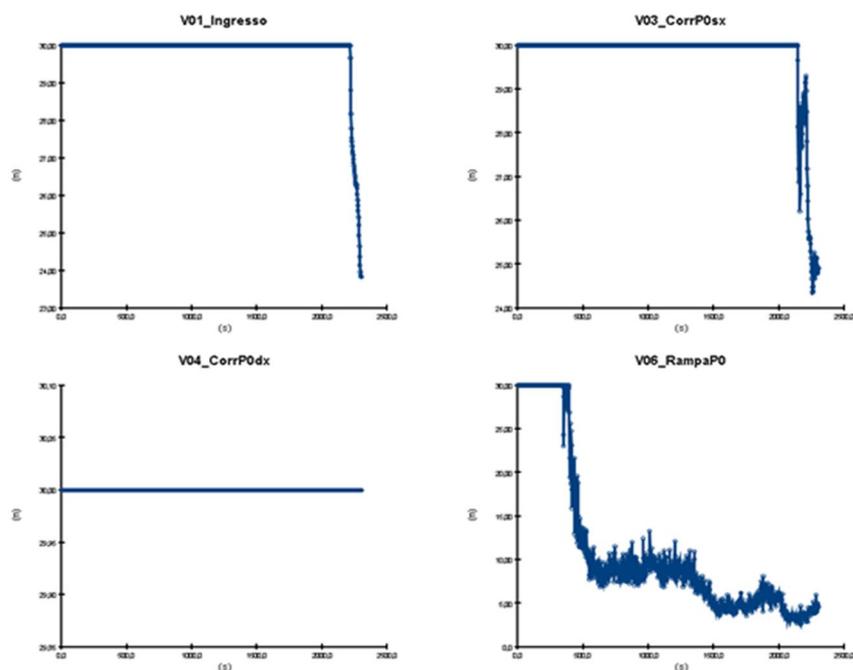


Figura 74 – Devices Scenario 4: Estrapolazione valori significativi di visibilità

Le *Isosurfaces* sono state selezionate agli istanti iniziale e finale di simulazione e mostrano la situazione in corrispondenza del varco di comunicazione tra il corridoio e la zona interessata dall'incendio. Come si può notare, la visibilità è compromessa solo nella parte alta dei locali quindi non interferisce con lo spostamento degli occupanti verso il punto di raccolta (anche perché i fumi si mantengono al di sopra dell'imposta della porta sulla rampa).

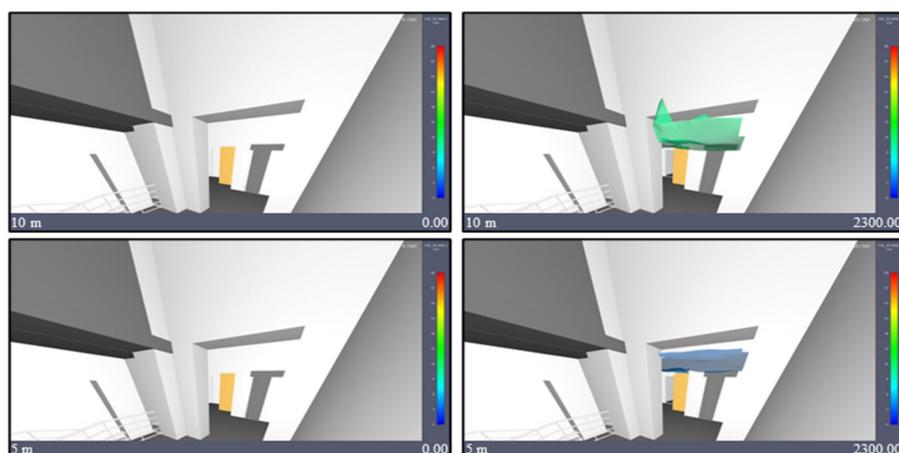


Figura 75 – *Isosurfaces* di visibilità Scenario 4

Le *Slices* al Piano primo mostrano che i fumi rimangono al Piano inferiore e che anche la compartimentazione del vano ascensore nelle immediate vicinanze del focolare risulta efficace nel confinare gli effetti dell'incendio.



Figura 76 – *Slices* di visibilità Scenario 4: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

Strumenti di analisi del parametro temperatura: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

Le *Slices* di temperatura ed i relativi *Devices* mostrano un andamento con picchi di 20°C lungo tutto il corridoio e una situazione più critica in corrispondenza dell'uscita sulla rampa con oscillazioni attorno a 50°C e massimi di 80°C in tempi di simulazione avanzati.

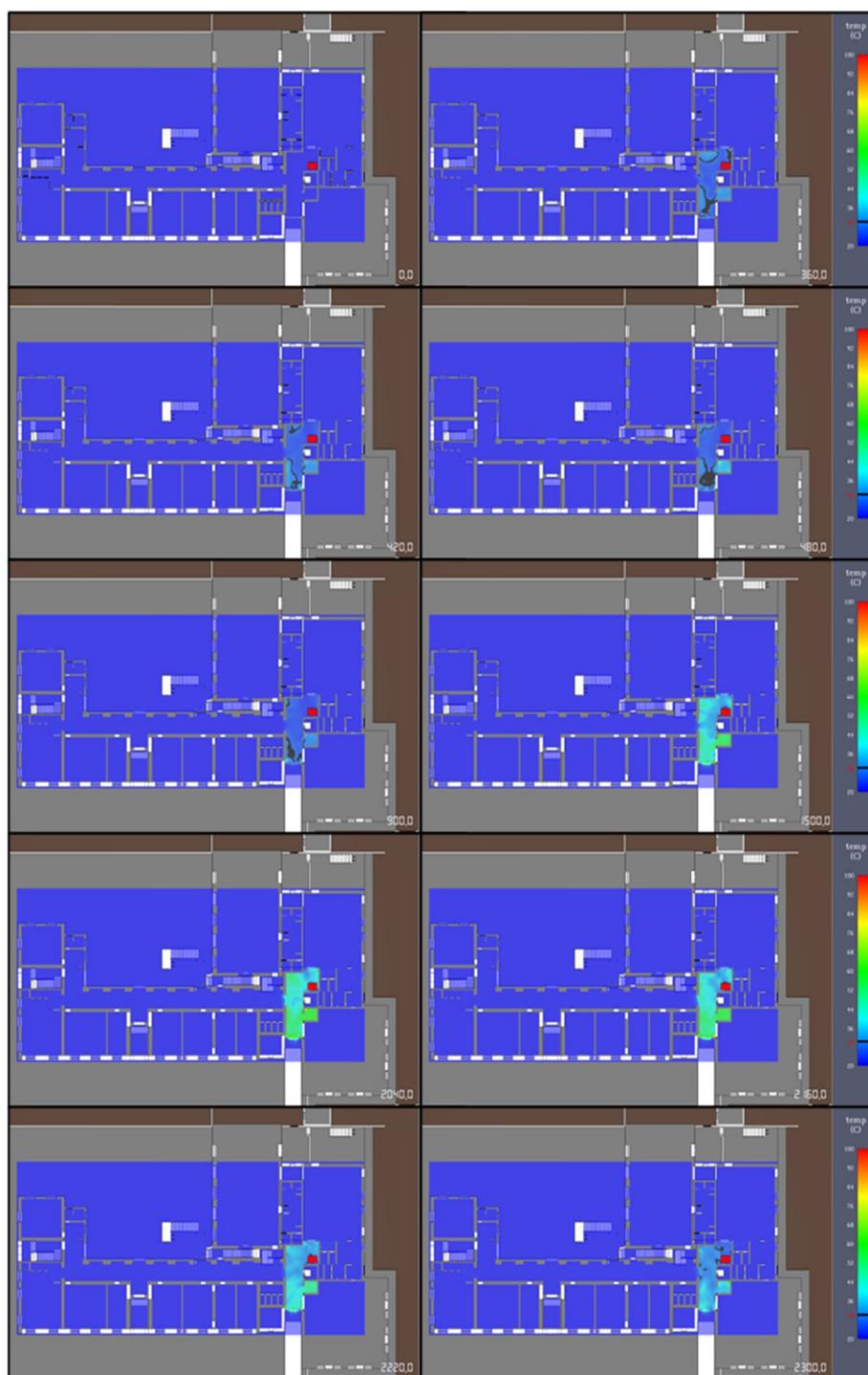


Figura 77 – Slices di temperatura Scenario 4: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

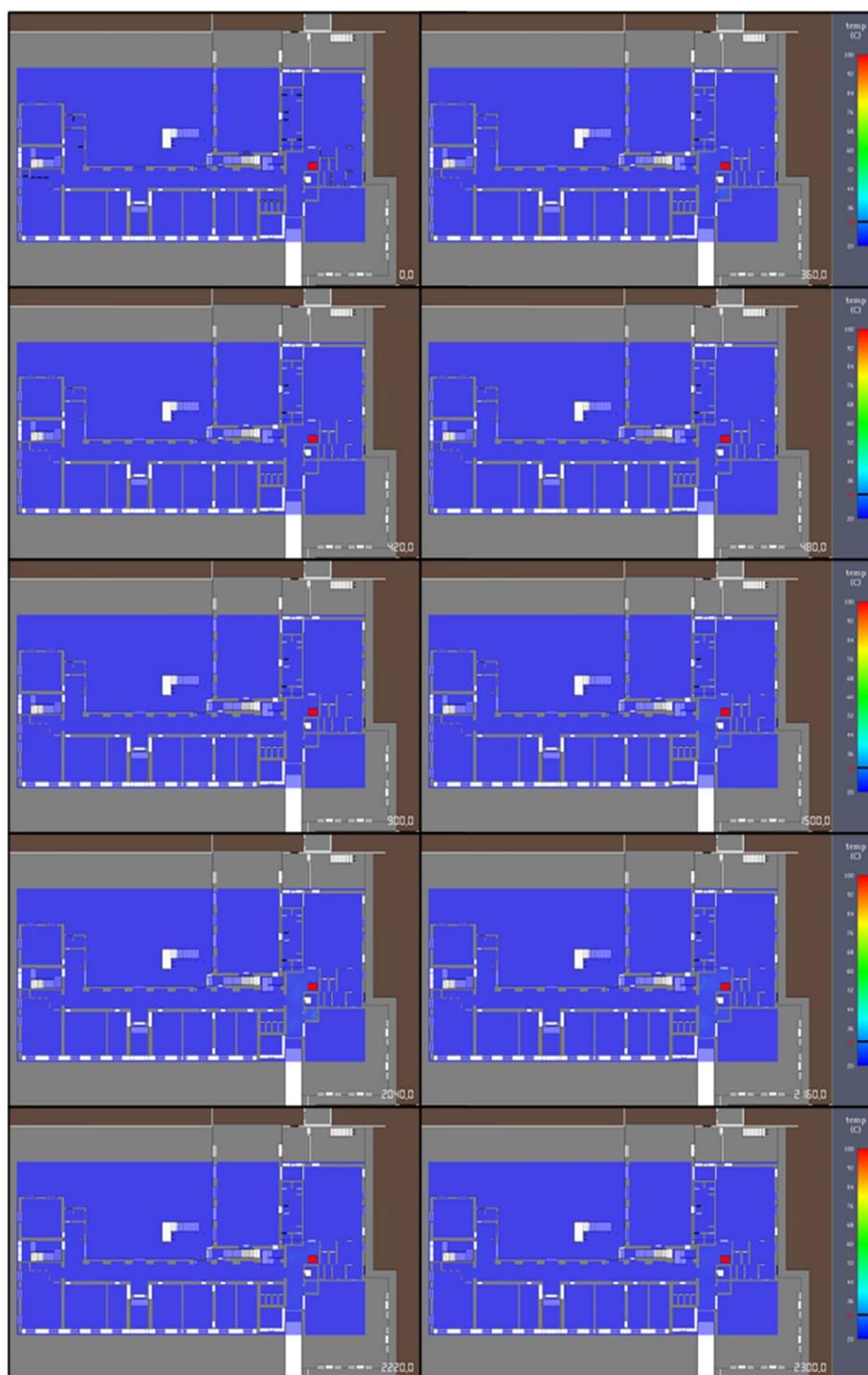


Figura 78 – Slices di temperatura Scenario 4: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

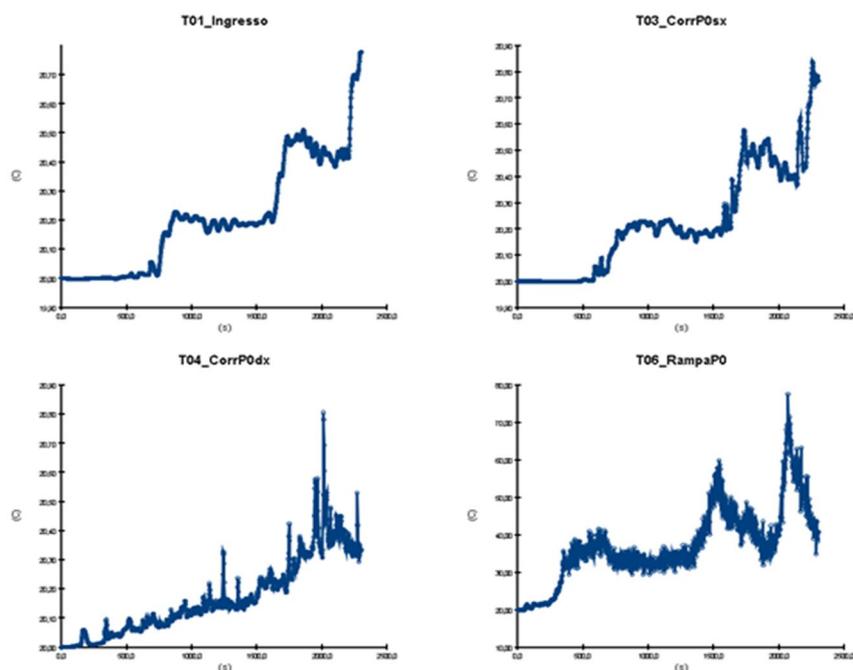


Figura 79 – *Devices* Scenario 4: Estrapolazione valori significativi di temperatura

Le *Isosurfaces* di temperatura sono relative agli stessi istanti e zone di quelle di visibilità e mostrano risultati conformi con le analisi precedenti: i gradienti maggiori si registrano nella zona alta del corridoio, ossia quella occupata più a lungo dai fumi.

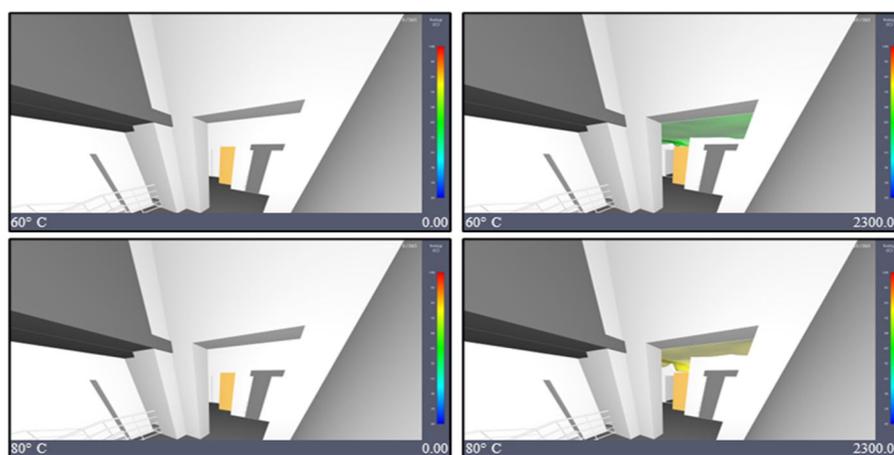


Figura 80 – *Isosurfaces* di temperatura Scenario 4

Infine la *Slice* al Piano superiore, a 0 e 2300 secondi di simulazione, manifesta una situazione stabile in termini di temperatura nel compartimento non interessato dall'incendio.

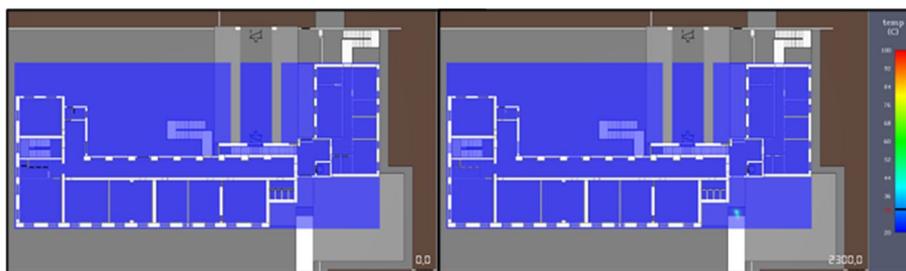


Figura 81 – Slices di temperatura Scenario 4: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

Scenario 5

Il quinto scenario è relativo ad una fotocopiatrice collocata nel mezzo del corridoio del Piano 0, di fronte all'ingresso principale.

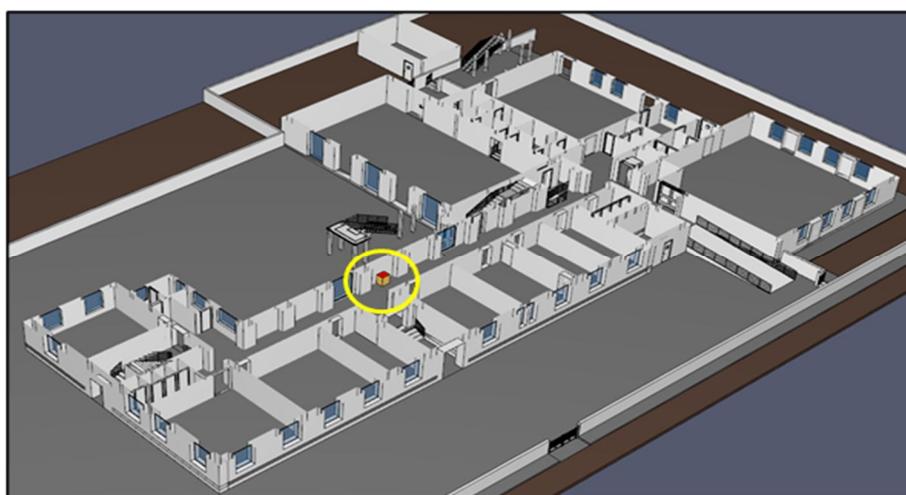


Figura 82 – Scenario 5 di incendio: localizzazione focolare

Strumenti di analisi del parametro visibilità: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

I risultati grafici relativi alla propagazione dei fumi e all'andamento della temperatura, sono stati estrapolati ad intervalli di tempo costanti (di 60 sec). Dall'analisi emerge che sin dai primi minuti i fumi si accumulano alle estremità del corridoio per poi distribuirsi sull'intera lunghezza dal secondo 180. Nei minuti successivi continuano a diffondersi anche all'ingresso, in entrambi i locali destinati ai servizi igienici, nella zona di distribuzione antistante il refettorio e l'aula polifunzionale ed infine nell'aula all'estrema sinistra. La concentrazione maggiore si verifica in corrispondenza della zona a ridosso con la palestra e con il vano scale sulla sinistra. Come nei casi precedenti i fumi stratificano in alto fino all'imposta dei serramenti che permettono la diffusione verso l'esterno e i locali adiacenti.

L'analisi delle *Slices* in direzione x-y e la lettura dei diagrammi dei *Devices* completa l'indagine sul parametro visibilità: i fumi si mantengono quasi sempre al di sopra di 1,5 m dal piano di calpestio (ad eccezione della zona cieca sulla sinistra) grazie anche alla diffusione orizzontale che avviene in corrispondenza dei varchi tra i locali; la visibilità raggiunge minimi di 5 – 6 m, in tutto il corridoio a circa 200 sec di simulazione. Infine anche per questo scenario i controlli impostati sul vano ascensore, hanno avuto esito positivo, come dimostra la *Slice* al Piano superiore (estrappolata ai secondi 0 e 600 di simulazione).

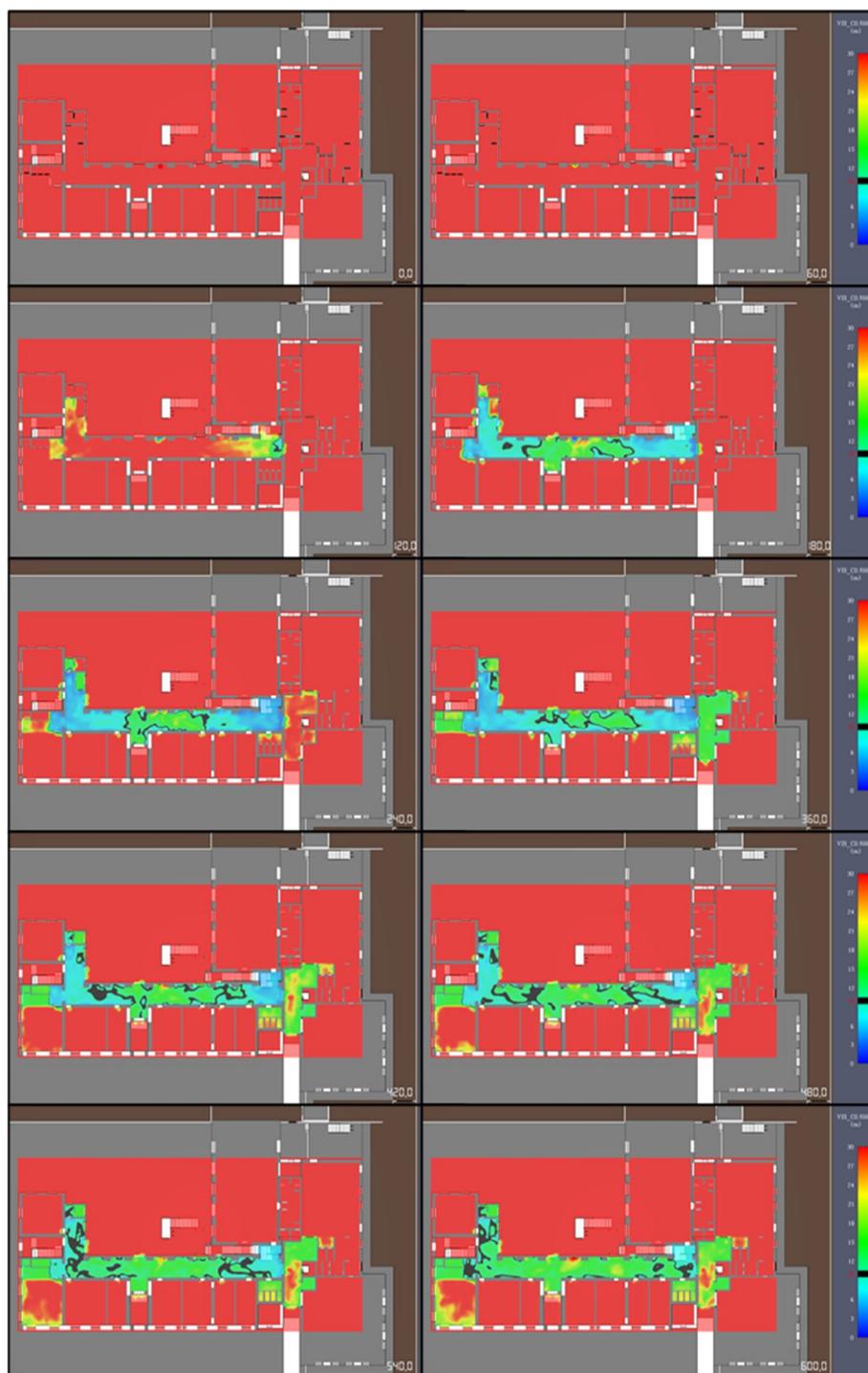


Figura 83 – *Slices* di visibilità Scenario 5: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

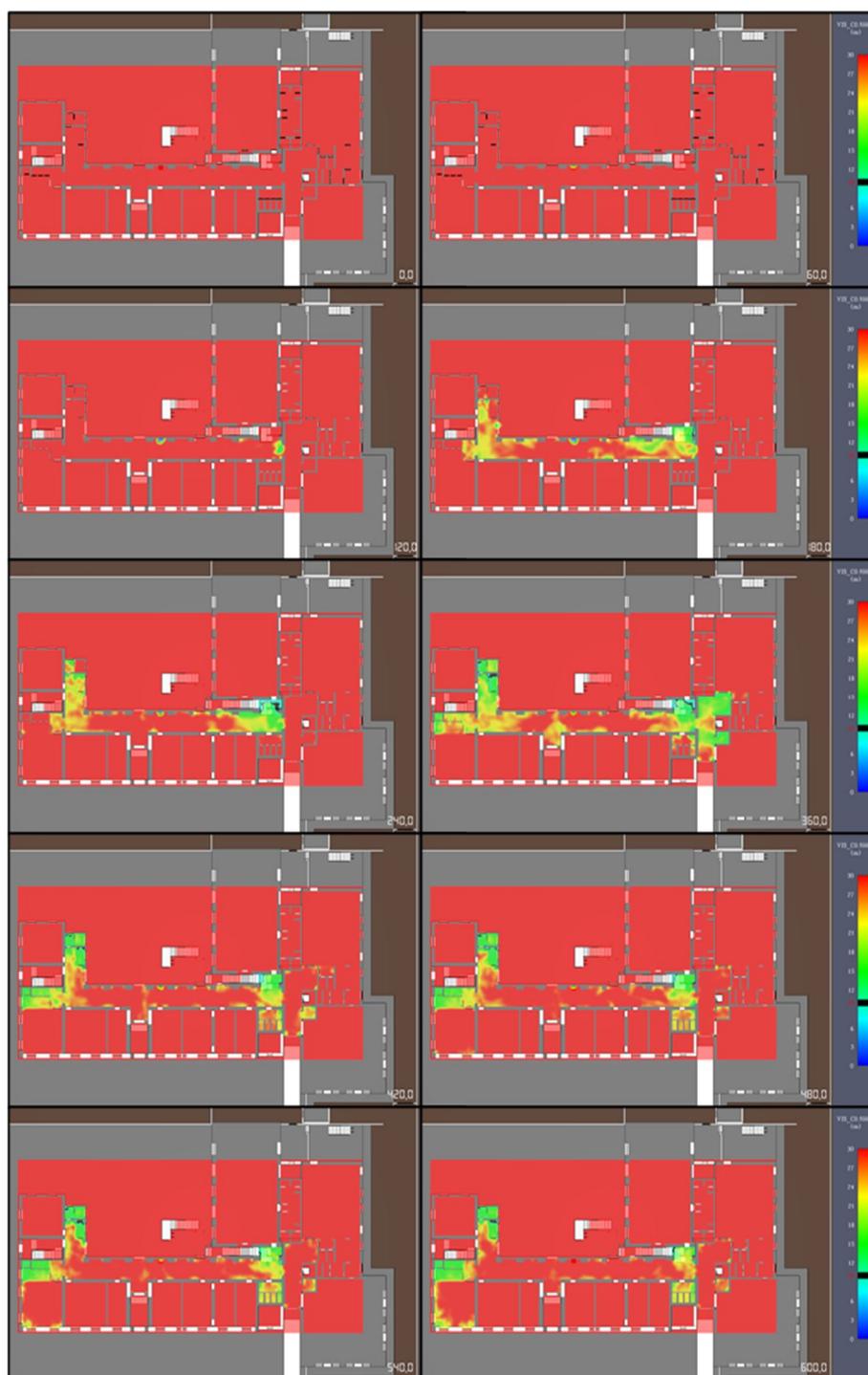


Figura 84 – Slices di visibilità Scenario 5: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

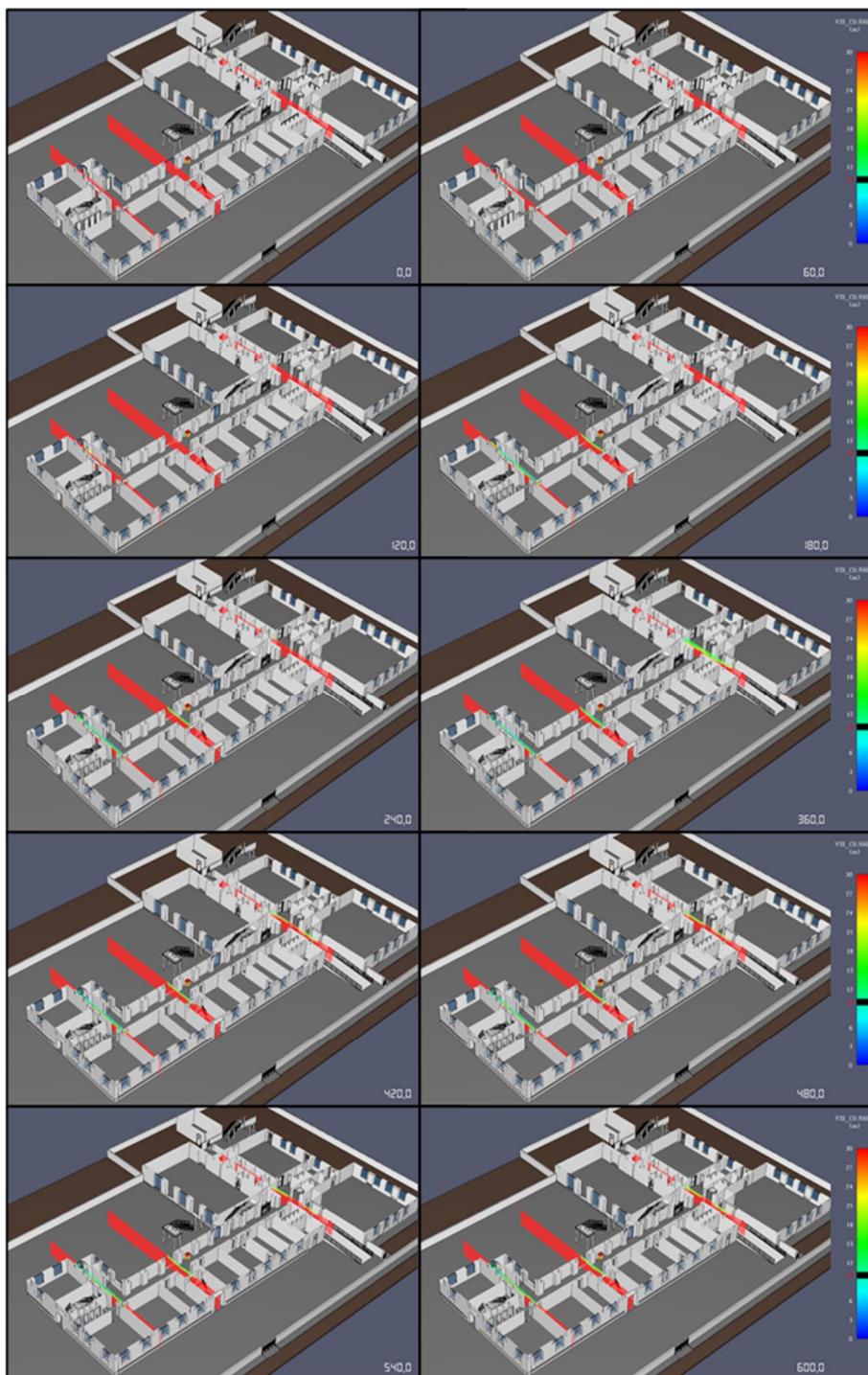


Figura 85 – Slices di visibilità Scenario 5: Direzioni x



Figura 86 – Slices di visibilità Scenario 5: Direzioni y

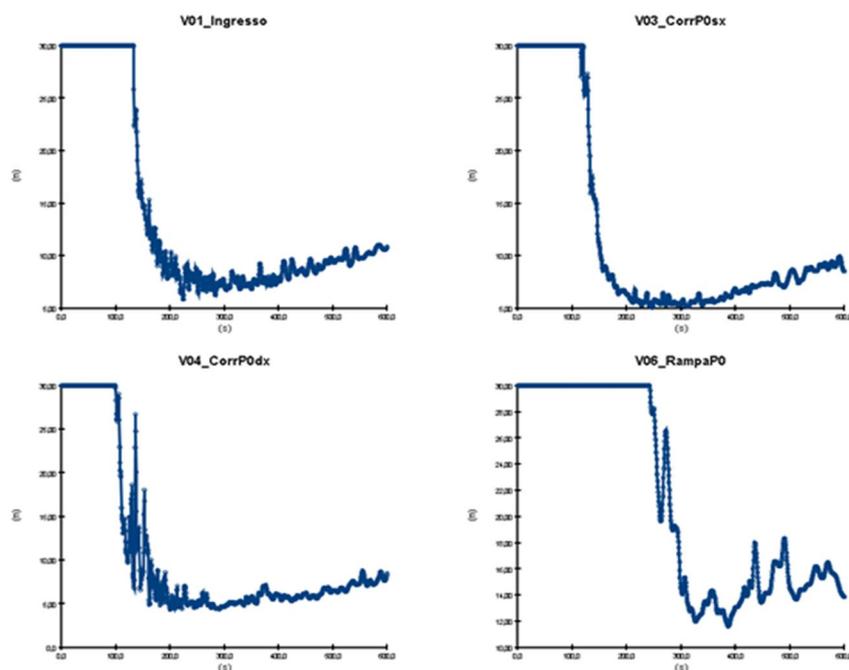


Figura 87 – *Devices* Scenario 5: Estrapolazione valori significativi di visibilità

Le *Isosurfaces* estratte a 0 – 300 – 600 sec nel corridoio da un punto in cui sono visibili l'ingresso principale e il focolare, mostrano ancora una volta che la visibilità si riduce nella parte alta degli ambienti sia per la soglia di 5 che per quella di 10 m.

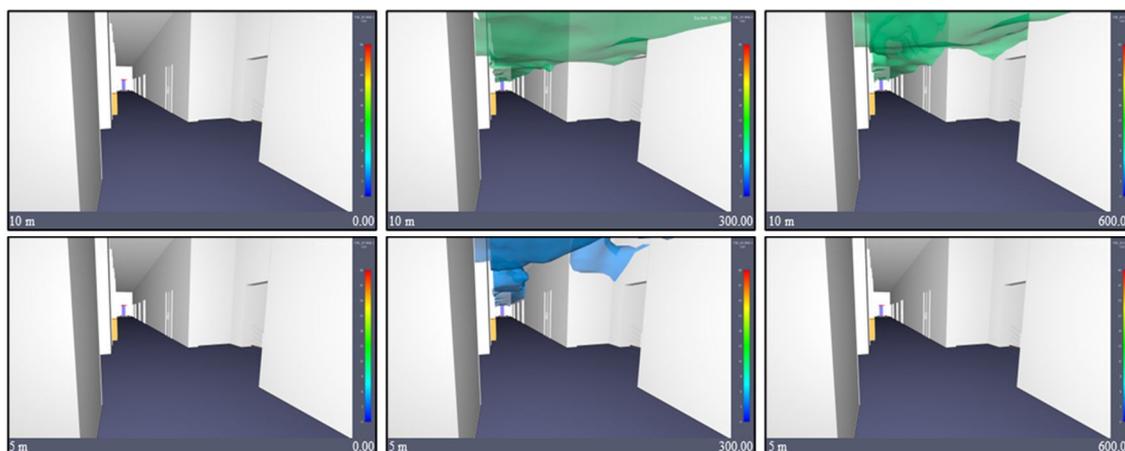


Figura 88 – *Isosurfaces* di visibilità Scenario 5

La *Slice* al Piano primo rispecchia i risultati degli altri scenari in termini di efficace compartimentazione degli ambienti.



Figura 89 – *Slices* di visibilità Scenario 5: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

Strumenti di analisi del parametro temperatura: *Slices*, *Devices* e *Isosurfaces*

Le *Slices* e i *Devices* di temperatura mostrano diverse oscillazioni tra 60° e 80° C lungo tutto il corridoio nell'intervallo compreso tra 150 – 350 secondi e gradienti inferiori nelle zone più distanti, ad esempio in corrispondenza dell'ingresso con rampa.

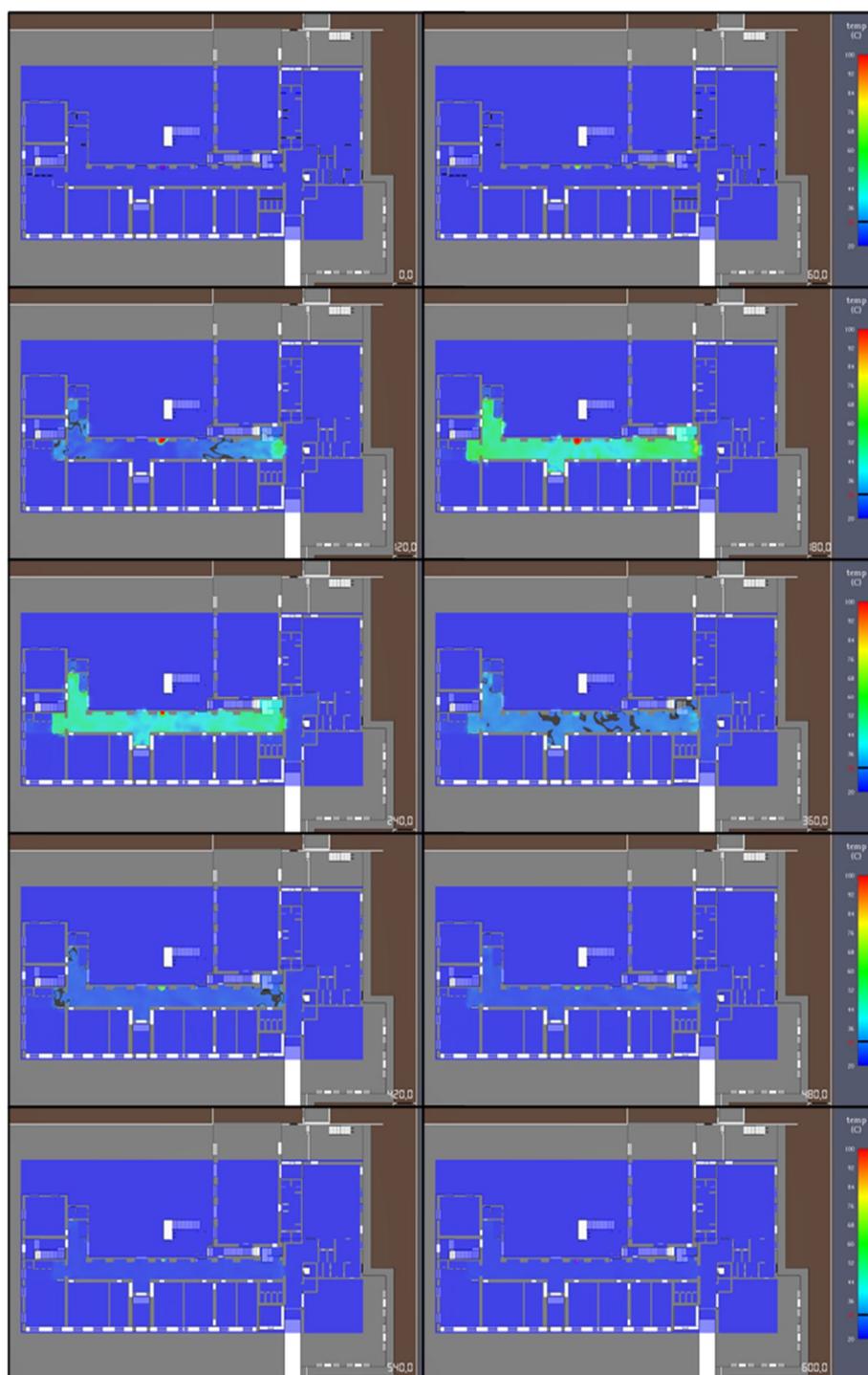


Figura 90 – Slices di temperatura Scenario 5: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano rialzato

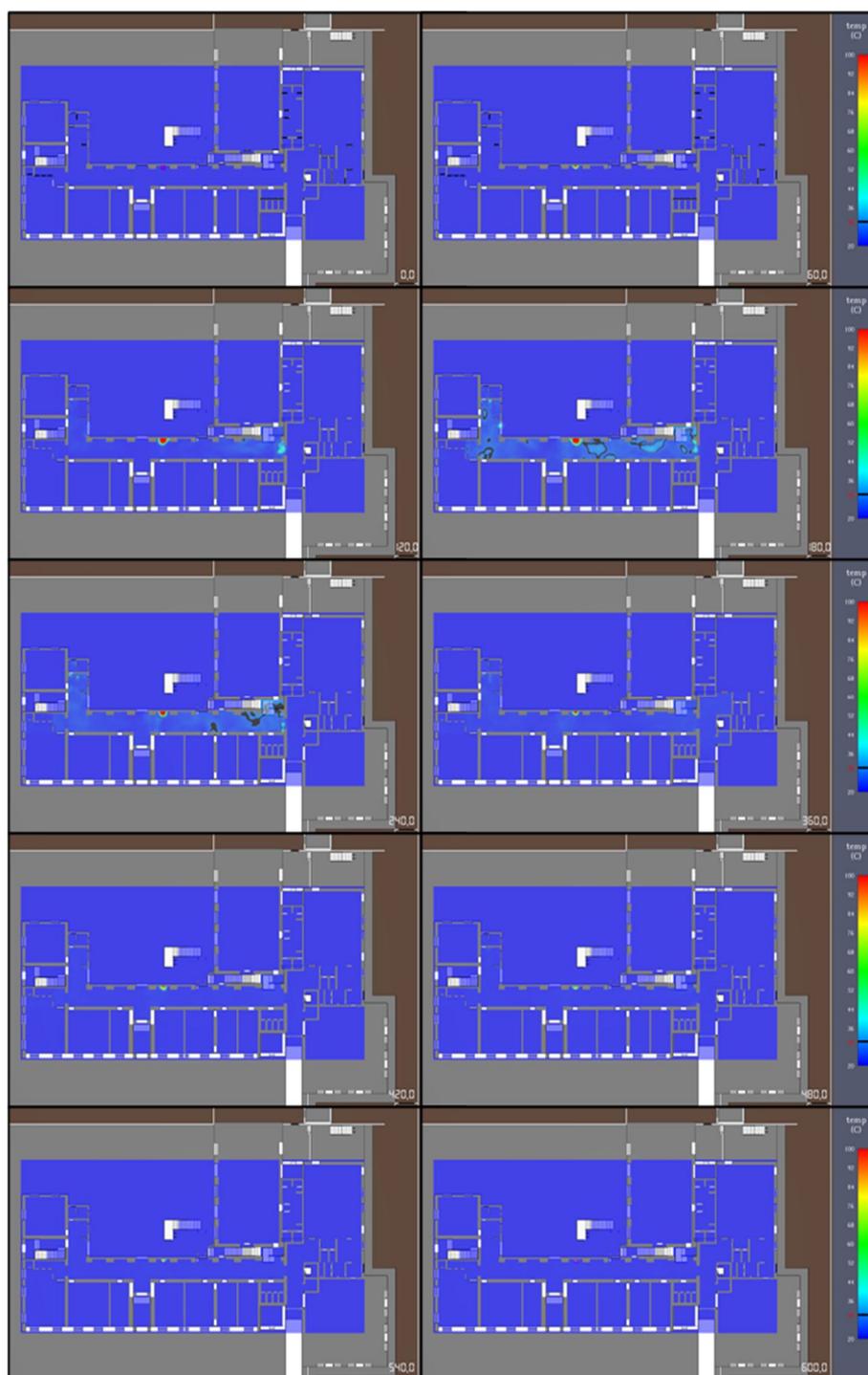


Figura 91 – Slices di temperatura Scenario 5: Quota $z = 1,5$ m dal calpestio del Piano rialzato

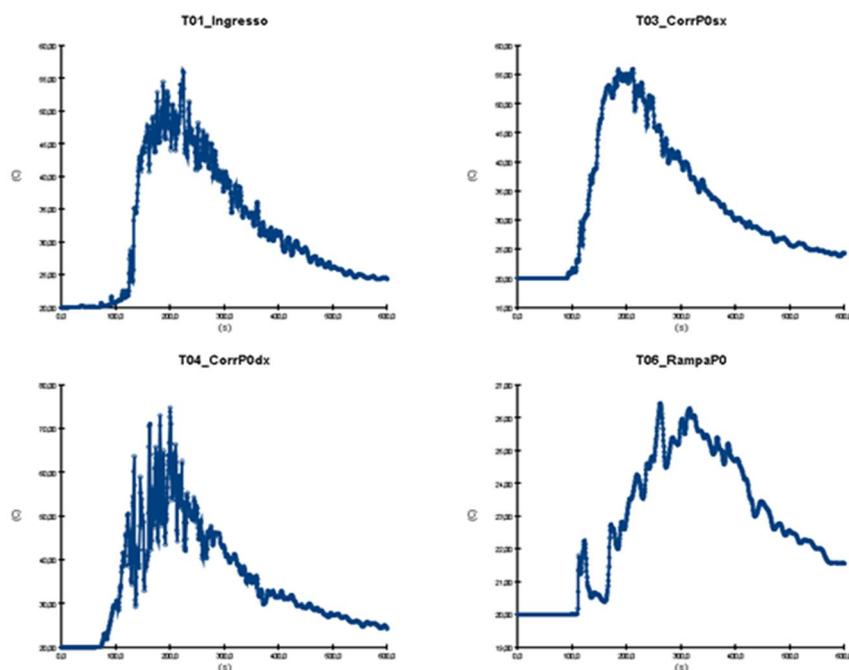


Figura 92 – *Devices* Scenario 5: Estrapolazione valori significativi di temperatura

Le *Isofaces* sono estrapolate con un punto di vista analogo a quelle di visibilità e relative agli stessi istanti: mostrano temperature maggiori nella zona alta a causa della presenza dei fumi che stratificano in questa porzione e rimangono più a lungo prima di diffondersi nell'edificio e verso l'esterno.

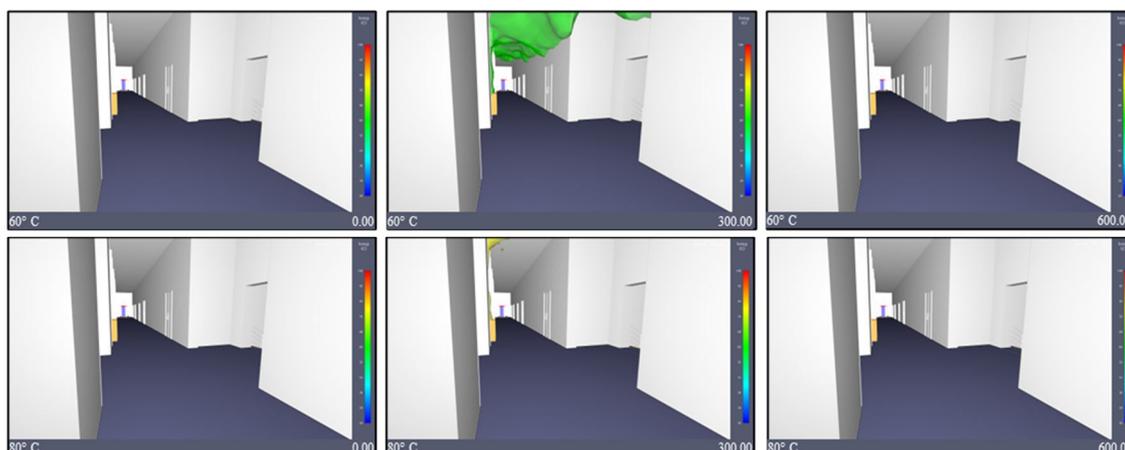


Figura 93 – *Isofaces* di temperatura Scenario 5

La *Slice* di temperatura al Piano superiore è concorde con quella di visibilità nel mostrare che gli effetti dell'incendio rimangono confinati nel compartimento in cui l'incendio si sviluppa.



Figura 94 – Slices di temperatura Scenario 5: Quota $z = 2,0$ m dal calpestio del Piano primo

5.3.2. Simulazioni di esodo

Per quanto riguarda le simulazioni di esodo nel seguito si analizzeranno i risultati delle modellazioni del piano principale di evacuazione.

In generale entrambi i livelli dell'edificio sono stati suddivisi in settori in relazione alla prossimità dei locali alle vie di fuga. Sono state quindi analizzate due configurazioni base di evacuazione: le sei classi della secondaria (ospitata al Piano superiore) si dirigono verso il punto di raccolta posteriore e sono distribuite simmetricamente tra i due vani scale; le cinque della primaria (al Piano rialzato) si muovono verso il punto di raccolta anteriore ma in un caso escono dall'ingresso principale, nell'altro si suddividono in modo che le tre sulla sinistra utilizzino lo stesso percorso, le due sulla destra usufruiscano dell'accesso con rampa. In parallelo sono state formulate procedure per personale ed eventuali utenti esterni mirate al raggiungimento dei punti di raccolta in funzione della posizione inizialmente occupata.

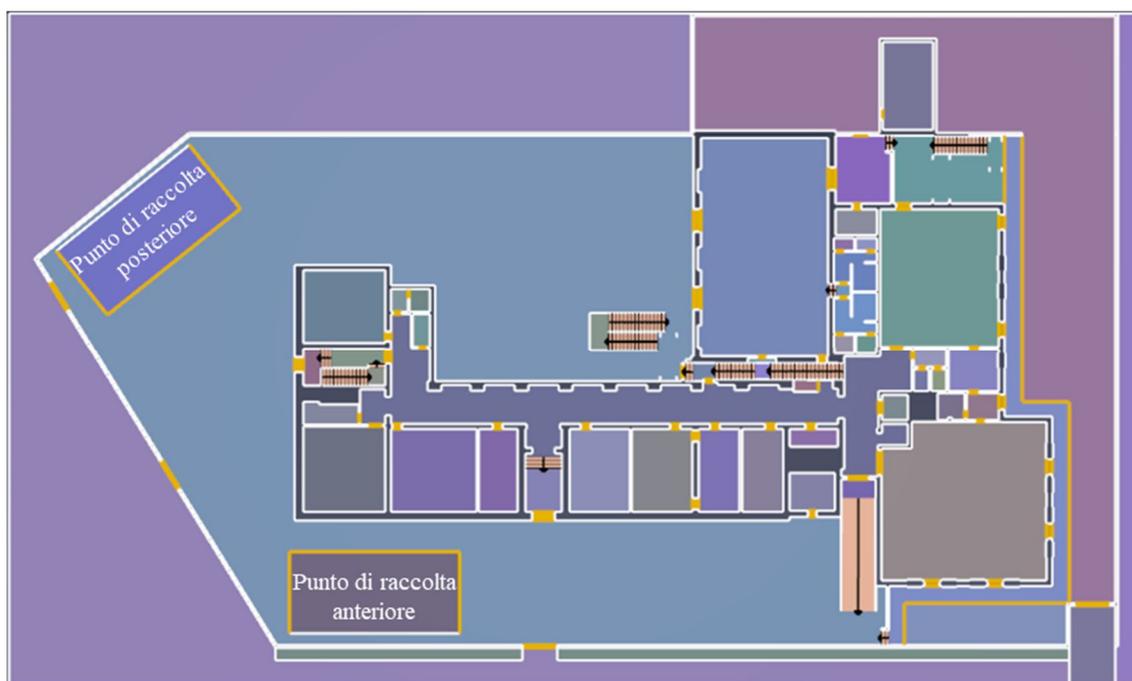


Figura 95 – Localizzazione punti di raccolta

Dal confronto tra le due configurazioni non vi sono grandi variazioni in termini di fluidità e gestione dei flussi, quanto piuttosto di tempi totali di completamento dell'evacuazione del Piano inferiore. Ne consegue che nelle procedure standard sia da preferire il secondo caso se si vuole garantire un allontanamento più rapido dai pericoli.

Nel seguito verranno proposti i risultati grafici di simulazione di esodo: gli occupanti vengono visualizzati con la forma schematica cilindrica o poligonale e con colori diversi che permettono di individuare facilmente i diversi profili e i gruppi.

Dalla sequenza di immagini nei vari scenari si nota: la configurazione iniziale all'interno di ogni aula e nei corridoi; il successivo raggruppamento; l'uscita degli alunni con disabilità (con procedure diversificate per tipologia e Piano di riferimento); l'esodo delle classi secondo il principio di arresto-precedenza; l'evacuazione di utenti esterni e personale senza mansioni specifiche; il raggiungimento dei punti di raccolta; l'arrivo delle squadre di V.V.F. che offrono assistenza, effettuano la ricognizione dei locali e si occupano dell'incendio.

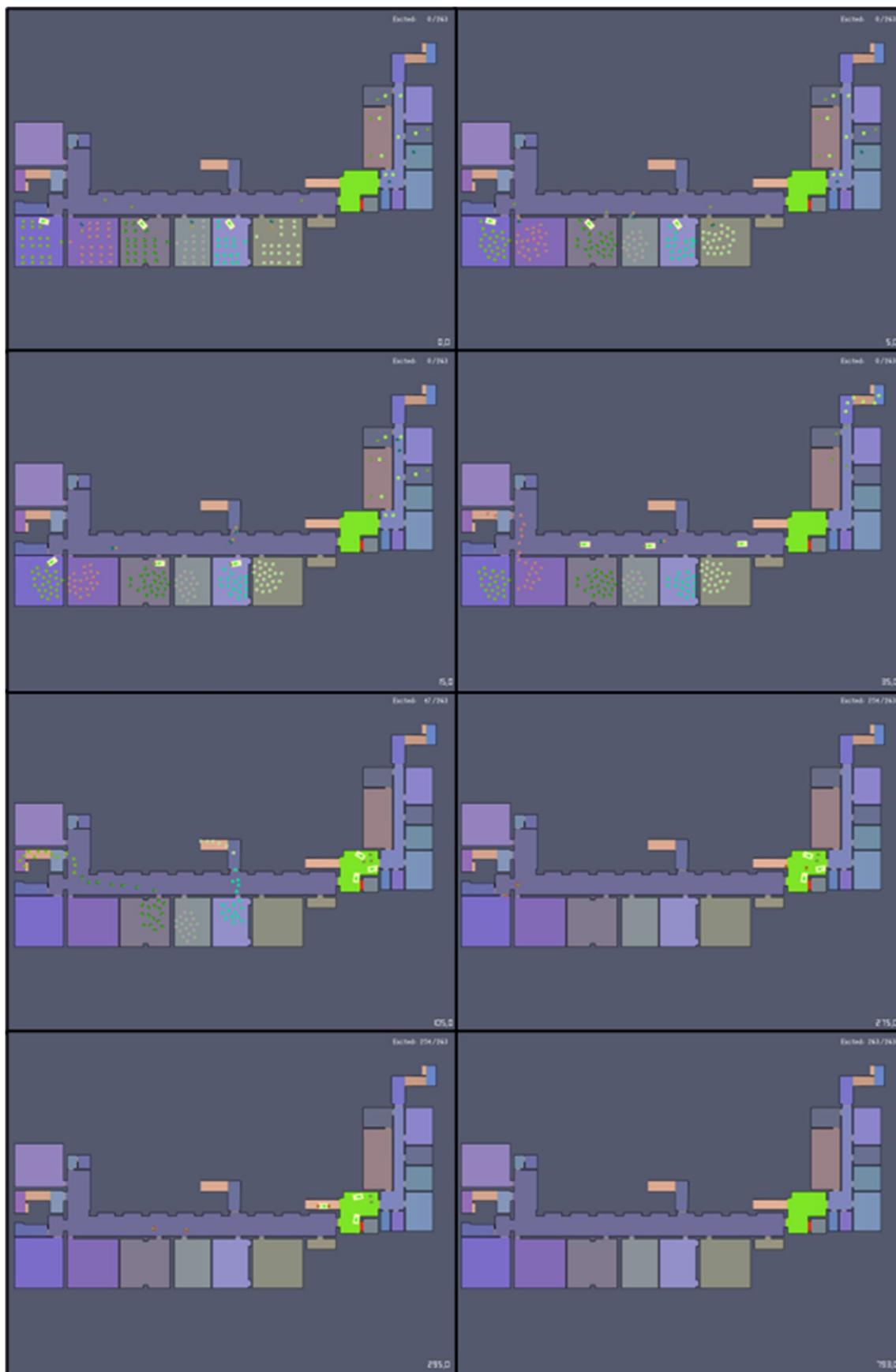


Figura 96 – Evacuazione principale del Piano primo: Configurazioni 1-2

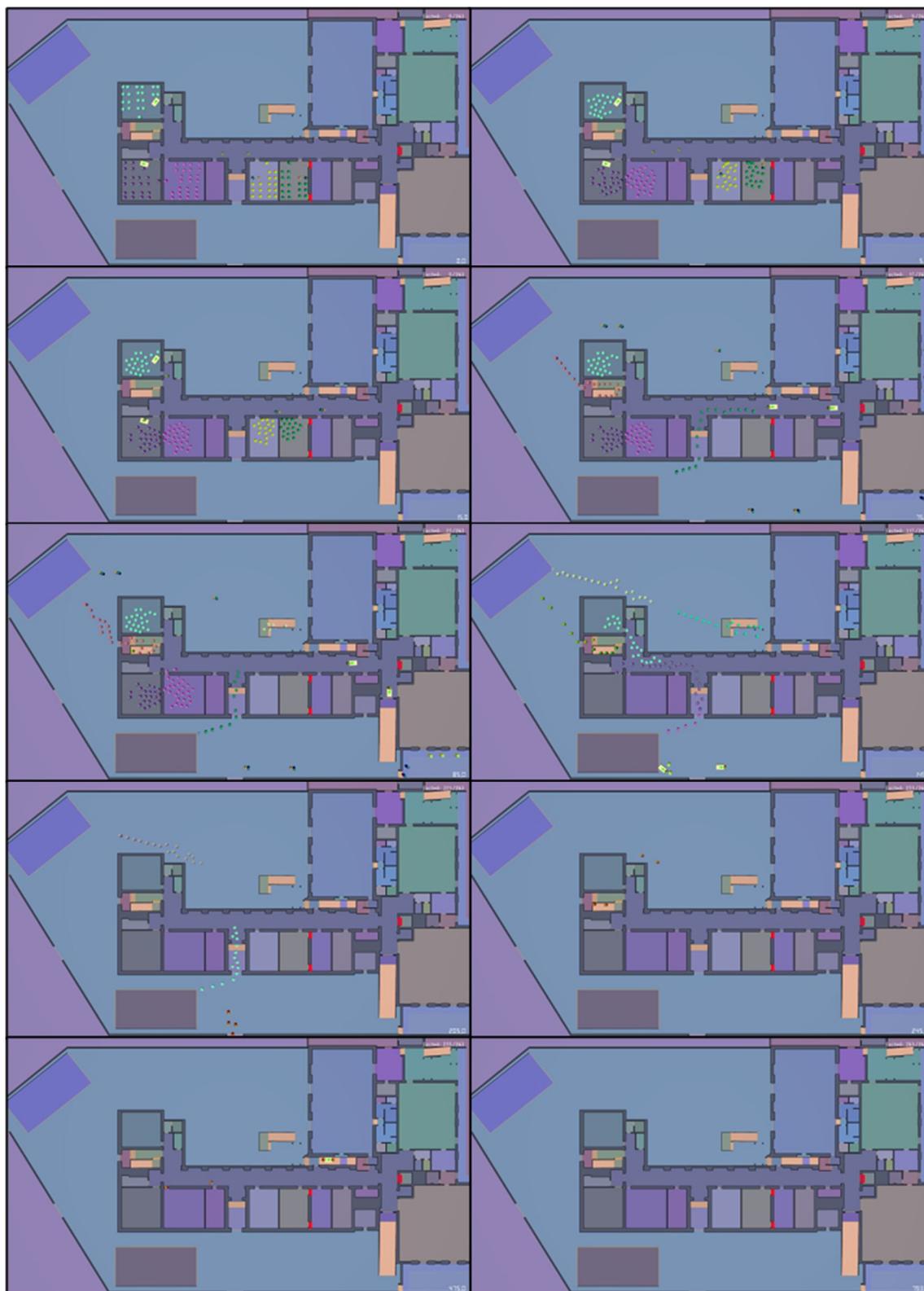


Figura 97 – Evacuazione base del Piano rialzato: Configurazione 1 verso l'ingresso principale

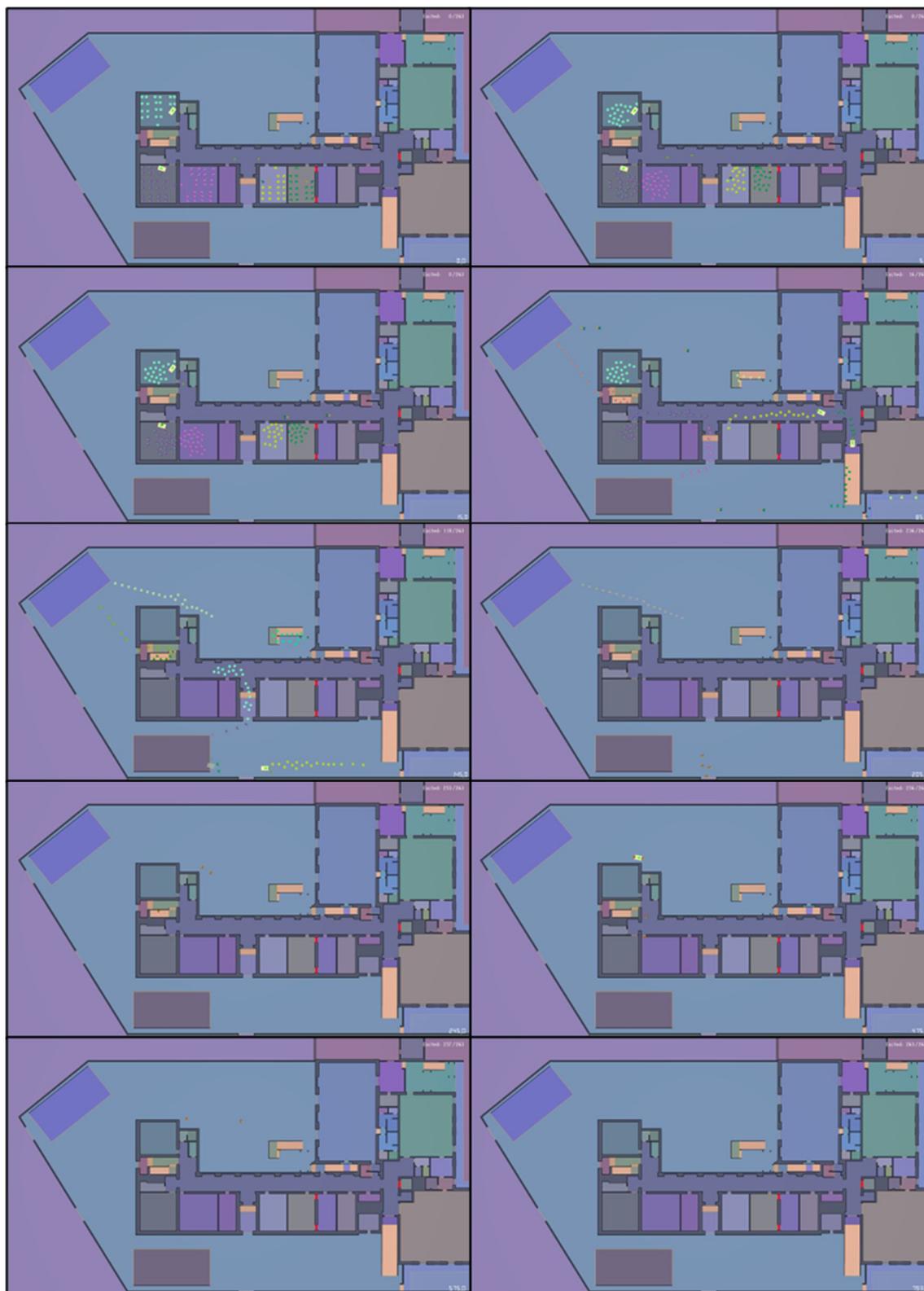


Figura 98 – Evacuazione base del Piano rialzato: Configurazione 2 verso l'ingresso principale e la rampa

5.3.3. Simulazioni di esodo con incendio in corso: criticità e proposte

Sulla base delle risultanze delle analisi precedenti è stata verificata l'efficacia e l'idoneità delle procedure nella gestione dei flussi, sovrapponendo i dati dei cinque scenari di incendio alla seconda configurazione del piano principale. In questo modo è stato possibile individuare zone con condizioni incapacitanti per gli occupanti (soprattutto per i soggetti più vulnerabili) e vie d'esodo interdette dalla diffusione degli effluenti dei focolari.

Nel seguito sono state aggiornate e migliorate le procedure del piano base per adeguare gli itinerari comportamentali delle classi alle necessità create dalle incombenze delle situazioni di emergenza simulate. Per verificarne l'efficacia sono state confrontate le nuove disposizioni con gli scenari di riferimento e quando le modifiche alle procedure si sono rivelate insufficienti per risolvere le criticità o migliorare le condizioni di sicurezza, sono state proposte variazioni nell'assetto strutturale e gestionale dell'istituto.

È stato quindi formulato un nuovo approccio metodologico con cui superare i limiti della progettazione classica dei piani di evacuazione che male si adatta alle tipologie di incendi e alla possibilità che i focolari siano diversamente collocati nell'edificio. Usufruento dei moderni strumenti di simulazione, è stato possibile individuare le criticità delle procedure di evacuazione in relazione agli scenari di incendio e quindi ottimizzare il piano con l'utilizzo dell'approccio prestazionale, oggi non previsto nella normale pianificazione dell'emergenza e dell'esodo. Questo dimostra come la conformità normativa e il rispetto dei requisiti minimi non siano sempre sufficienti a raggiungere un livello di sicurezza adeguato: con l'approccio tradizionale non si considerano una serie di situazioni e pericoli che invece potrebbero emergere sin dalle prime fasi di progettazione ed aiutare i tecnici a selezionare soluzioni utili nella redazione di piani efficaci, flessibili, sicuri ed inclusivi.

Nel seguito verranno quindi presentati gli scenari di esodo con gli incendi in corso, evidenziate le criticità attraverso *Slices* ed *Isosurfaces* di interesse e proposti itinerari alternativi delle classi che con le procedure standard sarebbero costrette ad attraversare zone a rischio in cui rimarrebbero esposte agli effetti dell'incendio.

Scenario 1

Nel primo scenario vengono sovrapposte le procedure di esodo del piano principale con la simulazione di incendio relativa al focolare generato dalla fotocopiatrice situata nel corridoio del primo Piano. Le figure successive mostrano le *Isosurfaces* e le *Slices* di visibilità relative a queste simulazioni: le prime illustrano la condizione di visibilità (per la soglia di 10 m) in un istante intermedio dell'evacuazione e al termine della stessa, le seconde l'andamento dello stesso parametro in momenti significativi dell'esodo. Emerge una situazione in cui il Piano rialzato non viene interessato dagli effluenti della combustione, mentre il primo Piano risulta compromesso a causa della diffusione dei fumi in tutto il corridoio, nei locali destinati ai servizi igienici e in alcune aule.

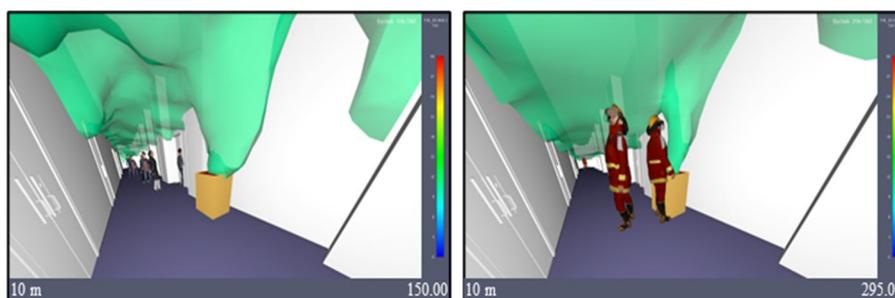


Figura 99 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 1: Piano primo – *Isosurfaces* di visibilità



Figura 100 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 1: Piano primo – Slices di visibilità

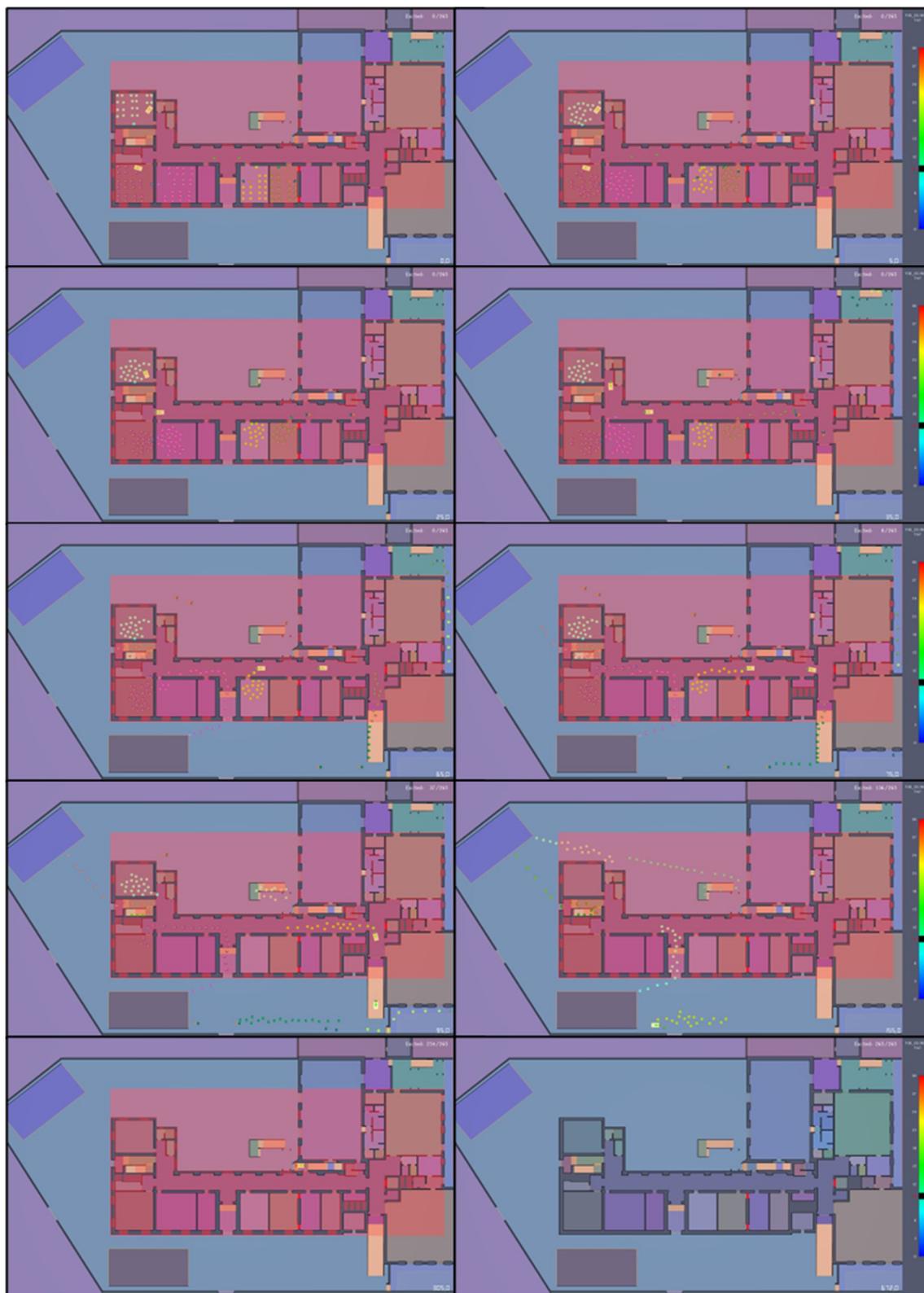


Figura 101 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 1: Piano rialzato – *Slices* di visibilità

Dalle analisi effettuate si è scelto di mantenere inalterate le procedure per le classi della primaria situate al Piano rialzato. Al contrario per la secondaria sarebbe preferibile che le classi di fronte al focolare (1B e 3B) siano le prime ad uscire dalle proprie aule per evitare di rimanere bloccate dalle fiamme e dal fumo denso nel corridoio. La situazione è analoga per la terza classe da destra (3A) la quale, se non riuscisse ad evacuare rapidamente, dovrebbe usufruire del vano scala interno piuttosto che di quello esterno, prossimo al focolare. Al contempo è stata riscontrata una criticità rilevante relativa al posizionamento della sorgente di innesco rispetto allo spazio calmo: sin dai primi istanti di simulazione accade che gli occupanti con disabilità motoria siano costretti ad attraversare l'area interessata dall'incendio per raggiungere il luogo in cui attendere i soccorsi. Questa problematica, non essendo risolvibile con procedure diverse di evacuazione che permettano ugualmente agli occupanti di permanere in uno spazio dedicato e sicuro prima di ricevere assistenza, apre la strada al tema dell'inclusività e dell'urgenza di interventi migliorativi negli edifici scolastici: si potrebbe ad esempio pensare alla predisposizione di più spazi calmi dislocati nell'edificio ed usufruibili in qualsiasi condizione di incendio (nonostante questa prescrizione non sia esplicitamente presente nel Codice).

La situazione critica che ne emerge dimostra che la progettazione prestazionale e in generale l'utilizzo simulazioni, risultano strumenti validi per individuare e risolvere problematiche non altrimenti riscontrabili con l'approccio tradizionale alla pianificazione dell'esodo.

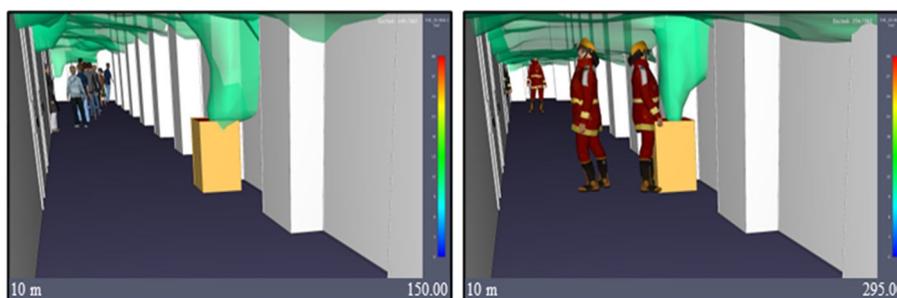


Figura 102 – Configurazione 2 - Scenario 1: Piano primo – *Isosurfaces* di visibilità, piano modificato

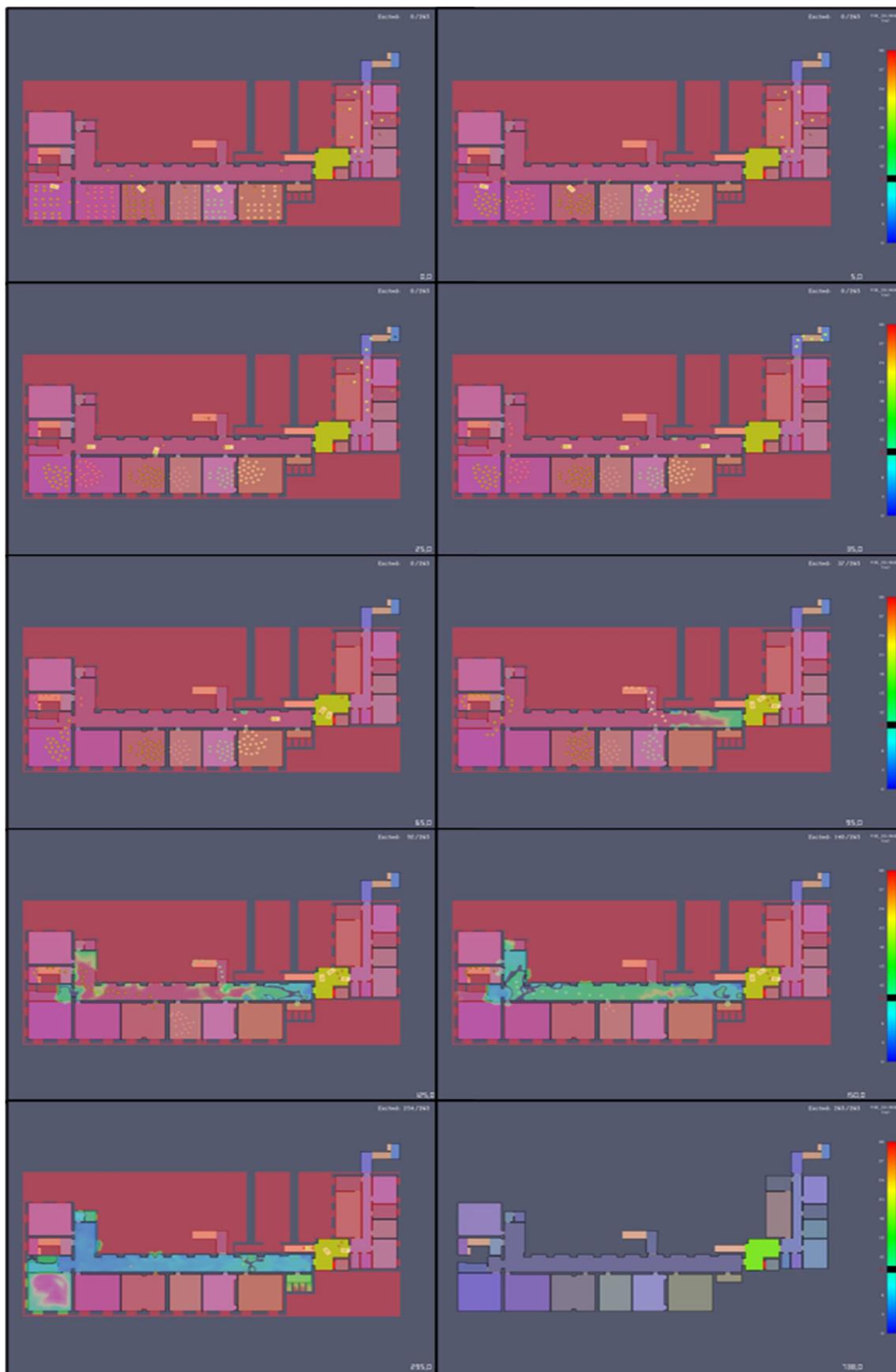


Figura 103 – Modifiche configurazione 2 - Scenario 1: Piano primo – Slices di visibilità

Scenario 2

Nel secondo scenario vengono sovrapposte le procedure di esodo del piano principale con la simulazione di incendio relativa al focolare generato dal PC collocato all'interno dell'aula multimediale al Piano primo. Le figure successive sono analoghe a quelle dello scenario precedente: emerge una situazione in cui l'incendio non genera interferenze con le procedure di esodo ad entrambi i Piani della scuola in quanto gli effetti della combustione rimangono confinati al locale di primo innesco per diffondersi nel corridoio soltanto a simulazione avanzata, ossia quando tutto l'edificio è stato evacuato. Per questo si è ritenuto non necessario prevedere variazioni nel piano di evacuazione.

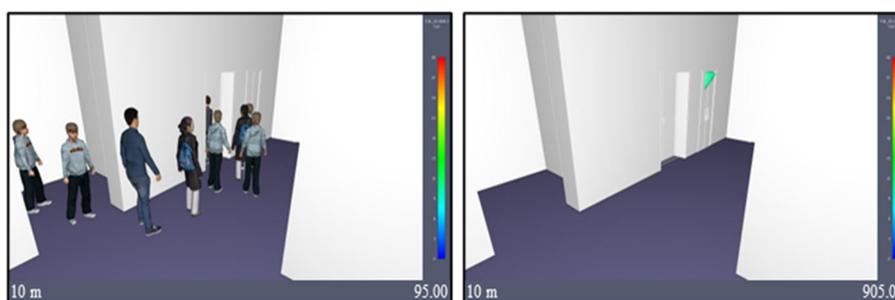


Figura 104 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 2: Piano primo – *Isosurfaces* di visibilità



Figura 105 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 2: Piano primo – Slices di visibilità

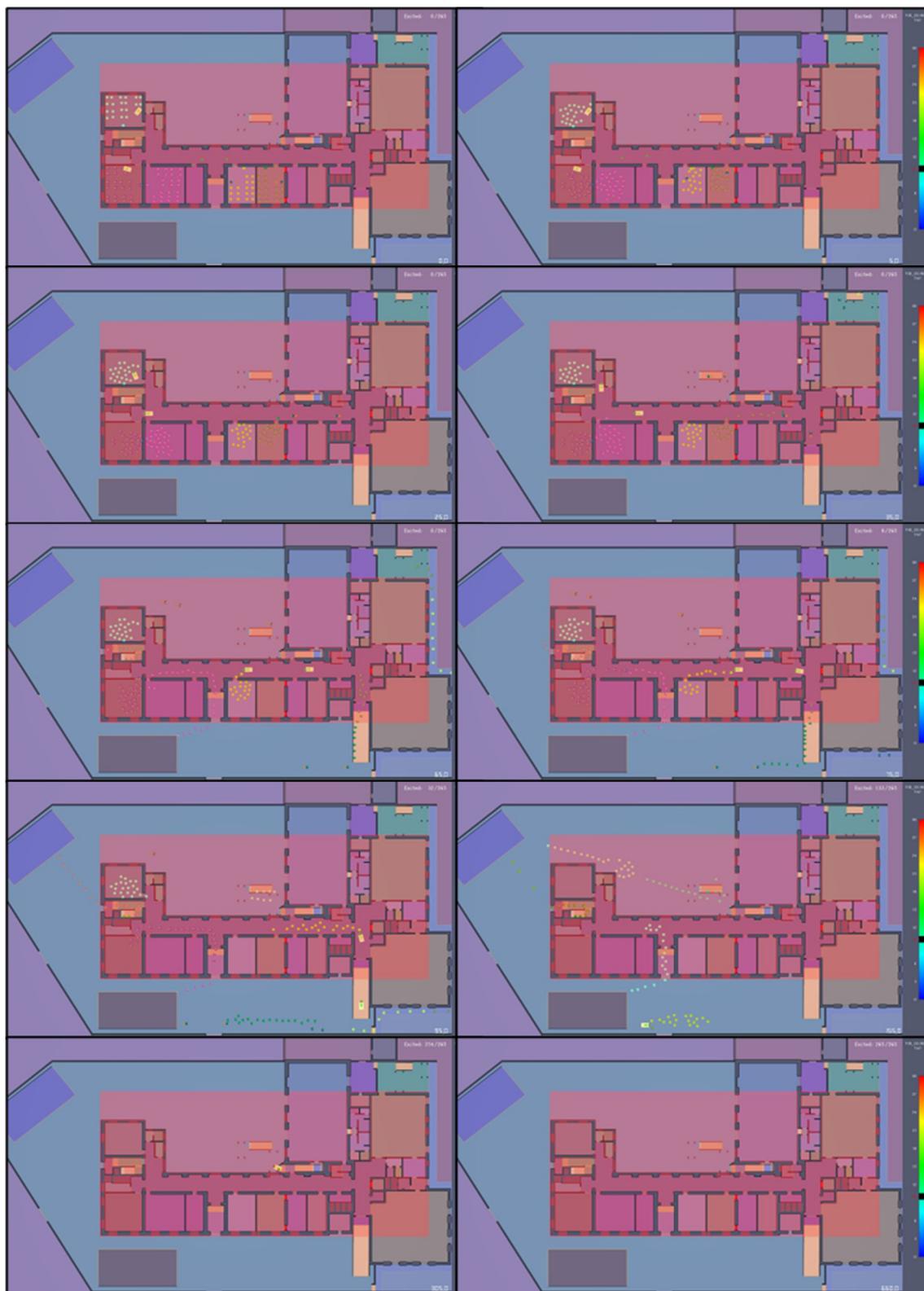


Figura 106 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 2: Piano rialzato – Slices di visibilità

Scenario 3

Nel terzo scenario si sovrappongono le procedure di esodo del piano principale con la simulazione di incendio relativa al focolare generato dalla fotocopiatrice sul lato sinistro del corridoio al Piano rialzato. Le figure successive illustrano l'andamento del parametro visibilità nel corso dell'evacuazione (le *Isosurfaces* nell'istante intermedio e finale, le *Slices* per tutta la simulazione): l'incendio non genera problemi al Piano superiore, ma interferisce pesantemente con le procedure di evacuazione del Piano rialzato. I prodotti della combustione infatti si diffondono molto rapidamente in tutto il corridoio e arrivano a stratificarsi in corrispondenza del vano scale interno nei pressi della palestra, nelle zone di distribuzione prive di aperture e all'interno dell'aula all'estrema sinistra.

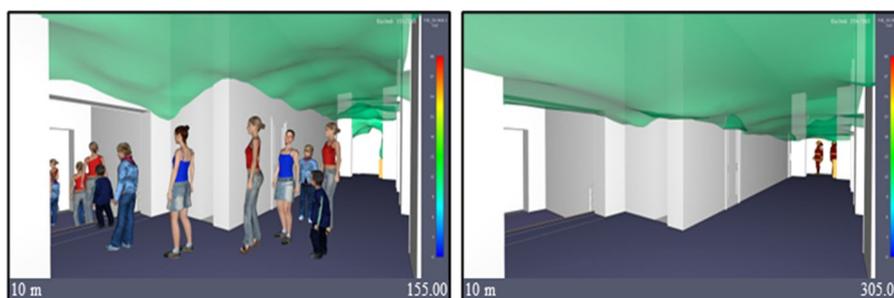


Figura 107 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 3: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità

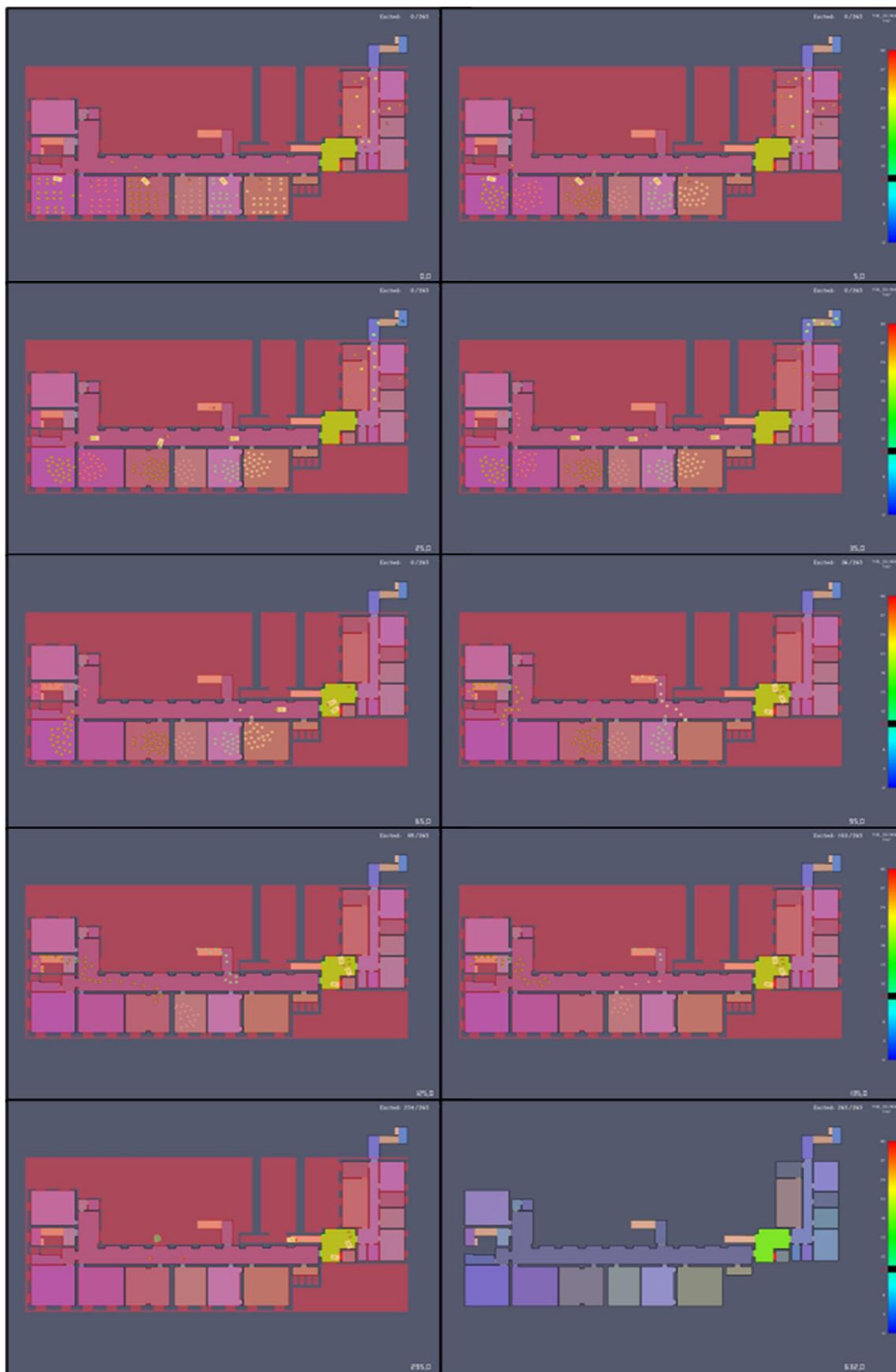


Figura 108 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 3: Piano primo – Slices di visibilità

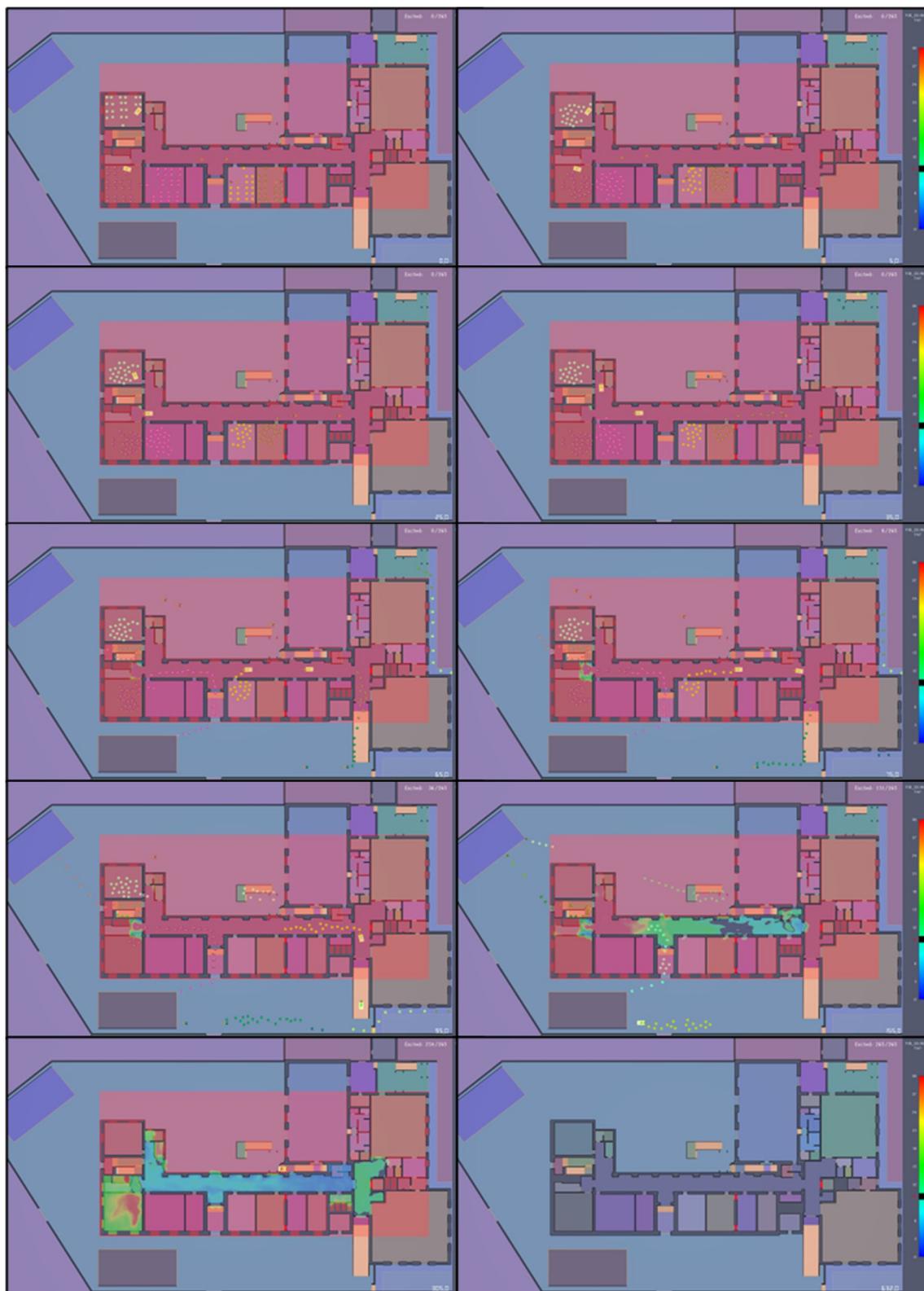


Figura 109 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 3: Piano rialzato – Slices di visibilità

Per quanto analizzato nelle figure precedenti, si è scelto di mantenere inalterate le procedure per gli utenti del Piano superiore e di modificare quelle relative al Piano rialzato. Per le classi della primaria sono state immaginate due ipotesi alternative di gestione: nella prima, la classe sulla sinistra (2A) situata esattamente di fronte al focolare, dovrebbe essere necessariamente la prima ad imboccare il corridoio per evitare di rimanere bloccata; nella seconda si potrebbe prevedere il confinamento invece dell'evacuazione, ossia che il gruppo rimanga in aula e attenda i soccorsi che prestano assistenza accedendo dalle finestre del Piano rialzato.

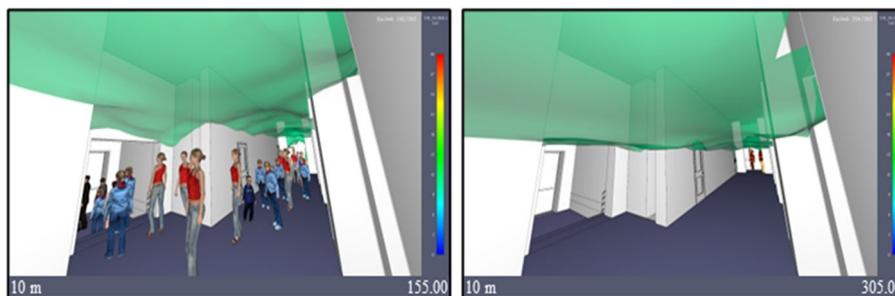


Figura 110 – Configurazione 2 - Scenario 3: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità, piano modificato. Ip. 1

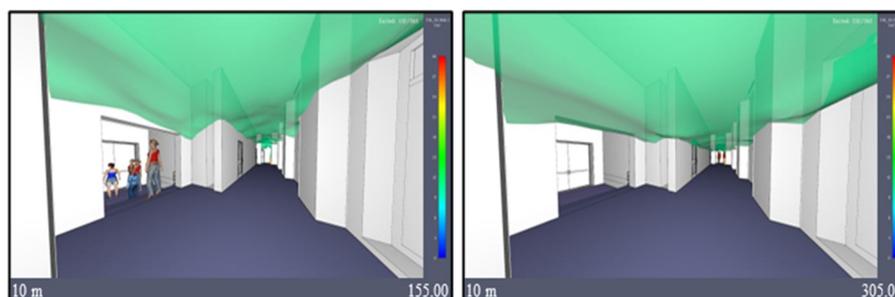


Figura 111 – Configurazione 2 - Scenario 3: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità, piano modificato. Ip. 2

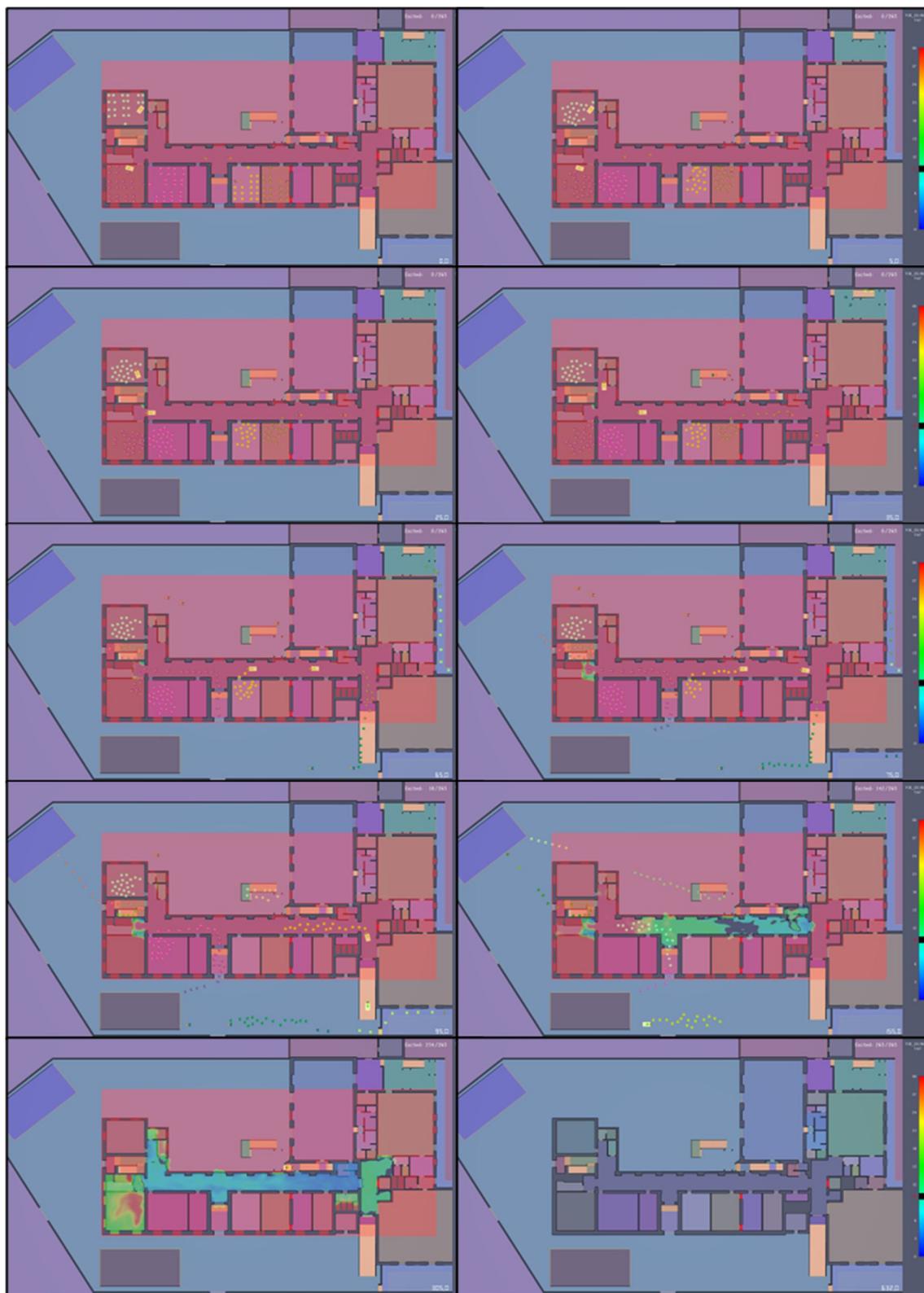


Figura 112 – Modifiche configurazione 2 - Scenario 3: Piano rialzato – Slices di visibilità. Ipotesi 1

Scenario 4

Il quarto scenario mostra la sovrapposizione dei risultati relativi alle procedure di evacuazione base con il focolare generato dal distributore automatico al Piano rialzato. Come nel caso del secondo scenario, le *Isosurfaces* e le *Slices* di visibilità illustrano una situazione non eccessivamente critica da gestire: il Piano superiore non viene interessato dagli effetti dell'incendio mentre quello inferiore risente delle contaminazioni provocate dai fumi soltanto in tempi avanzati della simulazione, quindi ad evacuazione terminata. Le uniche criticità potrebbero essere rappresentate dalla direzione intrapresa dalle due classi sulla destra e dagli occupanti con disabilità che usufruiscono della rampa nelle vicinanze della zona compromessa ma, come detto, gli effluenti si diffondono in tempi successivi al passaggio delle persone in fuga. Per questi motivi non sono state previste variazioni nel piano di evacuazione.

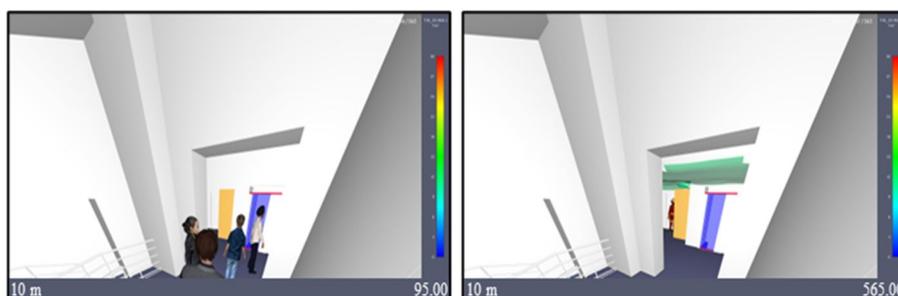


Figura 114– Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 4: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità

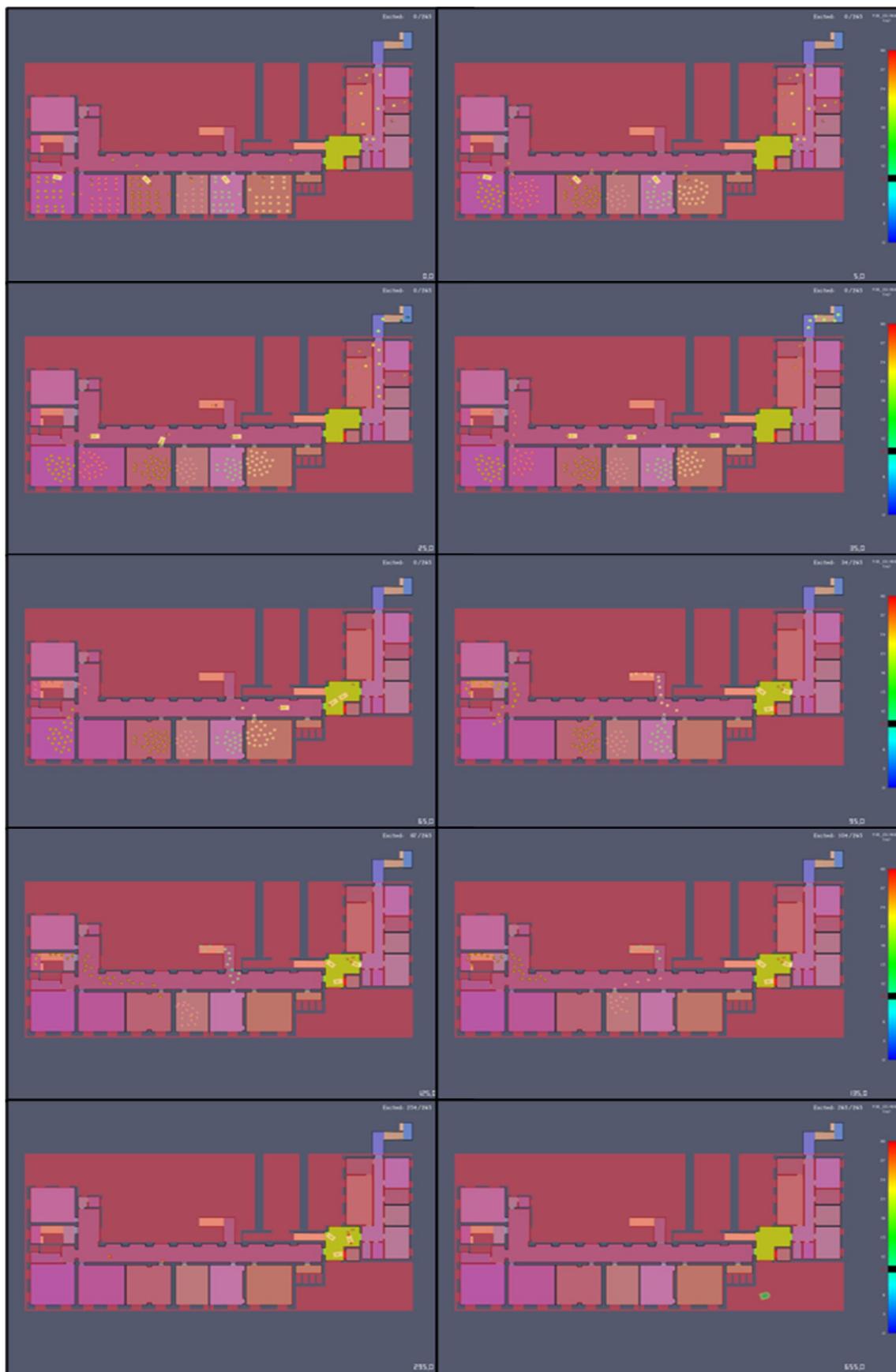


Figura 115– Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 4: Piano primo – Slices di visibilità

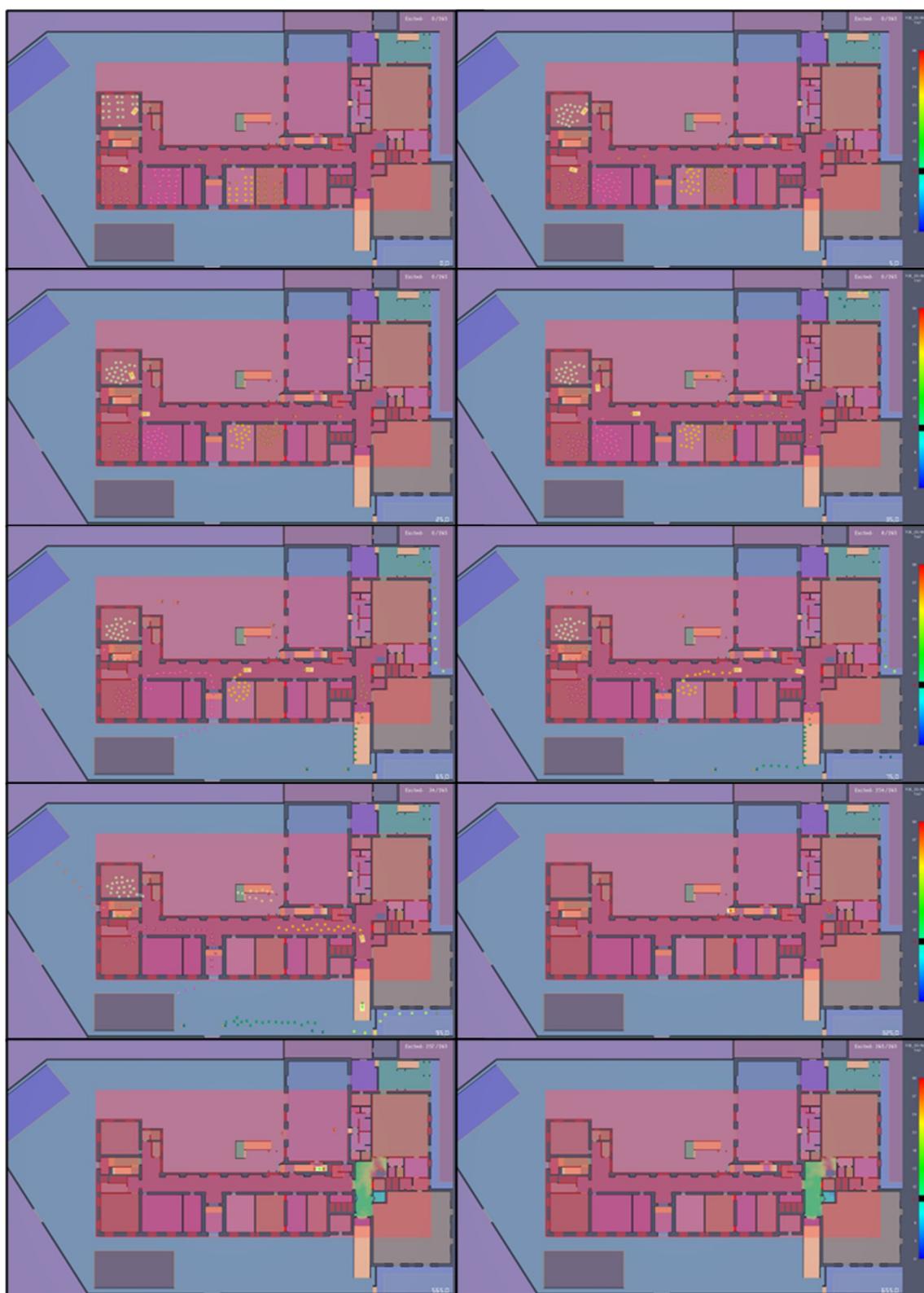


Figura 116 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 4: Piano rialzato – *Slices* di visibilità

Scenario 5

Nel quinto scenario vengono sovrapposte la simulazione di esodo relativa all'evacuazione di base e quella di incendio provocata dall'innescò della fotocopiatrice nel mezzo del corridoio del Piano rialzato. Gli strumenti di indagine del parametro visibilità, dimostrano che il Piano superiore rimane libero da qualsiasi contaminazione, mentre quello inferiore è interessato dagli effetti dell'incendio nel corso dell'intera simulazione: i fumi infatti riducono la visibilità in tutto il corridoio e si diffondono anche nelle aule e nei servizi igienici stratificandosi soprattutto in corrispondenza dalla scala interna vicina alla palestra e nella zona cieca sulla sinistra.

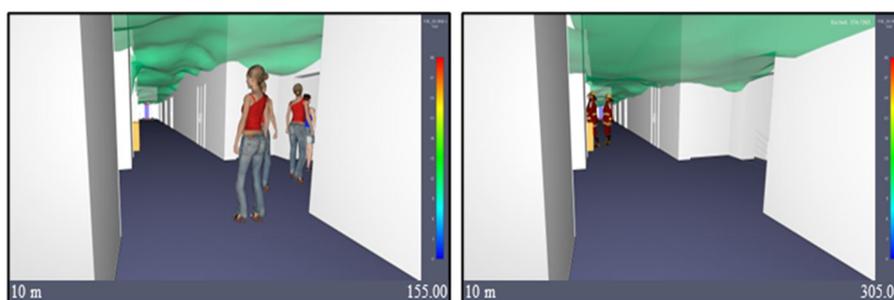


Figura 117 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 5: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità

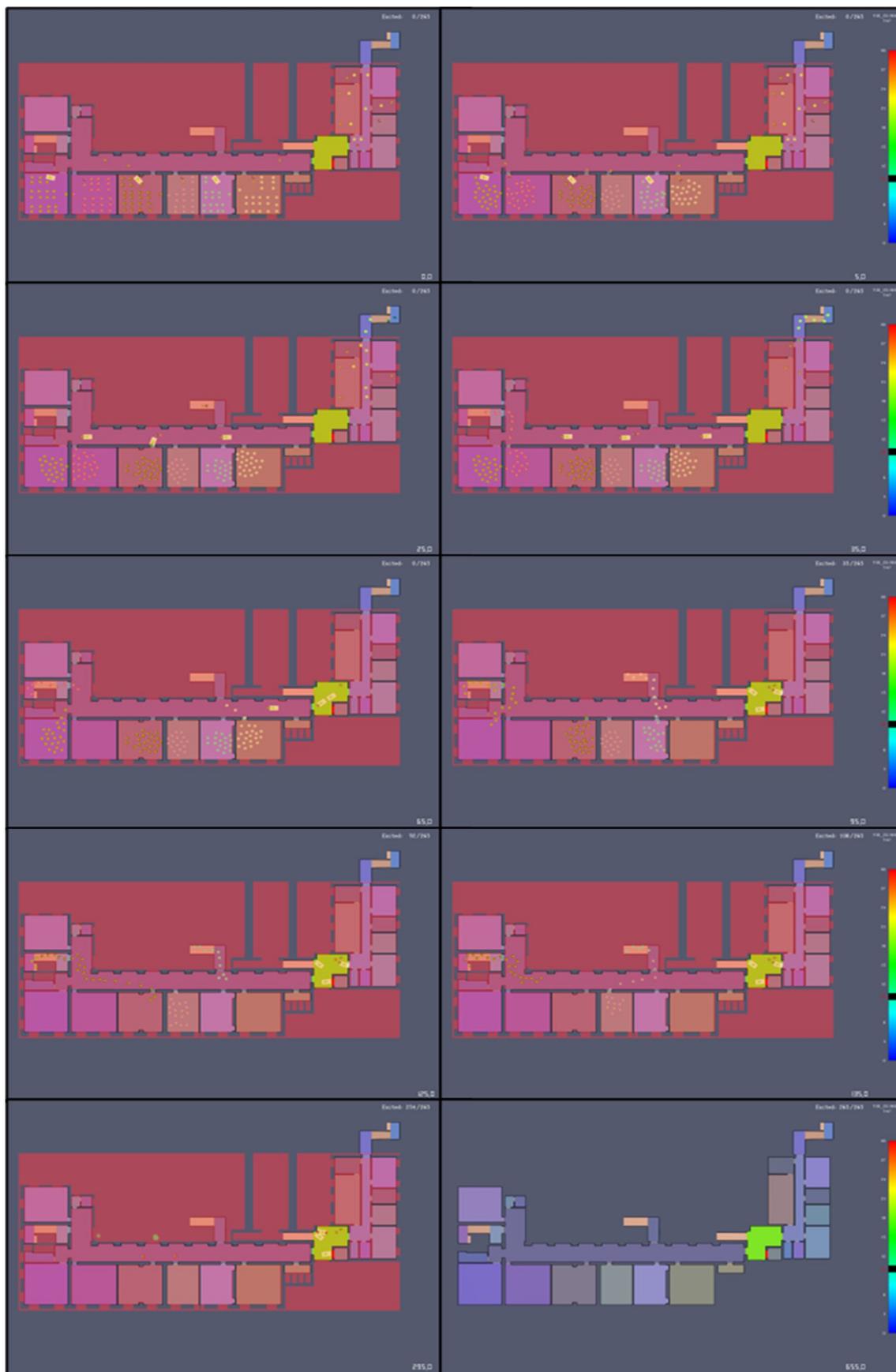


Figura 118 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 5: Piano primo – Slices di visibilità

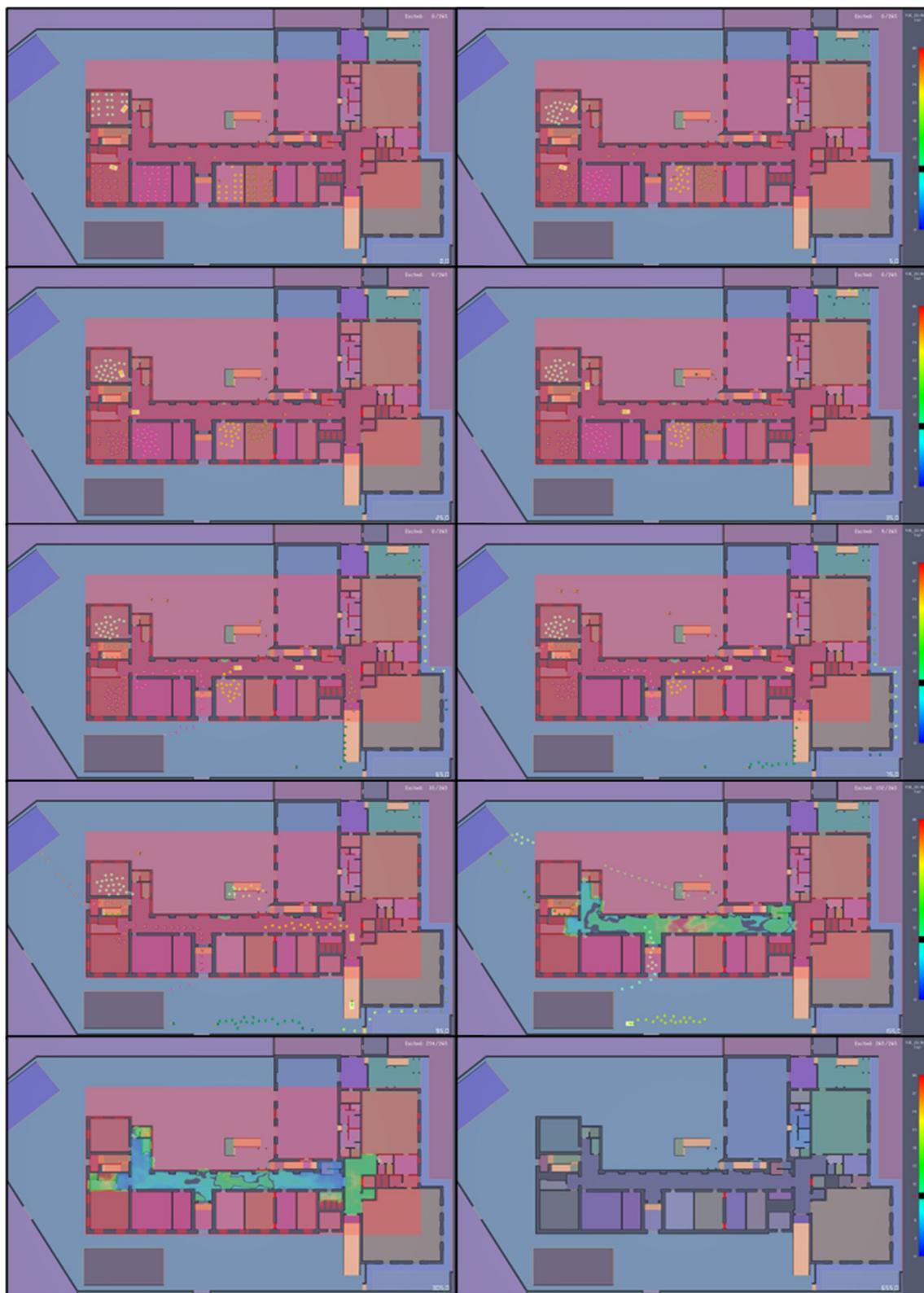


Figura 119 – Sovrapposizione configurazione 2 - Scenario 5: Piano rialzato – Slices di visibilità

Per quanto emerso dalle indagini precedenti, le procedure delle classi della secondaria possono rimanere inalterate mentre per la primaria sarebbe opportuno che la seconda classe da sinistra (4A), collocata esattamente di fronte al focolare, sia la prima ad uscire dirigendosi verso il più vicino ingresso principale. Nel caso l'evacuazione di questo gruppo fosse ritardata per qualsiasi motivo, si potrebbe pensare di farlo rimanere in aula (come nel caso dello Scenario 3) per attendere i soccorsi che sopraggiungono dalle finestre invece di esporlo ai rischi delle fiamme e del fumo denso nei corridoi. Lo stesso vale per le classi all'estrema sinistra: essendo le ultime ad uscire dalle proprie aule, attraversano zone occupate dai fumi che oltre a creare condizioni incapacitanti, possono generare panico.

Nella configurazione analizzata, come per lo Scenario 4, è stata riscontrata la problematica relativa all'esodo degli occupanti con disabilità che attraversano la zona direttamente interessata dall'incendio per raggiungere il luogo sicuro, usufruendo della rampa. Sarebbe quindi necessario prevedere delle modifiche nell'assetto dell'istituto attraverso la realizzazione di un altro percorso completamente accessibile oppure prevedere anche per il Piano rialzato la realizzazione di uno o più spazi calmi in cui attendere i soccorsi in sicurezza nel caso di vie di esodo indisponibili. Ad esempio si potrebbe pensare di compartimentare la stessa aula di sostegno sul lato sinistro del corridoio al fine di trasformarla in luogo di attesa sicuro. Nella stessa è molto probabile che siano già presenti utenti che necessitano di assistenza e che quindi debbano semplicemente restare in aula con il proprio insegnante invece di spostarsi per raggiungere il punto di raccolta esterno.

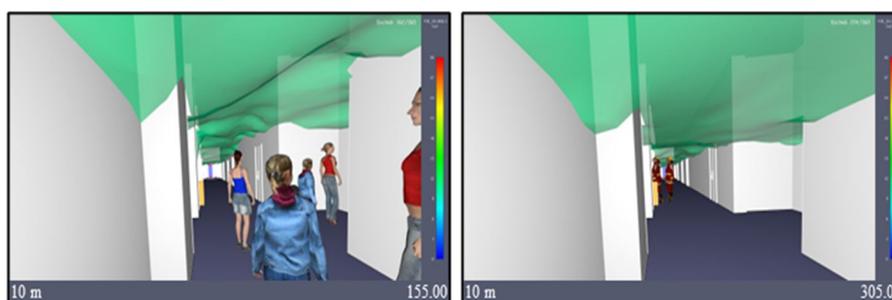


Figura 120 – Configurazione 2 - Scenario 5: Piano rialzato – *Isosurfaces* di visibilità, piano modificato

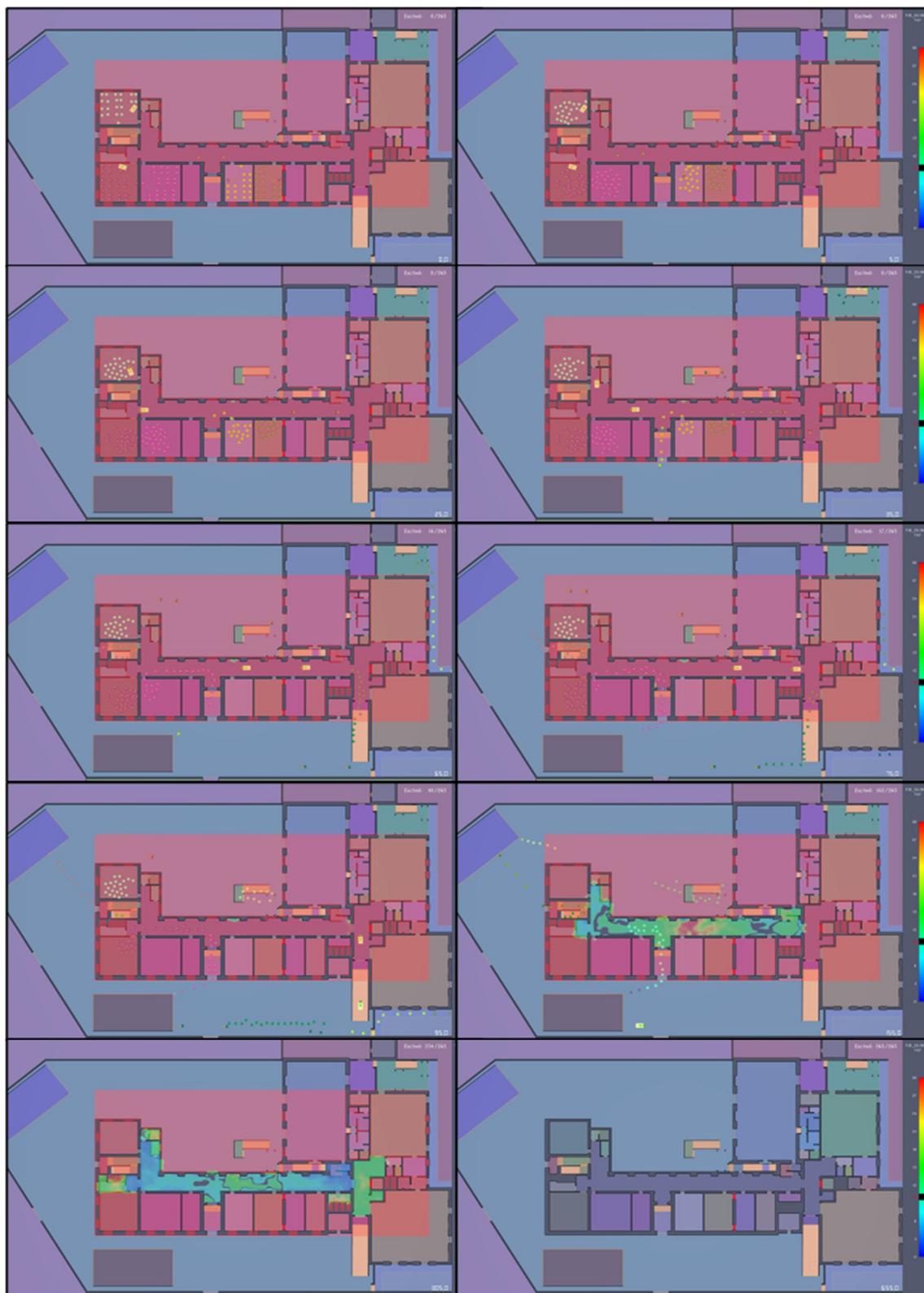


Figura 121 – Modifiche configurazione 2 - Scenario 5: Piano rialzato – Slices di visibilità

Presentati i risultati e proposte soluzioni alternative e migliorative, si può concludere che le situazioni più critiche sono certamente rappresentate dagli inneschi lungo i corridoi di distribuzione piuttosto che da quelli confinati in locali con specifica destinazione, sia per la diffusione degli effluenti dell'incendio (per rapidità e distribuzione spaziale) che per il notevole incremento dei rischi per le aule immediatamente antistanti la sorgente. Scenari simili provocano interferenze importanti con le procedure di evacuazione e generano situazioni critiche per lo spostamento delle persone con disabilità verso luogo sicuro: ad entrambi i Piani, infatti, è stato riscontrato che gli occupanti sono costretti a muoversi in zone prossime alle fiamme per raggiungere lo spazio calmo o la rampa. Questo dimostra che sarebbero necessari aggiornamenti e migliorie nell'assetto strutturale e gestionale dell'istituto, ad esempio attraverso la predisposizione di più spazi calmi e di più vie di accesso e fuga dotate di dispositivi e sistemi totalmente inclusivi. Tali accorgimenti e soluzioni, insieme a misure gestionali specifiche, potrebbero rivelarsi soluzioni efficaci per fronteggiare gli scenari di incendio nelle possibili casistiche di localizzazione della sorgente in un istituto scolastico.

Parallelamente si può evidenziare un aspetto "positivo" relativo alla presenza di focolari nei corridoi: una simile collocazione, rispetto al caso di locali non presidiati o con presenza non continuativa, permette al personale ATA (con postazioni solitamente nelle zone di distribuzione), di rilevare precocemente un principio di incendio ed intervenire di conseguenza per non innescare l'evacuazione dell'intero edificio.

Il secondo aspetto importante della trattazione è legato ai vantaggiosi utilizzi delle simulazioni virtuali: il sistema d'esodo delle scuole, apparentemente semplice perché gli alunni seguono le indicazioni degli insegnanti, in realtà è complesso proprio per la gerarchizzazione di ruoli e responsabilità. È infatti necessario che gli occupanti con "posizione superiore" compiano scelte ragionate che non compromettano la vita della collettività e perché questo sia possibile, è necessario attivare idonee campagne di formazione. È il caso ad esempio degli insegnanti che devono guidare la classe verso i punti di raccolta designati e che quindi, oltre a conoscere le procedure di evacuazione e le vie d'esodo, devono prendere decisioni quasi istantanee quando un percorso è ostruito o indisponibile. Per sviluppare tali capacità, acquisire consapevolezza e al contempo ridurre i rischi legati all'insorgenza di situazioni critiche, è opportuno che la formazione del personale preveda la presentazione degli scenari possibili e delle relative soluzioni. Gli alunni devono sviluppare le stesse abilità per sentirsi sicuri e il punto di partenza è la promozione della cultura della sicurezza.

6. Conclusioni

Giunti al termine delle analisi effettuate, è certamente utile riassumere i risultati ottenuti per valutare il perseguimento degli obiettivi e la possibilità di individuare eventuali sviluppi futuri della ricerca.

Il contributo, nato con l'obiettivo di dimostrare i vantaggi nell'utilizzo delle simulazioni virtuali a supporto della pianificazione dell'emergenza nelle attività scolastiche, tramite indagini sulle modalità con cui istituire modelli comportamentali efficaci e ripetibili per la gestione delle situazioni critiche, ha contemplato la possibilità di usufruire degli stessi strumenti per formare le persone coinvolte circa l'importanza della cultura della sicurezza.

La scuola è un luogo di lavoro che ha la peculiarità di includere la presenza dei bambini: ha infatti una struttura organizzativa complessa in cui l'istituzione di gerarchie per compiti e responsabilità è fondamentale. È proprio il fatto di essere così articolata e di includere la presenza di persone vulnerabili, che comporta la necessità di pianificare adeguatamente la gestione delle situazioni a rischio per garantire una sicurezza inclusiva. Per farlo è stato necessario documentarsi sul tema del comportamento umano in emergenza e sulle modalità di interazione con l'ambiente e con il pericolo, per poi calare l'argomento in ambito scolastico. Proprio questa fase ha fatto emergere le maggiori criticità del caso, a partire dalla carenza di informazioni: la letteratura di settore si basa sul monitoraggio di prove di evacuazione e su dati derivanti da emergenze reali ed è prevalentemente di origine anglosassone, ancora poco divulgata in Italia. Per questo, pur se le informazioni disponibili (sia qualitative che quantitative) sono certamente attendibili, devono essere utilizzate con cautela valutando quali differenze sociali e culturali rispetto al Paese di origine possano compromettere le valutazioni preliminari alle simulazioni. A ciò si aggiunge la difficoltà dettata dal coinvolgimento dei bambini: sono ancora pochi gli studi incentrati sul comportamento e sui parametri di movimento dei più piccoli, nonostante siano tra i soggetti più vulnerabili in emergenza.

Se da un lato questo ha rappresentato un ostacolo al raggiungimento degli obiettivi, dall'altro è diventato uno stimolo per proseguire le indagini ed individuare un approccio alla pianificazione che diventasse allo stesso tempo fonte di dati sperimentali con cui arricchire il repertorio disponibile.

Dalle analisi è emerso che gli scenari più critici sono rappresentati da focolari localizzati in zone di distribuzione piuttosto che in locali con specifiche destinazioni: la modalità e la rapidità di propagazione degli effluenti dell'incendio, infatti, creano maggiori interferenze con le procedure di esodo rispetto ad inneschi situati in ambienti chiusi che ne confinano gli

effetti, almeno per i primi minuti in cui si compie l'evacuazione. Il quadro complessivo ha fortunatamente messo in luce anche un aspetto positivo, ossia la maggiore probabilità che focolari di questo tipo siano precocemente rilevati dal personale e che quindi si possa più efficacemente intervenire sul principio di incendio senza necessità di richiedere l'intervento dei soccorsi o innescare l'evacuazione dell'edificio.

Al contempo le casistiche analizzate hanno evidenziato l'urgenza di azioni attive ed immediate sul tema dell'inclusività scolastica: sarebbe opportuno individuare un maggior numero di locali dislocati in punti diversi del Piano da destinare a spazi calmi per evitare che l'utente debba attraversare zone vicine alle fiamme per raggiungere un luogo sicuro in cui attendere i soccorsi; allo stesso tempo sarebbe consigliata la realizzazione di più punti di accesso ed uscita dotati di sistemi per consentire l'esodo in autonomia in qualsiasi scenario. Alla luce di tali valutazioni, i risultati ottenuti possono diventare un ottimo supporto all'elaborazione di piani contenenti procedure inclusive, calibrate per le diverse emergenze e flessibili nel contemplare soluzioni di percorso alternative nel caso di compromissione delle ordinarie vie di esodo. Contemporaneamente rappresentano uno strumento di divulgazione che integra i tradizionali corsi in materia di sicurezza per formare il personale.

Con questa procedura di indagine si è giunti alla formulazione di un metodo operativo di elaborazione dei piani di evacuazione con il supporto delle simulazioni. Le stesse hanno permesso di individuare criticità, ottimizzare procedure di gestione e dimostrare che la semplice conformità normativa ricercata con l'approccio tradizionale alla progettazione dell'esodo, limita l'individuazione delle criticità possibili e non sempre è sufficiente per far emergere i rischi in relazione alla localizzazione del focolare e alla diffusione dei suoi effetti.

In futuro si potrebbe pensare di coinvolgere l'istituto per applicare in prove reali quanto osservato con le simulazioni virtuali per correlarne i risultati. Sarebbe interessante istruire il personale circa gli scenari studiati, mostrando le scelte di percorso alternative in funzione dell'ostruzione delle vie di esodo e poi simularne degli altri da testare in campo senza preventivamente illustrare le soluzioni alle diverse incombenze. Si otterrebbe un set di dati attraverso il quale cogliere le differenze tra i comportamenti adottati e quelli derivanti dalle simulazioni, utile anche come base per aggiornare e validare i modelli digitali esistenti attraverso le nuove evidenze e i recenti riscontri. Inoltre si potrebbe valutare l'efficacia delle innovative modalità di formazione, osservando se le basi di comportamento fornite a partire dai risultati ottenuti, siano o meno sufficienti ad infondere confidenza e prontezza di risposta di fronte alle situazioni inaspettate. Infine, rielaborando gli stessi dati di monitoraggio, si

avrebbe l'opportunità di aggiornare i corsi per il personale attraverso l'illustrazione e la correzione degli errori compiuti nella prova reale rispetto alle aspettative dei modelli.

Il personale diventerebbe più pronto nel prestare supporto e assistenza in emergenza ma anche nella preventiva trasmissione di nozioni. Grazie alla disponibilità di nuovo materiale didattico (immagini di simulazioni confrontate con foto di prove reali, video interattivi da proiettare illustrando le discrepanze tra comportamento adottato ed atteso, utilizzo di applicazioni di Realtà Virtuale con cui immergersi nelle situazioni simulate, ...), si potrebbe arricchire la formazione dei bambini organizzando lezioni partecipate. Il tutto porterebbe alla creazione di corsi mirati per singole classi o fasce di età, alla ricalibrazione delle procedure di emergenza e a miglioramenti nell'assetto dell'edificio.

Ne gioverebbe anche il repertorio culturale e sperimentale disponibile sul tema del comportamento dei bambini in emergenza: informazioni sulle modalità di risposta di fronte agli imprevisti, parametri di movimento diversificati per età, interazione con l'ambiente, i compagni e gli adulti, efficacia di sistemi e dispositivi, verifica dell'idoneità delle procedure.

Volgendo lo sguardo ad un panorama più ampio e facendo affidamento sulla sensibilità dei dirigenti sul tema della sicurezza e della formazione, si potrebbe pensare ad una diffusione capillare del metodo adottato e ovviamente tutti i vantaggi andrebbero a moltiplicarsi fino a realizzare una condizione di robustezza nell'ambito di sperimentazioni e studi di settore, procedure di soccorso e piani di formazione, database e normative. Diventerebbe un metodo ripetibile in grado di rendere il piano di evacuazione uno strumento trasversale, ossia adattabile a tutti gli istituti dei diversi gradi scolastici, ma anche contestualizzabile in funzione degli aspetti peculiari di una certa realtà.

A quel punto l'obiettivo del contributo di Tesi sarebbe raggiunto e addirittura amplificato.

Bibliografia

1. Ministero dell'Interno – *D.M. 3 agosto 2015 Codice di prevenzione incendi, aggiornamento D.M. 24/11/2021*
2. D. Lgs. n. 81 del 09/04/2008, art. 2 – *Testo Unico di salute e sicurezza sul lavoro*
3. Bellina L., Cesco Frare A., Garzi S., Marcolina D. – *Gestione del sistema sicurezza e cultura della prevenzione nella scuola, a. 2013*
4. Carattin E., Zanut S. – *I principi del Wayfinding, l'orientamento in emergenza in Rivista antincendio, a. 2009*
5. Cosi F., Vancetti R., Cereda E. – *La Realtà Virtuale: un nuovo strumento a servizio della progettazione con la Fire Safety Engineering in Rivista antincendio, a.2019*
6. Fahy R. F., Proulx G., Aiman L. – *"Panic" and human behaviour in fire, a. 2009*
7. Fortunati L., Farinosi M., Sarrico M., Ferrin G., Minisini D., Zanut S. – *In caso di emergenza: Strategie di comunicazione per la riduzione del rischio a 40 anni dal terremoto del Friuli, a. 2018*
8. Hamilton G. N., Lennona P. F., O'Raw J. – *Human behaviour during evacuation of primary schools: Investigations on pre-evacuation times, movement on stairways and movement on the horizontal plane, a. 2017*
9. Hofinger G., Kuenzer L., Zinke R. – *Human factors in evacuation simulation, planning and guidance, a. 2014*
10. Lárusdóttir A. R. – *Evacuation of Children: Focusing on daycare centers and elementary schools, a. 2014*
11. Luraschi F., Luraschi D. – *La cultura della sicurezza nelle scuole in Rivista antincendio, a. 2019*
12. Minisini D., Grimaz S., McConnel N., Tatano V., Zanut S. – *L'esperienza di una evacuazione non preannunciata durante una rappresentazione teatrale destinata a bambini delle scuole primarie, a. 2016*
13. Najmanová H., Ronchi E. – *An experimental data set on pre-school children evacuation, a. 2017*
14. Parisi G. – *Le scuole in Rivista Antincendio, a. 2013*
15. Pollari I. – *Indirizzi per la gestione delle emergenze negli edifici scolastici in Rivista antincendio, a. 2009*
16. Pollari I. – *Scuole materne e asili: Miniguia alla sicurezza in Rivista antincendio, a. 2010*
17. Proulx G., Laroche C., Pineau J. – *Methodology for evacuation drill studies, a. 1996*

18. Romano G., Schiavone E., Zanut S. – *Aspetti connessi con la disabilità nella gestione di situazioni di emergenza*, a. 2016
19. Shuqi Xue, Xiaomeng Shi, Nirajan Shiwakoti – *Would walking hand-in-hand increase the traffic efficiency of children pedestrian flow?*, a. 2021
20. Vancetti R., Cereda E. – *La pianificazione dell'esodo nell'edilizia scolastica: l'utilizzo degli strumenti dell'ingegneria antincendio per il miglioramento dei piani di evacuazione in Rivista antincendio*, a. 2021
21. Zanut S. – *Scuole a prova di incendio anche per i disabili in Rivista antincendio*, a. 2006
22. Zanut S. – *Simulare le situazioni critiche per imparare ad affrontare e difendersi dai rischi in Rivista antincendio*, a. 2014
23. Zanut S. – *Così si elaborano i piani di emergenza inclusivi negli ambiti museali in Rivista antincendio*, a.2016
24. Zanut S., Ronchi E., Cosi F. – *“Fuori tutti, c'è un incendio a scuola” ...ma è solo una simulazione virtuale in Rivista antincendio*, a. 2017
25. Zanut S. – *Beni culturali, accessibilità e sicurezza: la scommessa della progettazione inclusiva in Rivista Antincendio*, a. 2019
26. Di Claudio A. – *FSE: La gestione delle emergenze nell'edilizia scolastica*, a. 2019-2020
27. Direzione Centrale per la Prevenzione e sicurezza tecnica del Dipartimento dei Vigili del Fuoco – *Statistica degli incendi di grande rilevanza verificatisi nelle scuole, centri commerciali, attività alberghiere e di pubblico spettacolo finalizzati all'individuazione delle cause e degli effetti prodotti*, a. 1990-1999
28. Topical Fire Report Series U.S. Department of Homeland Security – *School Building Fires (2009-2011)*, a. 2014
29. Cittadinanzattiva – *XVI rapporto sulla sicurezza delle scuole, I cittadini e l'accesso alle informazioni*, a. 2018
30. ISTAT – *L'inclusione scolastica degli alunni con disabilità*, a.s. 2020-2021, a. 2021
31. ISTAT – *Audizione dell'Istat presso il Comitato Tecnico Scientifico dell'Osservatorio Nazionale sulla condizione delle persone con disabilità*, a. 2021
32. Ministero dell'Istruzione – *Portale Unico dei Dati della Scuola: Sistema Nazionale dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica (SNAES)*, a. 2020-2021