



**Politecnico
di Torino**

Politecnico di Torino

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2021/2022

Sessione di Laurea Marzo 2022

**La progettazione e gestione dell'esodo
all'interno di edifici: valutazioni con strumenti
di Virtual Reality.**

Relatore:
Roberto Vancetti

Correlatore:
Emiliano Cereda

Candidato:
Francesco Abbruzzese

Alla mia famiglia

ABSTRACT IT

La sicurezza della vita umana e l'incolumità delle persone, nonché la tutela dei beni e dell'ambiente, sono gli obiettivi della prevenzione incendi. In quest'ottica, la progettazione e gestione dell'esodo all'interno degli edifici risulta essere un aspetto preponderante.

Per far sì che il raggiungimento di un determinato luogo, come un'uscita di emergenza, avvenga in modo rapido e sicuro, è di fondamentale importanza realizzare un sistema d'esodo efficiente, il quale deve essere in grado di comunicare le giuste informazioni per permettere agli occupanti di prendere la migliore decisione per raggiungere un luogo sicuro.

Questi aspetti, oggetto di studio di quello che viene definito "wayfinding", vengono analizzati in questo lavoro di tesi con riferimento a scenari d'incendio, focalizzando l'attenzione sull'interazione occupante/ambiente e studiando l'impatto del sistema d'esodo sulle persone.

Dopo un'analisi della normativa italiana in merito alla prevenzione incendi, con particolare attenzione a quella riguardante la segnaletica di sicurezza e l'illuminazione di emergenza, il presente lavoro di tesi tratterà il procedimento di sviluppo di un applicativo che permette alle persone di immedesimarsi in un ambiente reale (ricreato mediante gli strumenti di modellazione BIM, Fire Safety Engineering e Virtual Reality), comprensivo di differenti configurazioni di sistemi di segnaletica, inseriti all'interno di scenari d'incendio comprendenti gli elementi caratterizzanti l'incendio, come il fumo.

In questo modo sarà possibile, in primo luogo, valutare l'impatto che una determinata configurazione ha sugli occupanti durante le fasi di evacuazione e testare la capacità decisionale delle persone in una situazione critica e, inoltre, si potrà studiare la visibilità dei sistemi di segnaletica in presenza di fumo.

ABSTRACT EN

Safety of human life and people, as well as the protection of property and environment, are fire prevention's cornerstones. In this perspective, the design and management of the exodus inside buildings is a really important aspect.

For these reasons, it's essential implementing an efficient exodus system, that must be able to communicate the right information to enable building's occupants making the best decision for reaching a safe place.

This dissertation analyses the aspects mentioned above (subjects of wayfinding's studies), referencing to fire scenarios, focusing on the interaction occupant/environment, and studying the impact of the exodus system on people.

After an analysis of the Italian legislation on fire prevention, focusing on safety signs and emergency lights, this dissertation will deal the developing process of an application that allows people to identify themselves in a real environment (recreated through the modelling tools BIM, Fire Safety Engineering and Virtual Reality), including different configurations of signalling systems, included in fire scenarios with fire characterizing elements, such as smoke.

In this way, it will be possible to assess the impact that a configuration has on building's occupants during evacuation phases and test the decision-making ability of people in a critical situation. In addition, it will be possible to study the visibility of signalling systems in presence of smoke.

INDICE

ABSTRACT IT II

ABSTRACT EN III

1. INTRODUZIONE 1

2. RIFERIMENTI NORMATIVI 4

2.1 La prevenzione incendi a livello nazionale 4

2.2 Codice prevenzione incendi 6

2.2.1 Approccio Prescrittivo 9

2.2.2 Approccio Prestazionale 10

2.3 Esodo 11

2.4 Metodi con FSE 14

2.4.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio 15

2.4.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale 15

2.4.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale 19

2.5 Illuminazione 20

2.5.1 Segnali di sicurezza 24

2.6 Cartellonistica 25

2.6.1 Cartellonistica dinamica 28

3. IL METODO UTILIZZATO 29

3.1 Building Information Modeling 29

3.1.1 Modellazione tridimensionale 29

3.2 Fire Dynamics Simulator 30

3.2.1 Modellazione d'incendio 31

3.3 Virtual reality 32

3.3.1 Realtà Virtuale e Aumentata 33

3.3.2 Applicativo 35

4. APPLICAZIONE 39

4.1 Modellazione 42

4.1.1 Revit 42

4.1.2	Pyrosim.....	44
4.1.3	Unity.....	57
5.	RACCOLTA DATI.....	79
6.	CONCLUSIONI.....	80
6.1.1	Valutazione dell'applicativo.....	81
6.1.2	Efficienza scenari.....	81
6.1.3	Valutazione Scenari.....	82
6.1.4	Feedback sull'esperienza.....	84
6.2	Sviluppi futuri.....	85
	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	86
	RINGRAZIAMENTI.....	88
	ALLEGATI.....	89

INDICE DELLE FIGURE

Figure 1 Metodologia utilizzata	3
Figure 2 Struttura Codice prevenzione incendi	8
Figure 3 Sezioni Codice prevenzione incendi	9
Figure 4 Pro e Contro dei metodi prescrittivo e prestazionale	11
Figure 5 Livelli di prestazione S4	13
Figure 6 Criteri attribuzione livello prestazione S4	13
Figure 7 Tabella durata scenari d'incendio presente nel codice prevenzione incendi	17
Figure 8 Curva RHR	18
Figure 9 Focolari predefiniti	18
Figure 10 Confronto tra Aset e Rset	20
Figure 11 Schema tipologie di Illuminazione	21
Figure 12 Schema grafico illuminazione vie di fuga	23
Figure 13 Distanza di osservazione	24
Figure 14 Contenuto norma UNI EN ISO 7010	27
Figure 15 Modello di campo	30
Figure 16 Differenze Realtà Virtuale	33
Figure 17 Cyberiht visualizer	34
Figure 18 Room Scaled VR	35
Figure 19 Pannelli principali Unity	36
Figure 20 Pianta piano terra	41
Figure 21 Sezione	41
Figure 22 Vista 3D generica	42
Figure 23 Vista 3D interni	43
Figure 24 Vista Cinepresa interna	43
Figure 25 Modello importato in PyroSim	45
Figure 26 Vista 3D con ostruzioni	45

Figure 27 Mesh creata su PyroSim	47
Figure 28 “Hole” creati per le aperture	48
Figure 29 Reazione PyroSim	48
Figure 30 Curva HRR	49
Figure 31 Inserimento curva HRR	50
Figure 32 Assegnazione superfici	50
Figure 33 Posizione Bruciatore	51
Figure 34 Posizione Devices	51
Figure 35 Posizionamento slices	52
Figure 36 Variazione Temperatura	53
Figure 37 Variazione Visibilità	53
Figure 38 Grafico visibilità	54
Figure 39 Grafico temperatura	54
Figure 40 Grafico irraggiamento.....	55
Figure 41 Grafico FED	55
Figure 42 Visibilità con presenza di fumo a 149s	56
Figure 43 Isosuperficie visibilità 10m a 149s	56
Figure 44 Schermata elaborazione file in Tridify	58
Figure 45 Plug-in Tridify in Unity	59
Figure 46 Modello importato in Unity	59
Figure 47 Inserimento materiali in Unity	60
Figure 48 Particle Systems inseriti nel modello.....	62
Figure 49 Proprietà principali particle system.....	63
Figure 50 Moduli modificabili per particle system	63
Figure 51 Audio Source.....	65
Figure 52 Luci con formato IES	66
Figure 53 Confronto tra illuminazione normale e di emergenza	67
Figure 54 Schermata menu di pausa	70

Indice delle figure

Figure 55 Scenario 4 con illuminazione classica	72
Figure 56 Scenario 4 con illuminazione di emergenza	72
Figure 57 Scenario 2 vista da ufficio comune in condizioni standard	73
Figure 58 Scenario 2 vista da ufficio comune in condizioni di emergenza.....	73
Figure 59 Atrio in condizioni standard	74
Figure 60 Scenario 6 - atrio in condizioni di emergenza	74
Figure 61 Scenario 7 - atrio in condizioni di emergenza	75
Figure 62 Scenario 7 - Segnaletica dinamica	75
Figure 63 Zona ingresso con cartellonistica classica	76
Figure 64 Zona ingresso con indicazioni percorso a pavimento	76
Figure 65 Zona ingresso con cartellonistica classica	77
Figure 66 Zona ingresso con cartellonistica dinamica.....	77
Figure 67 Vista corridoio con cartellonistica classica	78
Figure 68 Vista corridoio con cartellonistica internamente illuminata.....	78
Figure 69 Risultati efficienza scenario 7	81
Figure 70 Risultati efficienza scenario 6	82
Figure 71 Risultati efficienza scenari	83
Figure 72 Risultati tempistiche	84

1. INTRODUZIONE

Il tema di prevenzione incendi è un argomento rilevante, i cui capisaldi si sono evoluti nel corso del tempo per raggiungere livelli di sicurezza sempre maggiori.

L'importanza di un sistema di esodo efficiente è nota a tutti, basti pensare a eventi come l'incendio scoppiato nel 2013 in una discoteca brasiliana¹ dove, a causa di un sistema di esodo insufficiente, morirono oltre 200 persone.

Nel tempo, la normativa relativa all'argomento si è evoluta, andando a definire le caratteristiche di un sistema d'esodo efficace in grado di comunicare le giuste informazioni per permettere agli occupanti di prendere la miglior decisione per raggiungere un luogo sicuro. Ad oggi, però, nessun software di simulazione di esodo prende in considerazione questi aspetti, in quanto non esistono approcci che consentano all'utente di valutarne l'efficienza. Nasce per questo motivo l'esigenza di analizzare l'interazione tra i sistemi di esodo e gli occupanti, attraverso l'utilizzo di strumenti di simulazione "in prima persona". L'obiettivo di questo lavoro di tesi è, quindi, testare l'efficienza di diverse configurazioni di segnaletica e di allarme in un tipico contesto d'ufficio, andando anche a valutare l'impatto che queste hanno sugli occupanti. Tale scopo è raggiungibile grazie alla realizzazione di un applicativo che permetta alle persone di immedesimarsi in un ambiente reale (ricreato mediante gli strumenti di modellazione BIM, Fire Safety Engineering e Virtual Reality), comprensivo di differenti configurazioni di sistemi di segnaletica inseriti all'interno di scenari d'incendio comprendenti gli elementi caratterizzanti questo tipo di eventi, come il fumo.

Nello specifico, con l'utilizzo di questo applicativo si intende valutare esclusivamente l'efficienza qualitativa delle configurazioni dei sistemi di segnaletica, in quanto, ad oggi, l'esportazione dei fumi risulta essere troppo complessa. Questo ostacolo non permette di

¹ Discoteca KISS a Santa Maria, in Brasile

fare delle valutazioni di tipo quantitativo poiché, nonostante per ricreare i fumi all'interno del software utilizzato per l'impiego della Virtual Reality si faccia riferimento alle isosuperfici di visibilità derivanti da simulazioni d'incendio, il numero di particelle presenti all'interno dell'ambiente, la relativa dimensione e il grado di oscuramento che ne consegue non sono determinati da calcoli fluidodinamici computazionali.

Per raggiungere l'obiettivo prefissato, si è quindi deciso di realizzare uno strumento che, sfruttando le potenzialità degli strumenti basati sulla simulazione della realtà, consentirà di ottenere dei riscontri da parte delle persone che ne usufruiranno, in modo da poter effettuare valutazioni in merito a sistemi di segnaletica, illuminazione e sistemi di allarme in situazioni emergenziali.

Dopo un *excursus* sulla normativa riguardante la prevenzione incendi, nelle pagine che seguono saranno illustrati i passaggi necessari per la realizzazione di un applicativo in grado di testare l'efficienza e l'efficacia di diverse configurazioni di sistemi di segnaletica e di allarme antincendio.

L'intero progetto si basa sulla metodologia BIM (*Building Information Modeling*), mediante la quale è possibile scambiare informazioni tra le diverse piattaforme software, in base alle diverse funzionalità di cui si necessita. Nello specifico, il primo step per poter realizzare l'applicativo consiste nella realizzazione di un modello 3D mediante l'uso di *Revit*, software della *Autodesk*, dal quale, successivamente, è possibile creare il file *.ifc* che consentirà l'importazione del modello nei successivi software utilizzati. Il secondo step prevede la progettazione d'incendio mediante *PyroSim* – software della *ThunderHead* – interfaccia grafica per FDS (*Fire Dynamics Simulator*), con il quale è possibile effettuare la simulazione d'incendio. Infine, l'ultimo step consiste nella modellazione in *Unity* – della *Unity Technologies* – software in grado di sviluppare contenuti interattivi, con il quale realizzare l'applicativo finale andando a ricreare i risultati ottenuti da *PyroSim*. Per ovviare alla parziale mancanza di interoperabilità fra i diversi software utilizzati, nell'importazione del modello principale è necessario ricreare alcuni elementi che non vengono riconosciuti

all'interno di Unity e, per quanto riguarda l'esportazione del fumo, essendo l'interoperabilità tra *Pyrosim* e *Unity* nulla, questo è stato completamente ricreato.

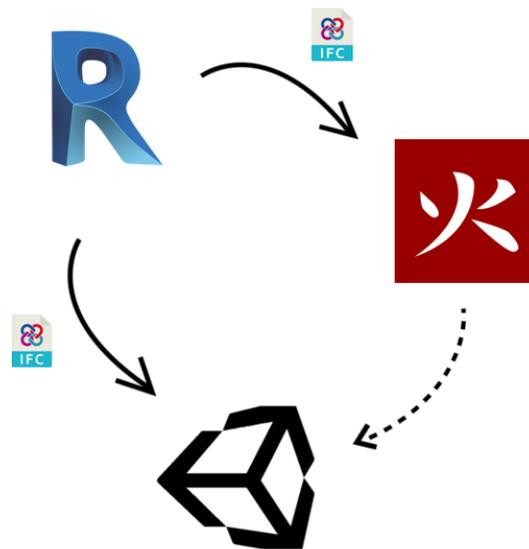


Figure 1 Metodologia utilizzata

Dopo aver fatto provare l'applicativo a un numero significativo di volontari, nell'ultima parte dell'elaborato vengono analizzati i risultati dei questionari di valutazione, così da comprendere se e quanto questo strumento sia utile per testare l'efficacia dei sistemi di segnaletica, e quali possano essere gli eventuali sviluppi futuri dell'applicativo in ambito di progettazione antincendio e non solo.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI²

La prevenzione incendi, secondo la legge italiana, indica l'insieme delle attività finalizzate ad evitare l'insorgere di incendi. In particolar modo, secondo l'art.2 del D.P.R. 29/07/1982 n°577, si definisce la prevenzione incendi come *“la materia di rilevanza interdisciplinare, nel cui ambito vengono promossi, studiati, predisposti e sperimentati misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare, secondo le norme emanate dagli organi competenti, l'insorgenza di un incendio e a limitarne le conseguenze”*.

2.1 LA PREVENZIONE INCENDI A LIVELLO NAZIONALE

Le prime procedure di prevenzione incendi hanno origine negli anni '60 del 900, quando lo sviluppo industriale in Italia rese necessaria una politica di prevenzione e di controllo di tutte le attività pericolose. Nel corso del tempo, le procedure utilizzate hanno subito un'evoluzione in funzione dei cambiamenti culturali e sociali, e dalle differenti necessità insorte nel mondo del lavoro e della produzione.

I primi obblighi in materia di prevenzione incendi vennero sanciti nella legge n°966 del 1965, che costituì il *“Certificato di prevenzione incendi”* (C.P.I.), all'interno del quale erano elencate 100 attività che dovevano soddisfare determinati requisiti antincendio ed essere in possesso del relativo CPI. Successivamente, il D.P.R. n°577 del 1982 introdusse l'obbligo di esaminare il progetto delle attività soggette ai controlli.

In seguito, l'incendio avvenuto al Cinema Statuto di Torino nel 1983 diede vita alla definizione della legge n°818 del 7 dicembre 1984, che segnò un vero punto di svolta nella prevenzione incendi. Infatti, con questa legge venne introdotto il N.O.P. (nulla osta

² Le informazioni contenute in questo capitolo sono estrapolate dal materiale didattico fornito durante il corso di sicurezza antincendio del Politecnico di Torino [18]

provvisorio) per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi e venne introdotta e regolamentata la figura del professionista “Abilitato alla prevenzione incendi”³.

Nel corso degli anni furono emanati differenti atti normativi e legislativi di nota importanza, tra cui:

- Il D. Lgs. n°626 del 19/09/1994:
Riguardante l’attuazione delle direttive riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro.
- Il D.P.R. n°37 del 12/01/1998:
Con il quale fu istituita la DIA (Denuncia di Inizio Attività)
- Il DM del 29/12/2005:
Con il quale cessavano di esistere i NOP e restavano esclusivamente le attività in possesso di DIA e CPI.
- Il D. Lgs. n°139 del 08/03/2006:
Questo decreto abrogava la legge n°818 del 1984 e assegnava ai professionisti antincendio una responsabilità maggiore.
- Il DM del 09/05/2007:
Introdusse il concetto di FSE (Fire Safety Engineering) ossia un approccio di tipo prestazionale alla sicurezza antincendio.
- Il D. Lgs. n°81 del 09/04/2008:
Decreto riguardante la sicurezza dei luoghi di lavoro che sottolinea l’importanza della gestione della sicurezza antincendio da parte dei titolari e dei suoi collaboratori.

³ In seguito all’emanazione del DM 05/08/2011 la figura viene denominata “Professionista Antincendio” e permette, dopo il superamento di esami specifici, di apporre la propria firma su una serie di atti previsti dalla legislazione antincendio che il semplice ingegnere non può porre.

- Il DPR n°151 del 01/08/2011:

Questo decreto è relativo alla semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione incendi e in particolar modo riguarda:

- Diminuzione del numero di attività soggette, ridotte a 80.
- Eliminazione del CPI che viene sostituito dalla SCIA (segnalazione certificata di inizio attività).

- Il DM del 07/08/2012:

Mette in atto tutte le norme indicate del precedente DPR e regolarizza la modalità di presentazione delle istanze concernenti procedimenti in materia di prevenzione incendi.

Con la promulgazione del DM 03/08/2015 avvenne un grande cambiamento per via dell'introduzione del "Testo unico della prevenzione incendi", conosciuto come "Codice prevenzione incendi".

Il DM 18 ottobre 2019, entrato in vigore il 1/11/2019, aveva sostituito integralmente l'allegato 1 al DM 3 agosto 2015 (Sezioni G, S, V, M) ad esclusione dei capitoli da V.4 a V.8.

2.2 CODICE PREVENZIONE INCENDI⁴

Nonostante l'emanazione del DM 03/08/2015 non abbia abrogato nessun decreto precedente, con la creazione del codice prevenzione incendi si ebbe una rivoluzione nel panorama normativo italiano, poiché esso rappresentava un unico riferimento normativo. Infatti, l'obiettivo generale del nuovo codice era la creazione di un testo unico che trattasse la materia in maniera omogenea, per ovviare alle incongruenze presenti nelle molte norme verticali di prevenzione emanate negli anni precedenti.

⁴ Le informazioni contenute in questo capitolo sono estrapolate dal *Codice di prevenzione incendi* [19]

Il documento si compone di quattro sezioni che disciplinano, nel loro complesso, l'intera materia antincendio:

1. Sezione G – GENERALITA:

Contiene i principi fondamentali per la progettazione della sicurezza antincendio, applicabili indistintamente a tutte le attività soggette.

2. Sezione S – STRATEGIA ANTINCENDIO:

Fornisce misure antincendio di prevenzione, protezione e gestionali applicabili a tutte le attività, per comporre la strategia antincendio al fine di ridurre il rischio di incendio.

3. Sezione V – REGOLE TECNICHE VERTICALI:

Fornisce indicazioni ad hoc per alcune tipologie di attività, in aggiunta, ad integrazione o in sostituzione di quelle riportate nella Sezione S.

4. Sezione M –METODI:

Riporta metodologie di progettazione antincendio innovative ed alternative a quelle riportate nelle prime tre sezioni, volte alla risoluzione di specifiche problematiche tecniche della progettazione antincendio (FSE).

Nel corso del tempo, il codice ha subito revisioni e integrazioni, fra le ultime troviamo l'emanazione del DM 29/03/2021, il quale ha introdotto il capitolo V.11 (Strutture sanitarie), e il DM 14/10/2021 che ha introdotto il capitolo V.12 (Altre attività in edifici tutelati) entrambi della sezione V.

Ad oggi, il codice è costituito dai seguenti capitoli:

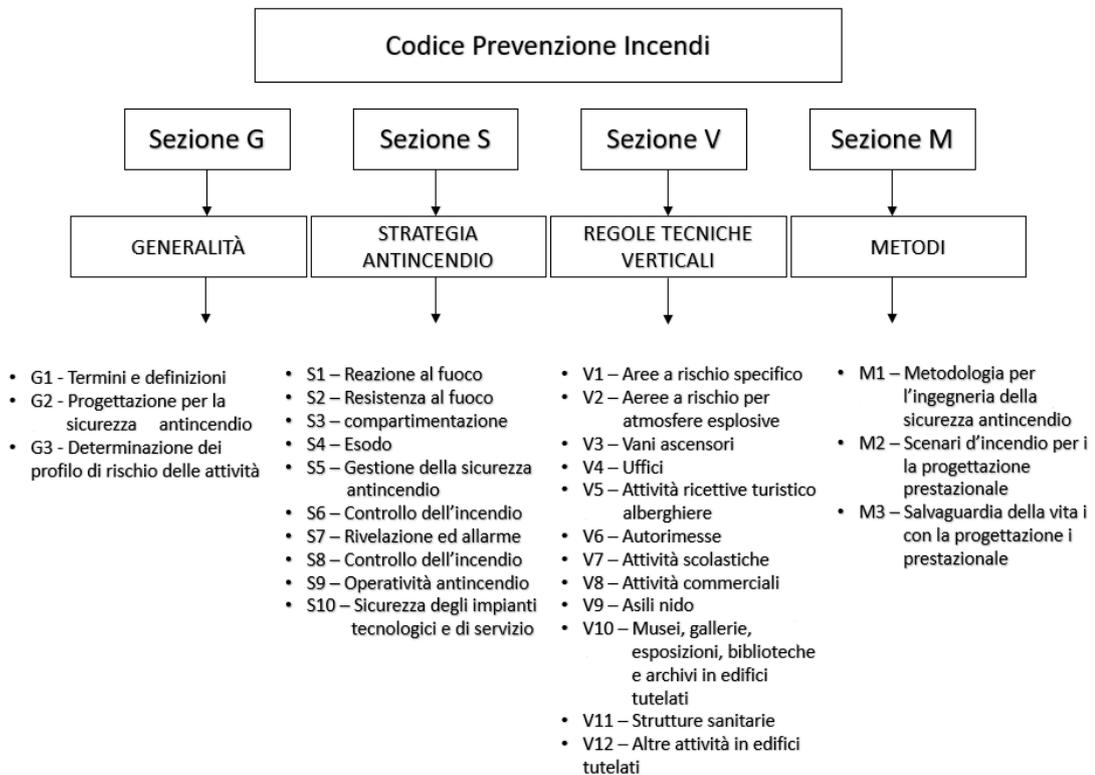


Figure 2 Struttura Codice prevenzione incendi

In funzione della suddivisione il codice - per come è stato pensato - utilizza due differenti approcci:

- **Approccio Prescrittivo:**
Consistente nell'utilizzo delle sezioni G, S e V del codice.
- **Approccio Prestazionale:**
Consistente nell'utilizzo della sezione M del codice.

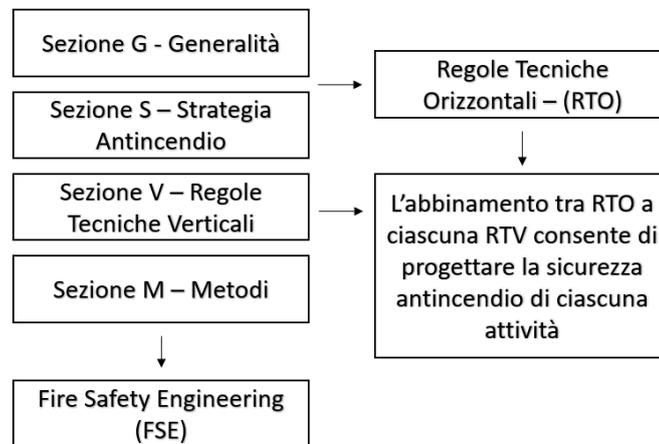


Figure 3 Sezioni Codice prevenzione incendi

2.2.1 Approccio Prescrittivo

L'approccio prescrittivo si basa sull'applicazione di regole tecniche in cui sono riportate le misure da adottare al fine di ottenere un certo livello di sicurezza antincendio.

Le regole tecniche si basano sul processo di valutazione del rischio eseguito dal normatore, e la loro applicazione permette il raggiungimento del livello minimo di sicurezza fissato, attraverso misure specificatamente prescrittive.

La progettazione della sicurezza antincendio delle attività è un processo interattivo, che può essere così sintetizzato:

- Valutazione del rischio d'incendio per l'attività e attribuzione dei profili di rischio (R_{Vita} , R_{Beni} e $R_{Ambiente}$);
- Attribuzione dei livelli di prestazione alle misure antincendio;
- Specifica, per ogni misura antincendio, dei criteri di attribuzione del livello di prestazione;
- Individuazione delle soluzioni progettuali.

Sono comunque ammesse soluzioni progettuali differenti da quelle imposte dal legislatore, a condizione che la sicurezza antincendio del progetto sia garantita da deroghe e disposizioni aggiuntive concordate con i vigili del fuoco.

2.2.2 Approccio Prestazionale

L'approccio prestazionale, ovvero quello di tipo ingegneristico, si basa sul raggiungimento di una prestazione piuttosto che sul soddisfacimento di una prescrizione. Questo approccio richiede un'attenta e precisa valutazione da parte del progettista sulle condizioni reali in cui un incendio può innescarsi e propagarsi. In questo modo, il progettista si assume la responsabilità della scelta delle misure adottate per il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza, al fine di garantire le prestazioni idonee. Inoltre, anche la scelta sui limiti e sui criteri di sicurezza da ritenere accettabili è a carico del progettista.

Questo approccio si fonda sullo studio dell'evoluzione dinamica dell'incendio – quindi sulla previsione scientifica della prestazione della struttura progettata – ed è fondato sui criteri che caratterizzano la Fire Safety Engineering (FSE), ovvero sulla valutazione del fenomeno della combustione, degli effetti dell'incendio e del comportamento umano.

Il punto di forza dell'approccio prescrittivo risiede nella facilità di utilizzo del codice da parte del progettista e nel fatto che non vada eseguita alcuna analisi del rischio. Per contro, però, non è applicabile a tutte le situazioni.

Per quanto riguarda l'approccio di tipo ingegneristico, quindi quello prestazionale, i vantaggi sono molteplici:

- La flessibilità nella progettazione;
- L'ottimizzazione dei sistemi di protezione attiva e/o passiva presenti;

- La massimizzazione del rapporto costi/benefici;
- La possibilità di intervento dove la normativa non fornisce indicazioni o dove non è applicabile.

Anche in questo caso, però, ci sono degli svantaggi: in particolar modo, l'utilizzo di questo approccio impone un sistema di gestione della sicurezza mirato al mantenimento delle condizioni operative individuate nello scenario di progetto.

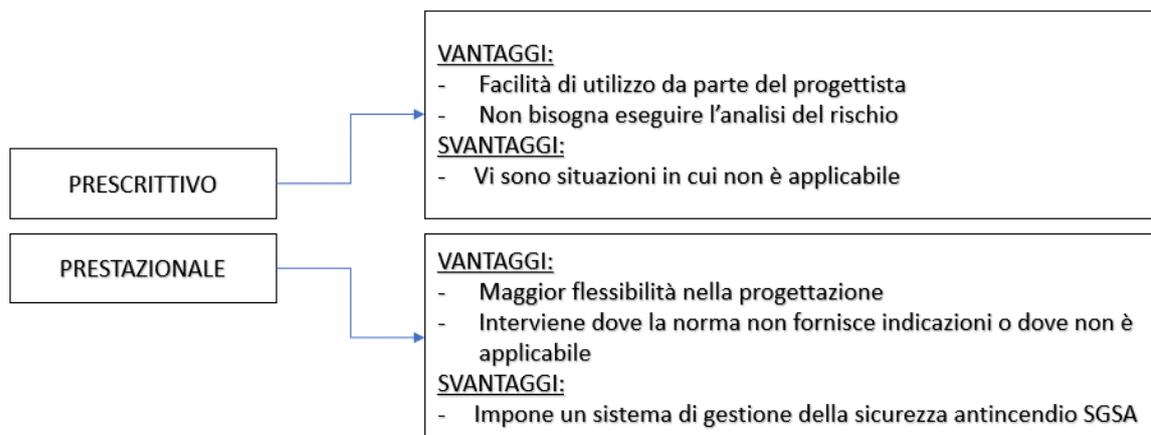


Figure 4 Pro e Contro dei metodi prescrittivo e prestazionale

2.3 ESODO

Prendendo in considerazione il metodo prescrittivo, particolare attenzione merita il tema dell'esodo, trattato nel capitolo S.4 del suddetto codice. La finalità del sistema d'esodo è assicurare che gli occupanti dell'attività possano raggiungere un luogo sicuro⁵ o permanere al sicuro, autonomamente o con assistenza, prima che l'incendio determini condizioni

⁵ Per *luogo sicuro* s'intende un luogo in cui è permanentemente trascurabile il rischio di incendio per gli occupanti che vi stazionano o vi transitano; tale rischio è riferito ad un incendio nell'attività.

incapacitanti negli ambiti dell'attività ove si trovano, a prescindere dall'intervento dei vigili del fuoco.

All'interno di questa sezione vengono analizzate le seguenti modalità d'esodo:

- Esodo simultaneo: prevede lo spostamento contemporaneo degli occupanti fino ad un luogo sicuro;
- Esodo per fasi: modalità di esodo di una struttura organizzata con più compartimenti, in cui l'evacuazione degli occupanti fino a un luogo sicuro avviene in successione, dopo l'evacuazione del compartimento di primo innesco;
- Esodo orizzontale progressivo: prevede lo spostamento degli occupanti dal compartimento di primo innesco in un compartimento adiacente capace di contenerli e proteggerli fino a quando l'incendio non sia estinto o fino a che non si proceda ad una successiva evacuazione fino al luogo sicuro (si attua, ad esempio, nelle strutture ospedaliere);
- Protezione sul posto: prevede la protezione degli occupanti nell'ambito in cui si trovano (si attua ad esempio in centri commerciali, aeroporti, ecc.).

Sempre all'interno di questa sezione troviamo i due livelli di prestazione, i relativi criteri di attribuzione e le conseguenti soluzioni conformi ed alternative.

Di seguito si riportano due estratti dal codice:

Livello di prestazione	Descrizione
I	Gli occupanti raggiungono un <i>luogo sicuro</i> prima che l'incendio determini condizioni incapacitanti negli ambiti dell'attività attraversati durante l'esodo.
II	Gli occupanti sono protetti dagli effetti dell'incendio nel luogo in cui si trovano.

Figure 5 Livelli di prestazione S4

Livello di prestazione	Criteri di attribuzione
I	Tutte le attività
II	Ambiti per i quali non sia possibile assicurare il livello di prestazione I (es. a causa di dimensione, ubicazione, abilità degli occupanti, tipologia dell'attività, caratteristiche geometriche particolari, vincoli architettonici, ...)

Figure 6 Criteri attribuzione livello prestazione S4

Successivamente, si trovano le caratteristiche del sistema d'esodo riguardanti:

- Luogo sicuro
- Vie d'esodo
- Scale d'esodo
- Rampe d'esodo
- Porte lungo le vie d'esodo
- Uscite finali
- Sistemi d'esodo comuni

Inoltre, vengono definite le caratteristiche della segnaletica d'esodo ed orientamento e dell'illuminazione di sicurezza.

Nello specifico, riguardo la segnaletica d'esodo ed orientamento, il codice impone che il sistema d'esodo (vie d'esodo, luoghi sicuri, spazi calmi...) siano facilmente riconoscibili grazie ad apposita segnaletica ed anche con ulteriori indicatori ambientali, quali:

- Accesso visivo e tattile alle informazioni.
- Grado di differenziazione architettonica.
- Uso di segnaletica per la corretta identificazione direzionale tipo UNI EN ISO 7010.
- Ordinata configurazione geometrica dell'edificio, anche in relazione ad allestimenti mobili o temporanei.

Il codice impone anche che la segnaletica d'esodo debba essere adeguata alla complessità dell'attività e consentire l'orientamento degli occupanti (*wayfinding*). Per garantire ciò, il codice prevede l'installazione, in ogni piano dell'attività, di planimetrie semplificate e correttamente orientate, in cui sia indicata la posizione del lettore (es. Voi siete qui) ed il layout del sistema d'esodo (es. vie d'esodo, spazi calmi, luoghi sicuri).

Per quanto riguarda l'illuminazione di sicurezza, il codice impone l'installazione di un impianto lungo le vie d'esodo, qualora l'illuminazione possa risultare anche occasionalmente insufficiente a consentire l'esodo degli occupanti. Questo deve assicurare un illuminamento orizzontale al suolo sufficiente a consentire l'esodo in conformità alla norma UNI EN 1838, e comunque maggiore o uguale a 1lx lungo la linea centrale della via d'esodo.

Inoltre, all'interno della sezione, vengono definiti i requisiti antincendio minimi per l'esodo e i criteri per la progettazione, ovvero il calcolo e la verifica del sistema d'esodo.

2.4 METODI CON FSE

La sezione M del codice, riguardante i metodi, è composta da tre sotto capitoli:

1. Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio.
2. Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale.
3. Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale.

2.4.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio

All'interno di questo capitolo viene riassunta la metodologia antincendio, la quale si compone di due fasi principali:

- Prima fase - Analisi preliminare:

consiste nell'individuazione delle condizioni più rappresentative del rischio al quale l'attività è esposta e le soglie di prestazione di riferimento in funzione degli obiettivi di sicurezza da perseguire.

- Seconda fase - Analisi quantitativa:

consiste nell'eseguire un'analisi quali-quantitativa degli effetti dell'incendio, confrontando i risultati ottenuti con le soglie di prevenzione precedentemente individuate e definendo il progetto da sottoporre a definitiva approvazione.

2.4.2 Scenari d'incendio per la progettazione prestazionale

In questa sezione viene riassunta la procedura di identificazione degli scenari d'incendio. Questi rappresentano la descrizione dettagliata degli eventi che possono ragionevolmente verificarsi in relazione a tre aspetti fondamentali:

- Caratteristiche dell'incendio.
- Caratteristiche dell'attività.
- Caratteristiche degli occupanti.

La procedura di identificazione, selezione e quantificazione degli scenari di incendio segue tre *step*:

- Identificazione dei possibili scenari di incendio che possono svilupparsi nell'attività:
per individuare gli scenari di incendio, il professionista sviluppa uno specifico albero degli eventi a partire da ogni evento iniziatore ipotizzato: ogni scenario deve essere compiutamente ed univocamente descritto in funzione delle caratteristiche sopracitate. In questa fase, il progettista specifica se lo scenario ipotizzato sia relativo ad una condizione di *pre-flashover* oppure ad una condizione di *post-flashover*, in funzione degli obiettivi prestabiliti. Inoltre, durante questa fase di identificazione, il progettista deve tener conto degli incendi che hanno interessato edifici o attività simili a quelle in esame mediante un'analisi storica.
- Selezione degli scenari d'incendio di progetto, tra tutti i possibili scenari identificati:
per selezionare gli scenari di incendio, il progettista, facendo riferimento agli alberi degli eventi, deve ridurre il numero degli scenari al minimo numero ragionevole, al fine di alleggerire il suo lavoro di verifica delle soluzioni progettuali. Alla fine, il professionista antincendio seleziona, fra gli scenari di incendio credibili, quelli più gravosi. Questa scelta è fortemente influenzata dall'obiettivo che si intende raggiungere.
- Descrizione quantitativa degli scenari di progetto selezionati:
una volta selezionati gli scenari d'incendio di progetto, il professionista deve procedere con la descrizione quantitativa di ciascuno di essi, traducendo la descrizione qualitativa in dati numerici di input appropriati alla metodologia di calcolo scelta per verificare le ipotesi progettuali.

2.4.2.1 Durata degli scenari d'incendio di progetto

Per quanto riguarda la durata degli scenari d'incendio di progetto, è necessario descrivere tutta la sequenza di evoluzione dell'incendio, a partire dall'evento iniziatore, per un intervallo di tempo che dipende dagli obiettivi di sicurezza da raggiungere.

Di seguito si riporta la tabella presente all'interno del codice:

Obiettivo di sicurezza antincendio	Durata minima degli scenari di incendio di progetto
Salvaguardia della vita degli occupanti	Dall'evento iniziatore fino al momento in cui tutti gli occupanti dell'attività raggiungono o permangono in un luogo sicuro. Se il luogo sicuro è prossimo o interno all'opera da costruzione, devono essere valutate eventuali interazioni tra il mantenimento della capacità portante dell'opera da costruzione ed il luogo sicuro.
Salvaguardia della vita dei soccorritori	Dall'evento iniziatore fino a 5 minuti dopo il termine delle operazioni previste per i soccorritori o l'arrivo delle squadre dei Vigili del fuoco presso l'attività. Il tempo di riferimento per l'arrivo dei Vigili del fuoco può essere assunto pari alla media dei tempi d'arrivo desunti dall' <i>Annuario statistico dei Vigili del fuoco</i> (http://www.vigilfuoco.it), considerando i dati dell'ultimo anno disponibile, riferiti all'ambito provinciale.
Mantenimento della capacità portante in caso d'incendio	Dall'evento iniziatore fino all'arresto dell'analisi strutturale, in fase di raffreddamento, al momento in cui gli effetti dell'incendio sono ritenuti non significativi in termini di variazione temporale delle caratteristiche della sollecitazione e degli spostamenti

Figure 7 Tabella durata scenari d'incendio presente nel codice prevenzione incendi

2.4.2.2 Stima della curva RHR

In questa sezione vengono descritte le fasi d'incendio e vengono fornite le formulazioni per determinarne l'andamento matematico, così da poter realizzare le relative curve RHR.

Le curve RHR (*Rate of Heat Release*) sono funzioni che esprimono l'andamento temporale della potenza termica rilasciata dall'incendio.

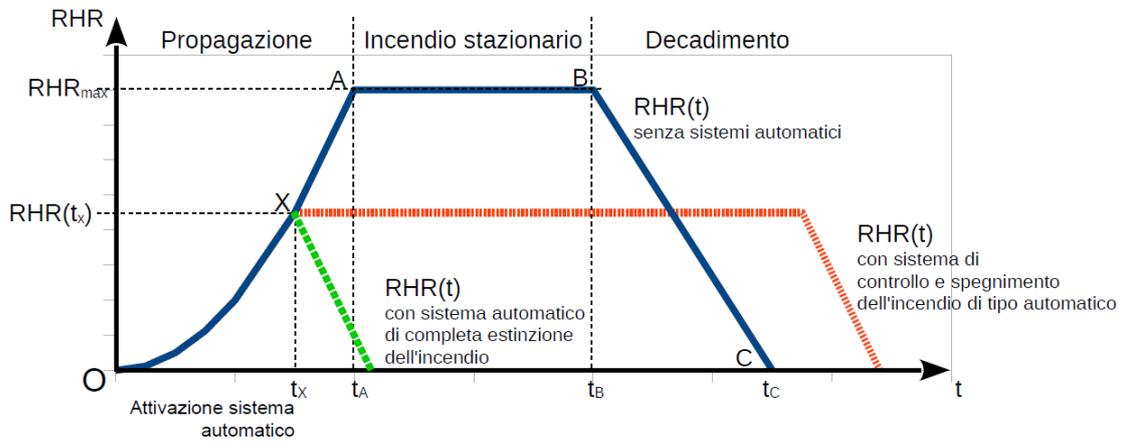


Figure 8 Curva RHR

Nel caso in cui si intenda saltare la parte riguardante la *Descrizione quantitativa degli scenari di progetto selezionati*, è possibile utilizzare focolari predefiniti precedentemente calcolati sulla base di calcolo delle curve RHR, riportati nella tabella seguente.

Parametro	Focolare predefinito	
	per attività civile	per altre attività
Velocità caratt. di crescita dell'incendio t _c	150 s (<i>fast</i>)	75 s (<i>ultra-fast</i>)
RHR _{max} totale RHR _{max} per m ² di superficie del focolare	5 MW 250-500 kW/m ² [1]	50 MW 500 -1000 kW/m ² [1]
Resa in particolato Y _{soot}	Pre flashover: 0,07 kg/kg [2,3] Post flashover: 0,14 kg/kg [2,3]	Pre flashover: 0,18 kg/kg [4] Post flashover: 0,36 kg/kg [4]
Resa in monossido di carbonio Y _{CO}	Pre flashover: 0,10 kg/kg [5] Post flashover: 0,40 kg/kg [5]	
Calore di combustione effettivo ΔH _c	20 MJ/kg [3]	
Resa in biossido di carbonio Y _{CO2}	1,5 kg/kg [3,6]	
Resa in acqua Y _{H2O}	0,82 kg/kg [3,6]	
Frazione di RHR in irraggiamento (<i>Radiative fraction</i>)	35% [3]	

[1] Da impiegare in alternativa all'RHR_{max} totale, considerando la massima superficie del focolare, pari al compartimento antincendio nel caso di carico di incendio uniformemente distribuito, ma che può essere un valore inferiore nel caso d'incendio localizzato.
 [2] Robbins A P, Wade C A, Study Report no 185 "Soot Yield Values for Modelling Purposes - Residential Occupancies", BRANZ, 2008
 [3] "C/VM2 Verification method: Framework for fire safety design", New Zealand Building Code
 [4] "SFPE handbook of fire protection engineering", NFPA, 4th ed., 2008. Tabella 3-4.16, pag. 3-142, da polyurethane flexible foams.
 [5] Stec A A, Hull T R, "Fire Toxicity", Woodhead Pub., 2010. § 2.4 con Φ = 1,25 (*underventilated fire*)
 [6] In alternativa alle rese Y_{CO2} e Y_{H2O}, si può imporre nel codice di calcolo il combustibile generico CH₂O_{0,5}.

Figure 9 Focolari predefiniti

L'utilizzo dei focolari predefiniti è consentito solamente nei casi in cui si ritiene che i focolari attesi risultino meno gravosi di quelli previsti dal codice.

2.4.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale

Mediante la progettazione prestazionale, il progettista ha l'obiettivo di dimostrare che tutti gli occupanti di un'attività riescano a raggiungere o permanere in un luogo sicuro senza che ciò sia impedito da un'eccessiva esposizione agli effetti dell'incendio. Questo è il criterio ideale, nonché il primo, da impiegare per la maggior parte degli occupanti dell'attività. Infatti, esistono situazioni in cui questo criterio non è applicabile, ad esempio per gli occupanti che si trovano nel compartimento di primo innesco dell'incendio.

Per risolvere questo aspetto, il Codice ha introdotto il concetto di $ASET > RSET$. Questo criterio impone che il tempo in cui permangono condizioni non incapacitanti per gli occupanti deve essere superiore al tempo necessario a raggiungere un luogo sicuro.⁶

Si riporta uno schema esemplificativo:

⁶ Aset: Available Safe Escape Time, ovvero il tempo tra innesco e momento in cui le condizioni nell'attività diventano incapacitanti.

Rset: Required Safe Escape Time, ovvero il tempo tra innesco e momento in cui gli occupanti raggiungono un luogo sicuro.

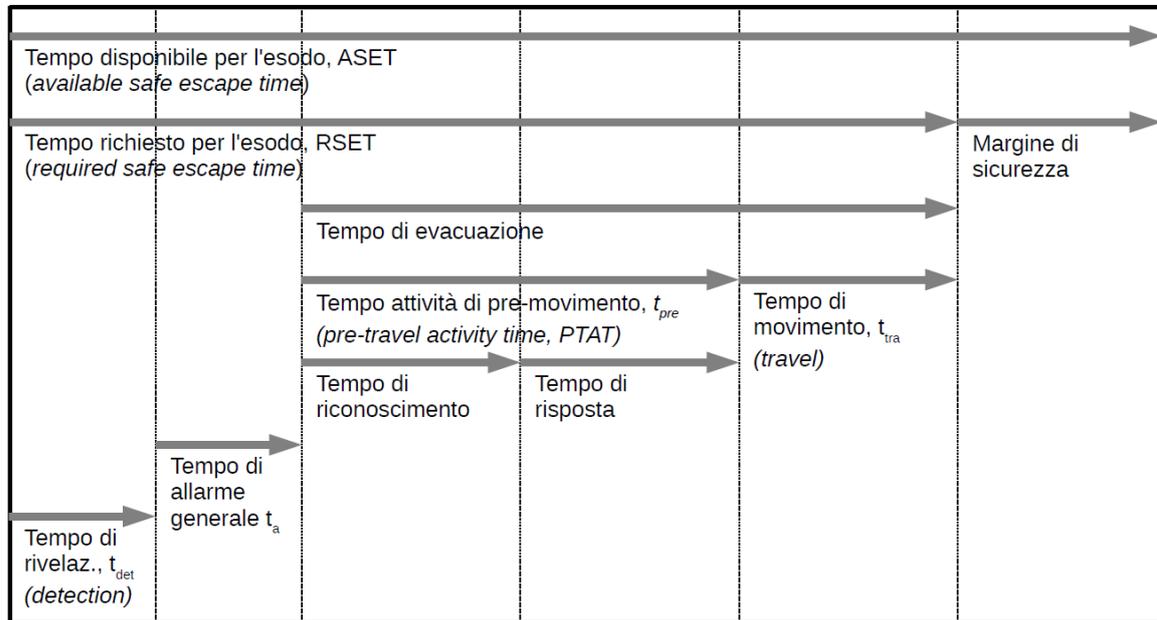


Figure 10 Confronto tra Aset e Rset

La differenza tra *ASET* e *RSET* rappresenta il margine di sicurezza della progettazione prestazionale per la salvaguardia della vita.

In questa sezione del codice vengono enunciate le formulazioni e forniti i valori standard per la determinazione dei tempi presenti nello schema sopra indicato.

2.5 ILLUMINAZIONE⁷

In questo capitolo viene analizzata l'illuminazione secondo la normativa di riferimento, ovvero la norma UNI EN 1838 del 2013 "Applicazione dell'illuminotecnica - Illuminazione di emergenza". [1] Nello specifico, la norma definisce i requisiti illuminotecnici dei sistemi di illuminazione di emergenza installati in edifici o locati dove viene richiesto. Essa si applica, principalmente, ai luoghi destinati al pubblico o ai luoghi di lavoro.

⁷ Le informazioni contenute in questo capitolo sono estrapolate dalla norma UNI EN 1838 del 2013 [1]

All'interno della norma vengono definite differenti tipologie di illuminazione, come di seguito schematizzato:

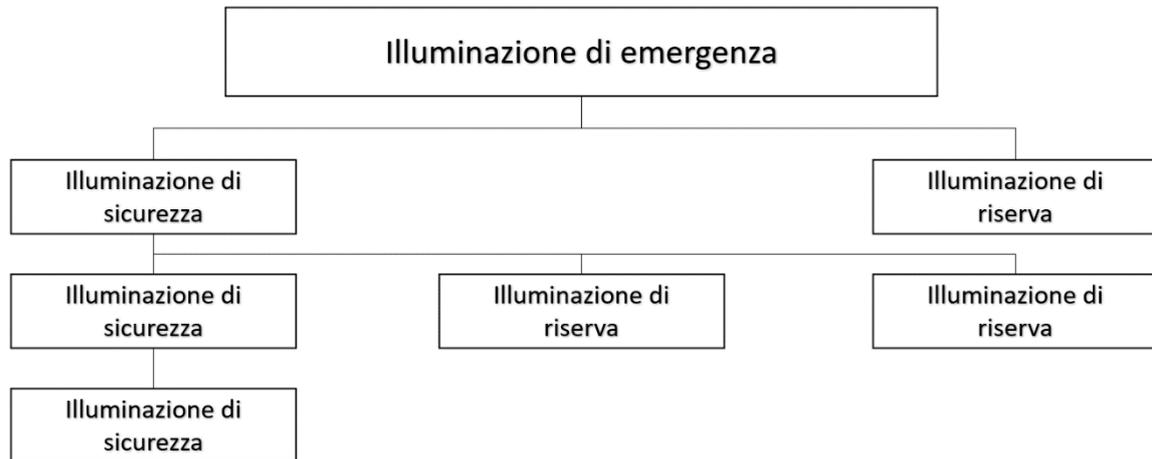


Figure 11 Schema tipologie di Illuminazione

Di seguito vi è un elenco delle diverse tipologie di illuminazione, come vengono definite dalla normativa:

- L'illuminazione di emergenza: è prevista per essere utilizzata in caso di mancanza di alimentazione dell'illuminazione normale; dunque, deve essere alimentata da una sorgente di energia differente ed indipendente.
- L'illuminazione di sicurezza: deve consentire l'esodo sicuro da un luogo in caso di mancanza della normale alimentazione.
- L'illuminazione di sicurezza per l'esodo: serve per facilitare l'esodo sicuro per gli occupanti, garantendo appropriate condizioni di visibilità e indicazioni adeguate sulle vie di esodo ed in luoghi particolari, e assicura l'agevole localizzazione e/o l'impiego dei dispositivi di sicurezza e antincendio.

- L'illuminazione di emergenza dei segnali di sicurezza delle vie di esodo serve a fornire le condizioni visuali e le indicazioni adeguate a individuare ed utilizzare tempestivamente le vie di esodo.
- L'illuminazione antipánico: ha come obiettivo la riduzione della probabilità di insorgenza del panico e consente agli occupanti di raggiungere in sicurezza le vie di esodo, fornendo condizioni di visibilità idonee all'individuazione della direzione di uscita. Il flusso di luce per l'illuminazione delle vie di esodo dovrebbe essere diretto dall'alto verso il piano di riferimento e dovrebbe illuminare ogni ostacolo fino a 2 m di altezza al di sopra del piano.
- L'illuminazione di area del compito ad alto rischio: serve a contribuire alla sicurezza delle persone impegnate in situazioni o processi potenzialmente pericolosi, nonché a consentire l'effettuazione di corrette procedure di ultimazione dei processi, in funzione della sicurezza di altri occupanti del luogo.
- L'illuminazione di riserva: viene definita come quella parte di illuminazione di emergenza fornita per consentire che le normali attività possano continuare senza cambiamenti sostanziali.

Per quanto riguarda l'illuminazione di sicurezza, la norma fornisce i requisiti di installazione di seguito riportati:

Illuminamento						
$E_{\text{minimo}} = 1 \text{ lx}$ (illuminamento orizzontale minimo sul pavimento)						
Uniformità						
$E_{\text{massimo}} : E_{\text{minimo}} \leq 40 : 1 \text{ lx}$ $d < 4h$ installazione						
Limitazione dell'abbagliamento						
h/m	$< 2,5$	$2,5 \leq h < 3$	$3 \leq h < 3,5$	$3,5 \leq h < 4$	$4 \leq h < 4,5$	$\geq 4,5$
L_{max}/cd	500	900	1600	2500	3500	5000
I valori di questa tabella all'interno della zona da 60° a 90° rispetto alla verticale non devono essere superati in tutte le angolature azimutali.						
Resa del colore						
$R_a \geq 40$						
Autonomia nominale nelle vie di fuga						
UNI EN 1838 art. 4.2.5 e art. 4.3.5						
1 ora						
Velocità di accensione						
UNI EN 1838 art. 4.2.6 e art. 4.3.6						
Entro 5 secondi al 50%, entro 60 secondi al 100% dell'illuminamento previsto						

In particolare, viene definito il criterio di uniformità, il quale consiste nel garantire che il rapporto tra l'illuminamento massimo e quello minimo lungo la linea centrale della via di fuga non sia superiore a 40:1. Inoltre, l'illuminamento minimo sul pavimento deve essere almeno di 1 lx.

Di seguito si riporta uno schema esemplificativo:

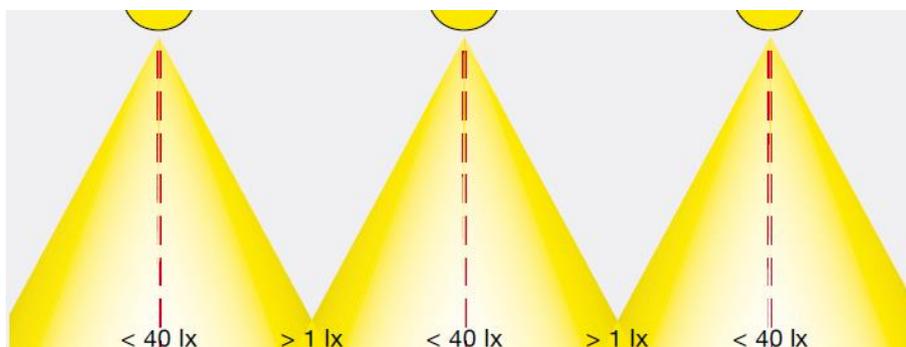


Figure 12 Schema grafico illuminazione vie di fuga

2.5.1 Segnali di sicurezza

All'interno della norma è presente un capitolo dedicato all'illuminazione relativa alla segnaletica di sicurezza, in cui vengono indicate le caratteristiche della luminanza e del contrasto relativo ai colori del segnale per far sì che il cartello sia sufficientemente visibile. A proposito di questo aspetto, esiste uno studio che analizza la visibilità dei cartelli in presenza di fumo e propone un modello teorico per poter valutare la visibilità della cartellonistica illuminata in ambienti carichi di fumo. [2]

In merito a questo la norma stabilisce una formulazione per determinare la distanza di osservazione, ovvero:

$$l = z \times h$$

Dove:

- l = distanza di osservazione;
- h = altezza del segnale;
- z = fattore di distanza.

Di seguito uno schema raffigurante la distanza di osservazione:

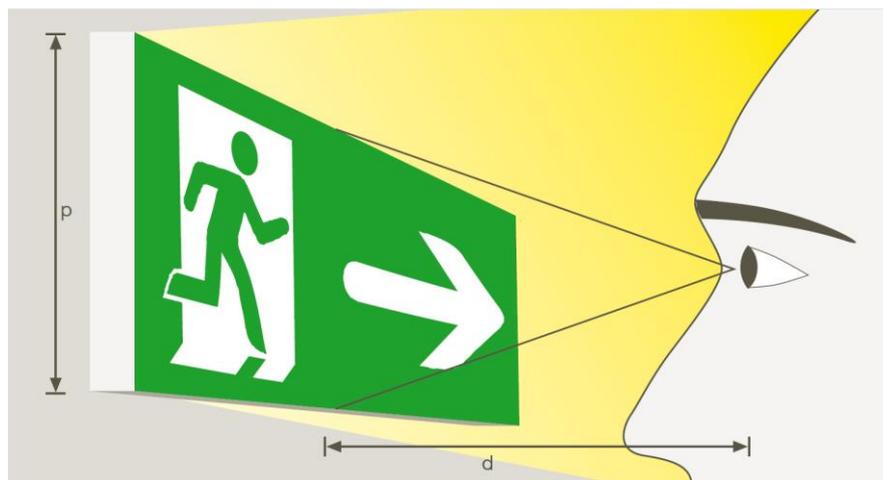


Figure 13 Distanza di osservazione

Il fattore distanza viene introdotto in quanto, a parità di dimensione, un segnale illuminato internamente è distinguibile a distanze maggiori rispetto ad un segnale illuminato esternamente.

Infatti, il valore di z viene preso pari a 100 per segnali illuminati esternamente e pari a 200 per segnali illuminati internamente.

A questo proposito, esistono diversi studi nei quali viene analizzata la visibilità di svariate tipologie di cartelli di uscita internamente illuminati. In particolare, lo studio effettuato da Collins, Dahir e Madrzykowski (1992) [3] analizza questi aspetti sia in condizioni classiche che in condizioni di fumo. L'esperimento consisteva nell'andare a determinare quale cartello, a parità di condizioni di oscuramento derivante dalla presenza di fumo, fosse più visibile, andando ad analizzare la grandezza, l'illuminazione, il segno grafico, il colore e il contrasto. Dai risultati dell'esperimento si può evincere come i cartelli con una illuminazione propria richiedano una densità di oscuramento maggiore prima di non essere più individuabili.

2.6 CARTELLONISTICA⁸

L'esposizione ai prodotti della combustione, piuttosto che il fuoco stesso, è la causa più significativa di lesioni e morte negli incendi. Il tempo di esposizione degli individui al fumo dipende dalla loro velocità di movimento e dalla direzione che scelgono di intraprendere. Di conseguenza, nella progettazione antincendio di edifici moderni, la fornitura e la corretta ubicazione dei segnali di uscita di emergenza è di fondamentale importanza per ridurre al minimo tale esposizione, soprattutto in grandi spazi dove gli occupanti non hanno familiarità con percorsi di uscita sicuri. [4]

⁸ Le informazioni contenute in questo capitolo sono estrapolate dalla norma UNI EN ISO 7010 del 2020 [20]

La cartellonistica di sicurezza, in generale, è di rilevante importanza, nonostante studi dimostrino come le persone non si accorgano della presenza dei cartelli di sicurezza in situazioni quotidiane. [5]

Inoltre, da uno studio inglese è stato dimostrato come la segnaletica delle vie d'esodo venga spesso ignorata, in quanto il 38% delle persone coinvolte nello studio afferma di guardare il cartello rettangolare di colore verde e bianco con il pittogramma dell'omino verde che corre o con le frecce direzionali senza percepirlo davvero. [6]

La segnaletica di sicurezza viene analizzata nella norma UNI EN ISO 7010 del 2020 ("Segni grafici - Colori e segnali di sicurezza - Segnali di sicurezza registrati").

Nello specifico, la norma in questione - applicabile a tutti i siti in cui le questioni legate alla sicurezza delle persone necessitano di essere affrontate - prescrive i segnali di sicurezza per la prevenzione degli infortuni, la protezione dal fuoco, l'informazione sui pericoli alla salute per l'evacuazione di emergenza; fornisce le indicazioni riguardo la progettazione, la forma e il colore di ogni segnale di sicurezza in modo tale che essi siano conformi alle norme di riferimento⁹.

All'interno della norma troviamo un elenco dei cartelli registrati con relativo codice identificativo e raffigurazione grafica. Nello specifico, i cartelli vengono contraddistinti da cinque elementi:

- Contenuto d'immagine: ovvero una descrizione scritta degli elementi del simbolo grafico o del cartello di sicurezza e la loro relativa disposizione;
- Referente: consiste nell'idea o nell'oggetto che il simbolo grafico intende rappresentare;

⁹ ISO 3864-1 ed ISO 3864-3

- Cartello di sicurezza: ovvero un cartello che dà un messaggio generale di sicurezza, ottenuto da una combinazione di un colore e di una forma geometrica e che, con l'aggiunta di un simbolo grafico, dà un particolare messaggio di sicurezza;
- Cartello di sicurezza originale: consiste nel cartello di sicurezza con un referente, una rappresentazione grafica e una descrizione dell'applicazione associata.
- Cartello supplementare: consiste in un cartello aggiuntivo il cui scopo principale è quello di fornire ulteriori chiarimenti.

Un esempio riguardante la cartellonistica utilizzata anche all'interno del lavoro svolto è:

Table 3 — Description and application of referent for signs indicating an evacuation route, the location of safety equipment or a safety facility, or a safety action (safe condition signs) (category E)

	Reference No. ISO 7010-E001
	Referent Emergency exit (left hand)
	Function To indicate an escape route to a place of safety
	Image content Human figure moving (to the left) through doorway
<p>Hazard Not being able to locate an escape route to a place of safety which is provided for evacuation</p> <p>Human behaviour that is intended to be caused after understanding the safety sign's meaning Being aware of the location of an escape route to a place of safety</p> <p>Additional information Test data obtained according to ISO 9186-1 are not available. However, this safety sign has been the subject of extensive research in Japan and the design selected has received the best comprehension results. A supplementary text sign shall be used to increase comprehension except when the safety sign is supplemented by manuals, instructions or training. Supplementary arrow sign (type D of ISO 3864-3:2012) in white on green to be used to give directional information (direction examples, the arrows may be rotated in increments of 45°):</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>See ISO 16069:2017, Figure 1 for examples and meanings of combinations of the exit sign with the supplementary arrow sign.</p>	

Figure 14 Contenuto norma UNI EN ISO 7010

Nonostante la normativa italiana non imponga l'utilizzo di cartelli illuminati internamente o l'uso di cartellonistica dinamica, esistono molteplici studi che dimostrano come la cartellonistica classica non soddisfi le aspettative di efficacia nel fumo. In particolare, lo studio di Paulsen analizza l'impatto del fumo sulla capacità di trovare un'uscita durante l'evacuazione. [7]

2.6.1 Cartellonistica dinamica

La segnaletica dinamica è caratterizzata da cartelli dotati di luci con le quali è in grado di cambiare aspetto in funzione della posizione dell'incendio. Per far ciò si utilizza una centralina di controllo, che viene impostata nel momento dell'installazione, alla quale sono collegati sensori di temperatura e dispositivi di rilevamento fumo. Con la combinazione di quest'ultimi il sistema è in grado di rilevare con una buona approssimazione il luogo di pericolo e indicare il percorso più sicuro e veloce per gli occupanti che devono raggiungere un luogo sicuro.

Il vantaggio principale di questi sistemi è quello che viene descritto nello studio eseguito da Galea, Cooney e Filippidis, nel quale si evince come le luci lampeggianti dell'ADSS (Active Dynamic Signage System) abbiano un effetto maggiore sulla scelta del percorso rispetto al sistema di segnaletica standard ed hanno, quindi, maggiori probabilità di promuovere l'adozione di procedure di evacuazione di emergenza, permettendo anche di abbassare i tempi di esodo. [6]

3. IL METODO UTILIZZATO

In questo capitolo vengono spiegate le caratteristiche principali, i concetti e fondamenti su cui si basano i software utilizzati per la creazione dell'applicativo.

3.1 BUILDING INFORMATION MODELING

Il *Building Information Modeling* (BIM) è alla base della trasformazione digitale nel settore dell'architettura, dell'ingegneria e delle costruzioni (AEC). Mediante questo approccio si è in grado di scambiare informazioni tra le diverse piattaforme software in base alle funzionalità di cui si necessita.

3.1.1 Modellazione tridimensionale

Per quanto riguarda la modellazione tridimensionale, è stata utilizzata la versione 2022 di *Revit*, il software prodotto dalla *Autodesk*¹⁰ che consente la progettazione con elementi di modellazione parametrica e di disegno. Il programma è composto da diverse sezioni, dalle quali si può accedere a tutte le funzionalità del programma. Nello specifico, per questo lavoro è stata utilizzata maggiormente la sezione che permette la modellazione degli elementi architettonici principali per creare le partizioni, le aperture e le chiusure orizzontali e verticali.

¹⁰ <https://www.autodesk.it/products/revit> [15]

3.2 FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Il Fire Dynamics Simulator (FDS) è un modello di calcolo di fluidodinamica computazionale, elaborato dai ricercatori del National Institute of Standards and Technology (NIST) [8] ed è un modello di campo¹¹. Per il lavoro è stata utilizzata la versione 6.7.6 e successive per FDS.

I modelli numerici si basano sui principi della chimica e fisica dell'incendio, ovvero sulla conservazione della massa, dell'energia e della quantità di moto.

Un modello di campo simula la dinamica di un incendio di un ambiente, dividendo lo spazio in un numero elevato di celle, risolvendo le equazioni di conservazione di massa, energia e quantità di moto all'interno di ciascuna di esse con il metodo degli elementi finiti. Suddividendo un ambiente in celle tridimensionali, si possono studiare geometrie diverse e più complesse rispetto a quelle di un semplice parallelepipedo, potendo prendere in esame la presenza di elementi architettonici particolari. In questo modo si possono ottenere risultati maggiormente dettagliati rispetto agli output dei modelli a zone.

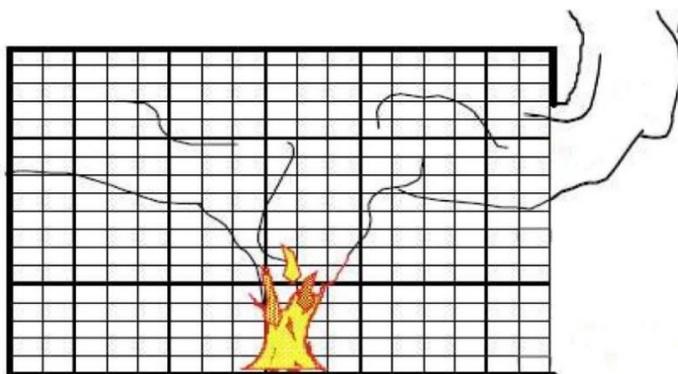


Figure 15 Modello di campo

¹¹ Per procedere con la valutazione delle soluzioni progettuali, il professionista antincendio può optare, in base agli obiettivi da raggiungere, tra modelli analitici e modelli numerici, fra i quali si trovano i modelli a zone e i modelli di campo.

3.2.1 Modellazione d'incendio

Per realizzare la modellazione d'incendio, è stato utilizzato il software *PyroSim*¹² versione 2021.3.0901, un'interfaccia grafica per FDS. PyroSim viene utilizzato per creare simulazioni di incendio che prevedono accuratamente il movimento del fumo, la temperatura e la concentrazione di tossine durante un incendio.

In generale, l'interfaccia PyroSim fornisce un feedback di input immediato e garantisce il formato corretto per il file di input FDS.

Gli step principali da seguire per la modellazione d'incendio sono:

- Definire una o più mesh:

Queste sono “*contenitori*” suddivisi in celle, all'interno dei quali avviene l'esecuzione dei calcoli computazionali. È importante definire una corretta dimensione delle celle in funzione della geometria del progetto e del grado di dettaglio che si vuole ottenere, in quanto minore è la dimensione delle celle e maggiore sarà il livello di dettaglio.

- Definire la geometria:

In generale, il modello può essere editato direttamente all'interno del software mediante gli elementi predefiniti, oppure si possono importare differenti formati, tra cui IFC.

- Selezionare una reazione:

Il modello di combustione utilizzato da FDS considera una singola specie di combustibile, composta da C, H, O e N che reagisce con l'ossigeno in una fase controllata della miscela per formare H₂O e CO₂, fuliggine (soot) e CO.

¹² <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim> [16]

Nella maggior parte delle simulazioni d'incendio, la pirolisi¹³ è definita specificando un tasso di rilascio di calore per unità di superficie (HRRPUA).

- Impostare gli elementi per visualizzazione dei risultati:

Gli output relativi all'andamento delle quantità che si vuole analizzare (temperature, visibilità, FED, irraggiamento) possono essere estrapolati dai *devices* – ovvero sensori di rilevamento – o attraverso le *slices*, cioè piani che intersecano il dominio computazionale definito dalle mesh in grado di visualizzare le informazioni acquisite avvalendosi di una scala cromatica.

3.3 VIRTUAL REALITY

La *Virtual Reality* (VR) nasce dalla combinazione di dispositivi hardware e software che consentono di creare uno spazio virtuale, in grado di simulare la realtà effettiva, all'interno del quale l'utente può muoversi liberamente. Le simulazioni in ambienti virtuali forniscono il massimo controllo sperimentale e consentono di studiare il comportamento degli occupanti in differenti scenari, riducendo al minimo i costi e i pericoli derivati dalla simulazione di una situazione "dal vivo".

Ecco perché la realtà virtuale è largamente utilizzata in diversi ambiti come l'ingegneria, la medicina, lo sport.

¹³ La pirolisi è un processo di decomposizione che avviene mediante l'applicazione di calore ad un materiale in condizioni anossiche, ovvero in assenza di ossigeno.

3.3.1 Realtà Virtuale e Aumentata

Con il termine *realtà virtuale* si intende la simulazione di un ambiente reale nel quale l'utente può essere immerso parzialmente o totalmente. Infatti, la realtà virtuale si divide in due categorie:

- Realtà virtuale *immersiva*, in cui l'utente ha la percezione di essere interamente immerso nell'ambiente tridimensionale.
- Realtà virtuale *non immersiva*, in cui lo schermo di un PC, (o altri strumenti), fa da finestra fra la realtà e l'ambiente tridimensionale virtuale.

La realtà aumentata, invece, aggiunge informazioni alla realtà, sovrapponendo il mondo digitale a quello reale. Questo avviene mediante l'utilizzo di dispositivi muniti di camera o webcam (smartphone e tablet), attraverso i quali si possono vedere i contenuti multimediali aggiunti in tempo reale.

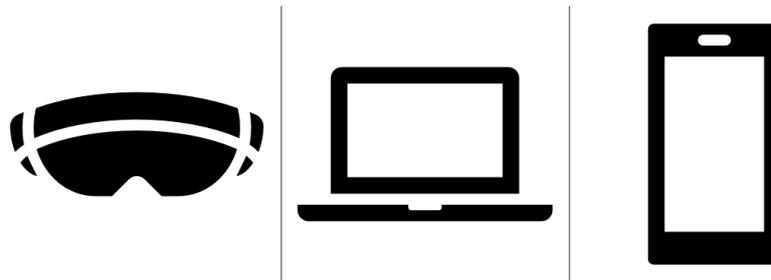


Figure 16 Differenze Realtà Virtuale

La realtà virtuale (VR) permette un'esperienza di immersione completa che isola le persone dal mondo reale e le trasporta in quello virtuale. In particolar modo, la realtà virtuale immersiva è quella che sta avendo maggior successo, grazie anche allo sviluppo di nuovi

strumenti ed apparecchiature per il suo utilizzo. Ad oggi, infatti, esistono strumenti all'avanguardia che permettono di rendere l'esperienza sempre più immersiva, fra cui, ad esempio, HTC Vive o Oculus Rift. Esistono, inoltre, dispositivi che permettono di rendere ancora più reale l'esperienza come, ad esempio, il Cybertiht visualizer¹⁴. Questo strumento permette di simulare lo spostamento dell'utente all'interno degli ambienti virtuali utilizzando una serie di sensori che permettono di rilevare l'esatta posizione del corpo. [9]

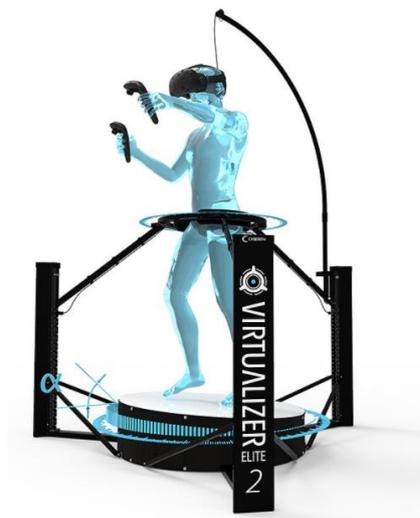


Figure 17 Cybertiht visualizer

Un'ulteriore tecnologia è quella relativa alle *Room Scale VR*, ovvero stanze dove l'utente è libero di muoversi, grazie ad una combinazione di movimento e rilevamento del visore all'interno di un'area dedicata per simulare il movimento nell'ambiente virtuale. Per far fronte ai limiti di spazio, un sistema di movimento apposito guida gli utenti lontano dalle pareti della stanza reale e accorcia i movimenti in linea retta all'interno del gioco.

¹⁴ Tapis roulant omnidirezionale per realtà virtuale

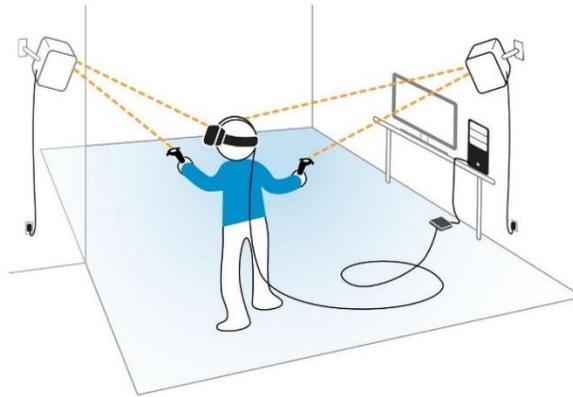


Figure 18 Room Scaled VR

3.3.2 Applicativo

Per la creazione dell'applicativo è stato utilizzato Unity¹⁵ in versione 201.1.23f1, un motore grafico multiplatforma sviluppato da Unity Technologies, che consente lo sviluppo di videogiochi e altri contenuti interattivi, quali visualizzazioni architettoniche o animazioni 3D in tempo reale.

L'interfaccia di Unity (*UnityEditor*) è composta da sei pannelli base, mediante i quali si può accedere alle funzioni principali per la progettazione del videogioco [10]:

- **Scene:** corrisponde allo spazio modello in cui vengono visualizzati gli elementi creati o importati da altri software. Quando viene creato un nuovo progetto, la scena risulta essere composta esclusivamente da una camera principale "*MainCamera*" e da una sorgente luminosa "*Directional Light*".

¹⁵ <https://unity.com> [17]

- **Hierarchy:** in questa finestra vengono elencati tutti gli elementi come i “GameObject” e i “Prefab” presenti nella scena.
- **Game:** in questo pannello viene visualizzato ciò che si sta modellando con la vista della “MainCamera”.
- **Inspector:** corrisponde ad un pannello proprietà all’interno del quale si possono visualizzare le impostazioni, i parametri e i “Components” associati all’oggetto selezionato, come ad esempio gli Scripts.
- **Project:** in questa sezione si trovano gli “Assets”, come i modelli 3D, i suoni, le immagini, i materiali, le scene e gli scripts contenuti nel progetto, e i “Packages” come le funzionalità necessarie per soddisfare le esigenze del progetto.
- **Console:** sezione in cui si possono visualizzare gli errori, gli avvisi o i messaggi in generale del programma.

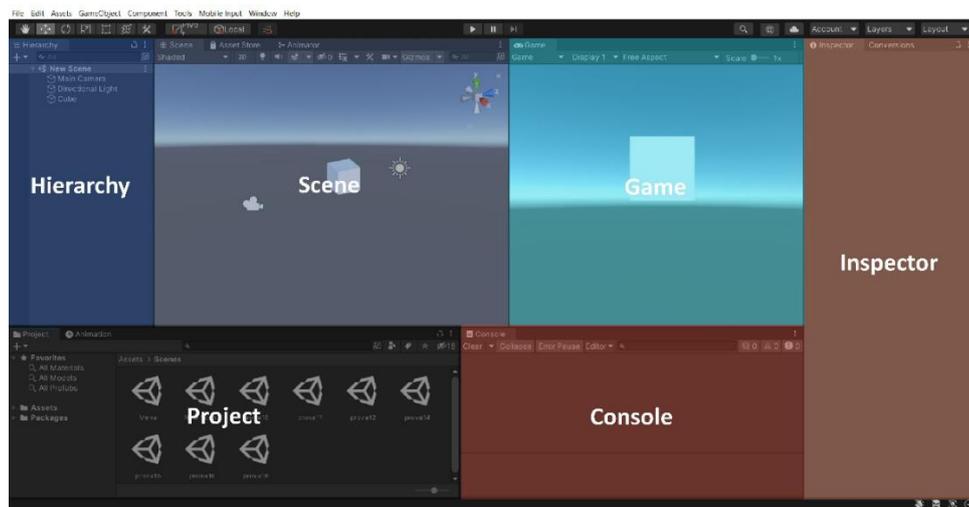


Figure 19 Pannelli principali Unity

Il motore di sviluppo, *Unity Engine*, è caratterizzato da tre aspetti fondamentali:

- Game Object: cioè gli oggetti fondamentali che caratterizzano il programma. Essi rappresentano tutti gli elementi all'interno della scena, come personaggi, oggetti di scena, sistemi di controllo, scenari e *particle system*¹⁶.
- Components: sono componenti aggiuntivi che conferiscono e aggiungono proprietà o funzionalità al *Game Object* al quale vengono associati. Tra i più importanti troviamo:
 - I *collider* i quali conferiscono le proprietà fisiche dell'urto, ovvero permettono agli oggetti che hanno associato questo tipo di *component* di scontrarsi tra di loro.
 - *RigidBody*: l'aggiunta di questo componente a un oggetto metterà il suo movimento sotto il controllo del motore fisico di Unity. Generalmente viene usato per attribuire le forze fisiche come gravità, accelerazione e attrito al personaggio principale che si muove all'interno della scena.
 - *Scripts*: è il componente che permette di associare un determinato codice ad un oggetto.
 - *Animator*: componente che permette di animare oggetti all'interno di ogni scena.
 - *Audio Source*: permette di riprodurre musica o suoni in 3D e in 2D. Questi ultimi sono costanti, ovvero il volume di riproduzione non varia in base al luogo in cui si trova il giocatore, mentre i suoni in 3D si modificano

¹⁶ Particle System è la modalità con la quale è stato ricreato il fumo all'interno dell'applicativo.

simulando il comportamento del suono nella realtà, aumentando o diminuendo di volume in funzione della lontananza del giocatore dalla sorgente emittente il suono.

- *Prefab*: sono *Game Object* prefabbricati. Vengono utilizzati quando si lavora con più scene. Infatti, modificando le proprietà di un *prefab* queste vengono aggiornate automaticamente in ogni scena in cui è stato inserito l'oggetto prefabbricato.

4. APPLICAZIONE

In questo capitolo viene descritto il caso preso in esame in questo lavoro di tesi. Il caso studio preso in analisi è un contesto realistico tipico del settore terziario, ovvero una struttura adibita ad ufficio.

Per l'obiettivo di questa tesi, non è stato necessario fare riferimento ad un caso studio reale. Questa scelta è stata fatta sulla base di due motivazioni: in primo luogo, avendo la totale possibilità di scelta nella fase progettuale, ci si è potuti concentrare maggiormente sull'aspetto distributivo degli ambienti, realizzando l'assetto della struttura in base agli elementi prefissati da analizzare. Infatti, è stato possibile progettare un ambiente con vie di esodo intuibili e facilmente percorribili e, ad esempio, sono state inserite tre uscite di emergenza collegate da due corridoi perpendicolari tra loro.

In secondo luogo, era necessario lavorare su un modello di dimensioni contenute per diminuire l'impiego da parte dell'hardware, in quanto le simulazioni sono molto dispendiose in termini computazionali di CPU. Dunque, si è reputato opportuno analizzare un caso studio semplice ma – allo stesso tempo – completo, dal quale si potessero estrapolare risultati significativi senza dover riprodurre necessariamente un caso reale.

L'ufficio ideato è caratterizzato da un unico piano a pianta rettangolare di circa 230m², caratterizzato da un corridoio centrale dal quale si accede ad ogni singolo locale. La struttura dell'ufficio è stata progettata con una maglia 6m x 5m di pilastri in cls 30cm x 30cm ed una copertura piana in cls.

Nello specifico, all'interno della struttura possiamo trovare gli ambienti tipici di un ufficio:

- Ingresso / zona di attesa per pubblico
- Ufficio segreteria
- Sala riunioni
- Ufficio del Direttore
- Ufficio del Presidente
- Break Room
- Due uffici per i coordinatori
- Zona comune con sei postazioni di lavoro indipendenti
- Archivio
- Area stampa
- Servizi igienici

Per l'obiettivo generale della tesi la parte architettonica non è di particolare interesse. L'unico aspetto degno di nota, in questo senso, è la presenza di un controsoffitto lungo tutto lo sviluppo della superficie della pianta. La presenza del controsoffitto è di particolare interesse per il propagarsi del fumo, in quanto riduce notevolmente il volume che questo potrebbe occupare prima di abbassarsi verso il pavimento.

Di seguito si riportano la pianta con l'indicazione delle funzioni principali e una sezione significativa¹⁷:

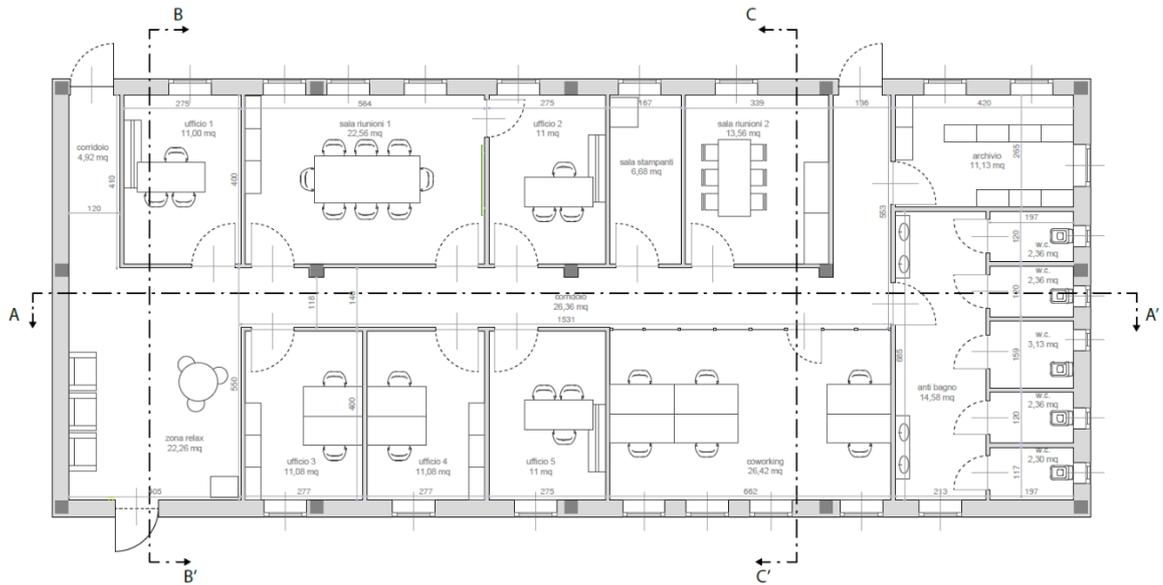
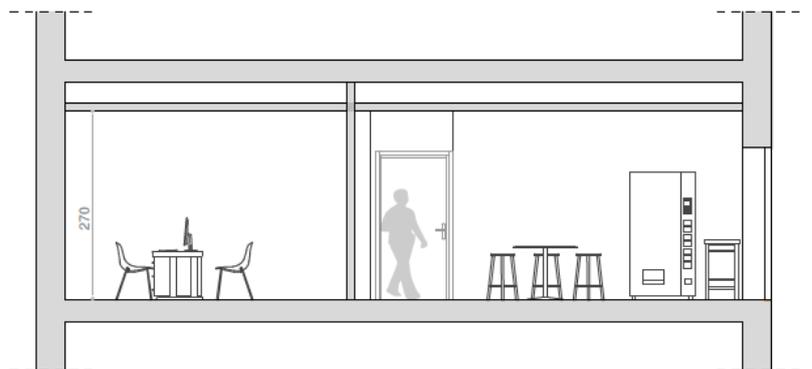


Figure 20 Pianta piano terra



sezione BB'

Figure 21 Sezione

¹⁷ Per ulteriori dettagli si rimanda agli allegati finali.

4.1 MODELLAZIONE

Per realizzare l'ambiente di simulazione e l'applicativo sono stati creati differenti modelli utilizzando svariati software, ognuno dei quali ha avuto un ruolo cruciale nelle varie fasi di modellazione.

4.1.1 Revit

La modellazione è cominciata utilizzando il programma *Revit*, software basato sul BIM (*Building Information Modeling*) della *Autodesk*, che consente la progettazione con elementi di modellazione parametrica e di disegno. Con *Revit* è stato ricreato un primo modello tridimensionale, completo di tutti gli elementi architettonici e strutturali, a cui sono stati aggiunti quegli elementi relativi all'emergenza antincendio come la cartellonistica, gli estintori e i pulsanti per allarme.

Di seguito si riportano delle immagini del modello tridimensionale ottenuto con la modellazione in *Revit*:

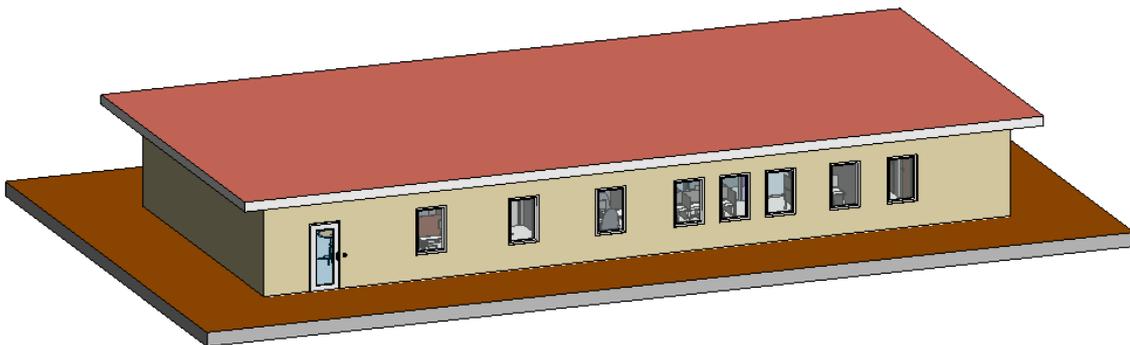


Figure 22 Vista 3D generica

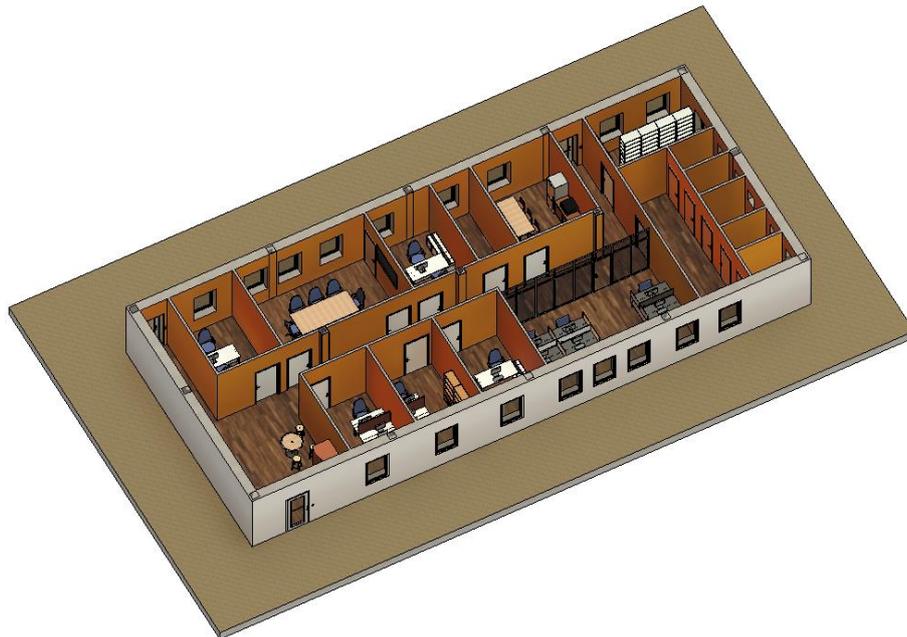
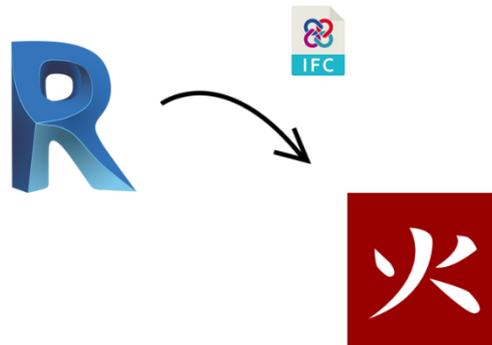


Figure 23 Vista 3D interni



Figure 24 Vista Cinepresa interna

Dopo la realizzazione del primo modello tridimensionale, è stato creato il file IFC (Industry Foundation Classes), necessario per passare alla modellazione di uno scenario d'incendio.



4.1.2 Pyrosim

Una volta ottenuto il modello generico, si è passati alla modellazione dell'incendio con il programma *PyroSim* della *Thunderhead*, software che permette di creare un'interfaccia utente basata sulla *Fire Dynamics Simulator* (FDS). Con questo programma sono state create simulazioni di incendio che prevedono accuratamente il movimento del fumo, la temperatura e la concentrazione di tossine durante un incendio.

Il primo step per la modellazione dell'incendio che permetta di ottenere i risultati sopra descritti, consiste nell'importazione del modello Revit mediante IFC. Nello specifico, è stato importato il file di un modello "primordiale", nel quale sono presenti esclusivamente le partizioni verticali e orizzontali, ovvero pavimenti, pareti, controsoffitto e copertura.

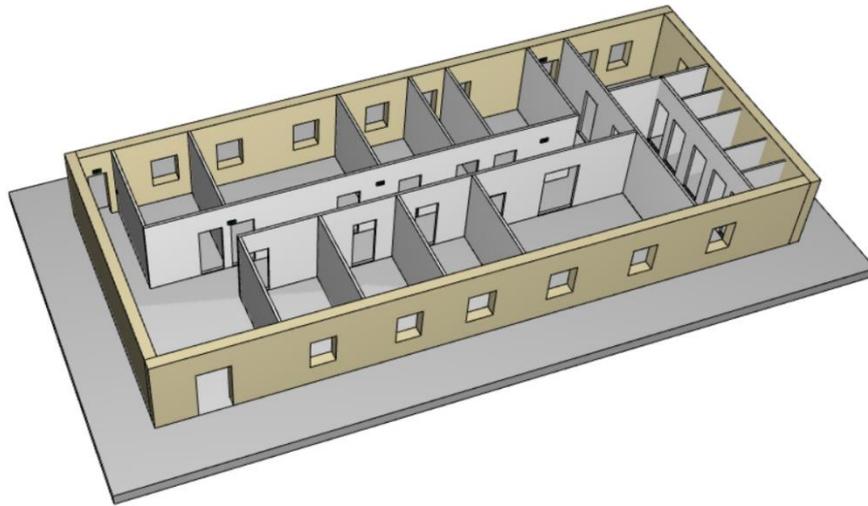


Figure 25 Modello importato in PyroSim

In questa prima fase sono stati tralasciati tutti gli ingombri, come gli arredi, per non appesantire troppo il modello. Solo successivamente sono state create, direttamente nel programma in uso, delle ostruzioni per simulare – con un grado di approssimazione adeguato – gli ingombri derivanti dagli arredi, così da rendere il modello maggiormente realistico.

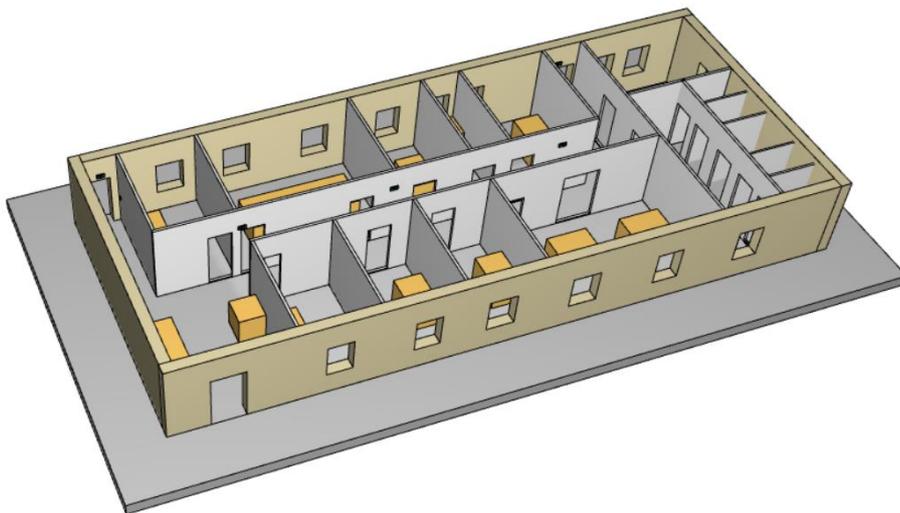


Figure 26 Vista 3D con ostruzioni

Il secondo step ha visto la creazione degli elementi che permettono al programma di lanciare la simulazione e, successivamente, la lettura dei risultati da parte dell'utente. Nello specifico, sono state svolte le seguenti azioni:

- Creazione di una *mesh*
- Realizzazione delle aperture in Pyrosim
- Definizione della reazione
- Definizione delle superficie di bruciatore
- Posizionamento dei dispositivi per la lettura dei risultati
- Definizione delle *slices*

Le mesh in PyroSim sono molto importanti, in quanto sono la base per il calcolo computazionale e sono la prima cosa da impostare prima di procedere con la simulazione. In generale, se un oggetto non è presente all'interno della mesh non viene preso in considerazione a livello di calcolo. Inoltre, quando la posizione di un oggetto non è esattamente conforme in una mesh, l'oggetto viene riposizionato automaticamente durante la simulazione. Per questo motivo, è necessario definire una grandezza delle celle idonea sia per la presenza degli oggetti, sia per ottenere un'accuratezza di simulazione ottimale.

Per definire una dimensione delle celle ottimale è stata eseguita un'analisi di sensibilità che si concretizza, essendo nella fase iniziale in condizioni standard¹⁸, nella risoluzione della seguente espressione:

$$D^* = \left(\frac{Q^*}{1100} \right)^{\frac{2}{5}}$$

Dove:

D^* = il diametro caratteristico del fuoco

Q^* = rilascio termico (Kw)

¹⁸ Per condizioni standard s'intende 25°C e 1atm.

Inserendo il valore di picco, che nel nostro caso è pari a 1600 kW, sulla base delle curve RHR si ottiene un valore di 1,16m. Essendo il valore della cella pari al 5% o al 10% del diametro caratteristico, dovremmo impostare una dimensione di cella delle mesh pari a 0,08m o 0,16m. Per evitare lunghi calcoli computazionali per definire con accuratezza la dimensione della cella, irrilevanti ai fini di questo lavoro, è stata impostata una dimensione di cella pari a 0,5 m.

Di seguito si riporta un estratto del modello su PyroSim della mesh creata:

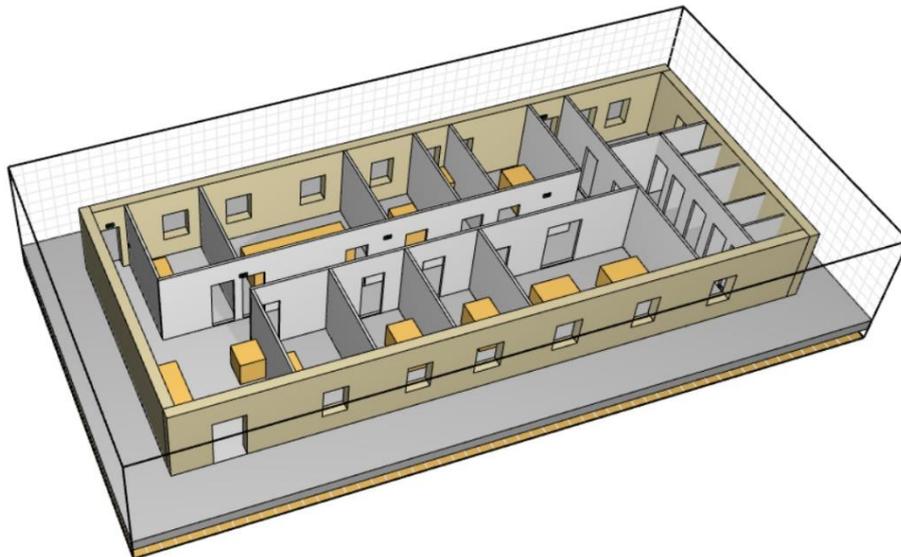


Figure 27 Mesh creata su PyroSim

Dopo aver impostato, mediante il comando *“Open Mesh Boundaries”*, che la mesh non costituisca un ambiente chiuso e dunque si possa interagire con le condizioni ambientali al di fuori del dominio, sono state create le aperture mediante il comando *“Hole”* preimpostato sul programma.

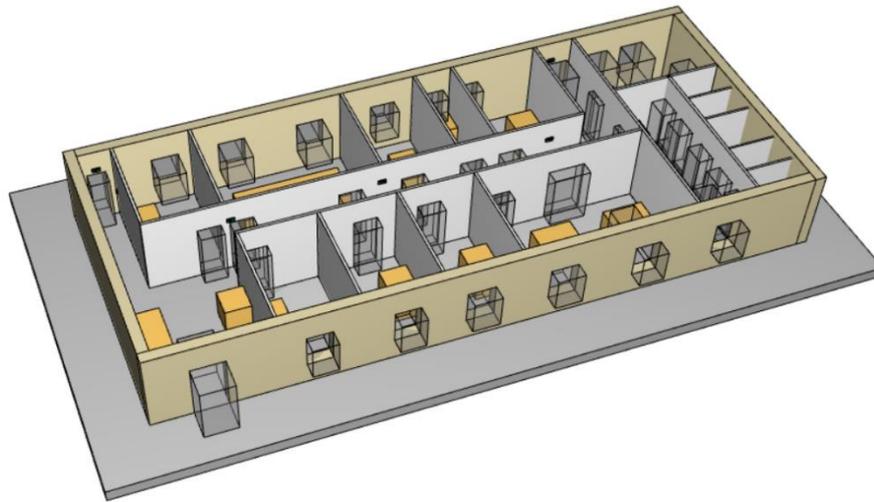


Figure 28 "Hole" creati per le aperture

Successivamente, si è passati alla definizione della reazione.

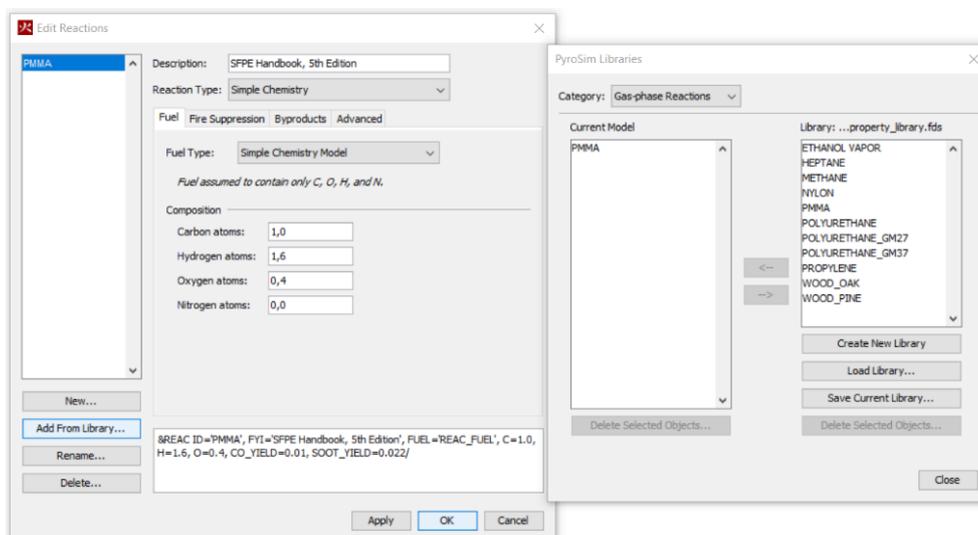


Figure 29 Reazione PyroSim

In questo caso è stata scelta una reazione predefinita presa da *SFPE HandBook*, in particolare la reazione di combustione del PMMA (polimetilmetacrilato), ovvero una

materia plastica di cui, nell'immagine sopra, possiamo vedere la composizione. Il modello di combustione composto da FDS considera una singola specie di combustibile composta da C, H, O e N che reagisce con l'ossigeno in una fase controllata dalla miscela per formare H₂O, CO₂, fuliggine (soot) e CO.

La fase successiva consiste nella creazione di una superficie denominata "Bruciatore", alla quale si è associata una curva HRR (Heat Release Rate).

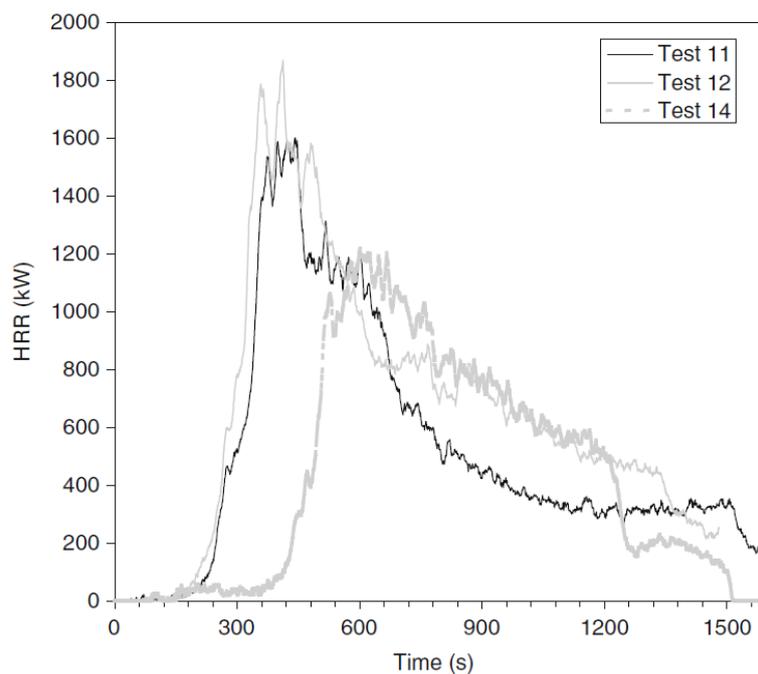


Figure 30 Curva HRR

L'inserimento della curva all'interno del software è avvenuto seguendo i passaggi riportati nel codice (M.2.6), iniziando a stimare l'andamento del primo tratto fino al valore calcolato di t_A ; successivamente, dal tratto costante al valore di picco fino al valore di t_B ed infine stimando il valore di t_C in modo da ricavare il tratto decrescente.

È importante evidenziare che i valori inseriti rappresentano la frazione di calore emesso, ogni valore è stato cioè diviso per il valore di picco della curva.

Di seguito si riporta un estratto dei valori inseriti all'interno del programma:

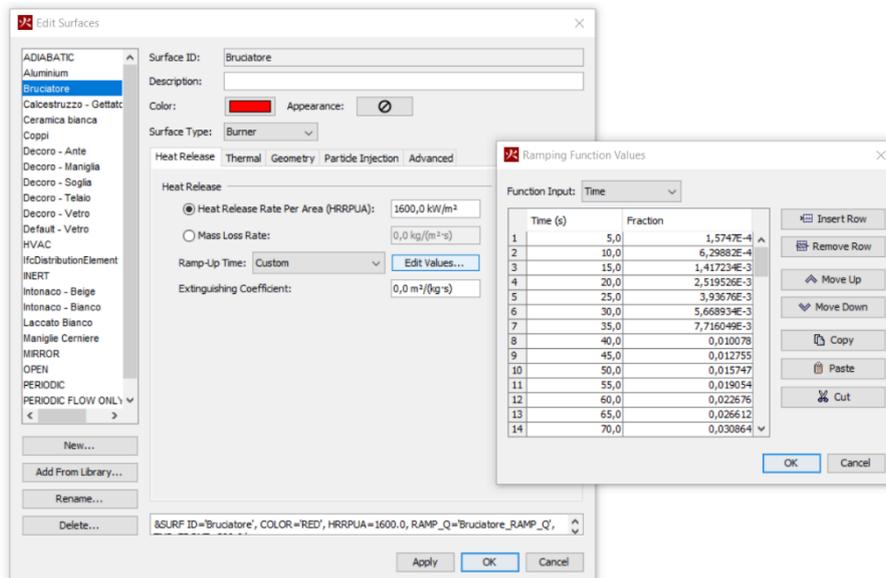


Figure 31 Inserimento curva HRR

Questo passaggio è rilevante poiché quest’ultima reazione è stata successivamente associata alla faccia di un “*obstruction*” di forma cubica di dimensioni pari a 1m². Il cubo ricreato è stato posizionato dove si presuppone ci sia l’innesco dell’incendio. Nel caso preso in esame è stato posizionato all’ingresso, in corrispondenza della macchina caffè\snack.

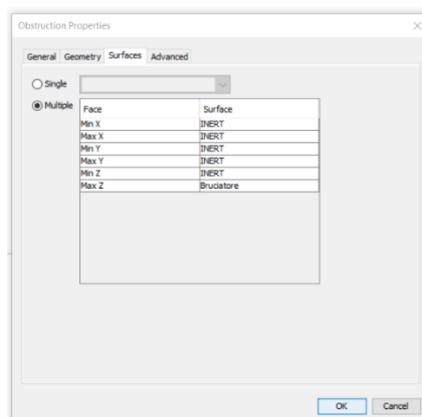


Figure 32 Assegnazione superfici

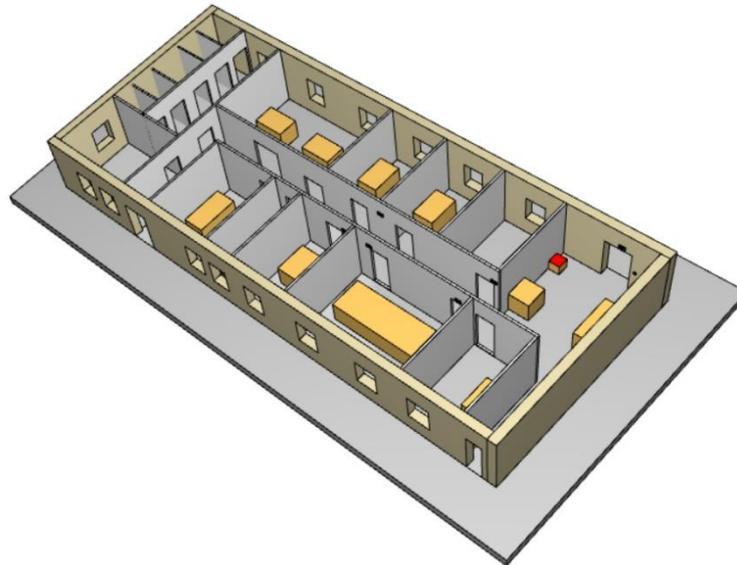


Figure 33 Posizione Bruciatore

Successivamente, sono stati inseriti i dispositivi di rilevamento mediante il comando “Devices” preimpostato sul programma. Questi sono stati posizionati nei punti in cui si volevano conoscere i valori d’interesse (temperatura, visibilità, irraggiamento e FED), ovvero in corrispondenza delle uscite di sicurezza, lungo il corridoio, al di sopra del focolaio e in posizione centrale rispetto alla sala d’ingresso.

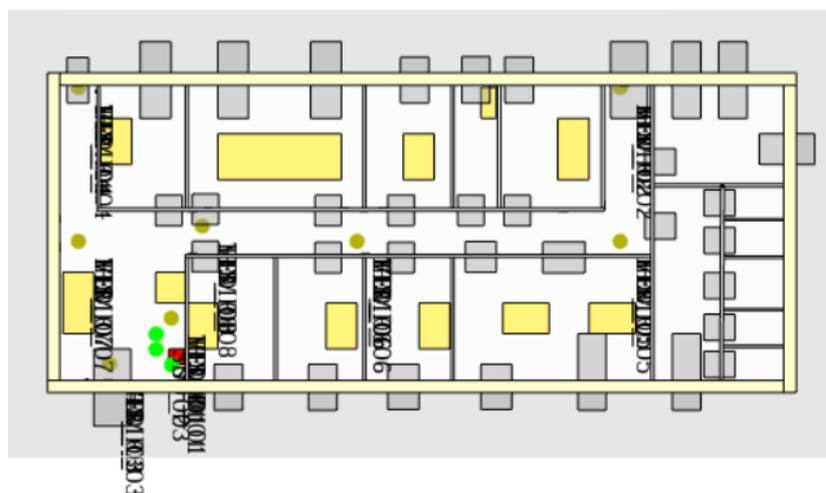


Figure 34 Posizione Devices

L'ultima azione da eseguire prima di settare i parametri della simulazione consiste nel creare le *slices* mediante il comando "*Slice Planar*" preimpostato sul programma. Le *slices* sono piani in grado di misurare i dati della fase gassosa (ad es. pressione, velocità, temperatura). Questi dati possono quindi essere animati e visualizzati utilizzando il tool per la visualizzazione dei risultati di PyroSim.

In questo caso, le *slices* sono state posizionate lungo le vie d'esodo (ovvero percorrono il corridoio centrale) e perpendicolarmente al lato lungo della pianta, in corrispondenza delle uscite e nella zona centrale. In questo modo, si riescono a rilevare i dati negli ambienti di maggior interesse.

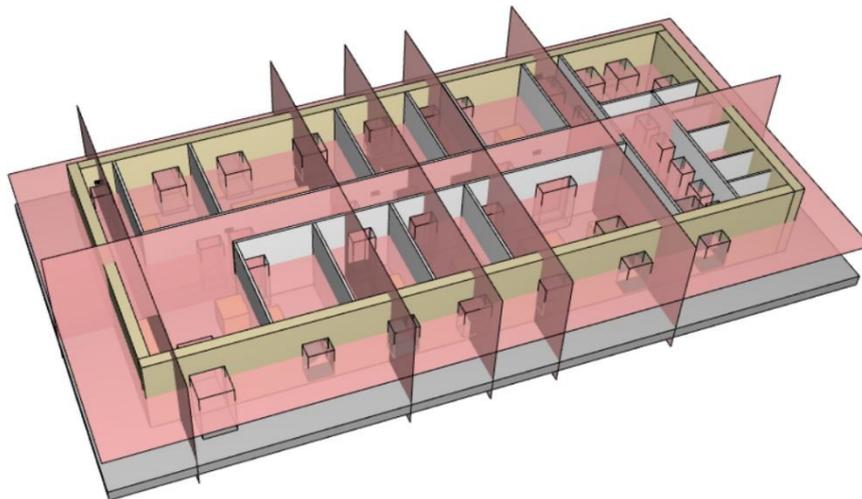


Figure 35 Posizionamento slices

Infine, il terzo ed ultimo step consiste nel settare i parametri relativi ai risultati da visualizzare. In questo caso, per raggiungere gli obiettivi di questa tesi, all'interno del software - oltre alle grandezze misurate dai devices e dalle slices - sono stati impostati come output delle isosuperfici i valori relativi alla visibilità.

Una volta terminata l'analisi, è possibile visualizzare i risultati della temperatura visibilità in funzione del tempo.

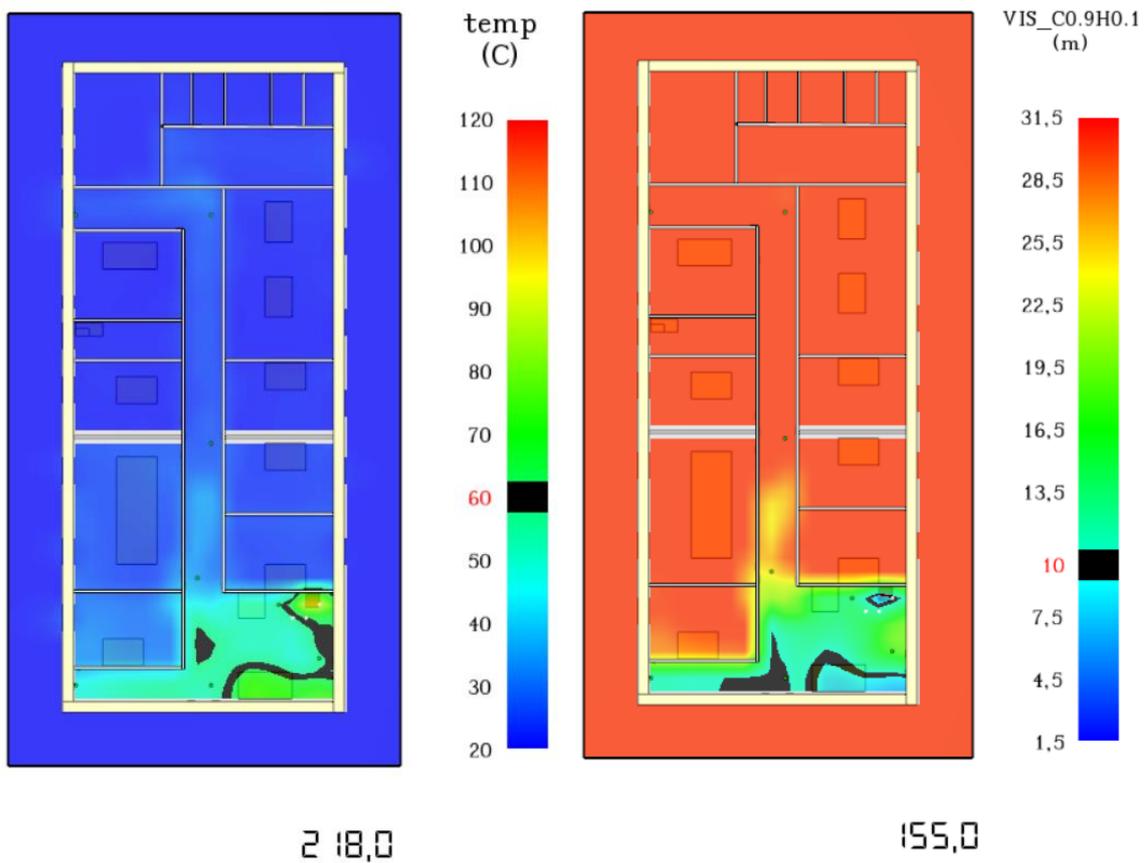


Figure 36 Variazione Temperatura

Figure 37 Variazione Visibilità

Dalle immagini precedenti possiamo notare come la visibilità possa essere il parametro che condizioni il tempo entro il quale bisogna esodare (ASET) per poter rispettare il principio $RSET < ASET$.

Per verificare esattamente qual è la variabile che determina *ASET* e l'istante esatto in cui si supera il valore limite, è possibile graficare i valori registrati dai vari *devices* posizionati nel modello:

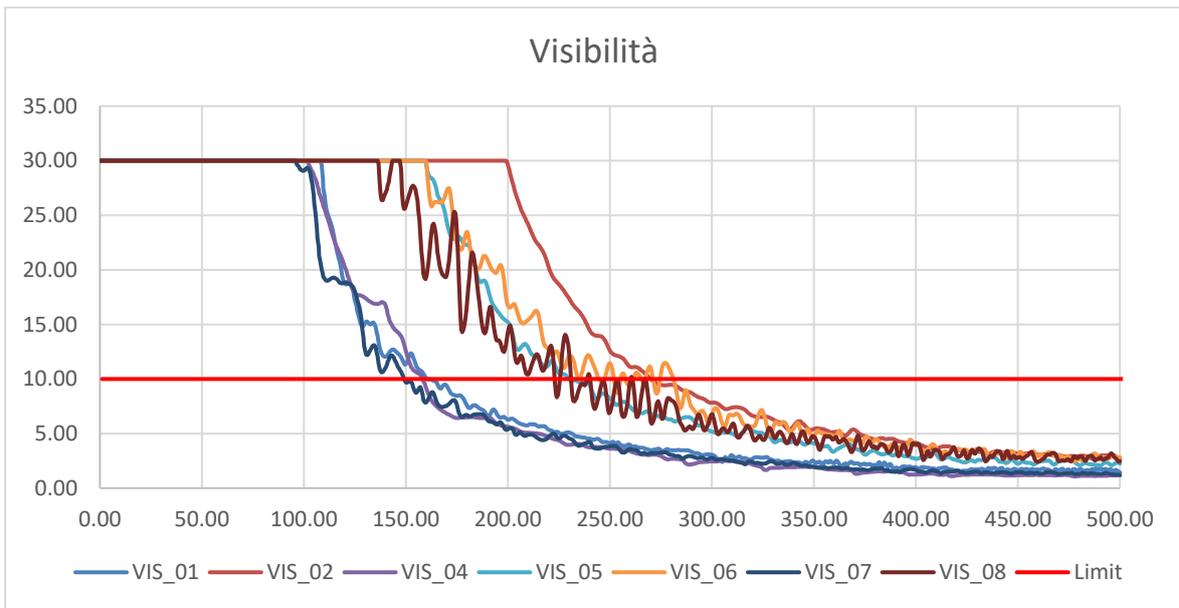


Figure 38 Grafico visibilità

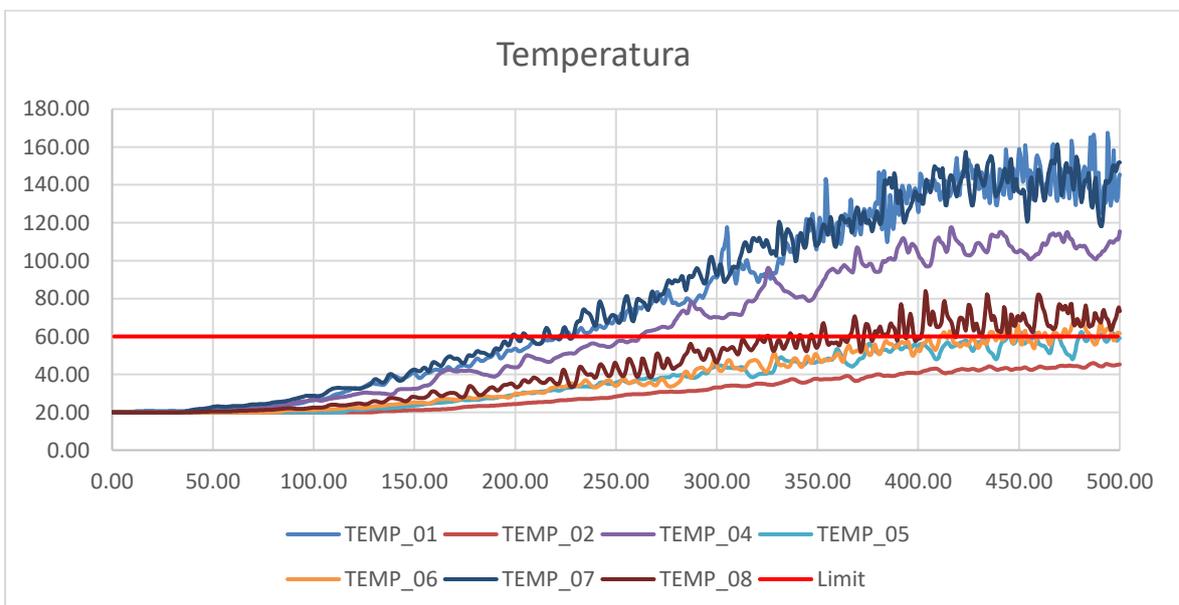


Figure 39 Grafico temperatura

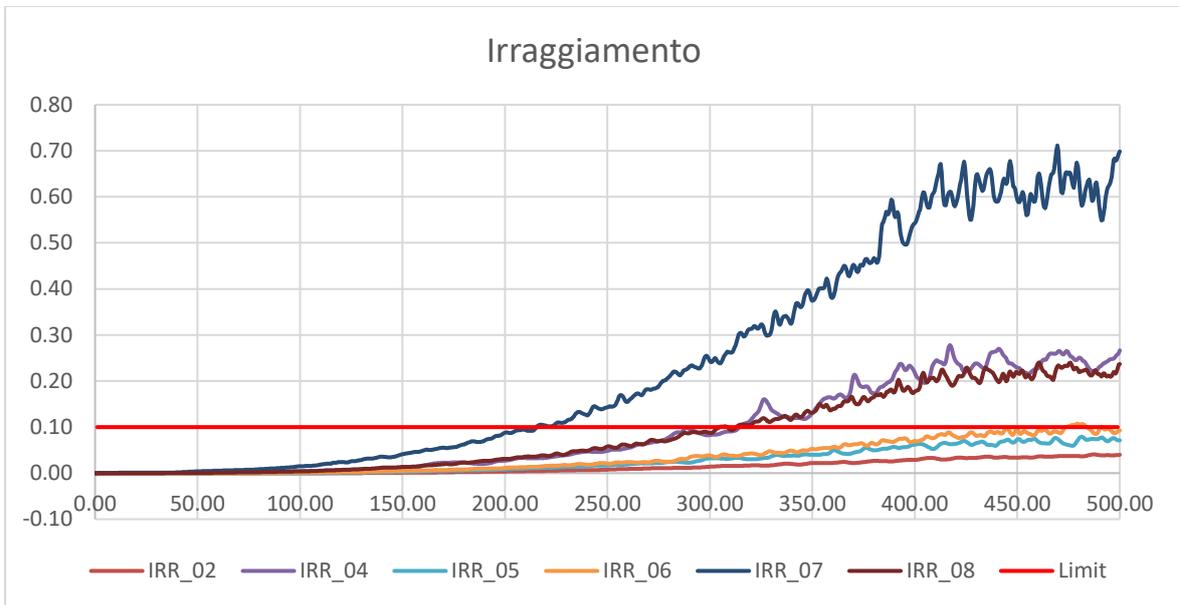


Figure 40 Grafico irraggiamento

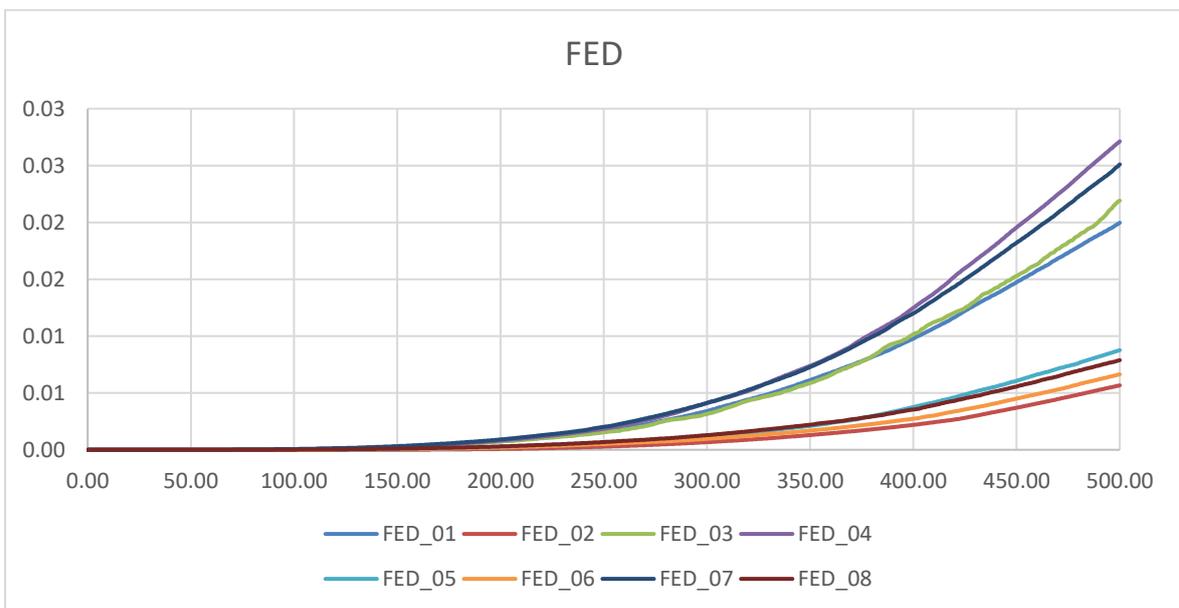


Figure 41 Grafico FED

I grafici evidenziano che la variabile che determina *ASET* è la visibilità, in quanto il valore limite imposto dalla normativa viene superato prima rispetto al valore di temperatura e

irraggiamento. In particolare, il tempo da rispettare è 149s, ovvero circa due minuti e trenta secondi.

Per completezza, si mostrano i risultati riguardanti le isosuperfici relative alla visibilità e alla presenza del fumo a 149s.

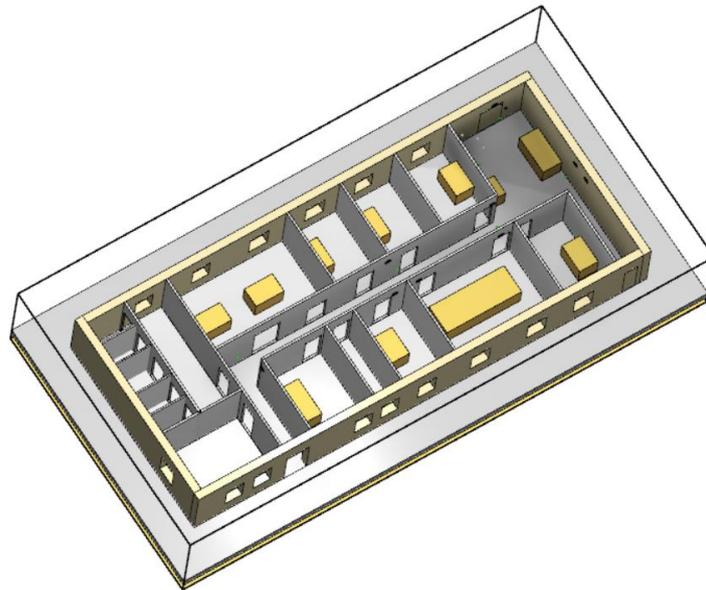


Figure 42 Visibilità con presenza di fumo a 149s

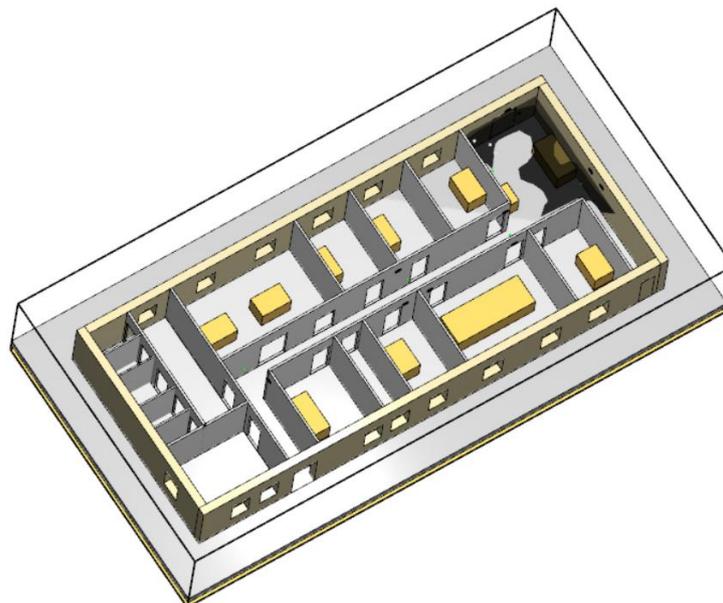


Figure 43 Isosuperficie visibilità 10m a 149s

Come si può vedere dai risultati derivanti dalla simulazione, le condizioni di visibilità nell'ambiente a 149s non appaiono molto gravose. Il motivo principale è che il valore della visibilità inferiore ai 10m è stato rilevato da un device posto a quota 2m, condizione che ci pone a favore di sicurezza.

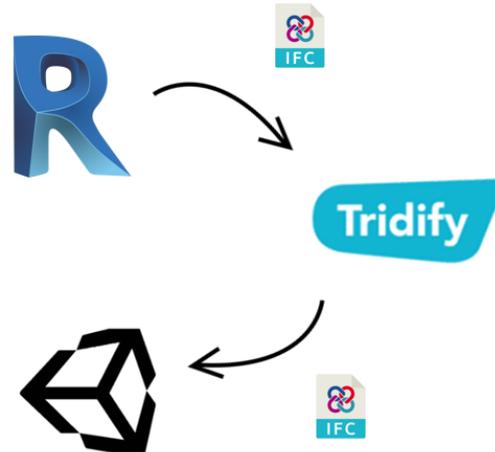
Nonostante il tempo per abbandonare l'edificio non sia elevato, si può affermare che, come si potrà vedere dai risultati nel capitolo 7, gli occupanti riescono ad uscire dalla porta antincendio entro 120s, rispettando dunque il principio di $ASET > RSET$.

Una volta estrapolati i risultati di Pyrosim, si è passati alla ricreazione del fumo in funzione dei dati estrapolati finora, mediante l'utilizzo del software *Unity*.

4.1.3 Unity

Unity è un software che consente lo sviluppo di videogiochi e altri contenuti interattivi, quali visualizzazioni architettoniche o animazioni 3D in tempo reale.

Come per PyroSim, per procedere con il lavoro all'interno di Unity è stato necessario importare il modello realizzato con Revit. In questo caso, però, è stato utilizzato un tool differente, in quanto il programma non supporta direttamente il formato IFC. Il plugin utilizzato è *Tridify*, mediante il quale è possibile caricare il file in formato .ifc all'interno di un cloud e scaricarlo in Unity mediante il plugin.



Per svolgere questa operazione è necessario:

- Aprire un account su BIM Tridify.
- Caricare il file .ifc all'interno di un progetto.

Projects > import

IFC File Capacity (Educational Plan)

141.48 MB of 200 MB used

UPGRADE PLAN

FILES (1) COLLABORATORS (1) PUBLISHED LINKS (0)

Drop IFC2x3 files or click here to upload

1 IFC files (57 MB total)

Publish	File	Status	Uploaded at ↓	Uploaded by
<input type="checkbox"/>	Progetto_var_8	✓ Ready to publish	14.01.2022 14:36	s279645@studenti.polito.it

Figure 44 Schermata elaborazione file in Tridify

- Scaricare dall'Asset Store il plugin di Tridify.
- Dopo aver effettuato l'accesso, importare il file mediante il tool installato.

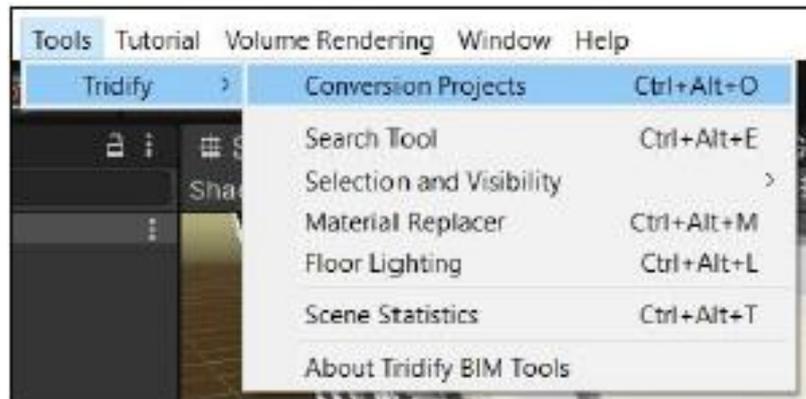


Figure 45 Plug-in Tridify in Unity

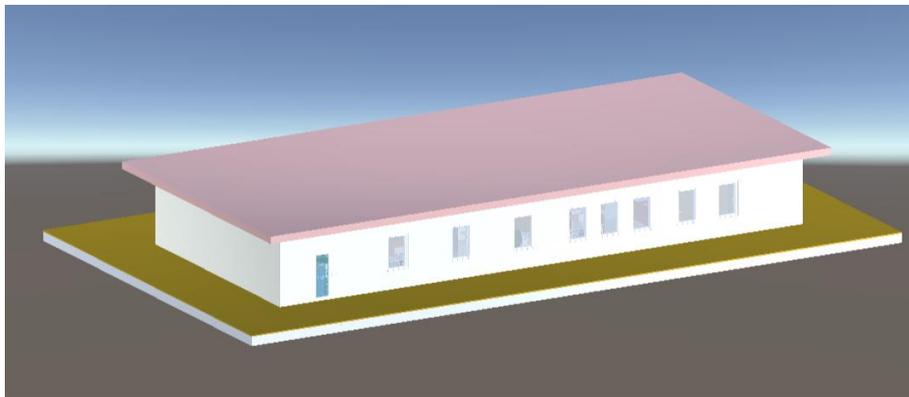


Figure 46 Modello importato in Unity

Una volta eseguiti tutti i passaggi descritti, il primo step all'interno di Unity è stato quello di aggiungere o ricreare tutte le informazioni che non sono state trasferite da un software all'altro, in particolar modo i materiali e le textures.

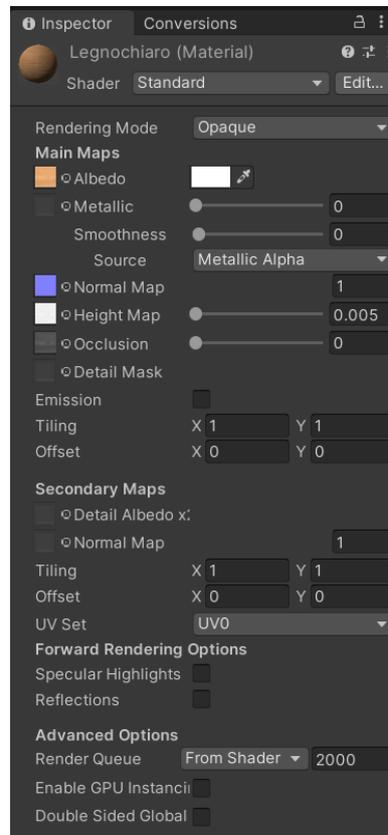


Figure 47 Inserimento materiali in Unity

Come si può vedere dall'immagine sopra, ad ogni materiale ricreato all'interno del software è stato associato uno shader, andando ad impostare oltre alla texture di albedo, anche i parametri e le texture come:

- Metallic;
- Emission;
- Normal Map;
- Hight Map;
- Occlusion Map;

Questa operazione serve per rendere il contesto maggiormente realistico.

L'importazione ha comportato la creazione di "*GameObject*" per ogni elemento presente nel modello iniziale. Grazie a questo, come spiegato nel capitolo precedente, ad ognuno di essi si è potuto associare uno o più "*Components*".

Per poter navigare all'interno del modello, si è scaricato dall'Asset Store, un modello prefabbricato standard concernente un controller FPS¹⁹, grazie al quale si ha la possibilità di muoversi con una visione in prima persona. A questo "personaggio" è stato associato il componente "*RigidBody*", mediante il quale si va a mettere il movimento di un oggetto sotto il controllo del motore fisico di Unity; quindi, esso sarà soggetto alle forze gravitazionali e reagirà alle collisioni con gli oggetti ai quali è stato aggiunto il componente denominato "*Collider*".

Quest'ultimo componente è stato associato a tutti gli elementi del modello, in modo tale che il personaggio non possa attraversare pareti e pavimenti.

In particolare, al personaggio è stata assegnata una velocità pari a 1,25m/s, determinate per fare una prima verifica sul rispetto del criterio $ASET > Rest$.



¹⁹ *First-person Shooter* è un tipico controller utilizzato principalmente nei videogiochi, nei quali il giocatore vede sullo schermo la simulazione di ciò che vedrebbe se si trovasse nei panni del personaggio.

Successivamente, si è passati alla modellazione del fumo. Per compiere questa operazione è stato utilizzato un *GameObject* generico al quale è stato associato un “*Effect*” denominato “*Particle system*”.

La modellazione del fumo è completamente basata sugli output di Pyrosim visti in precedenza. Per una maggior corrispondenza e facilità nel ricostruire i risultati, si è ricorsi all’ausilio di differenti sistemi particellari, distinti in funzione della zona da ricoprire.



Figure 48 Particle Systems inseriti nel modello

Il sistema di particelle in Unity permette di simulare ogni tipo di liquido in movimento, in quanto è presente una vasta gamma di impostazioni e proprietà modificabili che permettono la personalizzazione del singolo sistema particellare.

Di seguito un estratto delle proprietà e dei moduli modificabili per i sistemi particellari:

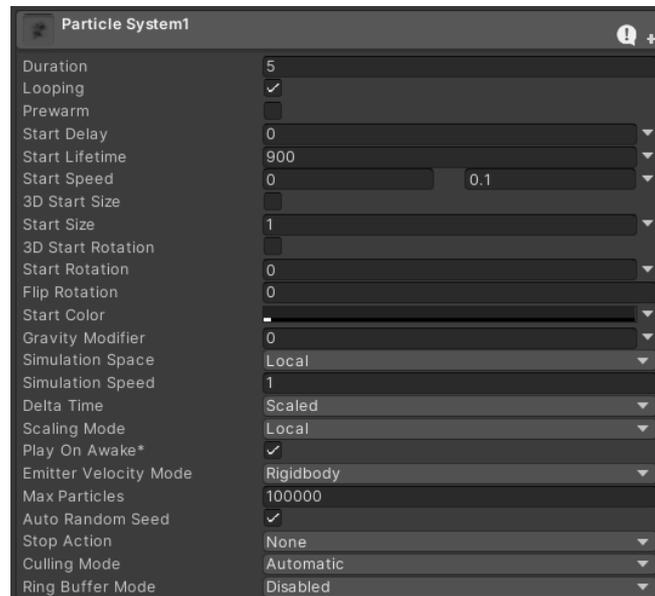


Figure 49 Proprietà principali particle system



Figure 50 Moduli modificabili per particle system

In questo caso, le principali proprietà modificate riguardano:

- la durata
- la forma di emissione

- la velocità
- la rotazione
- le collisioni
- le forze esterne
- il render

Si è andati a lavorare su ognuna di queste proprietà per ogni *particle effect* inserito all'interno del modello.

Il passo successivo è stato l'inserimento dei sistemi antincendio, come gli estintori, i pulsanti di allarme, la segnaletica, le piante di evacuazione, la cartellonistica e il sistema di allarme.

In particolar modo, il sistema di allarme si differenzia rispetto agli altri in quanto è un componente dinamico. Infatti, l'allarme scatta quando viene premuto il pulsante apposito (posizionato in corrispondenza di ogni uscita di emergenza) o dopo un tempo pari a 45s dall'inizio della simulazione.

Nello specifico, l'allarme è composto da due differenti tipologie, definite da un *Components* denominato "*Audio Source*", ovvero:

- Una sirena di allarme classica
- Un messaggio vocale di allarme

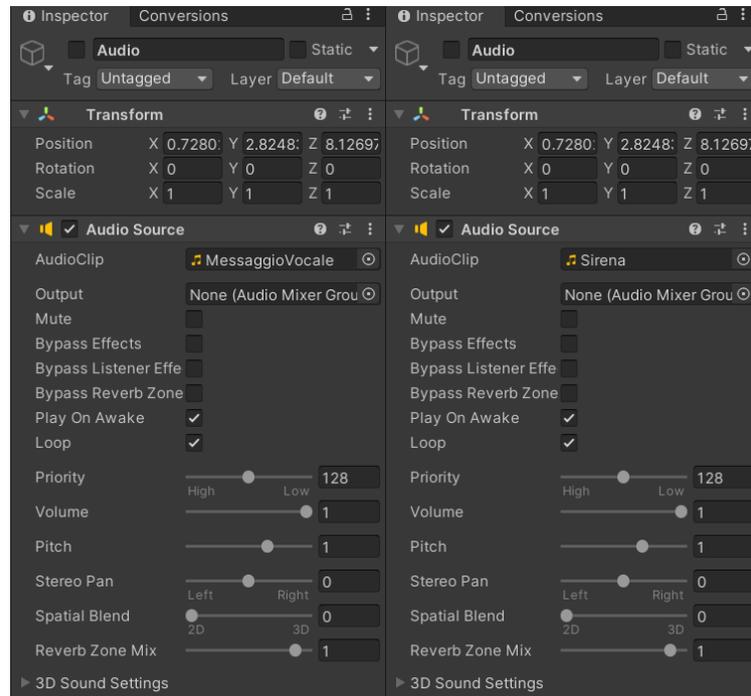


Figure 51 Audio Source

Dopodiché, si è passati a modellare la parte di lighting. All'interno del software si può optare per differenti tipologie di "emettitori" e creare un modello luminoso totalmente da zero in funzione delle proprietà e caratteristiche che si vogliono attribuire ad un ambiente. Per rendere il più possibile reale il modello realizzato, sono state utilizzate luci fotometriche, ovvero luci con formato IES (*Illuminating Engineering Society*). I file con formato fotometrico standardizzato vengono utilizzati in quanto consentono ai progettisti di valutare l'efficienza dei sistemi di illuminazione prima che questi vengano installati. Nel caso in esame, i file sono stati scaricati direttamente dal sito della *Philips*²⁰.

²⁰ www.usa.lighting.philips.com/support/support/literature/photometric-data [14]

I dati fotometrici includono:

- la sorgente luminosa: ovvero la quantità totale di luce visibile emessa dalla sorgente e viene misurata in *lumen*;
- l'intensità della luce: ovvero la quantità di lumen in una data direzione attraverso l'angolo solido misurato in *candele*;
- la potenza della sorgente luminosa, misurata in *watt*;
- le informazioni relative al formato di dati assoluti o relativi.

In aggiunta all'utilizzo di questi file, sono stati eseguiti degli aggiustamenti in funzione dell'emissività e del grado di contributo all'illuminazione globale che fornivano i materiali utilizzati. Le modifiche apportate riguardano il valore di intensità e il raggio di azione.

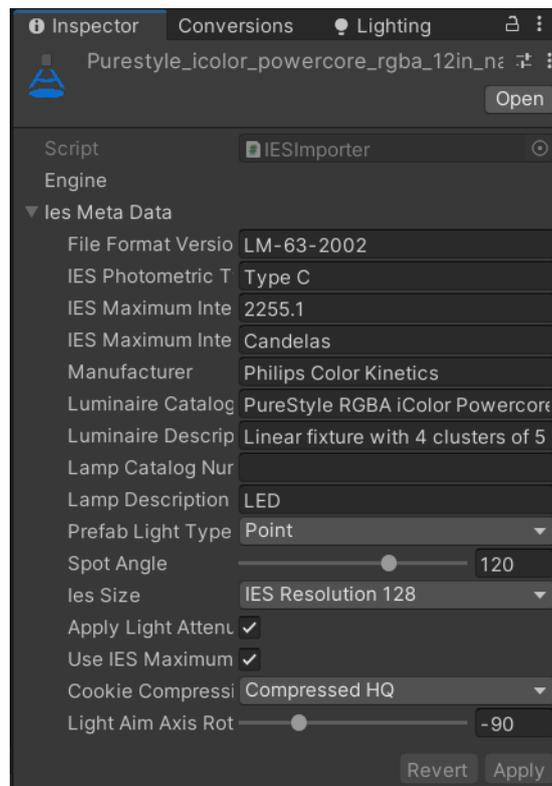


Figure 52 Luci con formato IES

Nel modello sono state create differenti tipologie di illuminazione:

- Illuminazione classica
- Illuminazione di emergenza
- Illuminazione della cartellonistica

Di seguito, due estratti rappresentanti l'ambiente in condizioni standard e in condizioni di emergenza:



Figure 53 Confronto tra illuminazione normale e di emergenza

Una volta terminata una prima scena, sono state create le varie scene in funzione delle differenti configurazioni di segnaletica denominate "scenario":

- Scenario 1:
Caratterizzato da segnaletica classica con unica indicazione e messaggio vocale
- Scenario 2:
Caratterizzato da segnaletica retroilluminata con unica indicazione e messaggio vocale
- Scenario 3:
Caratterizzato da segnaletica classica con doppia indicazione e messaggio vocale
- Scenario 4:
Caratterizzato da segnaletica retroilluminata con doppia indicazione e messaggio vocale
- Scenario 5:
Caratterizzato da segnaletica retroilluminata e sirena di allarme
- Scenario 6:
Caratterizzato da segnaletica retroilluminata e presenza di strisce luminose a pavimento e messaggio vocale
- Scenario 7:
Caratterizzato da segnaletica dinamica retroilluminata, presenza di strisce luminose a pavimento dinamiche e messaggio vocale

I sette scenari sono stati pensati per poter valutare vari aspetti. In particolare, i primi quattro scenari hanno l'obiettivo di studiare l'efficacia dell'illuminazione. La normativa italiana impone dei vincoli riguardanti l'illuminazione, la quale deve illuminare sufficientemente le vie d'esodo e la cartellonistica di emergenza. Non vi è alcuna imposizione riguardo l'utilizzo di cartellonistica internamente illuminata. Ciò che si vuole valutare, oltre all'efficacia dell'illuminazione generale, è l'efficacia della cartellonistica retroilluminata, facendo un paragone tra le due diverse tipologie. Allo stesso tempo, con i

primi quattro scenari si può valutare il potere decisionale dell'occupante che si trova di fronte una cartellonistica che indica due strade differenti.

Il quinto scenario, invece, è stato inserito per evidenziare i risultati di diversi studi, dai quali si dimostra come una sirena di allarme sia meno efficace rispetto ad un messaggio vocale. Infatti, come si evince dal testo *Wayfinding ed Emergenza* di Stefano Zanut, *“Un’ulteriore condizione in grado di influenzare il wayfinding in emergenza è costituita dalle modalità d’informazione delle persone sulle azioni da intraprendere. In più occasioni si è potuto evidenziare come le persone rispondano in modo molto lento alle segnalazioni erogate attraverso sistemi di allarme acustici (allarmi, sirene ecc.), al contrario, invece, nel caso d’informazioni proposte con messaggi vocali con un maggior contenuto informativo. La conoscenza riduce, infatti, le possibili manifestazioni di panico, mettendo le persone in grado di attuare processi decisionali corretti in relazione alle condizioni del contesto in cui si muovono. In questi casi la comunicazione verbale deve essere semplice, diretta e veritiera: i tentativi di minimizzare la situazione possono arrecare confusione, impedendo alle persone di rispondere in modo appropriato”*. [11]

Il sesto scenario, invece, è stato inserito per valutare l'efficacia di un sistema di individuazione del percorso di esodo. In questo specifico caso, sono state posizionate le strisce luminose ai lati del corridoio, in modo da identificare gli spazi dell'ambiente. Questo scenario utilizza i principi sui quali si è basato lo studio che introduce il concetto di “Mappa di visibilità a pavimento”, il quale dimostra, andando a valutare le velocità di camminata, l'efficacia di questi sistemi. [12]

Il settimo scenario riguarda un aspetto che si sta sviluppando maggiormente negli ultimi anni: la segnaletica dinamica, ovvero quella tipologia di segnaletica che, mediante l'uso di rilevatori di fumo e sensori di temperatura, è in grado di stabilire la posizione d'innescò dell'incendio e modifica, di conseguenza, la cartellonistica per permettere agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro senza dover cambiare percorso. [6]

Ogni scenario, oltre che dalla configurazione della segnaletica, è caratterizzato da un diverso script che gestisce i menù creati e le informazioni inserite all'interno della scena.

Per poter creare un menù è necessario inserire un "Canvas", al quale automaticamente viene associato un "Event System" per aiutare il sistema di messaggistica.

In generale, un canvas può essere visto come una finestra attraverso la quale si può comunicare con l'utente e viceversa. Infatti, all'interno di questa finestra si possono inserire testi, immagini e anche strumenti di interazione come i "Button". Di seguito si riporta un estratto della schermata di pausa presente in ogni scenario.

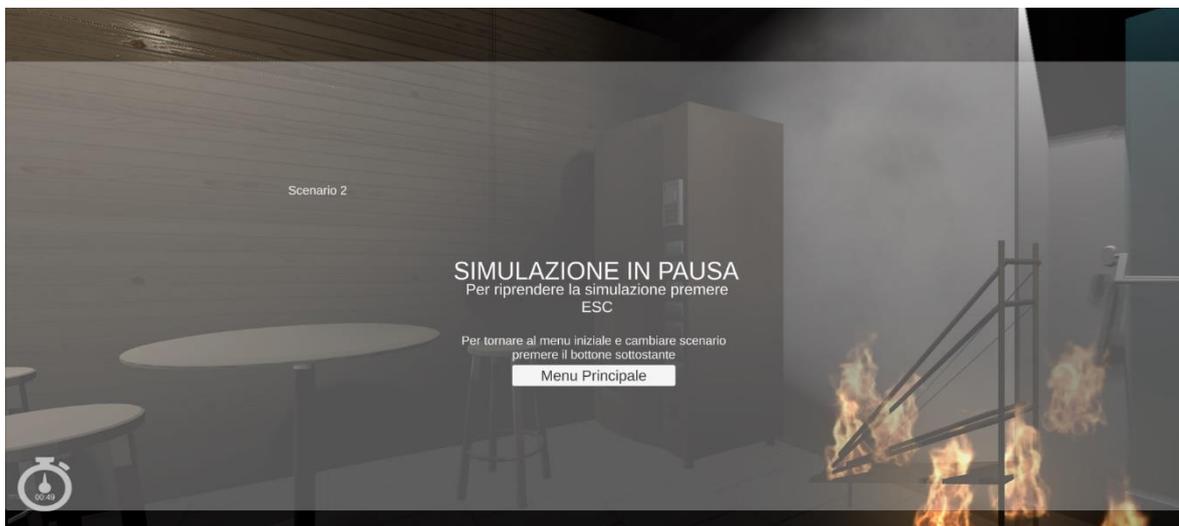


Figure 54 Schermata menu di pausa

Il tasto per poter tornare al menu principale viene creato mediante il comando *GameObject*→*UI*→*Button*, il quale crea automaticamente un canvas a cui viene associato il nuovo bottone.

Per poter dare vita un *button*, ovvero per far sì che premendolo si compia un'azione, bisogna assegnare al *canvas* contenente il bottone lo script contenente le istruzioni e,

successivamente, nella sezione “*On click()*” dell’*Inspector*, collegare la funzione al rispettivo bottone.

Una volta creati i sette scenari, sono stati creati dei “*panel*”²¹ in modo tale che l’utente riceva dei messaggi relativi alle azioni da compiere o che ha svolto. Un esempio sono i messaggi che appaiono quando l’utente entra in una stanza o esce dall’edificio terminando la simulazione di quello specifico scenario. Per far ciò, è stato utilizzato il “*Box Collider*” con la funzione “*Trigger*”, al quale è stato associato uno specifico script che permette di capire quando il personaggio urta contro specifici oggetti.

Inoltre, è stato aggiunto un timer affinché l’utente si possa rendere conto del tempo trascorso nella simulazione, utile anche per valutare che il tempo per esodare sia inferiore al tempo di *ASET* ricavato nel paragrafo precedente.

Infine, è stato creato un menù iniziale, tramite il quale è possibile accedere ad ogni scenario o terminare la simulazione e uscire dall’applicativo.

Una volta creato l’eseguibile, il tutto è pronto per essere provato.

Di seguito si riportano immagini significative dell’applicativo:

²¹ Sono degli oggetti figli dei *canvas*,s mediante i quali si ottiene una finestra nella quale è possibile inserire messaggi.



Figure 55 Scenario 4 con illuminazione classica



Figure 56 Scenario 4 con illuminazione di emergenza



Figure 57 Scenario 2 vista da ufficio comune in condizioni standard



Figure 58 Scenario 2 vista da ufficio comune in condizioni di emergenza



Figure 59 Atrio in condizioni standard



Figure 60 Scenario 6 - atrio in condizioni di emergenza



Figure 61 Scenario 7 - atrio in condizioni di emergenza



Figure 62 Scenario 7 - Segnaletica dinamica



Figure 63 Zona ingresso con cartellonistica classica

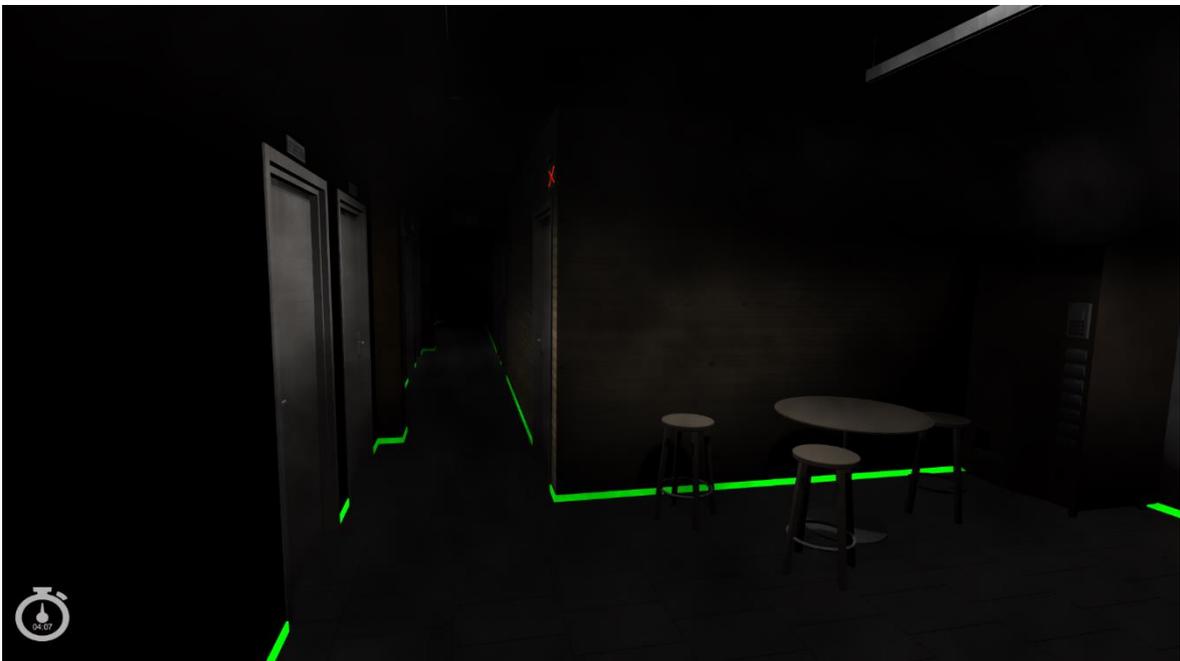


Figure 64 Zona ingresso con indicazioni percorso a pavimento



Figure 65 Zona ingresso con cartellonistica classica

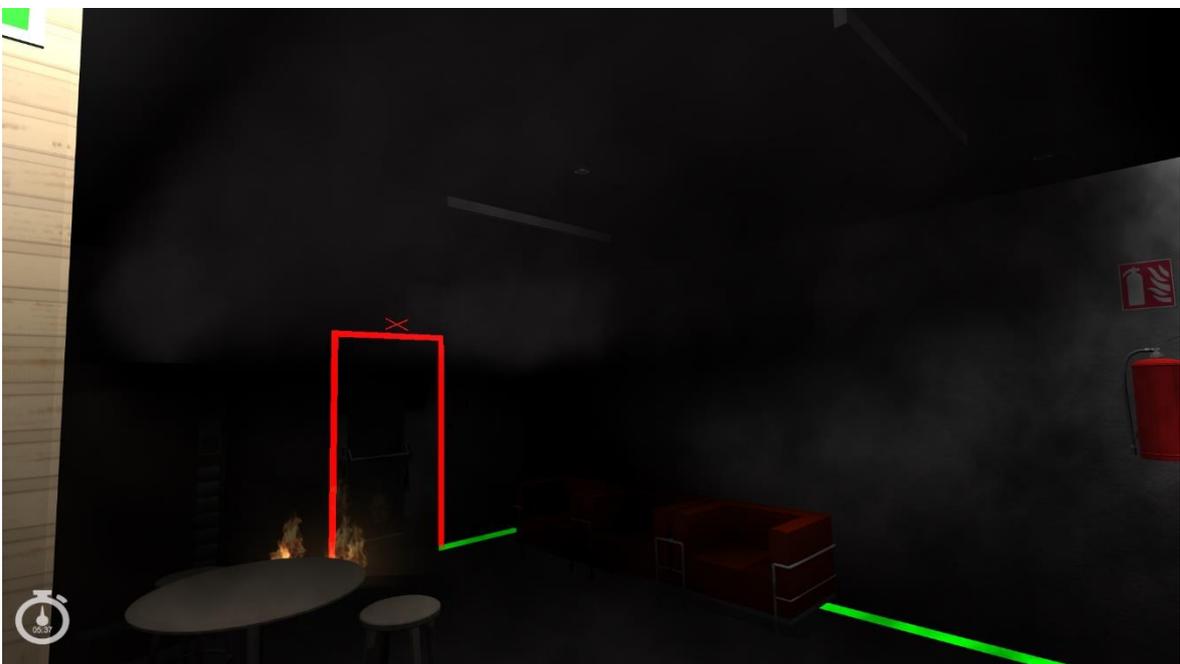


Figure 66 Zona ingresso con cartellonistica dinamica

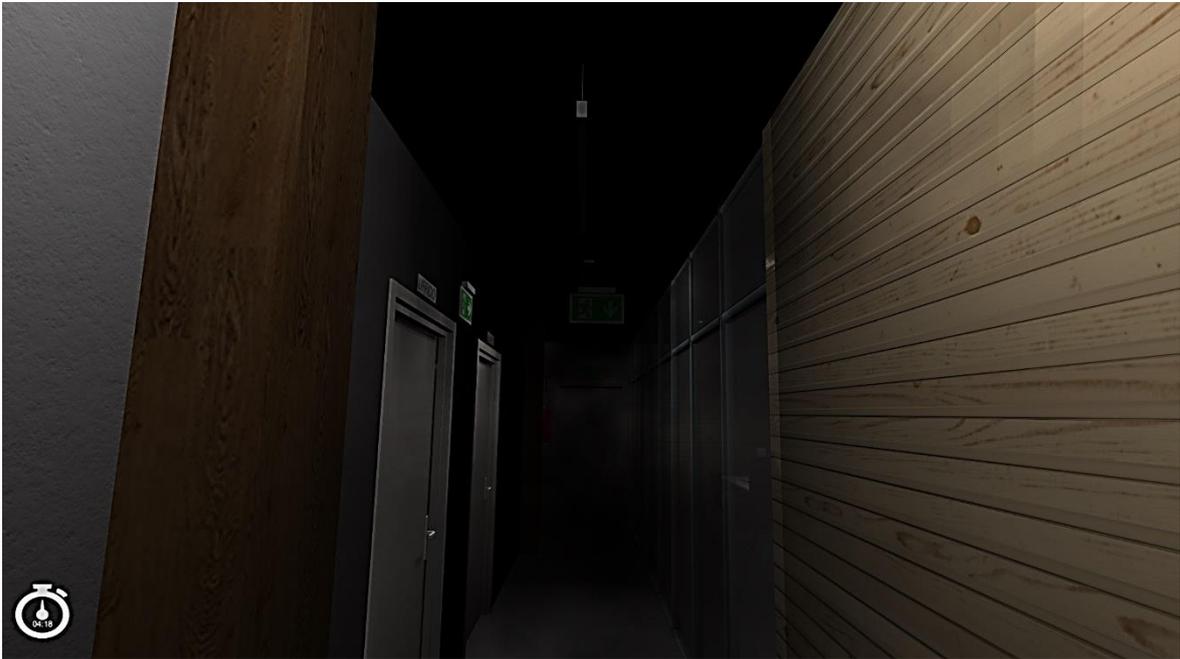


Figure 67 Vista corridoio con cartellonistica classica



Figure 68 Vista corridoio con cartellonistica internamente illuminata

5. RACCOLTA DATI

Per poter ottenere un feedback dalle persone che hanno utilizzato l'applicativo, è stato chiesto loro di rispondere ad un questionario composto da cinque sezioni:

1. Informazioni generali utente: in questa sezione sono stati raccolti dati come età, sesso e conoscenze riguardo la prevenzione incendi, in modo da avere un inquadramento generale delle persone che hanno provato l'applicativo.
2. Valutazione dell'applicazione: scopo di questa sezione è evidenziare eventuali difficoltà nell'utilizzo dell'applicativo, il livello di intuitività e la chiarezza degli obiettivi dello strumento.
3. Domande riguardanti gli scenari: contiene domande per valutare l'efficienza, i punti di forza e le criticità dei sette scenari proposti.
4. Valutazione degli scenari: in questa sezione è stato chiesto di confrontare i vari scenari al fine di valutare l'utilità dell'illuminazione e la posizione della cartellonistica. Inoltre, sono stati raccolti i dati sul tempo impiegato per raggiungere l'uscita di sicurezza.
5. Feedback sull'esperienza: qui sono stati raccolti i riscontri riguardo gli aspetti generali dell'applicativo, con particolare attenzione alla modellazione del fumo, e il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

6. CONCLUSIONI

L'applicativo creato per questo lavoro è stato realizzato grazie alla metodologia BIM, mediante la quale è stato possibile scambiare informazioni tra i diversi software adoperati. La principale criticità riscontrata durante la realizzazione riguarda proprio l'interoperabilità tra questi programmi, la quale non è totale. Per questo motivo, è stato necessario ricreare alcuni elementi in ognuno di essi.

Obiettivo principale di questa tesi era testare l'efficienza qualitativa dei sistemi di segnaletica e di allarme in situazione di emergenza, valutandone l'impatto sugli occupanti. L'obiettivo è stato raggiunto grazie alla realizzazione dell'applicativo, in quanto, nonostante ancora non si riesca ad esportare i fumi da *PyroSim*, questi sono stati ricreati all'interno di Unity con un elevato grado di realismo, come dimostrato dai risultati del questionario. I vantaggi derivanti dalla realizzazione dell'applicativo sono molteplici: oltre all'efficienza delle configurazioni di segnaletica, infatti, è stato possibile valutare anche l'illuminazione e la visibilità della cartellonistica in presenza del fumo.

Una volta raccolto un numero di risposte sufficiente per poter ottenere dei risultati validi, è stato possibile procedere all'analisi dei dati²². Dai riscontri del questionario, emerge che l'applicativo è stato provato da un vasto range di persone, diversificato per quanto riguarda sesso, età e preconcoscenze sul tema in esame.

Nei paragrafi successivi vengono descritte le conclusioni tratte riguardo l'utilizzo dell'applicativo.

²² I risultati ottenuti sono presenti in allegato.

6.1.1 Valutazione dell'applicativo

Le risposte ottenute in questa sezione fanno emergere che le persone non hanno riscontrato nessuna problematica nell'avviare l'eseguibile, e ne hanno compreso fin da subito gli obiettivi. Una buona parte di queste persone sostiene che l'utilizzo di strumenti come il visore può rendere l'esperienza migliore.

6.1.2 Efficienza scenari

Nella terza sezione del questionario veniva chiesto agli utenti di valutare su una scala da 0 a 5 - in cui con 0 s'intende "per nulla" e con 5 si intende "molto" - l'efficienza di ogni scenario. Qui emerge che la segnaletica a pavimento viene considerata molto efficiente, con un 43,2% di risposte positive (valutazione pari a 5) e 52,3% di risposte con valutazione pari a 4, seconda solo alla segnaletica dinamica, che ha ottenuto un 81,4% di risposte con valutazione pienamente positiva.

Inoltre, tra i primi quattro scenari, sono stati valutati maggiormente efficienti quelli in cui era presente la cartellonistica illuminata internamente.

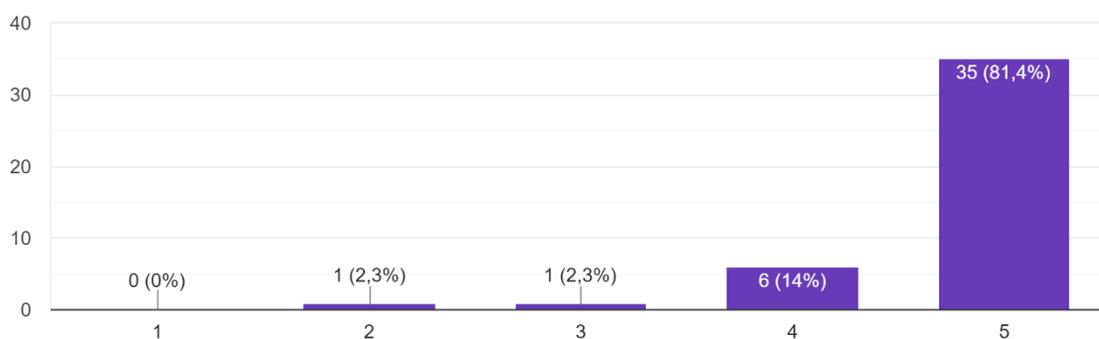


Figure 69 Risultati efficienza scenario 7

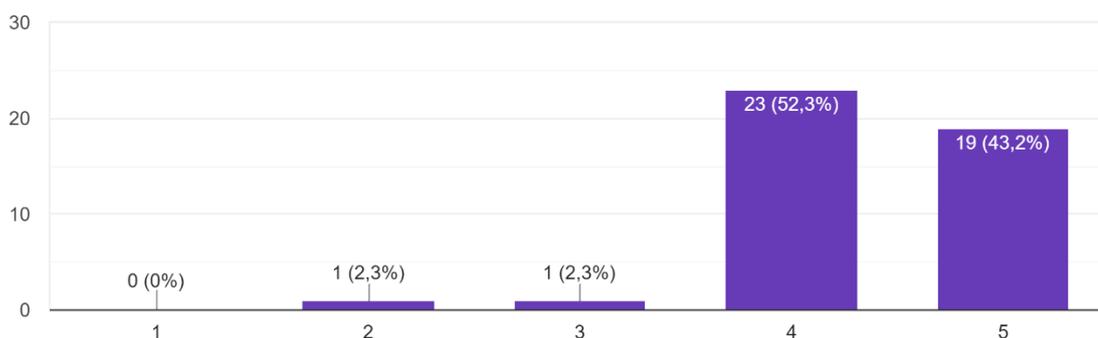


Figure 70 Risultati efficienza scenario 6

6.1.3 Valutazione Scenari

Dalla quarta sezione si possono estrapolare diversi risultati, fra cui:

- le caratteristiche della segnaletica (posizione e grandezza), conformi alla normativa, risultano essere corrette in tutti gli scenari;
- i cartelli illuminati internamente risultano maggiormente visibili. Questo aspetto rimane in linea con i risultati ottenuti dallo studio eseguito da T. Jin nel 1978, nel quale si analizza la visibilità della segnaletica attraverso il fumo [13].
- La cartellonistica è stata d'aiuto per raggiungere l'uscita di sicurezza nell' 82,2% dei casi. Questo dato conferma quanto una corretta segnaletica all'interno di edifici per facilitare l'esodo.
- Al contrario di quanto affermato da Zanut, nel cui studio si evince come un messaggio vocale sia preferibile rispetto ad una sirena di allarme classica, dai risultati ottenuti viene attestato come la sirena di allarme venga reputata, nella maggior parte dei casi, molto efficiente.

- tra i sette scenari proposti, sono stati valutati maggiormente efficienti quelli con cartelli retroilluminati o con la presenza di riferimenti a pavimento.

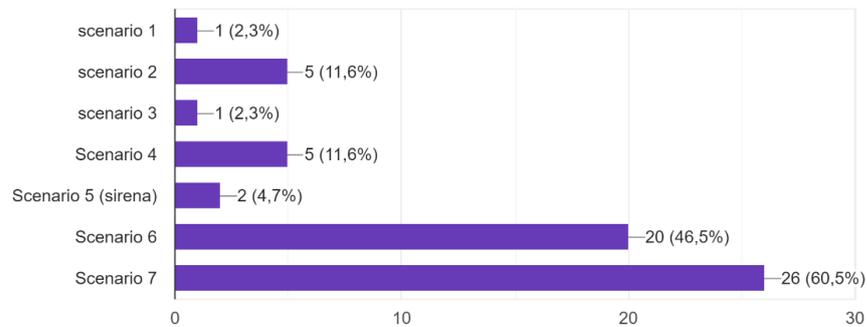


Figure 71 Risultati efficienza scenari

- La presenza delle mappe di evacuazione, con chiara indicazione del “Voi siete qui” e correttamente orientate, sono di grande aiuto nella fase di evacuazione in casi emergenziali, in quanto la quasi totalità delle persone, una volta scattato l’allarme antincendio, sapeva già da che parte andare.
- Un dato che permette di fare delle valutazioni preliminari sulla verifica del criterio di $ASET > RSET$, riguarda il tempo impiegato per trovare un’uscita di emergenza. Nel 93,3% dei casi le persone hanno impiegato meno di due minuti ad esodare, mentre il restante 6,7% ha impiegato più tempo esclusivamente nel primo scenario per via della poca dimestichezza con i comandi. Questo ci permette di affermare, in via del tutto preliminare, che il criterio viene soddisfatto.

Hai impiegato più di 2 minuti per scenario per trovare l'uscita di sicurezza?
45 risposte

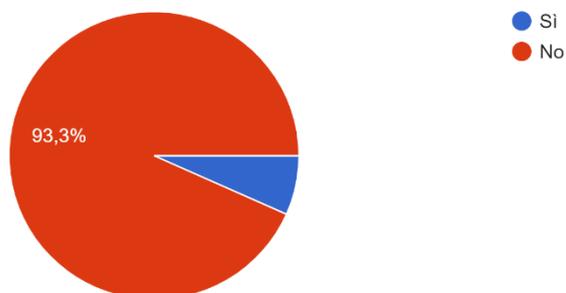


Figure 72 Risultati tempistiche

- le persone hanno modificato il percorso per via della presenza di fumo. Questo mette maggiormente in risalto l'importanza della segnaletica dinamica, in quanto quest'ultima permette di indicare il percorso d'esodo in funzione della posizione dell'incendio e, dunque, evita il dover cambiare percorso.

6.1.4 Feedback sull'esperienza

I riscontri ottenuti nell'ultima sezione forniscono input su come migliorare l'applicativo o sulle informazioni aggiuntive che si possono inserire. In generale, l'applicativo è stato valutato positivamente sia per la qualità di realismo che per gli obiettivi che si presuppone di raggiungere. In particolare, è importante evidenziare che le persone trovano formativo l'utilizzo dell'applicativo e che è stato compreso l'obiettivo principale dello strumento, ovvero la valutazione dell'impatto del sistema di esodo sulle persone.

6.2 SVILUPPI FUTURI

Una volta raggiunti gli obiettivi di questo lavoro, è possibile pensare ad ulteriori utilizzi e sviluppi dell'applicativo creato.

In primo luogo, il principale sviluppo futuro riguarda il miglioramento tecnologico. Infatti, nonostante l'applicativo si basi sulla realtà virtuale parziale (non immersiva), con piccole modifiche di settaggio è possibile predisporlo per l'uso con strumenti come il visore, o anche per l'utilizzo dei più tecnologici *Cybervirtualizer*.

In secondo luogo, l'applicativo potrebbe essere impiegato anche nei momenti di formazione del personale. Infatti, esso può essere visto come uno strumento integrativo alle consuete lezioni di prevenzione incendi aziendali, in cui i lavoratori, dopo aver ascoltato la lezione, possono essere immersi nello scenario d'incendio per mettere in pratica ciò che si è appena imparato e testare le proprie competenze.

Infine, questo applicativo potrebbe essere ricreato – anche come app per smartphone – per altri ambienti²³, ed essere utilizzato anche come strumento informativo per orientarsi nell'ambiente in cui ci si trova o ci si troverà, così da essere preparati in caso di emergenza, prevenire eventuali momenti di panico dovuti alla non conoscenza del luogo e poter esodare in sicurezza.

²³ Ad esempio, l'applicativo potrebbe ricreare i contesti reali in cui si trovano le persone, come un centro congressi.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] UNI EN 1838, 2013.
- [2] Z. P. R.Q., *Quantitative validation of simulated visibility in smoke laden environment*, 2010.
- [3] M. D. D. M. R.I. Collins, *Visibility of Exit Signs in Clear and Smoky Conditions*, 1992.
- [4] Y. A. T. Yamada, *Visibility and human behavior in fire smoke*, 2016.
- [5] T. S. T. R.-R. A. J. McClintock, *A behavioural solution to the learned irrelevance of emergency exit signage*, 2001.
- [6] H. X. D. C. L. F. E.R. Galea, *Active dynamic signage system: A full-scale evacuation trial*, 1996.
- [7] T. Paulsen, *The effect of escape route information on mobility and wayfinding under smoke logged conditions*, 1994.
- [8] S. R. M. J. C. W. K. O. K. McGrattan, *Fire Dynamics Simulator (FDS) User's Guide*, 2020.
- [9] [Online]. Available: <https://www.cyberith.com/>.
- [10] [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.
- [11] S. Zanut, *Wayfinding ed emergenza*.
- [12] P. R.Q. Zhang, *Simulation of perceived visibility in smoke laden environment*, 2010.
- [13] T. Jin, *Visibility Through fire smoke*, 1978.
- [14] [Online]. Available:
<https://www.usa.lighting.philips.com/support/support/literature/photometric-data>.
- [15] [Online]. Available: <https://www.autodesk.it/products/revit>.
- [16] [Online]. Available: <https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/>.

[17] [Online]. Available: <https://unity.com/>.

[18] R. Vancetti, *Slide corso sicurezza antincendio - Fire Safety Engineering in building construction*, 2019.

[19] *Norme tecniche di prevenzione incendi*, 2019.

[20] *UNI EN ISO 7010*, 2020.

RINGRAZIAMENTI

A termine di questo lavoro di tesi vorrei dedicare qualche riga per ringraziare le persone che hanno contribuito alla realizzazione di questo elaborato.

Innanzitutto, ringrazio il mio relatore, Roberto Vancetti, che mi ha permesso di svolgere questa tesi, che mi ha fornito le giuste indicazioni, le migliorie e suggerimenti utili ai fini della realizzazione dell'elaborato.

Grazie anche al mio correlatore, Emiliano Cereda, per il tempo dedicatomi, per i suoi i consigli e per avermi suggerito puntualmente le giuste modifiche da apportare al lavoro e alla tesi.

Un ringraziamento speciale va alla mia famiglia, vicina e lontana, in particolare ai miei genitori che mi hanno sempre sostenuto durante gli anni di studio, hanno sempre appoggiato le mie scelte e non hanno mai smesso di credere in me. Un grazie lo devo a mia sorella, per il sostegno, per i consigli e per l'aiuto che mi ha dato in tutti questi anni, in particolar modo, in quest'ultimo periodo, durante la stesura della tesi. (la sintassi è merito suo).

Qualche riga la voglio dedicare anche a Gianluca, miglior compagno di stanza e migliore amico, con il quale ho condiviso tutti questi anni di Politecnico. Amici dai tempi dell'asilo con il quale ho iniziato questa avventura e che mi ha sempre sostenuto e aiutato.

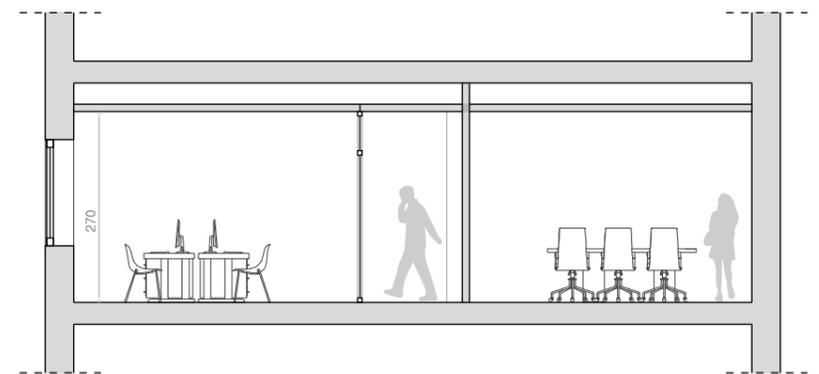
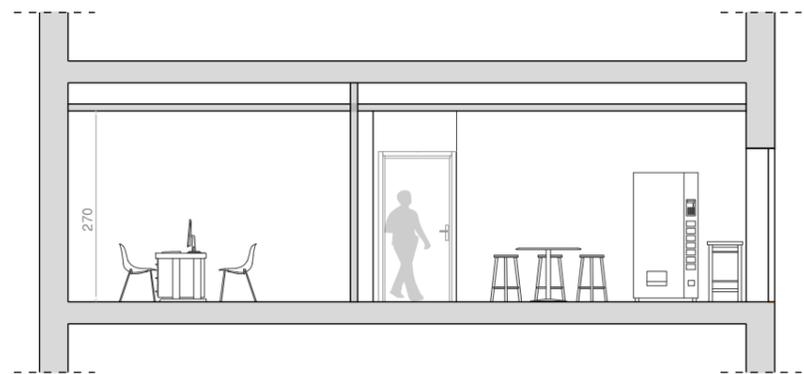
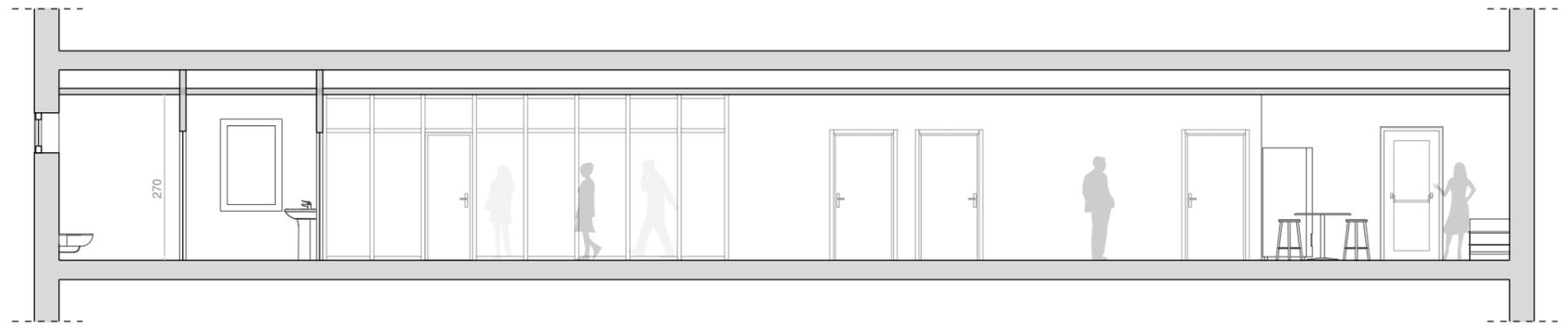
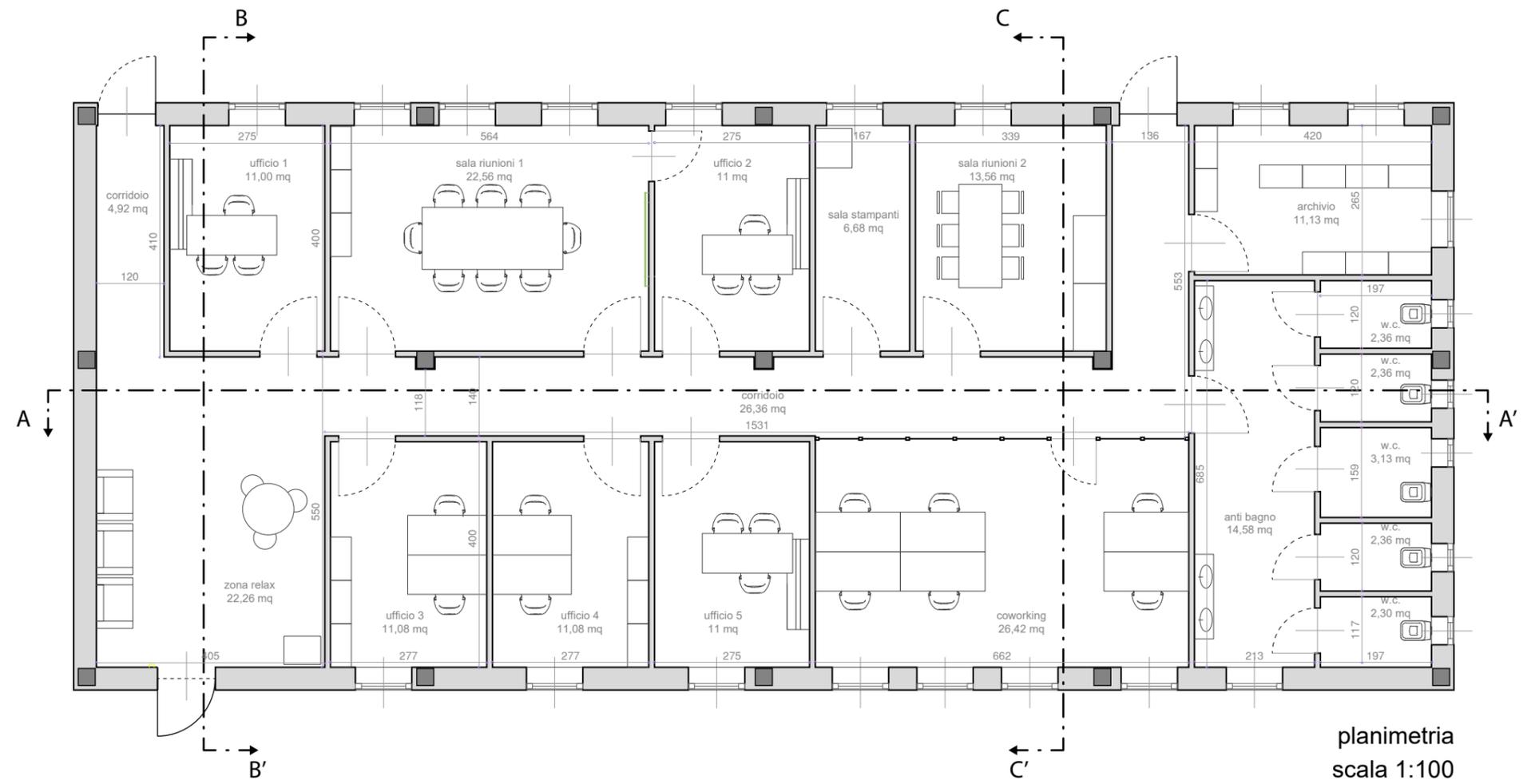
Voglio ringraziare Mattia, Jacopo, Federico e Satoshi, con i quali ho vissuto questi ultimi anni, per la compagnia, l'amicizia, le risate e le sfide a calcetto.

Ringrazio anche i miei amici e compagni di studio con i quali ho condiviso questi anni al Poli.

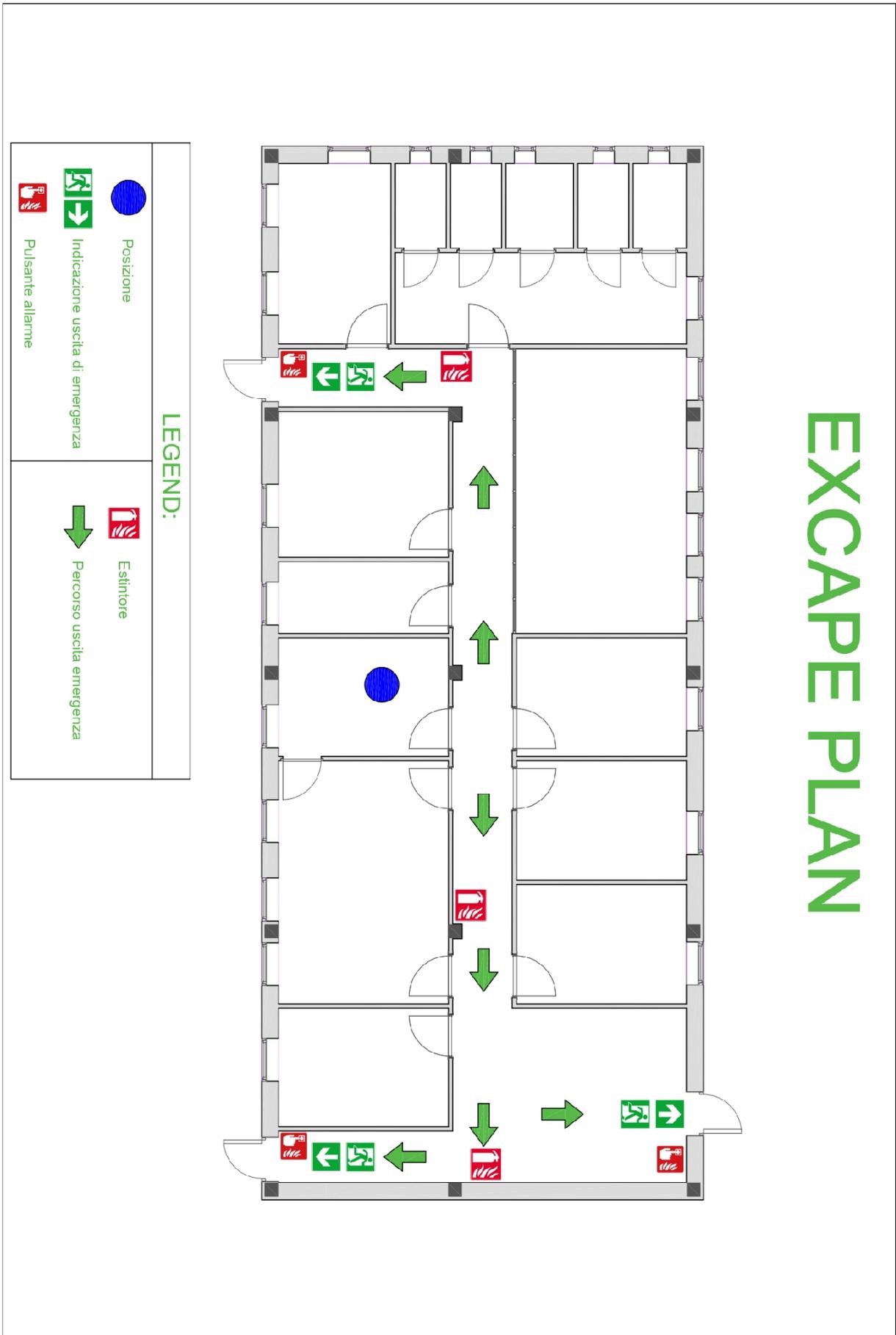
Infine, ringrazio tutti i miei amici, ai quali bastava un messaggio o una chiamata per dimostrare il loro supporto.

ALLEGATI

1. Tavola con piante e sezioni
2. Pianta evacuazione
3. Script di Unity
4. Questionario e risposte



ALLEGATO 2 - Pianta evacuazione presente nel modello



Script per creazione menu iniziale

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.SceneManagement;

public class Menu1 : MonoBehaviour
{
    public void MenuPrincipale()
    {
        SceneManager.LoadScene(0);
    }
    public void Scenario1()
    {
        SceneManager.LoadScene(1);
    }
    public void Scenario2()
    {
        SceneManager.LoadScene(2);
    }
    public void Scenario3()
    {
        SceneManager.LoadScene(3);
    }
    public void Scenario4()
    {
        SceneManager.LoadScene(4);
    }
    public void Scenario5()
    {
        SceneManager.LoadScene(5);
    }
    public void Scenario6()
    {
        SceneManager.LoadScene(6);
    }
    public void Scenario7()
    {
        SceneManager.LoadScene(7);
    }
    public void Confidence()
    {
        SceneManager.LoadScene(8);
    }
    public void QuitGame()
    {
        Application.Quit();
        Debug.Log("Quit!");
    }
}
```

Script per menu di Pausa

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class Pausa : MonoBehaviour
{
    public static bool GameIsPaused = false;
    public GameObject pauseMenuUI;

    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Escape))
        {
            if (GameIsPaused)
            {
                Resume();
            }
            else
            {
                Pause();
            }
        }
    }

    void Resume()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(false);
        Time.timeScale = 1f;
        GameIsPaused = false;
    }

    void Pause()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(true);
        Time.timeScale = 0f;
        GameIsPaused = true;
    }
}
```

Script Personaggio

```
using System;
using UnityEngine;
using UnityStandardAssets.CrossPlatformInput;

namespace UnityStandardAssets.Characters.FirstPerson
{
    [RequireComponent(typeof (Rigidbody))]
    [RequireComponent(typeof (CapsuleCollider))]
    public class RigidbodyFirstPersonController : MonoBehaviour
    {
        [Serializable]
        public class MovementSettings
        {
            public float ForwardSpeed = 8.0f;    // Speed when walking forward
            public float BackwardSpeed = 4.0f;   // Speed when walking backwards
            public float StrafeSpeed = 4.0f;     // Speed when walking sideways
            public float RunMultiplier = 2.0f;   // Speed when sprinting
            public KeyCode RunKey = KeyCode.LeftShift;
            public float JumpForce = 30f;
            public AnimationCurve SlopeCurveModifier = new AnimationCurve(new Keyframe(-90.0f, 1.0f), new Keyframe(0.0f, 1.0f), new Keyframe(90.0f, 0.0f));
            [HideInInspector] public float CurrentTargetSpeed = 8f;
        }

        #if !MOBILE_INPUT
        private bool m_Running;
        #endif

        public void UpdateDesiredTargetSpeed(Vector2 input)
        {
            if (input == Vector2.zero) return;
            if (input.x > 0 || input.x < 0)
            {
                //strafe
                CurrentTargetSpeed = StrafeSpeed;
            }
            if (input.y < 0)
            {
                //backwards
                CurrentTargetSpeed = BackwardSpeed;
            }
            if (input.y > 0)
            {
                //forwards
                //handled last as if strafing and moving forward at the
                //same time forwards speed should take precedence
                CurrentTargetSpeed = ForwardSpeed;
            }
        }

        #if !MOBILE_INPUT
        if (Input.GetKey(RunKey))
        {
            CurrentTargetSpeed *= RunMultiplier;
            m_Running = true;
        }
        else
        {
            m_Running = false;
        }
        #endif
    }
}
```

```

#endif
    }

#if !MOBILE_INPUT
    public bool Running
    {
        get { return m_Running; }
    }
#endif
}

[Serializable]
public class AdvancedSettings
{
    public float groundCheckDistance = 0.01f; // distance for checking if the
    controller is grounded ( 0.01f seems to work best for this )
    public float stickToGroundHelperDistance = 0.5f; // stops the character
    public float slowDownRate = 20f; // rate at which the controller comes to a
    stop when there is no input
    public bool airControl; // can the user control the direction that is being
    moved in the air
    [Tooltip("set it to 0.1 or more if you get stuck in wall")]
    public float shellOffset; //reduce the radius by that ratio to avoid getting
    stuck in wall (a value of 0.1f is nice)
}

public Camera cam;
public MovementSettings movementSettings = new MovementSettings();
public MouseLook mouseLook = new MouseLook();
public AdvancedSettings advancedSettings = new AdvancedSettings();

private Rigidbody m_RigidBody;
private CapsuleCollider m_Capsule;
private float m_YRotation;
private Vector3 m_GroundContactNormal;
private bool m_Jump, m_PreviouslyGrounded, m_Jumping, m_IsGrounded;

public Vector3 Velocity
{
    get { return m_RigidBody.velocity; }
}

public bool Grounded
{
    get { return m_IsGrounded; }
}

public bool Jumping
{
    get { return m_Jumping; }
}

public bool Running
{
    get

```

```

    {
    #if !MOBILE_INPUT
        return movementSettings.Running;
    #else
        return false;
    #endif
    }

    private void Start()
    {
        m_RigidBody = GetComponent<Rigidbody>();
        m_Capsule = GetComponent<CapsuleCollider>();
        mouseLook.Init (transform, cam.transform);
    }

    private void Update()
    {
        RotateView();

        if (CrossPlatformInputManager.GetButtonDown("Jump") && !m_Jump)
        {
            m_Jump = true;
        }
    }

    private void FixedUpdate()
    {
        GroundCheck();
        Vector2 input = GetInput();

        if ((Mathf.Abs(input.x) > float.Epsilon || Mathf.Abs(input.y) >
float.Epsilon) && (advancedSettings.airControl || m_IsGrounded))
        {
            // always move along the camera forward as it is the direction that it being
aimed at
            Vector3 desiredMove = cam.transform.forward*input.y +
cam.transform.right*input.x;
            desiredMove = Vector3.ProjectOnPlane(desiredMove,
m_GroundContactNormal).normalized;

            desiredMove.x = desiredMove.x*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            desiredMove.z = desiredMove.z*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            desiredMove.y = desiredMove.y*movementSettings.CurrentTargetSpeed;
            if (m_RigidBody.velocity.sqrMagnitude <
(movementSettings.CurrentTargetSpeed*movementSettings.CurrentTargetSpee
d))
            {
                m_RigidBody.AddForce(desiredMove*SlopeMultiplier(), ForceMode.Impulse);
            }
        }

        if (m_IsGrounded)
        {
            m_RigidBody.drag = 5f;
        }
    }
}

```

```

if (m_Jump)
{
    m_RigidBody.drag = 0f;
    m_RigidBody.velocity = new Vector3(m_RigidBody.velocity.x, 0f,
    m_RigidBody.velocity.z);
    m_RigidBody.AddForce(new Vector3(0f, movementSettings.JumpForce, 0f),
    ForceMode.Impulse);
    m_Jumping = true;
}

if (!m_Jumping && Mathf.Abs(input.x) < float.Epsilon && Mathf.Abs(input.y) <
float.Epsilon && m_RigidBody.velocity.magnitude < 1f)
{
    m_RigidBody.Sleep();
}
}
else
{
    m_RigidBody.drag = 0f;
    if (m_PreviouslyGrounded && !m_Jumping)
    {
        StickToGroundHelper();
    }
}
m_Jump = false;
}

```

```

private float SlopeMultiplier()
{
    float angle = Vector3.Angle(m_GroundContactNormal, Vector3.up);
    return movementSettings.SlopeCurveModifier.Evaluate(angle);
}

```

```

private void StickToGroundHelper()
{
    RaycastHit hitInfo;
    if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
((m_Capsule.height/2f) - m_Capsule.radius) +
advancedSettings.stickToGroundHelperDistance,
Physics.AllLayers, QueryTriggerInteraction.Ignore))
    {
        if (Mathf.Abs(Vector3.Angle(hitInfo.normal, Vector3.up)) < 85f)
        {
            m_RigidBody.velocity = Vector3.ProjectOnPlane(m_RigidBody.velocity,
hitInfo.normal);
        }
    }
}

```

```

private Vector2 GetInput()
{
    Vector2 input = new Vector2
    {
        x = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Horizontal"),

```

```

        y = CrossPlatformInputManager.GetAxis("Vertical");
    };
    movementSettings.UpdateDesiredTargetSpeed(input);
    return input;
}

private void RotateView()
{
    //avoids the mouse looking if the game is effectively paused
    if (Mathf.Abs(Time.timeScale) < float.Epsilon) return;

    // get the rotation before it's changed
    float oldYRotation = transform.eulerAngles.y;

    mouseLook.LookRotation (transform, cam.transform);

    if (m_IsGrounded || advancedSettings.airControl)
    {
        // Rotate the rigidbody velocity to match the new direction that the
        // character is looking
        Quaternion velRotation = Quaternion.AngleAxis(transform.eulerAngles.y -
            oldYRotation, Vector3.up);
        m_RigidBody.velocity = velRotation*m_RigidBody.velocity;
    }
}

/// sphere cast down just beyond the bottom of the capsule to see if the capsule is
/// colliding round the bottom
private void GroundCheck()
{
    m_PreviouslyGrounded = m_IsGrounded;
    RaycastHit hitInfo;
    if (Physics.SphereCast(transform.position, m_Capsule.radius * (1.0f -
        advancedSettings.shellOffset), Vector3.down, out hitInfo,
        ((m_Capsule.height/2f) - m_Capsule.radius) +
        advancedSettings.groundCheckDistance,
        Physics.AllLayers, QueryTriggerInteraction.Ignore))
    {
        m_IsGrounded = true;
        m_GroundContactNormal = hitInfo.normal;
    }
    else
    {
        m_IsGrounded = false;
        m_GroundContactNormal = Vector3.up;
    }
    if (!m_PreviouslyGrounded && m_IsGrounded && m_Jumping)
    {
        m_Jumping = false;
    }
}
}
}

```

Script per gestione menu pausa

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class GestioneMenu : MonoBehaviour
{
    public GameObject Canvas;
    public GameObject Canvas1;
    public GameObject Canvasfinale;

    public static bool GameIsPaused = true;

    public GameObject pauseMenuUI;

    private float m_VolumeRef = 1f;

    void Update()
    {
        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.Escape))
        {
            if (GameIsPaused)
            {
                Resume();
                Canvas.SetActive(false);
                Canvas1.SetActive(true);
                AudioListener.volume = m_VolumeRef;
                Canvasfinale.SetActive(false);
            }
            else
            {
                Pause();
                Canvas1.SetActive(false);
                Canvas.SetActive(true);
                m_VolumeRef = AudioListener.volume;
                AudioListener.volume = 0f;
            }
        }
    }

    void Resume()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(false);
        Time.timeScale = 1f;
        GameIsPaused = false;
    }

    void Pause()
    {
        pauseMenuUI.SetActive(true);
        Time.timeScale = 0f;
        GameIsPaused = true;
    }
}
```

Script per scenario 7

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class tempLedCroci : MonoBehaviour
{
    public GameObject PointLight;
    public GameObject LuciOff;
    public GameObject LuciOn;
    public GameObject LuciEmergenza;
    public GameObject CartellonisticaOff;
    public GameObject CartellonisticaOn;
    public GameObject Audio;
    public GameObject LED;
    public GameObject Croci;

    private void Update()
    {
        StartCoroutine(Delay());
    }
    IEnumerator Delay()
    {
        yield return new WaitForSeconds(45);
        PointLight.SetActive(false);
        LuciOff.SetActive(true);
        LuciOn.SetActive(false);

        yield return new WaitForSeconds(2);
        LuciEmergenza.SetActive(true);
        CartellonisticaOff.SetActive(false);
        CartellonisticaOn.SetActive(true);
        Audio.SetActive(true);
        LED.SetActive(true);
        Croci.SetActive(true);
    }
}
```

Script per gestione Panels

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class tempIstruzioni : MonoBehaviour
{
    public GameObject PanelIstruzioni;
    public GameObject CanvasIstruzioni;
    public GameObject IniziaSimulazione;

    private void Update()
    {
        StartCoroutine(Delay());
    }
    IEnumerator Delay()
    {
        yield return new WaitForSeconds(2);
        PanelIstruzioni.SetActive(true);
        IniziaSimulazione.SetActive(false);
        yield return new WaitForSeconds(10);
        PanelIstruzioni.SetActive(false);
        CanvasIstruzioni.SetActive(false);
    }
}
```

Script per inserimento Timer

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;

public class Timer1 : MonoBehaviour
{
    public Text timer;
    public float time;
    // float msec;
    float sec;
    float min;

    private void Start()
    {
        StartCoroutine("StopWatch");
    }
    IEnumerator StopWatch()
    {
        while (true)
        {
            time += Time.deltaTime;
            // msec = ((time - (int)time) * 100);
            sec = (int)(time % 60);
            min = (int)(time / 60 % 60);

            //timer.text = string.Format("{0:00}:{1:00}:{2:00}", min, sec, msec);
            timer.text = string.Format("{0:00}:{1:00}", min, sec);

            yield return null;
        }
    }
}
```

Script per gestione trigger

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;

public class TriggerPorteEsterne : MonoBehaviour
{
    public GameObject CanvasPorteEsterne;
    public BoxCollider mybox;

    IEnumerator OnTriggerEnter(Collider other)
    {
        CanvasPorteEsterne.SetActive(true);
        yield return new WaitForSeconds(5);
        CanvasPorteEsterne.SetActive(false);
        mybox.enabled = false;
    }
}
```

Valutazione dell'applicativo

Informazioni generali utente

1. Età

Contrassegna solo un ovale.

15-25

26-35

36-50

50+

2. Sesso

Contrassegna solo un ovale.

F

M

Altro: _____

3. Possiedi una preparazione/conoscenza in merito alla prevenzione incendi?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

Valutazione dell'applicazione

4. Hai avuto difficoltà nell'aprire l'applicativo?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

5. Se sì, quale problema hai riscontrato?

6. Pensi che l'utilizzo di strumenti immersivi, come un visore, possano rendere l'esperienza ancora più realistica?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

7. Hai capito fin da subito quali sono gli obiettivi dell'esperienza?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

8. Hai preso domestichezza con i comandi in modo rapido?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

9. Quanto lo scenario 1 ti è risultato efficiente?



Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

10. Quanto lo scenario 2 ti è risultato efficiente?



Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

11. Quanto lo scenario 3 ti è risultato efficiente?

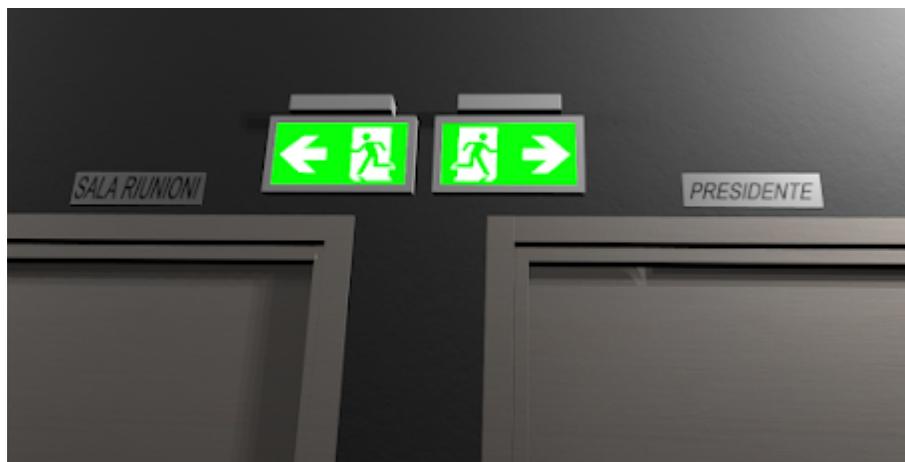


Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

12. Quanto lo scenario 4 ti è risultato efficiente?



Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

13. Quanto lo scenario 5 (sirena di allarme) ti è risultato efficiente?

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

14. Quanto lo scenario 6 ti è risultato efficiente?



Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

15. Quanto lo scenario 7 ti è risultato efficiente?



Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

16. La segnaletica che indica i presidi di sicurezza e i percorsi per raggiungere le uscite di sicurezza risulta facilmente visibile?

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

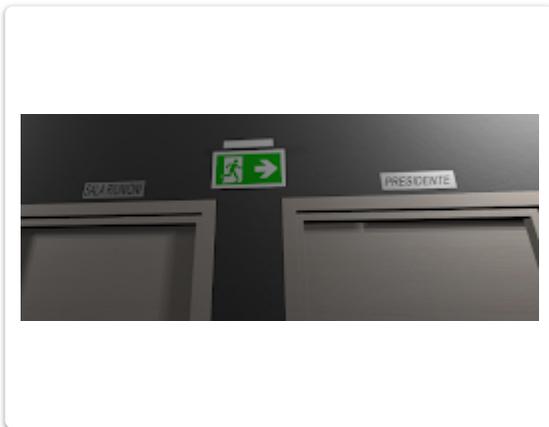
17. La posizione delle cartellonistica ti permetteva di trovare l'uscita in modo facile?

Contrassegna solo un ovale.

- Sì
 No

18. In quali tra i seguenti scenari hai trovato fossero maggiormente visibili?

Seleziona tutte le voci applicabili.



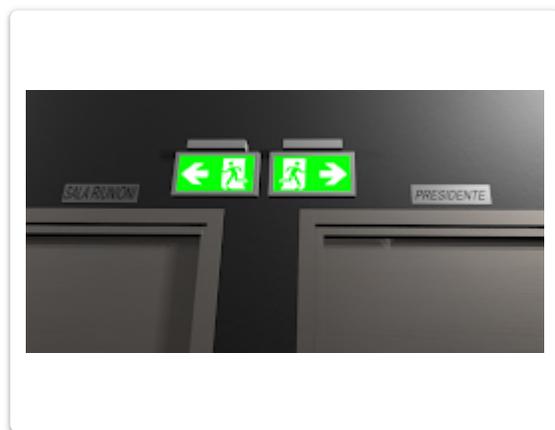
Scenario 1



Scenario 2



Scenario 3



Scenario 4

19. La segnaletica è stata di aiuto durante l'esodo?

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

20. Quale tra quelle proposte repute la più efficiente?

Seleziona tutte le voci applicabili.



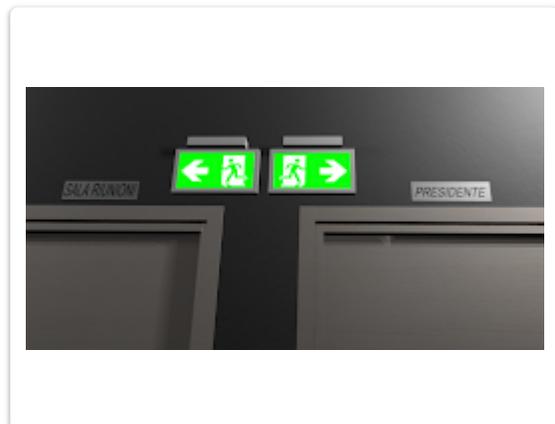
scenario 1



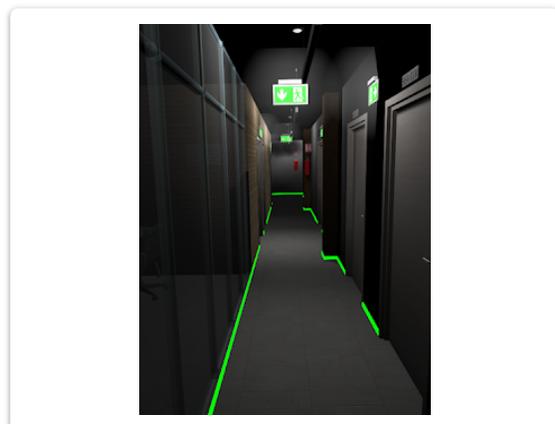
scenario 2



scenario 3

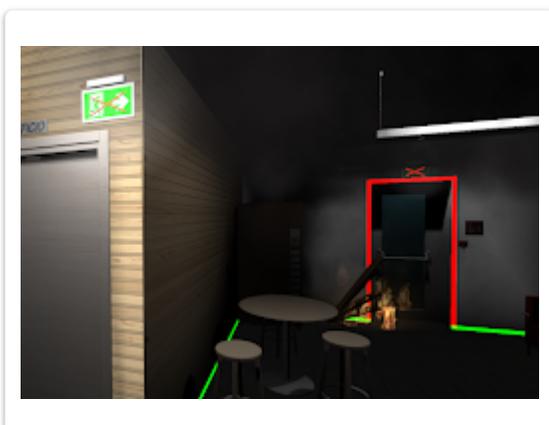


Scenario 4



Scenario 5 (sirena)

Scenario 6



Scenario 7

21. Dopo che è scattato l'allarme sapevi già da che parte andare?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

22. La sirena ti ha fatto capire che si trattasse di un incendio?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

23. Il messaggio vocale ha influenzato la tua decisione?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

24. Quanto sono utili le strisce a pavimento che indicano i percorsi di esodo?

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

25. Quanto la cartellonistica dinamica è utile rispetto a quella classica?

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

26. Hai impiegato più di 2 minuti per scenario per trovare l'uscita di sicurezza?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

27. Se sì, in quale scenario e perché?

28. L'illuminazione di sicurezza era sufficiente?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

29. Durante l'esodo hai modificato il tragitto?

Contrassegna solo un ovale.

Sì

No

30. Se sì, in quale scenario e perché?

31. Quanto il fumo ha influito sulla tua decisione?

Contrassegna solo un ovale.

1 2 3 4 5

Per nulla Molto

32. Erano necessarie ulteriori informazioni? Quali?

33. Quanto sembrava realistico l'ambiente ricreato?

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	
Per nulla	<input type="radio"/>	Molto				

34. Il fumo in particolare era realistico?

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	
Per nulla	<input type="radio"/>	Molto				

35. Quanto pensi sia utile a livello formativo?

Contrassegna solo un ovale.

	1	2	3	4	5	
Per nulla	<input type="radio"/>	Molto				

36. Secondo te l'applicativo in quale dei seguenti settori ha più risvolti:

Contrassegna solo un ovale.

- Formazione del personale
 - Valutazione del sistema di esodo, della segnaletica e del sistema di allarme
 - Altro: _____
-

Valutazione dell'applicativo

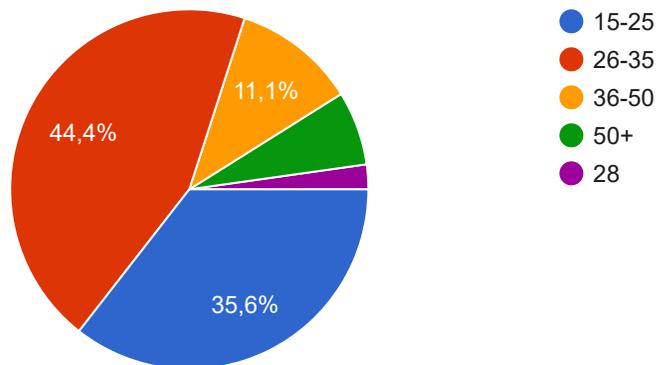
45 risposte

[Pubblica i dati di analisi](#)

Età

45 risposte

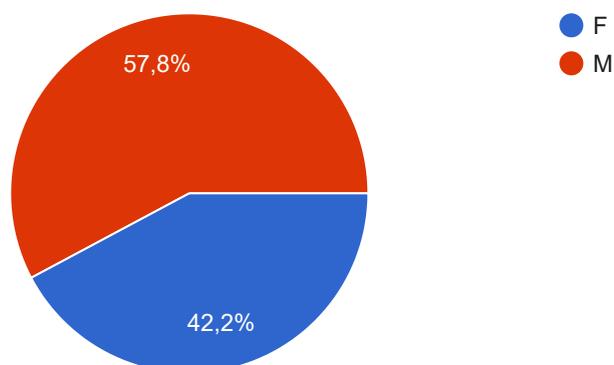
[Copia](#)



Sesso

45 risposte

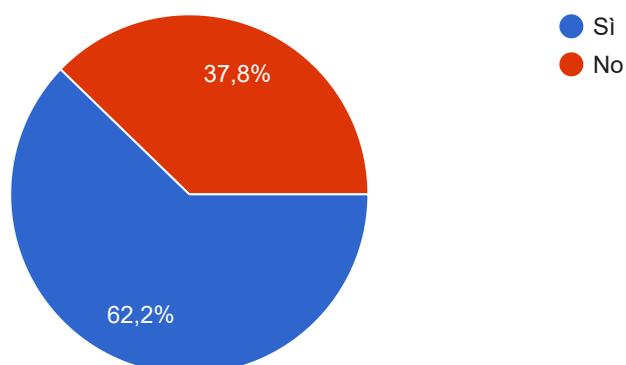
[Copia](#)



Possiedi una preparazione/conoscenza in merito alla prevenzione incendi?

45 risposte

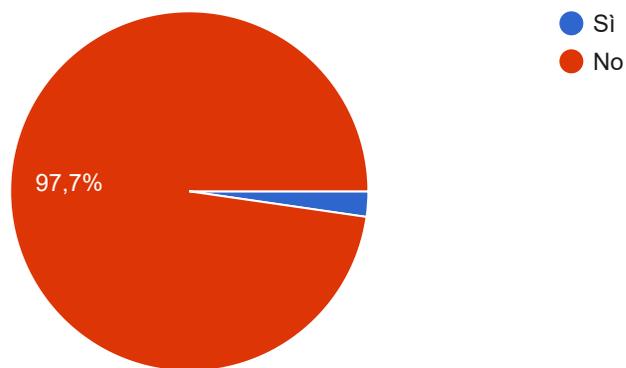
[Copia](#)



Hai avuto difficoltà nell'aprire l'applicativo?

 Copia

44 risposte



Se sì, quale problema hai riscontrato?

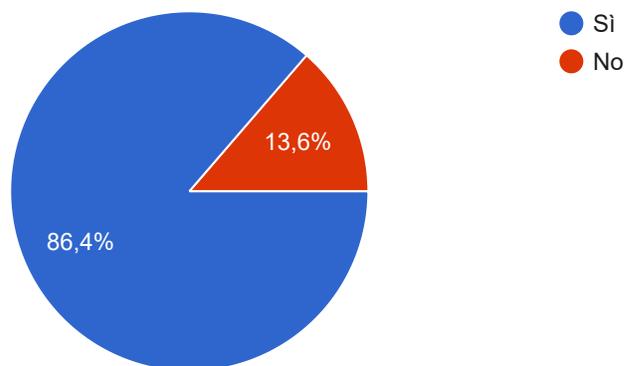
1 risposta

no

Pensi che l'utilizzo di strumenti immersivi, come un visore, possano rendere l'esperienza ancora più realistica?

 Copia

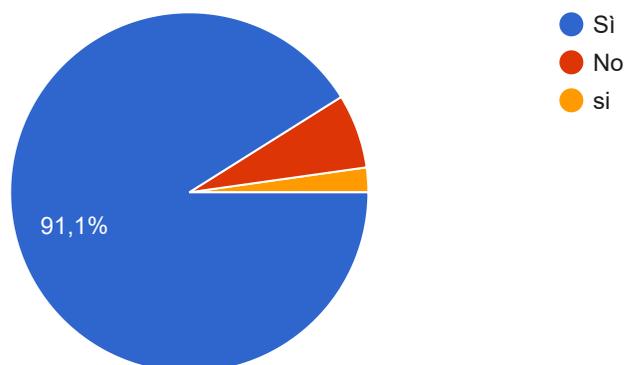
44 risposte



Hai capito fin da subito quali sono gli obiettivi dell'esperienza?

 Copia

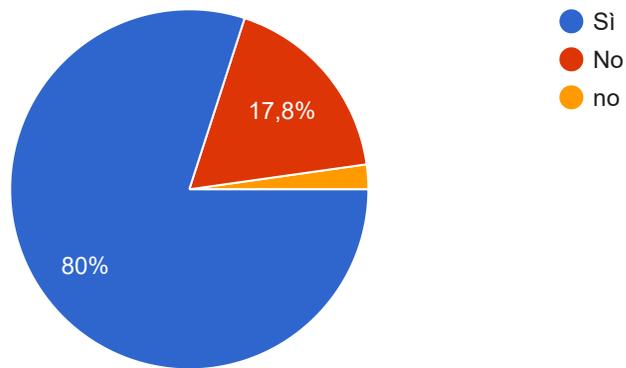
45 risposte



Hai preso domestichezza con i comandi in modo rapido?

 Copia

45 risposte

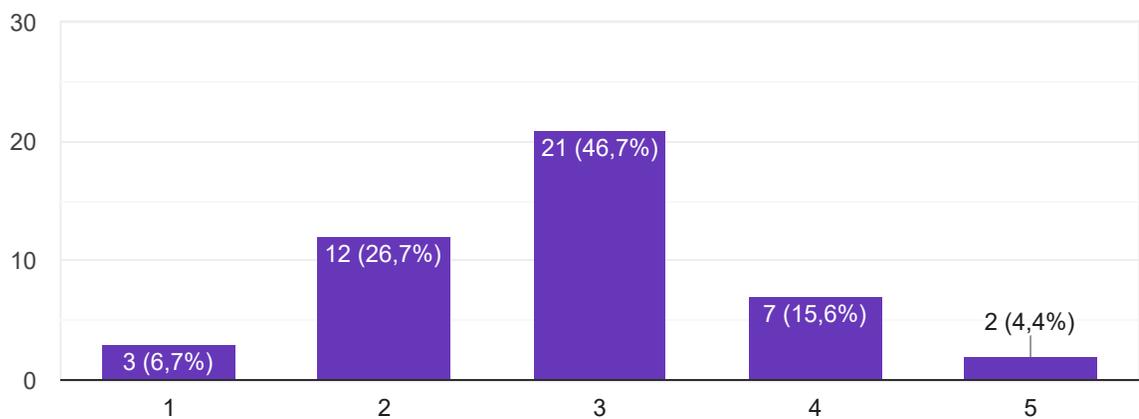


Domande riguardati gli scenari

Quanto lo scenario 1 ti è risultato efficiente?

 Copia

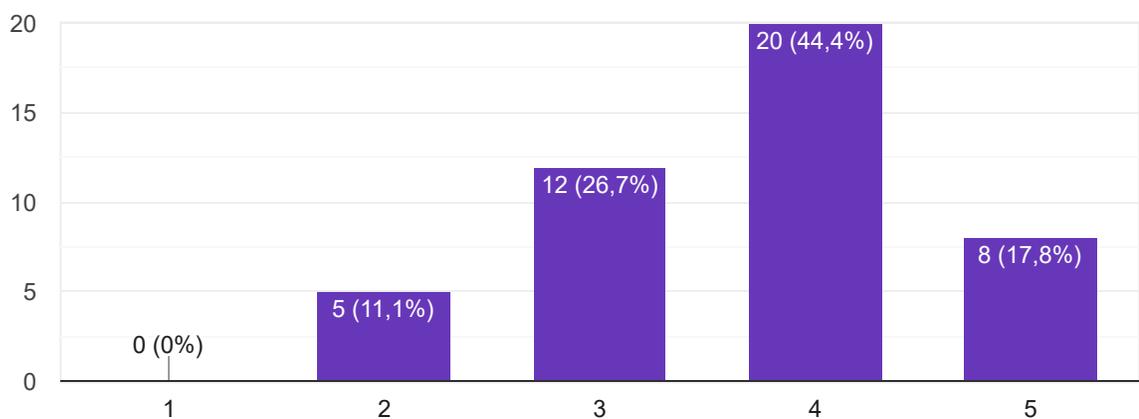
45 risposte



Quanto lo scenario 2 ti è risultato efficiente?

 Copia

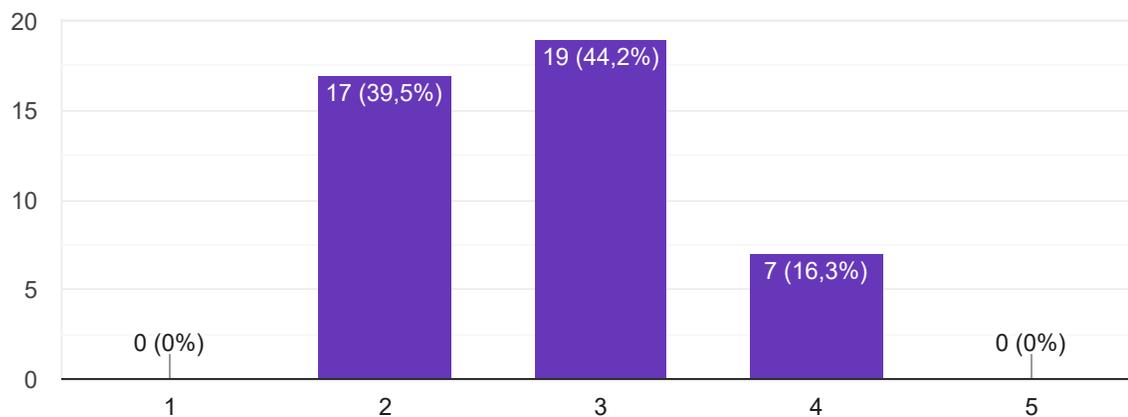
45 risposte



Quanto lo scenario 3 ti è risultato efficiente?

 Copia

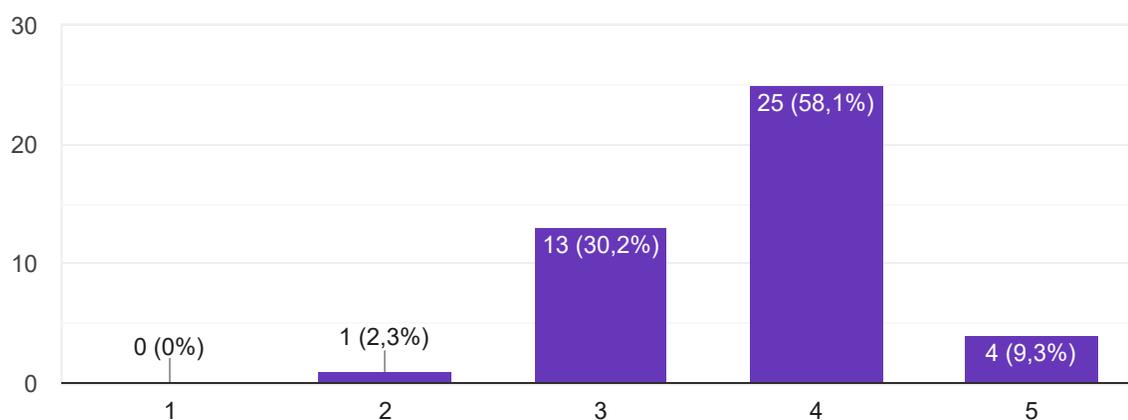
43 risposte



Quanto lo scenario 4 ti è risultato efficiente?

 Copia

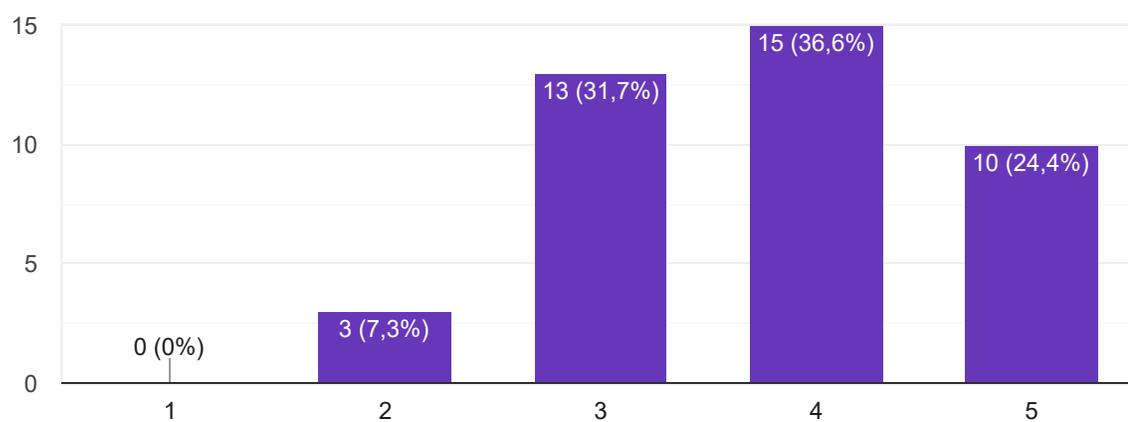
43 risposte



Quanto lo scenario 5 (sirena di allarme) ti è risultato efficiente?

 Copia

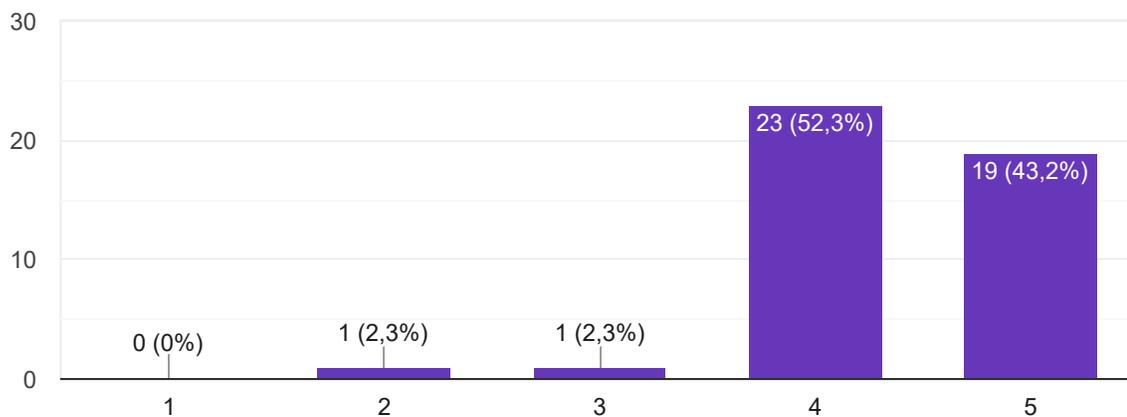
41 risposte



Quanto lo scenario 6 ti è risultato efficiente?

 Copia

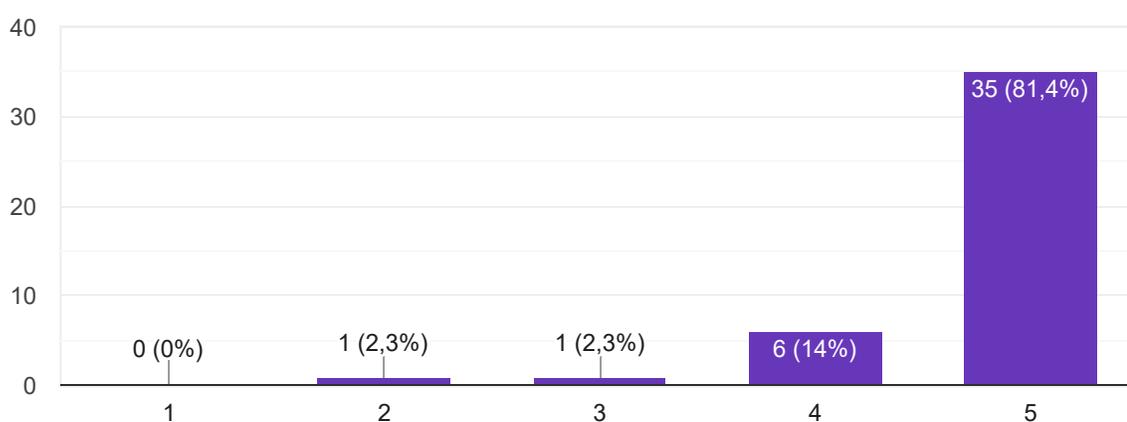
44 risposte



Quanto lo scenario 7 ti è risultato efficiente?

 Copia

43 risposte

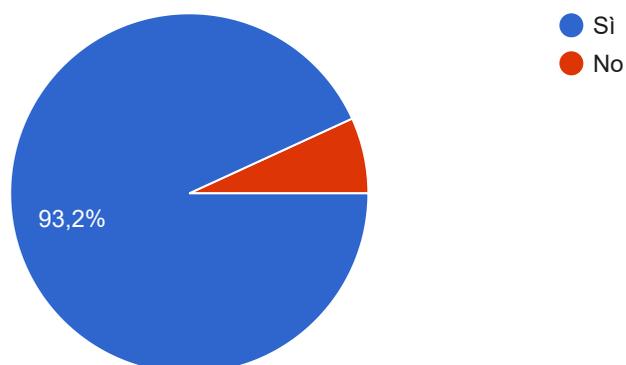


Valutazione degli scenari

La segnaletica che indica i presidi di sicurezza e i percorsi per raggiungere le uscite di sicurezza risulta facilmente visibile?

 Copia

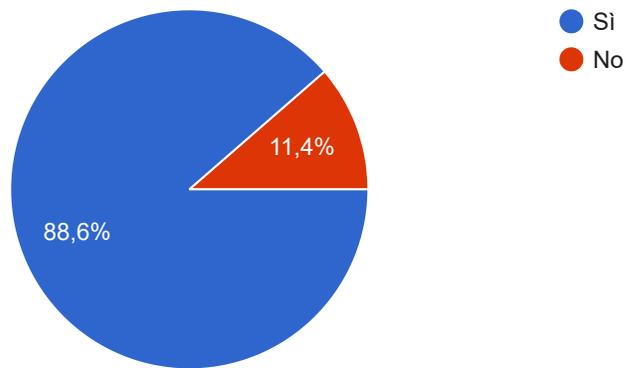
44 risposte



La posizione delle cartellonistica ti permetteva di trovare l'uscita in modo facile?

 Copia

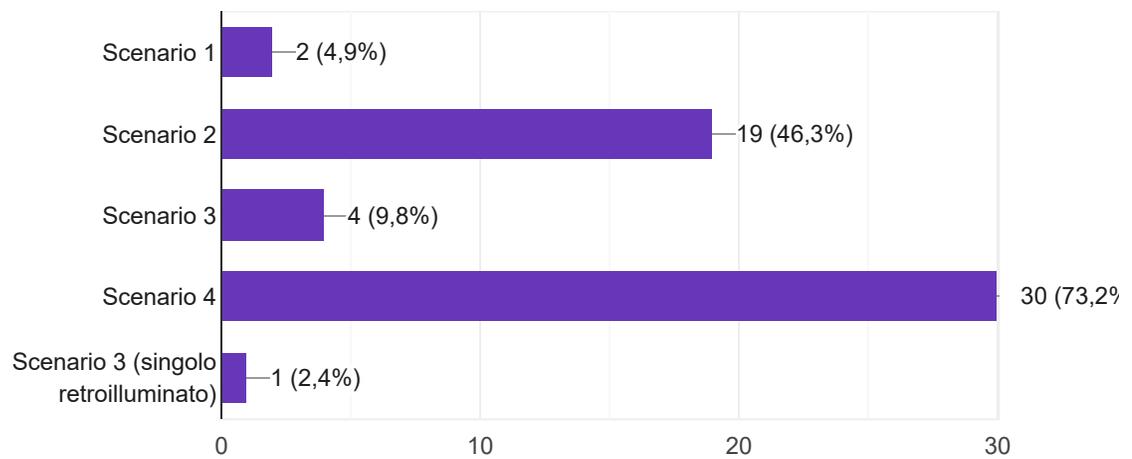
44 risposte



In quali tra i seguenti scenari hai trovato fossero maggiormente visibili?

 Copia

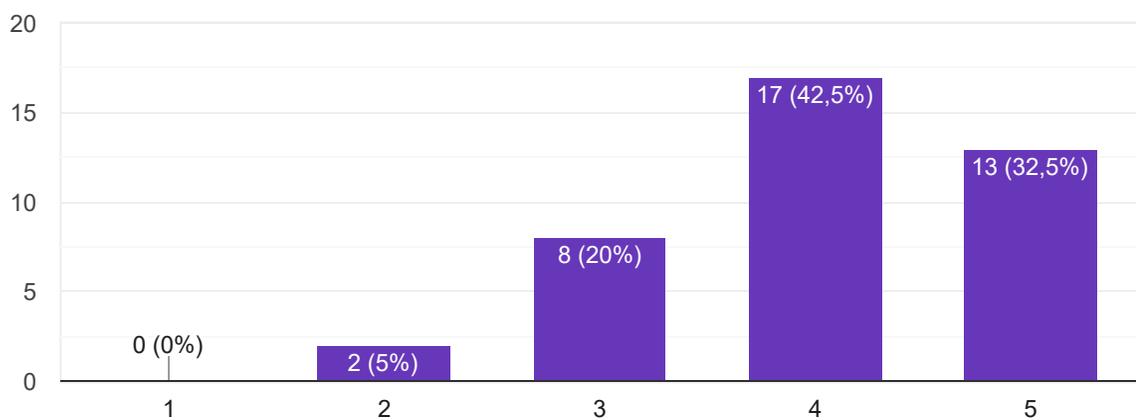
41 risposte



La segnaletica è stata di aiuto durante l'esodo?

 Copia

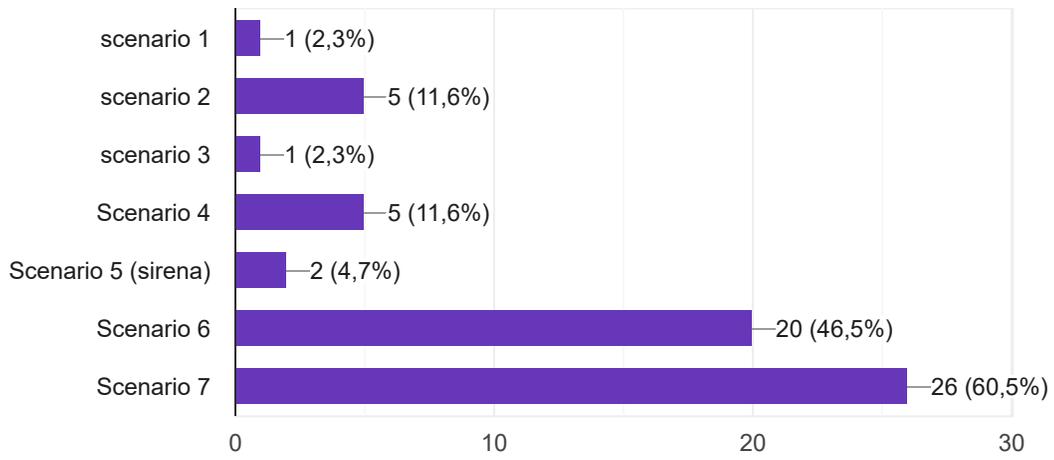
40 risposte



Quale tra quelle proposte reputi la più efficiente?

 Copia

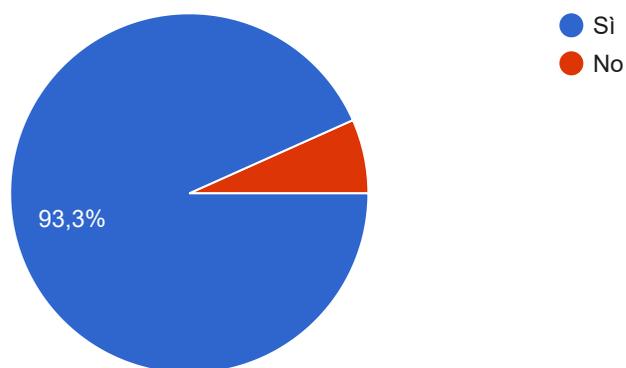
43 risposte



Dopo che è scattato l'allarme sapevi già da che parte andare?

 Copia

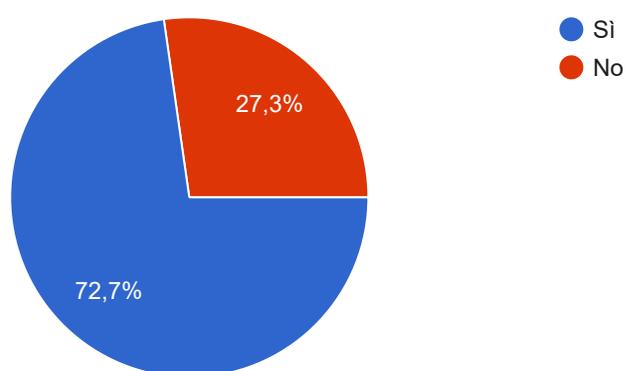
45 risposte



La sirena ti ha fatto capire che si trattasse di un incendio?

 Copia

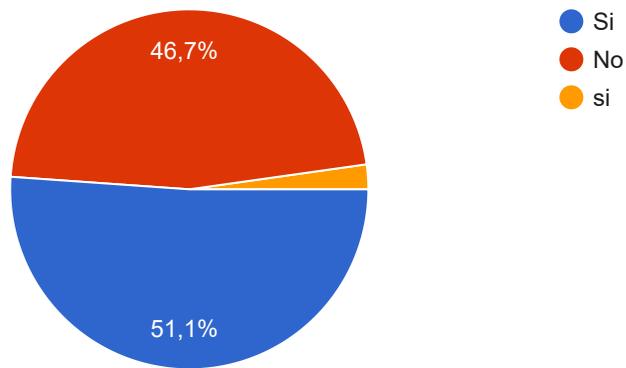
44 risposte



Il messaggio vocale ha influenzato la tua decisione?

 Copia

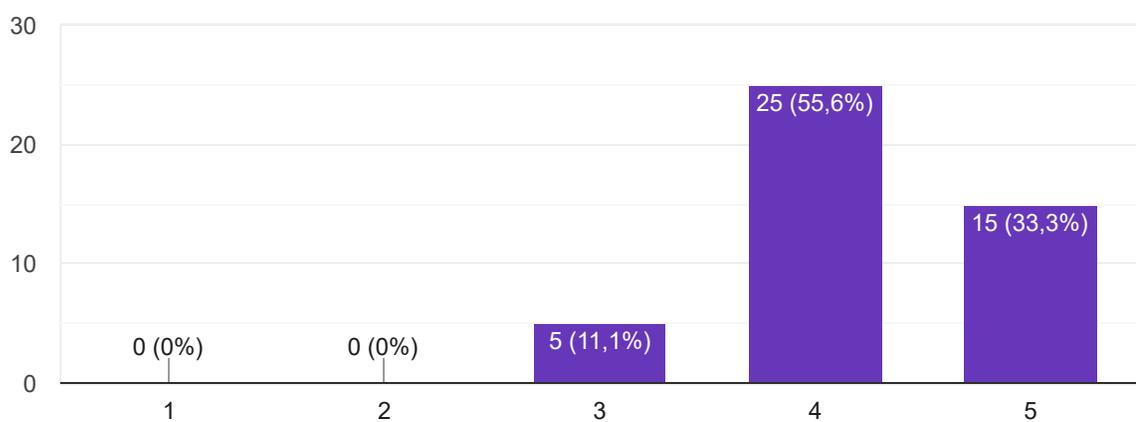
45 risposte



Quanto sono utili le strisce a pavimento che indicano i percorsi di esodo?

 Copia

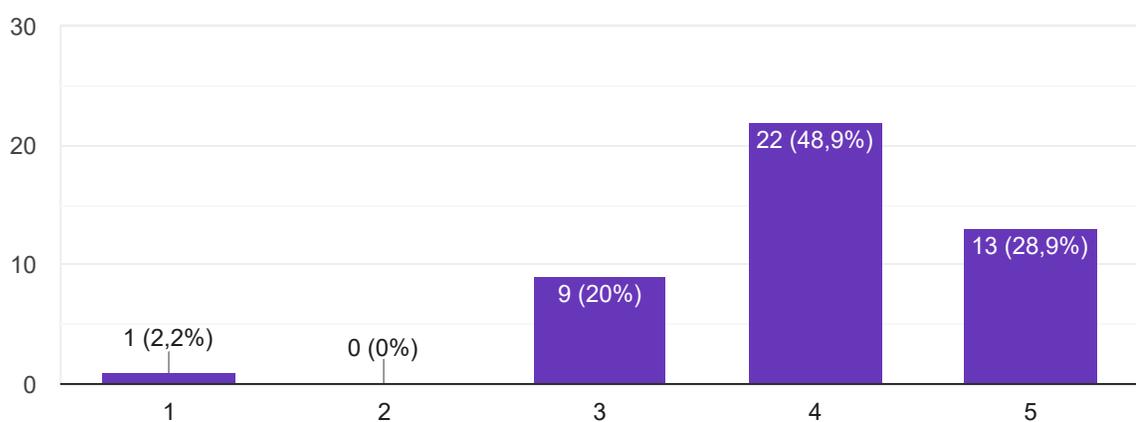
45 risposte



Quanto la cartellonistica dinamica è utile rispetto a quella classica?

 Copia

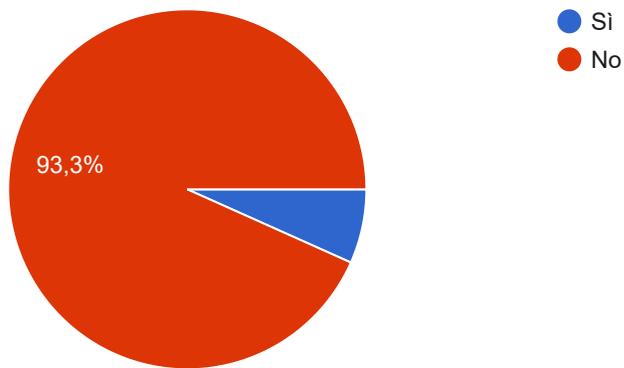
45 risposte



Hai impiegato più di 2 minuti per scenario per trovare l'uscita di sicurezza?

 Copia

45 risposte



Se sì, in quale scenario e perché?

3 risposte

Nel 1 non avevo dimestichezza con i comandi

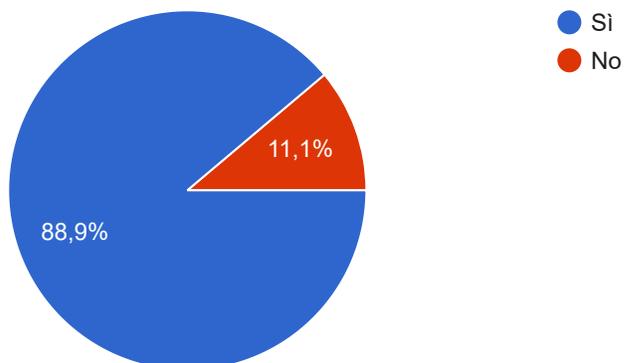
Mi sono perso nel fumo nel primo scenario, era molto realistico

scenario 1 perchè non avevo dimestichezza con i comandi

L'illuminazione di sicurezza era sufficiente?

 Copia

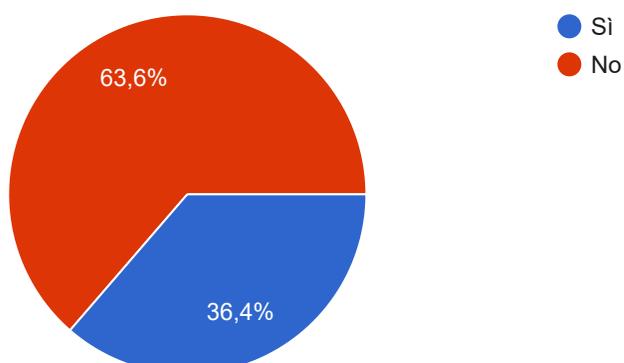
45 risposte



Durante l'esodo hai modificato il tragitto?

 Copia

44 risposte



Se sì, in quale scenario e perché?

15 risposte

Non mi sono accorta delle uscite "bloccate"

Scenario 4 per vedere se le altre uscite di sicurezza fossero più rapide da raggiungere, ma vedendo il fumo sono ritornata sui miei passi

Scenario 4, scenario 7

4 mi sembra, perché stavo uscendo dalla parte dell'incendio

7

Nel sesto, quando ho visto il fuoco

Nel 4 dopo che ho visto più fumo

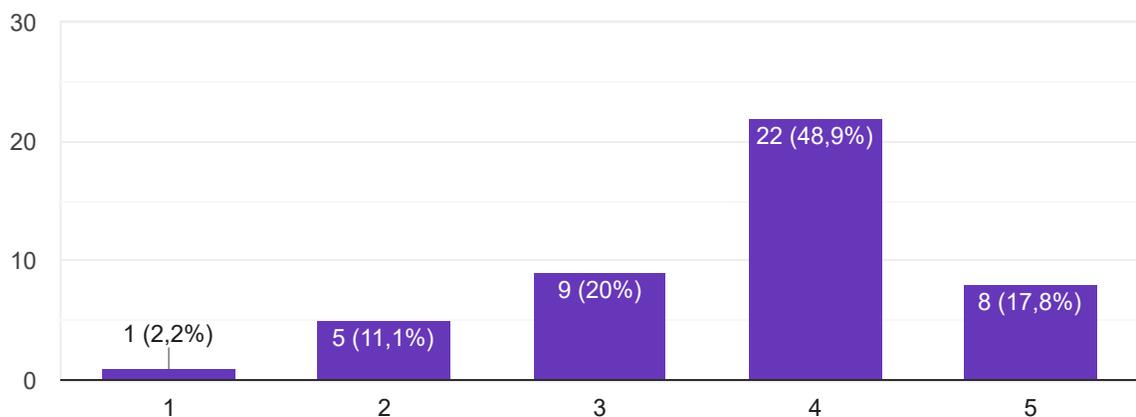
Perché ho visto il fumo

C'era il fumo

Quanto il fumo ha influito sulla tua decisione?

 Copia

45 risposte



Feedback sull'esperienza

Erano necessarie ulteriori informazioni? Quali?

24 risposte

No

no

No

I casi che presentavano cartellonistica dinamica erano i migliori. Sarebbe ideale, ma più complesso da realizzare, se fosse così in tutti casi.

No, tutto a posto

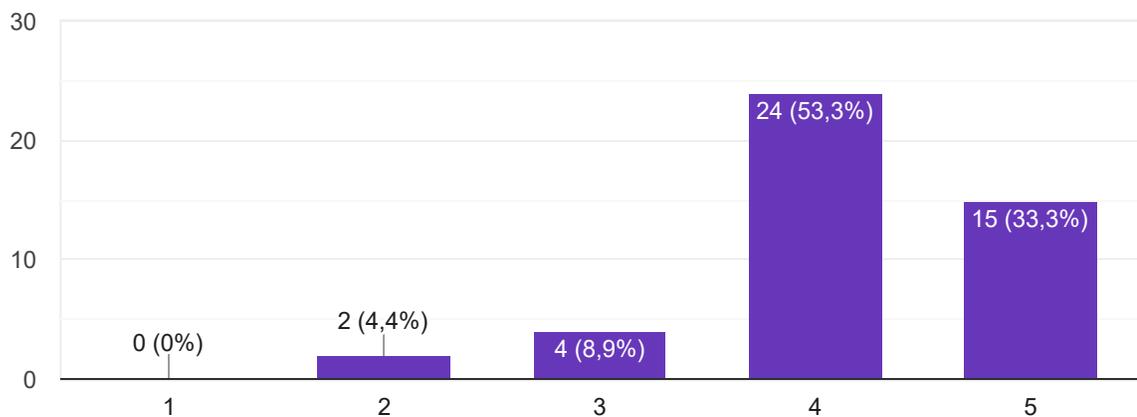
Si potrebbe descrivere meglio come muoversi all'interno dell'applicativo (utilizzo comandi a tastiera e mouse)

No!

Quanto sembrava realistico l'ambiente ricreato?

 Copia

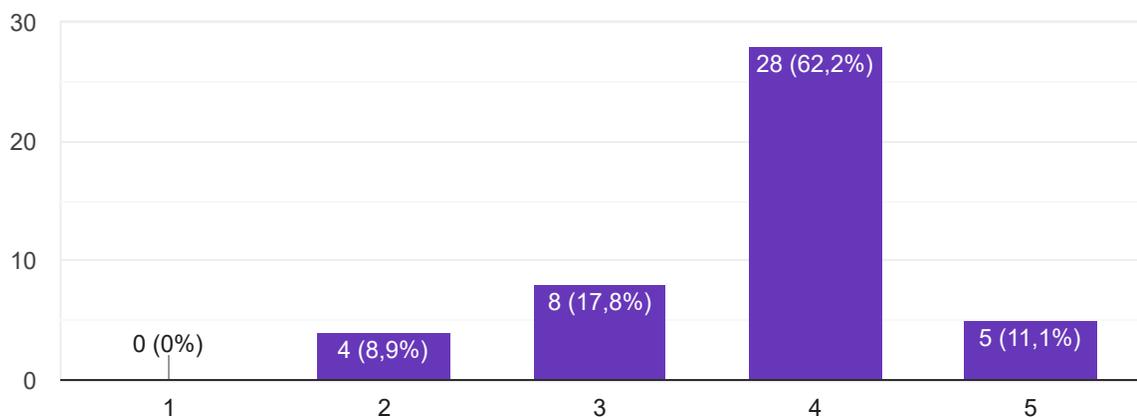
45 risposte



Il fumo in particolare era realistico?

 Copia

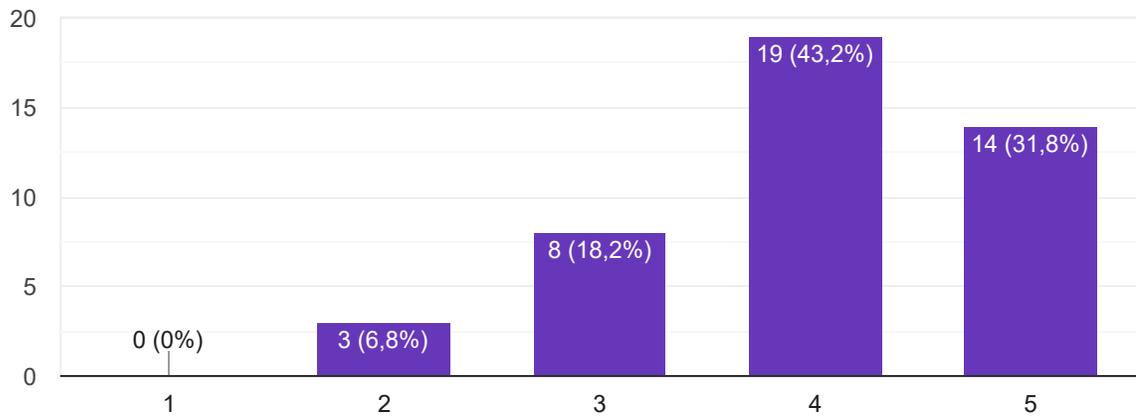
45 risposte



Quanto pensi sia utile a livello formativo?

Copia

44 risposte



Secondo te l'applicativo in quale dei seguenti settori ha più risvolti:

Copia

45 risposte

