



Istituto di Scienza e Tecnologie
dell'Informazione "A. Faedo"
Consiglio Nazionale delle Ricerche



ISTI Technical Reports

Monitoraggio strutturale dell'"involucro casa" e gestione emergenze/evacuazione

Vittorio Miori, CNR-ISTI, Pisa, Italy

Dario Russo, CNR-ISTI, Pisa, Italy



Monitoraggio strutturale dell'"involucro casa" e gestione emergenze/evacuazione

Miori V.; Russo D.

ISTI-TR-2020/023

Abstract

Lo scopo del presente report è quello di caratterizzare le politiche di gestione di emergenze negli ambienti di vita tramite la cooperazione con sistemi intelligenti ed interattivi, per permettere sia la gestione degli allarmi verso i primi soccorritori e i familiari, e l'attuazione, in modo automatico, delle operazioni necessarie alla gestione di tali emergenze e al supporto degli occupanti dell'ambiente interessato. Tale step è basato essenzialmente sullo sviluppo di sistemi di autodiagnosi degli edifici e del comportamento degli occupanti per l'assistenza in condizioni d'emergenza (rilevamento stato di danno, scelta via di esodo più sicura, stima vita utile residua, comportamento degli occupanti e loro guida in caso di emergenza). Aniché indicare una mera lista di operazioni, e al fine di comprendere l'efficacia delle politiche di gestione coordinate al sistema fisico e software, le attività si concentrano sul comprendere l'aiuto dato da tali soluzioni al processo di esodo da un punto di vista comportamentale, tramite prove relative di validazione in comparazione alle condizioni attuali.

Gestione dell'emergenza, Politiche di gestione, Evacuazione, Sistemi di rilevamento ed assistenza nell'emergenza, Architettura del sistema di gestione, Comportamento umano, Reti sensori-attuatori

Citation

Miori V.; Russo D. *Monitoraggio strutturale dell'"involucro casa" e gestione emergenze/evacuazione* ISTI Technical Reports 2020/023. DOI: 10.32079/ISTI-TR-2020/023

Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo"

Area della Ricerca CNR di Pisa

Via G. Moruzzi 1

56124 Pisa Italy

<http://www.isti.cnr.it>

Monitoraggio strutturale dell'"involucro casa" e gestione emergenze/evacuazione

Vittorio Miori (CNR) – Dario Russo (CNR)

Breve sommario

Lo scopo del presente report è quello di caratterizzare le politiche di gestione di emergenze negli ambienti di vita tramite la cooperazione con sistemi intelligenti ed interattivi, per permettere sia la gestione degli allarmi verso i primi soccorritori e i familiari, e l'attuazione, in modo automatico, delle operazioni necessarie alla gestione di tali emergenze e al supporto degli occupanti dell'ambiente interessato. Tale step è basato essenzialmente sullo sviluppo di sistemi di autodiagnosi degli edifici e del comportamento degli occupanti per l'assistenza in condizioni d'emergenza (rilevamento stato di danno, scelta via di esodo più sicura, stima vita utile residua, comportamento degli occupanti e loro guida in caso di emergenza). Aniché indicare una mera lista di operazioni, e al fine di comprendere l'efficacia delle politiche di gestione coordinate al sistema fisico e software, le attività si concentrano sul comprendere l'aiuto dato da tali soluzioni al processo di esodo da un punto di vista comportamentale, tramite prove relative di validazione in comparazione alle condizioni attuali.

Parole chiave

Gestione dell'emergenza, politiche di gestione, evacuazione, sistemi di rilevamento ed assistenza nell'emergenza, architettura del sistema di gestione, comportamento umano, reti sensori-attuatori

Indice

POLITICHE DI GESTIONE E CORRELAZIONE CON IL SISTEMA GERARCHICO SUPERVISIVO PER LA GESTIONE DELL'EMERGENZA.....	4
TEST IN AMBIENTE REALE	7
Caso di studio: ambiente, condizioni per le politiche di gestione e modalità di test	7
Risultati	12
Prova senza il sistema di gestione: risultati principali e criticità.....	12
Prova con il sistema di gestione: risultati principali ed efficacia della soluzione proposta	16
Conclusioni	20
BIBLIOGRAFIA	21

POLITICHE DI GESTIONE E CORRELAZIONE CON IL SISTEMA GERARCHICO SUPERVISIVO PER LA GESTIONE DELL'EMERGENZA

Il report definisce sistemi e metodi integrati per la gestione dell'emergenza incrociando la definizione di soluzioni di management con quelle di applicazione del sistema gerarchico supervisivo per la diagnostica completa dell'edificio.

SISTEMA DI GESTIONE E POLITICHE DI SAFETY EMERGENCY MANAGEMENT

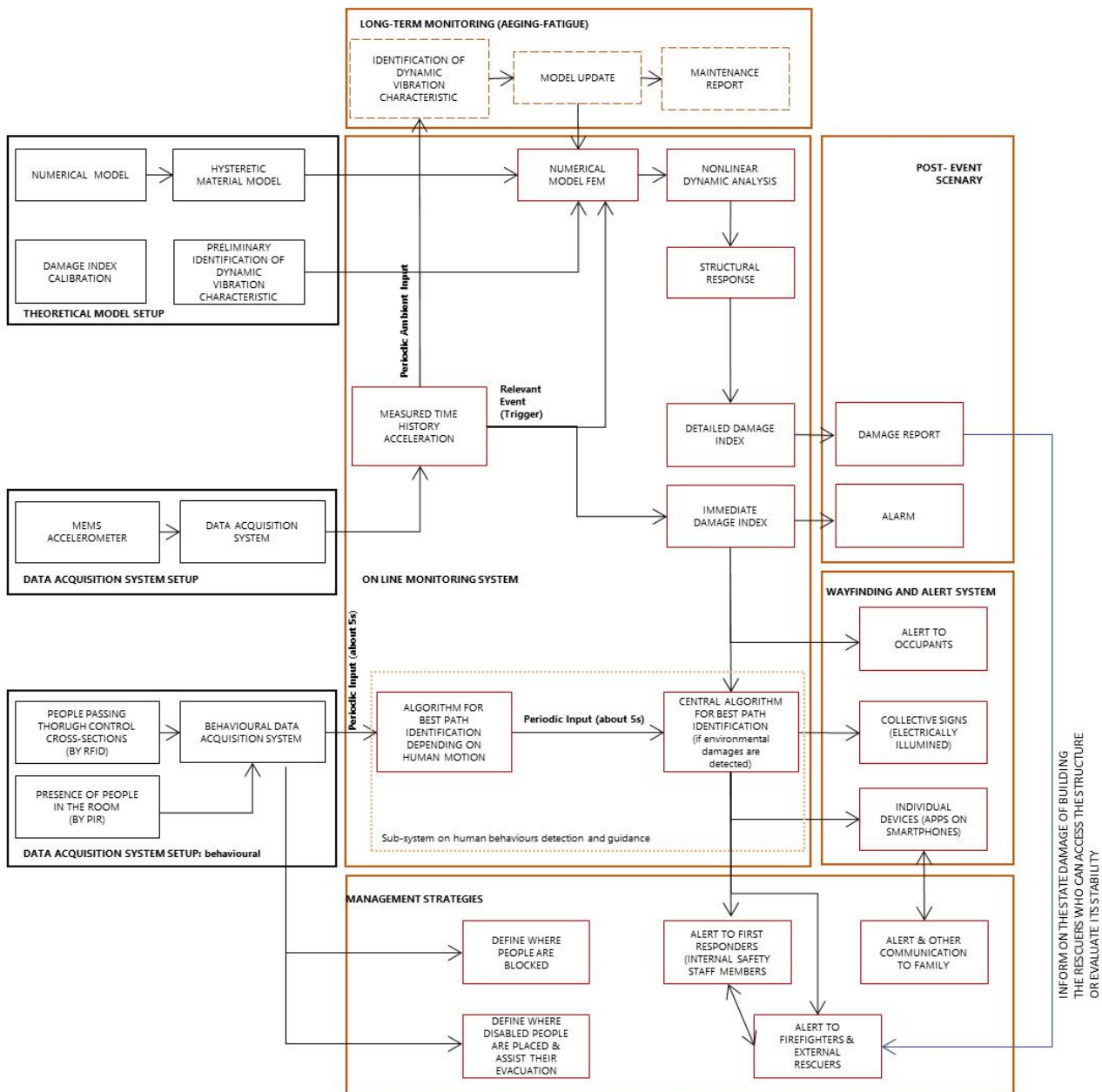


Figura 1. Correlazione tra il sistema gerarchico supervisivo (nel suo framework operativo) e il sistema di management dell'emergenza

Date le caratteristiche di obiettivo definite dall'OR, si analizza in particolare la situazione di emergenza con la possibile conseguente evacuazione di un ambiente di vita, in cui la guida degli occupanti autonomi viene affidata al sistema, che può inviare anche indicazioni di dettaglio ai familiari degli occupanti coinvolti, mentre operazioni specifiche di sicurezza saranno rivolte ai gestori e ai primi

soccorritori. In dettaglio, le politiche di gestione definite riguardano l'intervento delle squadre di sicurezza interne delle strutture analizzate, poiché esse sono generalmente le prime presenti sul campo in caso di emergenza. Lo schema che regola il presente report segue quello del modello dinamico di gestione dell'edificio e si fonda sul monitoraggio per l'attuazione con caratteristiche iterative e di interrelazione con le squadre di gestione dell'emergenza. L'ambito principale di applicazione di tale studio si riferisce principalmente ad edifici complessi quali ad esempio quelli soggetti ad alto carico di affollamento, in cui gli occupanti non hanno adeguata conoscenza specie in fase di emergenza (strutture ospedaliere, scolastiche, pubbliche, luoghi di lavoro, grandi strutture residenziali e turistiche). L'applicazione a questi scenari permette di considerare gli effettivi problemi che si possono presentare nella gestione del sistema in via di implementazione e nei relativi algoritmi che devono essere utilizzati in esso. Naturalmente le indicazioni che si traggono da tale campo possono essere agevolmente estese anche a tipologie più semplici o a scale territoriali.

In particolare, in accordo a studi pregressi [1]–[5], la gestione proposta si basa su:

1. applicazione del sistema gerarchico supervisivo. Il sistema fornisce indicazioni secondo quanto segue:
 - *Monitoraggio condizioni ambientali*: all'elaboratore centrale, per inviare informazioni ai soccorritori secondo il punto 2 del presente elenco.
 - *Sistema di rilevamento della posizione delle persone nelle aree di controllo*: per determinare persone bloccate e livello di affollamento ad ogni percorso. Dato condiviso con i soccorritori per la gestione dell'esodo e l'assistenza a persone non autonome (vedi report 4.4.3.5) o intrappolate.
 - *Unità centrale di elaborazione*: smistamento dati e salvataggio statistiche.
 - *Unità di allerta ai gestori*: informazioni ai soccorritori come da punto 2 del presente elenco.
 - *Sistema di attuazione*: guida delle persone autonome al di fuori dell'edificio attraverso i percorsi meno rischiosi.
 - *Network di comunicazione e alimentazione*: supporto all'interscambio dati.
2. coordinamento con le azioni dei soccorritori del sistema gerarchico supervisivo, che fornisce input e infrastruttura di controllo nell'emergenza alle squadre di soccorso, che vengono principalmente impiegate per l'assistenza delle persone non autonome nell'esodo e/o bloccate. I gestori dell'emergenza esterni alle strutture (es.: Vigili del Fuoco, Polizia, Croce Rossa) sono informati delle condizioni generali dell'emergenza per gli aspetti di evacuazione e per quelli di danneggiamento delle strutture grazie agli indici sviluppati nell'OR 4.4, così da avere informazioni suppletive utili a supportare decisioni sulla sicurezza dell'edificio al termine dell'evento calamitoso (i.e. stabilità) e della presenza di persone intrappolate.

La Figura 1 riassume lo schema operativo del sistema come proposto. Inoltre, in termini generali, le vie di accesso all'area colpita da parte dei soccorritori devono essere il più possibile distinte dai percorsi usati in uscita dagli occupanti per ridurre al minimo le interferenze per moto "controcorrente".

Il sistema proposto in ambito domotico può essere preso in considerazione sia in termini di security, (protezione delle persone da parte di azioni di terzi) che di safety (protezione di beni e persone, da situazioni di allarme).

La soluzione proposta integra e vuole superare i piccoli accorgimenti legati a sistemi singoli ed integrati (es.: rivelatori di eventi pericolosi ed attuatori semplici di rete) cercando di inquadrare il framework generale di Figura 1 con strategie mirate supportate dalla rete sensore-attuatore, nell'ottica di notevole risparmio in termini di numero di dispositivi e di quantità di cablaggio, e soprattutto nella possibilità di ottimizzare la gestione delle risorse interessate.

E' pertanto mirato all'adattamento delle politiche di gestione di safety e security in maniera iterativa rispetto al sistema supervisivo, per permettere sia la gestione degli allarmi verso squadre interne che

verso esterne (es.: VVF, polizia), come pure verso l'allerta dei familiari, come pure la messa in opera in modo automatico delle operazioni necessarie alla gestione di tali emergenze.

Tuttavia il sistema nel suo complesso garantisce ottime prestazioni se e solo se è in grado di abbassare il livello di operazioni verso le azioni autonome degli occupanti da parte dei soccorritori, grazie a sistemi interattivi che agiscono sulle scelte comportamentali individuali.

Su tali basi si fonda il test in ambiente reale sviluppato.

TEST IN AMBIENTE REALE

Il sistema gerarchico supervisivo è stato applicato su un caso di studio significativo reale in abbinamento al sistema di management dell'emergenza, coinvolgendo in particolare personale dallo staff della squadra di emergenza dell'Università Politecnica delle Marche affiancato da volontari che hanno partecipato alla prova per coordinare la gestione dell'emergenza in qualità di "first responders" interni, così come da Figura 1. Per comprendere l'efficacia delle politiche di gestione coordinate al sistema fisico e software, le prove si concentrano sul comprendere l'aiuto dato da tali soluzioni al processo di esodo da un punto di vista comportamentale [1]–[5].

Caso di studio: ambiente, condizioni per le politiche di gestione e modalità di test

Il caso di studio coinvolge parte dei locali del complesso Villarey dell'Università Politecnica delle Marche, già utilizzata per precedenti prove e in particolare l'aula B1 alla sinistra dell'aula magna centrale, come da Figura 2 con raffigurato il piano di emergenza. In questa aula vi è la presenza di due livelli di quota, tra piano primo e piano secondo. Nell'aula sono presenti quattro ingressi, due a quota inferiore e due a quota superiore. Questi convergono in corridoi diretti ad uscite di emergenza visibili. Ai fini della prova sono stati chiusi alcuni passaggi per avere un maggiore controllo del flusso del campione, da indirizzare verso le uscite del piano terra o del piano primo (antincendio).

Per quanto riguarda la prova prevista, i percorsi di fuga possibili sono:

1. Dall'ingresso inferiore dell'aula all'uscita al piano terra;
2. Dall'ingresso superiore dell'aula all'uscita di emergenza al piano terra;
3. Dall'ingresso inferiore dell'aula all'uscita di emergenza al piano primo;
4. Dall'uscita superiore dell'aula all'uscita di emergenza al piano primo.

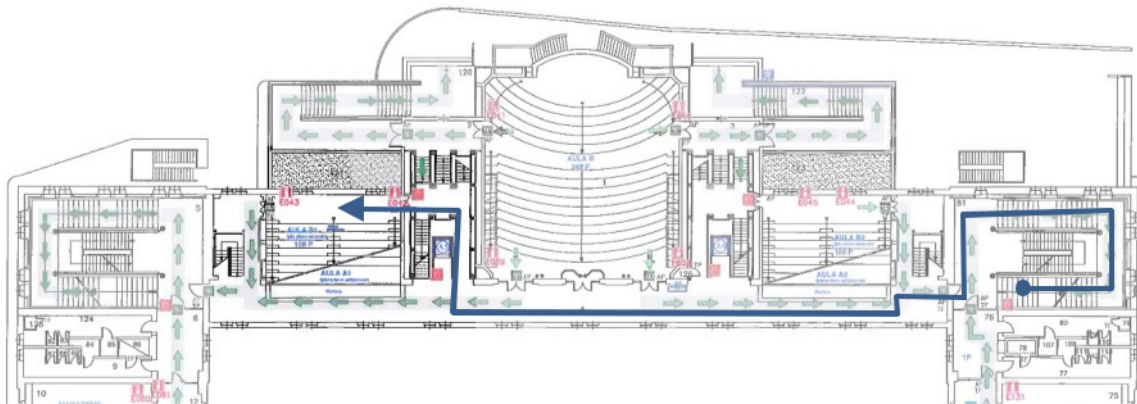


Figura 2. Planimetria piano primo, con l'aula B1 (in neretto) e il piano di emergenza ed evacuazione (layout degli elementi e dei percorsi da seguire) e il percorso scelto di accesso dei soccorritori (linea continua blu) ipotizzato per ridurre al minimo le interferenze con il processo di esodo da percorsi del piano di evacuazione (frecche verdi).

Pianta Piano primo

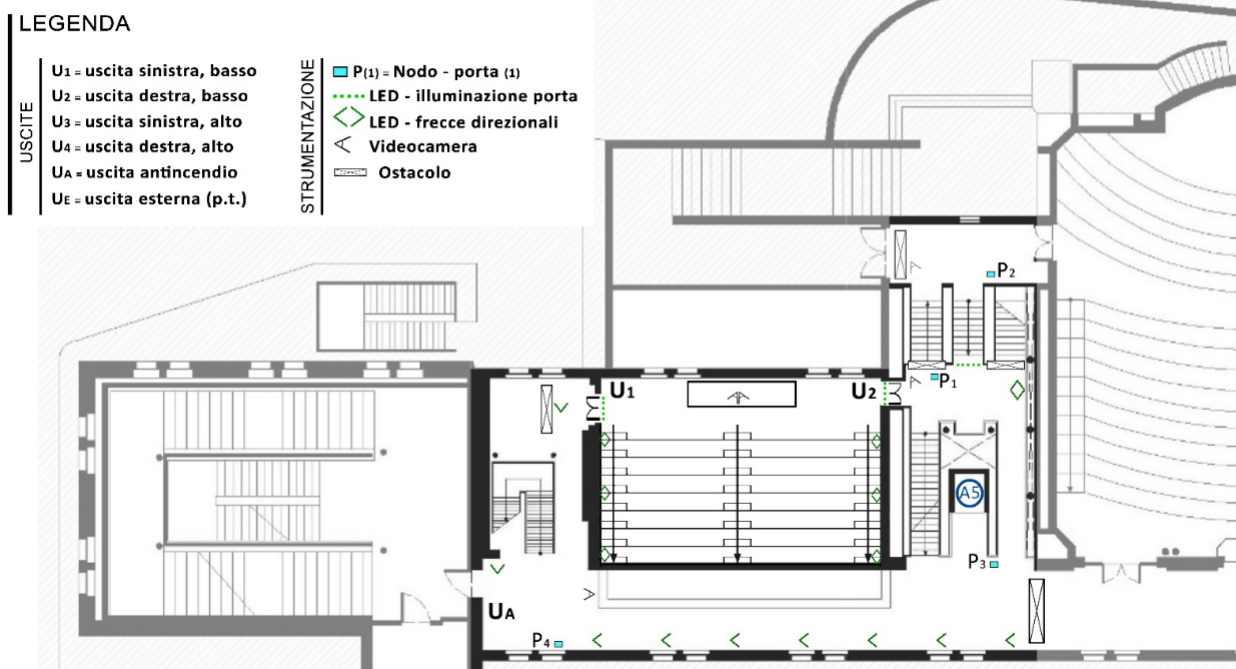


Figura 3. Planimetria piano primo. Predisposizione segnali e sensori sulla pianta e relativa Legenda con posizionamento dei sistemi di attuazione (wayfinding luminoso e intelligente) e dei punti di controllo (aree di controllo) dati dai nodi – porta.

La prova prevede l'accoppiamento tra il sistema di gestione e le seguenti azioni da parte dei soccorritori:

- (1) immediato intervento sul posto con partenza dal piano terra al momento dell'allarme;
- (2) una volta sul posto, le squadre controllano che il processo di esodo segua la regolare indicazione del piano di emergenza (freccie direzionali indicate nell'estratto di Figura 2) ed eventualmente soccorrono le persone non autonome;
- (3) controllo finale dello spazio ed uscita con allerta contemporanea di soccorritori esterni se necessario.

Il compito di assistenza alle persone autonome è in particolare delegato invece al sistema di gestione dell'esodo.

Per verificare l'efficacia della combinazione tra politiche di gestione e sistema automatico supervisivo, sono state organizzate due prove:

- la prima in condizioni attuali (segnaletica standard e non interattiva);
- la seconda in presenza del sistema supervisivo ivi incluso l'apparato di rilevazione individuale e di guida.

In dettaglio, la Figura 3 mostra l'applicazione in pianta del sistema di guida (wayfinding luminoso e intelligente), mentre la Figura 4 mostra alcune foto dell'applicazione dello stesso nell'ambiente.

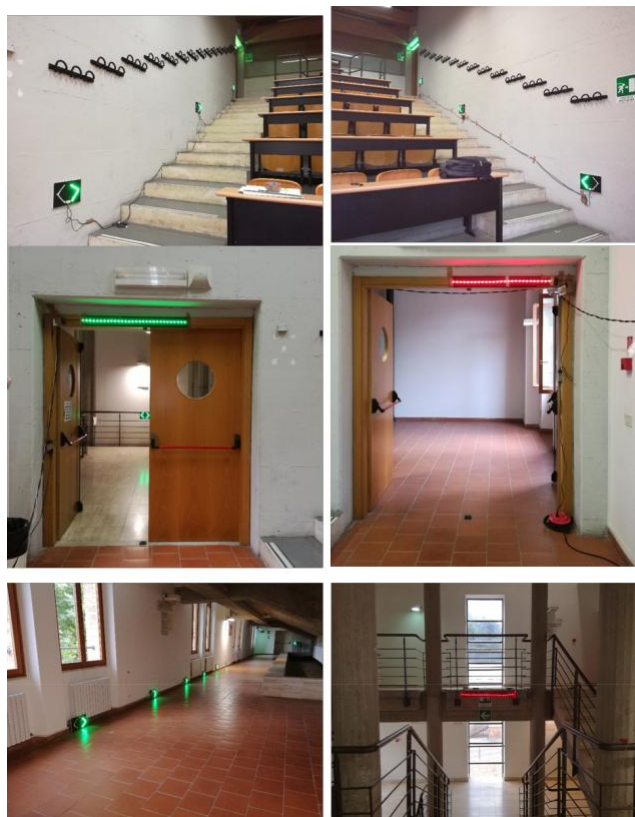


Figura 4. Sistemi di attuazione (wayfinding luminoso e intelligente) applicati al caso di studio.

Le modalità specifiche di prova tengono in considerazione gli effetti di gruppo che insorgono nel momento dell'emergenza per ottimizzare il numero di dispositivi di rilevamento individuale all'interno delle strutture [6]–[10].

Nella fruizione degli edifici pubblici, le persone preferiscono rimanere in contatto sia nella fase di ingresso (ed eventualmente di fruizione) che di uscita in emergenza, a causa dei forti legami interrelazionali.

Ciò è vero anche per le abitazioni private, in cui l'interazione tra occupanti per legami familiari è vincolata dalla volontà di aiuto reciproco tra le stesse.

Per tali motivi, i volontari che partecipano alla prova in qualità di fruitori dell'edificio sono divisi in gruppi tramite la distribuzione di cartellini numerati identificativi di appartenenza al gruppo. All'interno di ogni gruppo viene individuato un "leader" [11] al quale viene affidato il device di rilevamento affidando alla sua posizione il numero di persone partecipanti al gruppo. I gruppi si sono disposti come riportato dalla Figura 5.

Le persone che partecipano come fruitori dell'edificio (con livello scarso di conoscenza degli ambienti, così da replicare le condizioni peggiori di orientamento [12] [14]), sono invitate ad assistere ad un simposio all'interno della struttura, nell'aula B1. I soggetti si dispongono in posizione casuale all'interno dell'aula B1.

Il sistema di gestione e supervisione simula un allarme incendio.

Viene simulato un allarme per incendio all'interno della struttura, in una delle aule attigue alla B1.

Giacché l'evacuazione deve essere efficace nei primi istanti dell'emergenza per evitare che le persone possano essere esposte a rischi legati all'instabilità strutturale, l'incendio non comporta danneggiamento significativo nei tempi dell'allarme alla struttura.

Per tale motivo, gli indicatori di sicurezza strutturale non vengono tenuti in considerazione in maniera operativa nella presente prova.

A seguito dell'allarme, i fruitori escono e si dirigono verso l'uscita di emergenza che giudicano corretta affidandosi alla segnaletica presente nell'edificio, a seconda del caso (standard o intelligente luminosa)

e, in caso di problemi, rivolgendosi alle squadre di soccorso che nel frattempo intervengono dalla struttura. Le squadre inoltre provvedono a disinserire l'interruttore generale della zona in esame e ad entrare nell'aula luogo dell'incendio per provvedere allo spegnimento dello stesso.

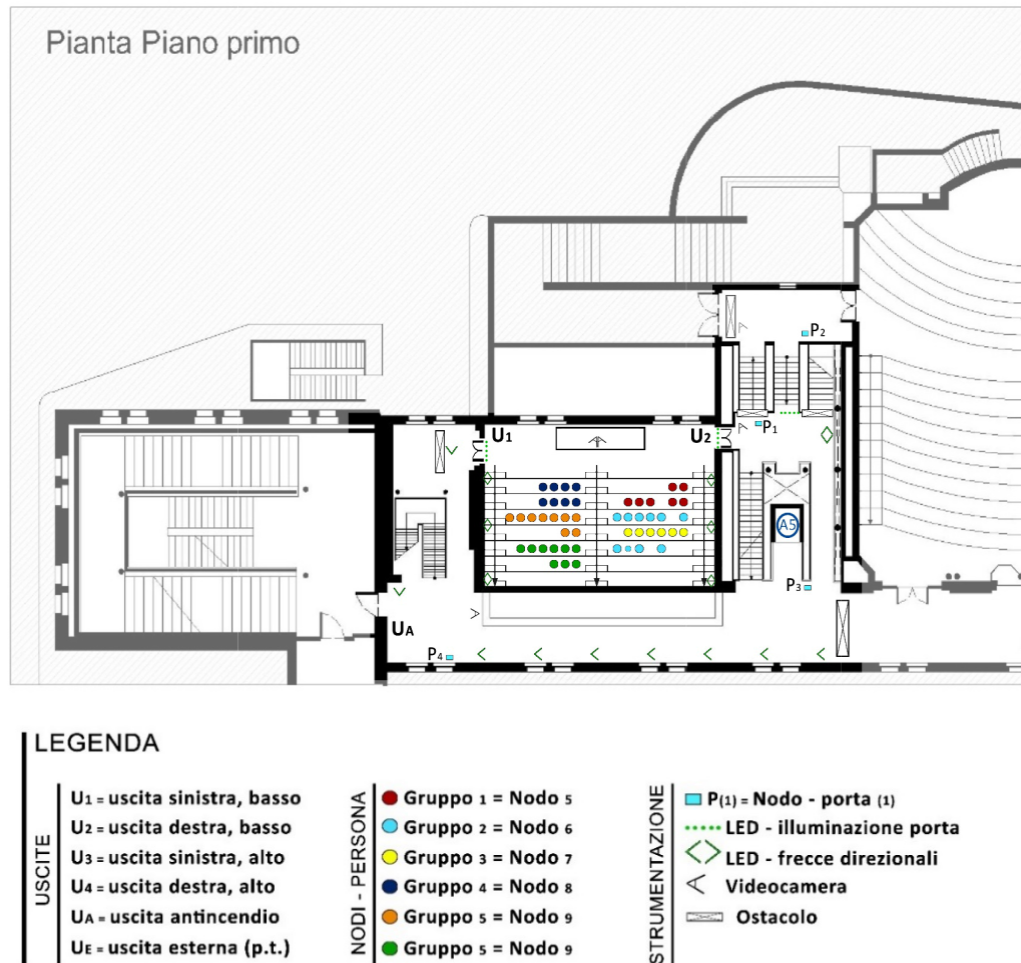


Figura 5. Disposizione in aula dei gruppi, analoga per la prova con e senza sistema di gestione.

Nella prova con il sistema di gestione e quindi i segnali intelligenti luminosi, al fine di rendere possibile l'ottimizzazione dei devices di monitoraggio della posizione individuale (nodi fissi ambientali), vengono disposti dei nodi di riferimento (porte) nei punti dell'ambiente identificati nella Figura 3: questi hanno il compito di registrare il movimento delle persone e il flusso di queste attraverso le porte di uscita. I dispositivi mandano, in base al flusso registrato, i dati alla segnaletica dinamica di sicurezza. I LedStrip (portali) di guida cambiano colore a seconda del flusso registrato.

Se il numero delle persone fosse troppo elevato le luci della segnaletica cambiano colore da verde a rosso.

Le frecce direzionali (vedi anche Figura 4) cambiano verso a seconda della uscita libera da indicare. In questo modo i soggetti sono indirizzati verso altre uscite.

La prova si conclude al raggiungimento del luogo sicuro da parte di tutto il gruppo di persone, ignorando per semplicità i tempi di sopralluogo da parte dei soccorritori.

Grandezze misurate:

- Tempo (in secondi) che intercorre tra l'allarme - inizio segnalazione - e il completamento dell'evacuazione – ultima persona uscita - nell'aula e nell'edificio.

- Deflusso (persone al secondo), quantità di persone uscite da ogni porta nell'aula e nell'edificio.
- Campione persone:** la tabella 1 riassume la caratterizzazione del campione volontario coinvolto nelle prove.

Analisi del campione			
Domanda	Risposte multiple	Tot	%
Età	0-10	1	2,08
	15-24	4	8,33
	25-38	29	60,42
	39-52	4	8,33
	53-75	9	18,75
Sesso	F	30	62,50
	M	18	37,50
Frequento gli ambienti di questa università	a) Solo orario di lezione	0	0,00
	b) Frequenza rara fuori dall'orario di lezione	17	35,42
	c) oggi è la prima volta	31	64,58
Conosco le procedure di evacuazione contenute nel piano emergenza di questa università	1) Per nulla	33	68,75
	2) Poco	10	20,83
	3) Abbastanza	2	4,17
	4) Molto	3	6,25
Ho partecipato a prove di evacuazione in questa università	a) Si	6	12,50
	b) Questa è la prima volta	32	66,67
	c) No	10	20,83

Tabella 1. Caratterizzazione del campione coinvolto nel test del sistema di gestione

Risultati

I risultati analizzati sono definiti focalizzando sulle prestazioni che il sistema di gestione e le politiche correlate hanno sul comportamento umano e sulla corretta scelta in evacuazione per migliorare modalità e tempi di esodo.

Come mostrato in Figura 6, attuando il sistema di gestione e di management nell'ambiente di prova, avviene un miglioramento nell'esodo, evidenziato dalla traslazione (anticipata) della curva verde corrispondente alla prova col sistema di gestione rispetto a quella senza.

La fase di evacuazione presenta una differenza di ben 15 secondi, ovvero il 26,78% in meno rispetto al tempo totale della prova standard.

Come mostrato dal punto di uscita del primo evacuante e dalla pendenza della curva di regressione nei flussi di Figura 7, si nota anche una velocizzazione dal momento in cui scatta l'allarme fino al primo raggiungimento dell'uscita, sebbene poi il flusso generale alle uscite sembra essere comparabile (pendenza delle rette di regressione simile). Il coefficiente angolare delle due rette indica, infatti, quante persone al secondo sono uscite.

In sintesi:

- **SENZA SISTEMA DI GESTIONE.** Persone al secondo uscite = 2,07.
- **CON SISTEMA DI GESTIONE.** Persone al secondo uscite = 1,68.

La diminuzione del valore di deflusso espresso in [pp/s] adottando il sistema di gestione è principalmente dovuto alla scelta dei partecipanti di intraprendere percorsi differenti, più lunghi ma indubbiamente liberi e sicuri. Nonostante ciò, si è ottenuto egualmente un miglioramento in termini di tempo di evacuazione.

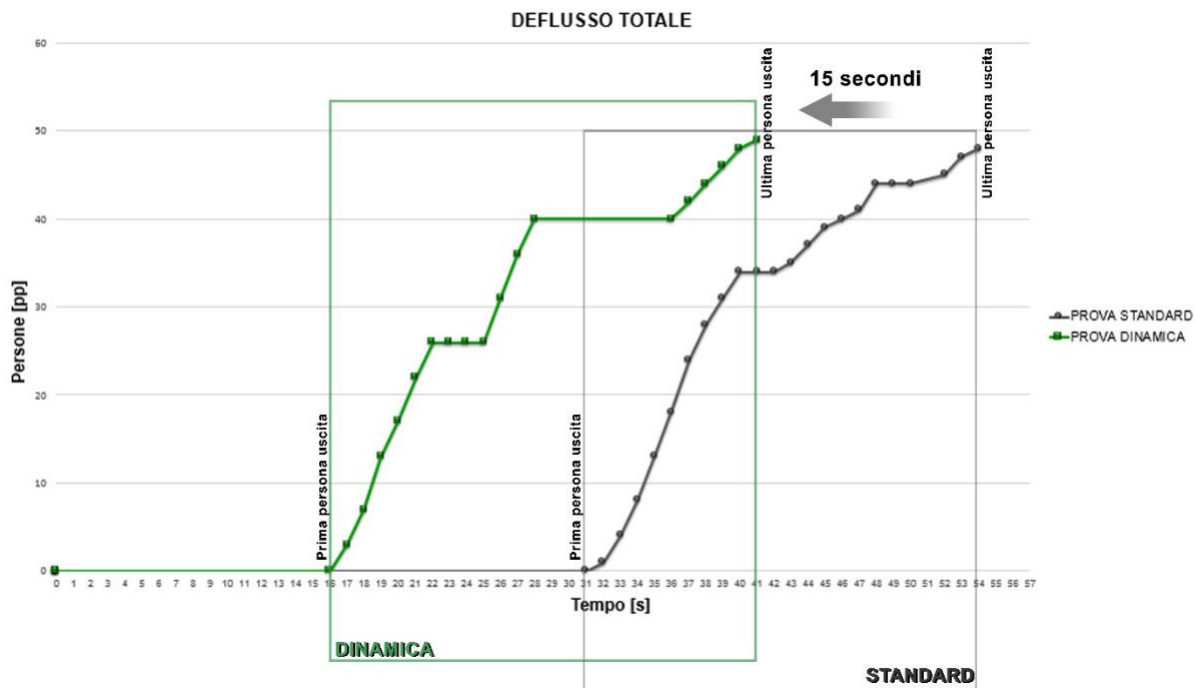


Figura 6. Confronto tra curve di evacuazione della prova senza sistema di gestione (prova standard) e con il sistema (prova dinamica).

Prova senza il sistema di gestione: risultati principali e criticità

La Figura 8 mostra i percorsi compiuti dagli evacuanti nella prova senza sistema di gestione.

Si nota come la quasi totalità dei gruppi abbia scelto l'uscita più vicina alla propria posizione, tranne il gruppo 1 che si è diretto verso la porta di sinistra (U_1 nella Figura 8).

Coloro che sono usciti dalla porta U_A non hanno seguito il percorso di ingresso (considerata luogo sicuro ai fini della prova), mentre coloro che sono usciti dalle porte di destra (U_1 e U_3) hanno seguito a ritroso il percorso di ingresso e sono usciti dalla porta principale al piano terra (U_E).

La videocamera posta al di fuori della porta U_2 mostra che il capogruppo del gruppo 2 si è diretta immediatamente verso le scale (percorso di ingresso) pur guardando la segnaletica a muro, come nella Figura 9-A, ha seguito il percorso noto.

La Figura 9-B, invece, mostra un comportamento anomalo: una ragazza appartenente al gruppo 2, non ha seguito la propria comitiva attraverso la porta U_2 ma ha deciso di andare dietro al gruppo 3, poiché più vicino a lei all'interno dell'aula, uscendo dalla porta U_4 e rimanendo con esso per tutto il resto della prova.

La Figura 10, infine, mostra un membro del gruppo 2 che, invece, ha osservato la segnaletica e in un primo momento si sta dirigendo verso un'altra direzione e poi, dopo essersi accorta che i compagni seguivano il capogruppo, ha deciso di raggiungerli e percorrere il loro stesso percorso, pur esitando per alcuni secondi nella scelta (vedi terzo frame).

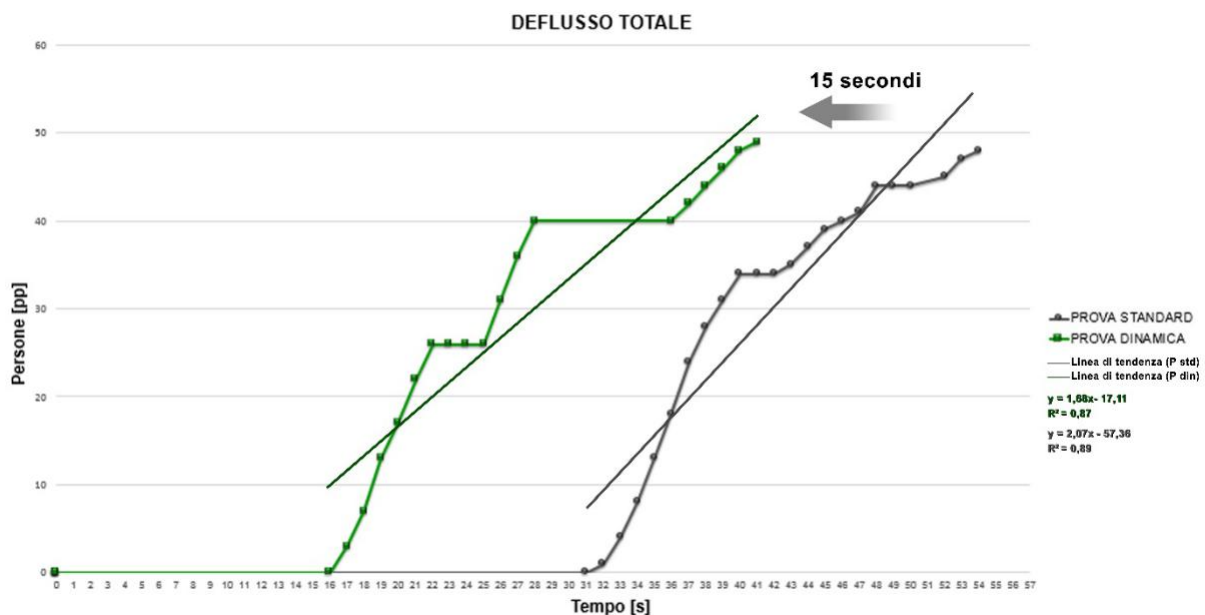
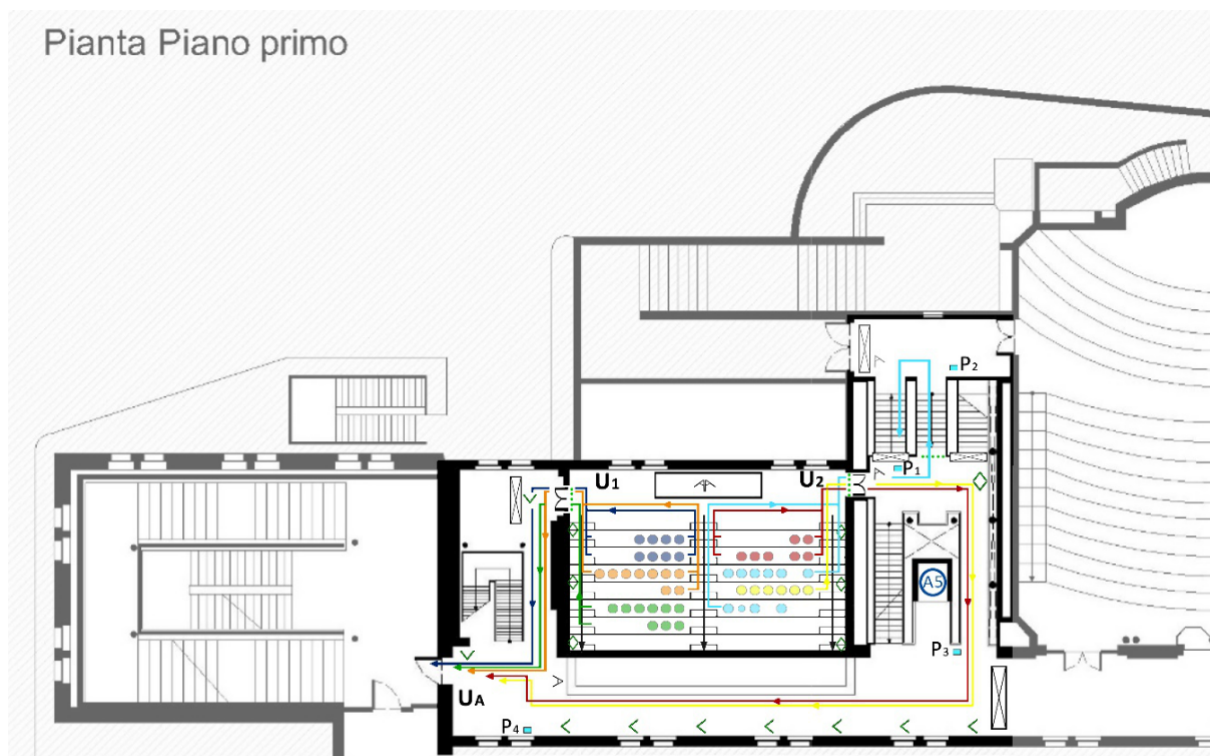


Figura 7. Confronto tra curve di evacuazione della prova senza sistema di gestione (prova standard) e con il sistema (prova dinamica): evidenziate le curve di deflusso (equazione nel grafico).

Pianta Piano primo



LEGENDA

USCITE

- U₁ = uscita sinistra, basso
- U₂ = uscita destra, basso
- U₃ = uscita sinistra, alto
- U₄ = uscita destra, alto
- U_A = uscita antincendio
- U_E = uscita esterna (p.t.)

NODI - PERSONA

- Gruppo 1 = Nodo 5
- Gruppo 2 = Nodo 6
- Gruppo 3 = Nodo 7
- Gruppo 4 = Nodo 8
- Gruppo 5 = Nodo 9
- Gruppo 5 = Nodo 9

STRUMENTAZIONE

- P₍₁₎ = Nodo - porta (1)
- ⋯ LED - illuminazione porta
- ◇ LED - frecce direzionali
- A Videocamera
- ▭ Ostacolo

Figura 8. Prova senza sistema di gestione (prova standard): percorsi di uscita dei gruppi e relativa legenda.

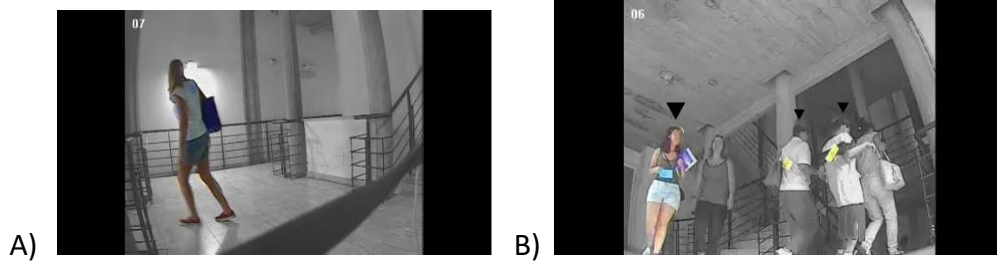


Figura 9. Frames dall'evacuazione senza sistema di gestione: A- persona che esce dall'aula (U_2) e si affida alla segnaletica standard per scegliere la direzione di esodo, ma poi sceglie la direzione usata per entrare nell'edificio. B- prosegua dell'evacuazione lungo il percorso che conduce all'uscita principale, con persona che si accoda ad altro gruppo rispetto a quello di origine.



Figura 10. Frames dall'evacuazione senza sistema di gestione: Persona del gruppo 2 segue inizialmente la segnaletica per poi inseguire il gruppo.

Il percorso più lungo è quello equivalente al percorso di ingresso, in quanto viene considerata l'uscita U_E al piano terra come raggiungimento del luogo sicuro.

Questo influenza notevolmente la curva di esodo come indicato nella Figura 11.

Avendo seguito il percorso più breve, i gruppi 4 – 5 – 6 – 1 hanno raggiunto il luogo sicuro (oltrepassata la porta antincendio) dopo 31 secondi dall'allarme. I due gruppi rimanenti, 2 e 3 hanno impiegato più tempo, dovendo scendere due rampe di scale interne, con un tempo totale di 56 secondi (uscita principale, da cui erano entrati, al piano terra).

Il coefficiente di deflusso alle due uscite specifica quante persone al secondo sono uscite.

In sintesi:

- **USCITA ANTINCENDIO.** Persone al secondo uscite = 4,18 pp/s.
- **USCITA PIANO TERRA.** Persone al secondo uscite = 1,13 pp/s (a causa del percorso più lungo).

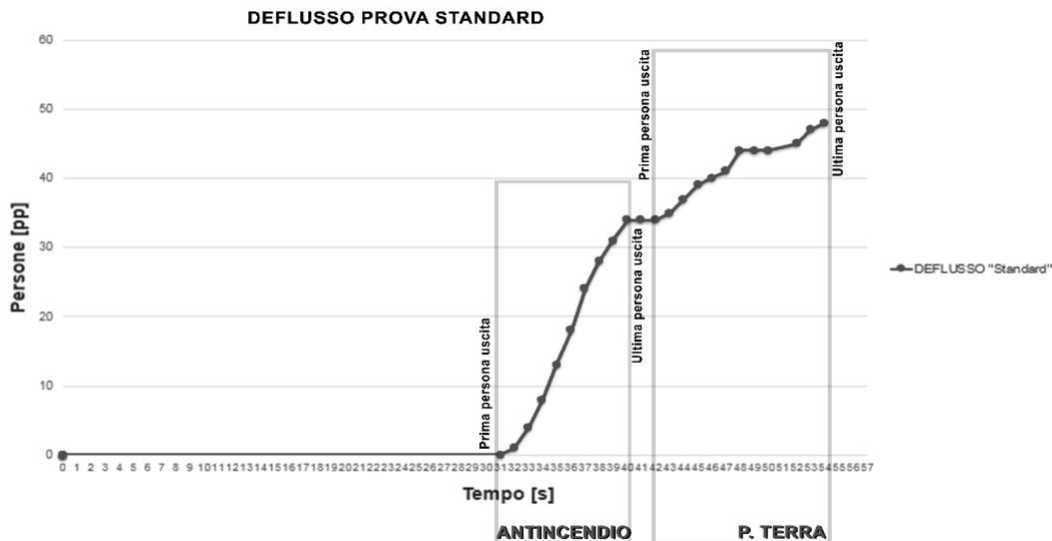


Figura 11. Evacuazione senza sistema di gestione: influenza del percorso (e dell'uscita) sulla curva di esodo. Le uscite antincendio (U_A in Figura 8) e dal piano terra di Villarey sono distinte nelle loro curve relative identificando primo ed ultimo uscito. La differenziazione risulta netta a causa della lunghezza dei percorsi.

Prova con il sistema di gestione: risultati principali ed efficacia della soluzione proposta

La Figura 12 mostra i percorsi scelti dagli evacuanti nella prova di evacuazione con il sistema di gestione implementato, potendo quindi sfruttare le indicazioni della segnaletica di emergenza per non sovrapporsi nelle zone critiche per densità di occupanti, e col percorso dei soccorritori e con le attività relative.

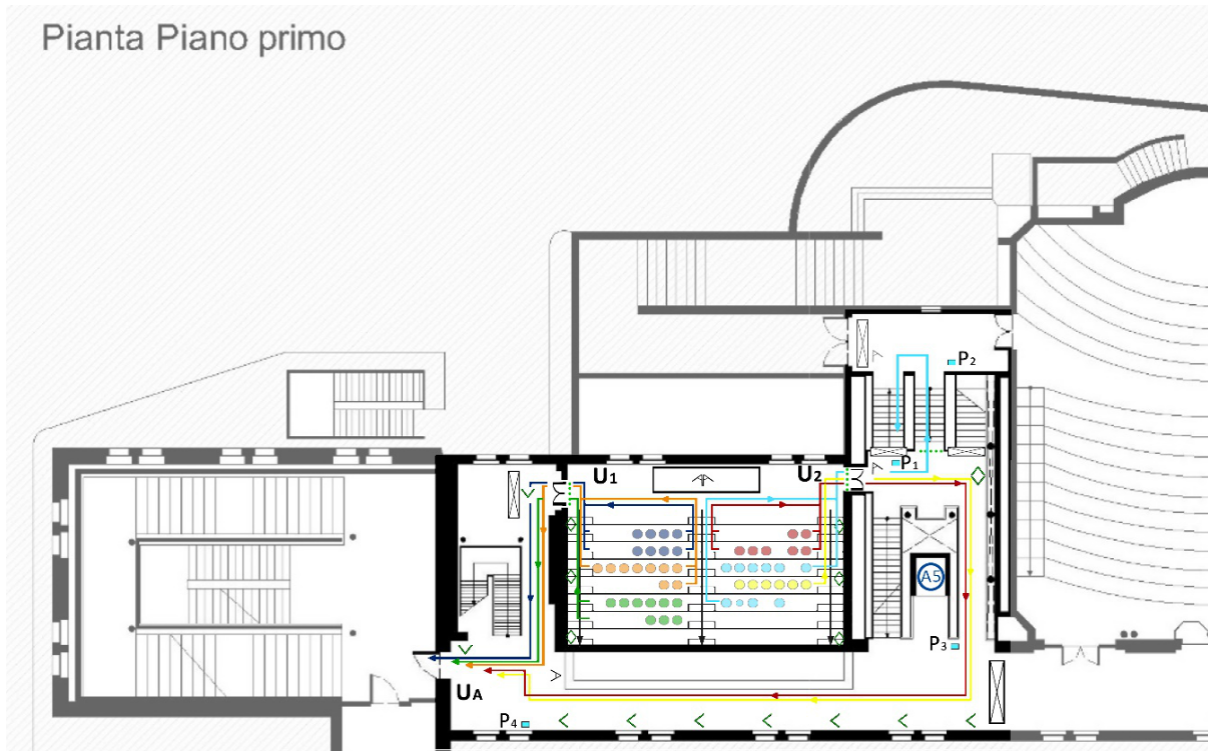
Questa volta sono state scelte unicamente le porte ai piedi dell'aula (U_1 e U_2), in maniera simmetrica, ovvero: gruppi 1-2-3 sono usciti verso destra (U_2); gruppi 4-5-6 sono usciti verso sinistra (U_1).

Per quanto riguarda questi ultimi gruppi, i partecipanti hanno seguito il percorso analogo alla prima prova: si sono recati verso la porta antincendio U_A , come richiesto dalle politiche di gestione dell'emergenza indicate nel piano, e quindi sgravando i soccorritori di azioni di assistenza nel wayfinding.

Si nota, invece, che solo il gruppo 2 ha deciso di ripercorrere il percorso di ingresso mentre vi è stata una scelta concorde tra i gruppi 1 e 3 nello scegliere la segnaletica come guida.

Hanno, quindi, seguito il percorso indicato come opportuno dal piano di emergenza e sono usciti dalla porta antincendio (U_A).

Pianta Piano primo



LEGENDA					
USCITE	U ₁ = uscita sinistra, basso	NODI - PERSONA	● Gruppo 1 = Nodo 5	STRUMENTAZIONE	□ P ₍₁₎ = Nodo - porta (1)
	U ₂ = uscita destra, basso		● Gruppo 2 = Nodo 6		⋯ LED - illuminazione porta
	U ₃ = uscita sinistra, alto		● Gruppo 3 = Nodo 7		◇ LED - frecce direzionali
	U ₄ = uscita destra, alto		● Gruppo 4 = Nodo 8		△ Videocamera
	U _A = uscita antincendio		● Gruppo 5 = Nodo 9		▭ Ostacolo
U _E = uscita esterna (p.t.)	● Gruppo 5 = Nodo 9				

Figura 12. Prova con sistema di gestione (prova dinamica): percorsi di uscita dei gruppi e relativa legenda.

In particolare, la Figura 13 mostra l'evacuazione del gruppo 1. Il primo in assoluto ad essere uscito dalla porta U₂ è proprio un componente del gruppo 1 che dopo aver individuato la segnaletica dinamica ha aspettato l'arrivo del suo capogruppo e i compagni.

All'uscita della porta U₂ vi è stato un incrocio dei gruppi 1 e 2. Nonostante ciò i gruppi sono rimasti coesi. Ciascun componente ha optato per seguire il suo capogruppo.

Una così alta concentrazione di persone presso quell'uscita è stata registrata dai sensori che hanno fatto scattare il colore dei led da verde a rosso.

Dalle testimonianze delle ultime persone in coda del gruppo 1, la scelta di procedere comunque verso quella uscita nonostante fosse rossa è dovuta al fatto che ormai erano in prossimità dell'uscita e hanno preferito rimanere uniti al gruppo di appartenenza.

La teoria del "leader-follower" viene confermata [11].



Figura 13. Prova con sistema di gestione (prova dinamica): il capogruppo del gruppo 1 attende i suoi familiari (sinistra); i gruppi 1 e 2 si incrociano mantenendosi compatti quanto più possibile secondo il fenomeno di attaccamento al leader (centro); le persone del gruppo 1 seguono i compagni (destra).

Come per la prova senza il sistema, la scelta del percorso e la sua lunghezza incide sui tempi di esodo, come mostrato dalla Figura 14. Tuttavia, sebbene la distinzione nei tempi di uscita per i due percorsi sia simile per andamento a quella della Figura 11, il processo di esodo risulta velocizzato perché la maggior parte dei gruppi muove proprio verso l'uscita di piano predisposta in accordo alle politiche di gestione dell'emergenza. Il coefficiente di deflusso alle due uscite specifica quante persone al secondo sono uscite. In sintesi:

- **USCITA ANTINCENDIO.** Persone al secondo uscite = 3,08.
- **USCITA PIANO TERRA.** Persone al secondo uscite = 1,86.



Figura 14. Evacuazione con sistema di gestione: influenza del percorso (e dell'uscita) sulla curva di esodo. Le uscite antincendio (U_A in Figura 12) e dal piano terra di Villarey sono distinte nelle loro curve relative identificando primo e ultimo uscito. La differenziazione risulta netta a causa della lunghezza dei percorsi.

La figura 15, infine, mostra l'andamento per gruppi alle due uscite.

È chiaramente visibile una velocizzazione nell'uscita da parte di tutti i partecipanti: in particolare i gruppi 4 – 5 – 6 hanno oltrepassato la porta antincendio dopo circa 16 secondi dall'inizio dell'allarme.

I gruppi 1 e 3, guidati dalle frecce direzionali della segnaletica dinamica, hanno percorso l'intero corridoio raggiungendo l'uscita dopo 9 secondi dai gruppi precedenti e completando l'evacuazione a 28 secondi dall'inizio della prova.

Solo il gruppo 2, come detto in precedenza, ha ripercorso il tragitto più lungo raggiungendo l'esterno dell'edificio dopo circa 37 secondi dallo start.

A riprova dei vantaggi nell'adozione del sistema di gestione, che permette ai soccorritori di focalizzare sull'assistenza alle persone non autonome e ferite e sulle azioni di intervento legate all'evento, la Figura 16 mostra che nella prova con il sistema (dinamica) il numero di persone che usano l'uscita U_A, predisposta nel piano di emergenza, incrementa significativamente.

Per quanto riguarda la prova dinamica, nonostante l'afflusso maggiore alla porta antincendio, questo non ha influito sul tempo finale di prova e si è ottenuto egualmente un miglioramento circa il tempo di evacuazione totale.

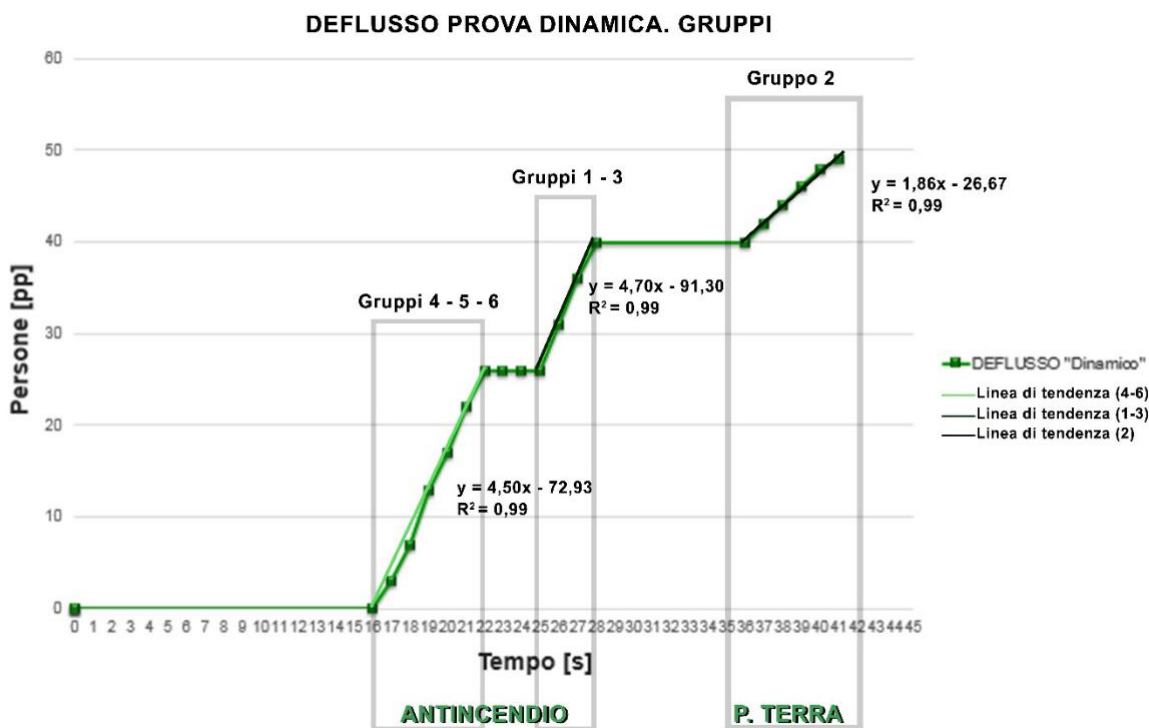


Figura 15. Evacuazione con sistema di gestione: influenza del percorso (e dell'uscita) sulla curva di esodo e sulla pendenza delle rette di deflusso, analizzando il comportamento per gruppi. Le uscite antincendio (U_A in Figura 12) e dal piano terra di Villarey sono distinte nelle loro curve relative identificando primo ed ultimo uscito.

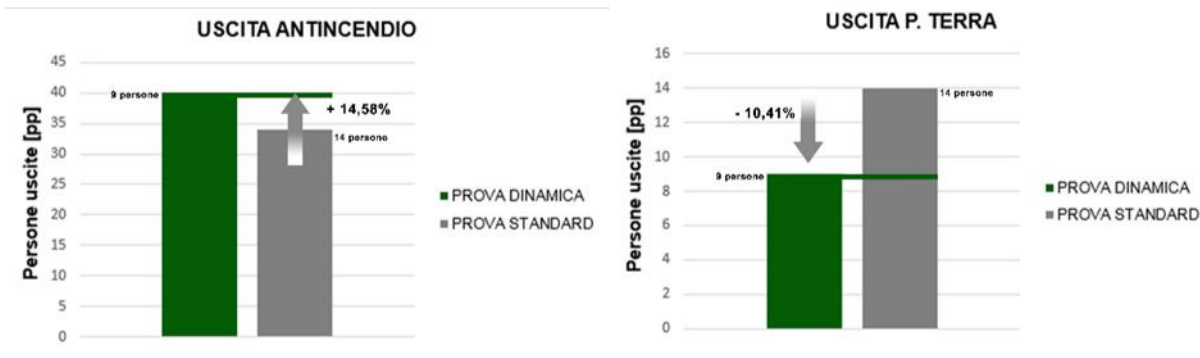


Figura 16. Comparazione tra evacuazione senza (grigio – standard) e con (verde – dinamica) sistema di gestione: numero di persone che hanno usato le due uscite (confronta con Figura 8 e 12) variazioni in termini percentuali.

Conclusioni

L'applicazione del sistema "intelligente" di gestione dell'edificio riesce a compensare le problematiche rilevanti negli edifici perché assiste gli occupanti, informa le squadre di soccorso e il gestore sulle condizioni di scenario e sgrava gli stessi soggetti dalla diretta assistenza alle persone autonome nell'esodo.

Tramite l'applicazione al caso studio si evidenzia come il sistema di gestione consenta di ottenere vantaggi in termini di diminuzione del tempo totale di evacuazione e di flusso degli occupanti uscenti, in quanto attraverso l'uso di sensori di localizzazione appositamente collocati in "zone di controllo" strategiche e degli indicatori luminosi di direzione, distribuisce in modo uniforme la folla nei percorsi di evacuazione presenti all'interno dell'edificio, rispetto all'uso di segnaletica di tipo standard.

La diminuzione del tempo totale di evacuazione implica un aumento del livello di sicurezza degli occupanti e, quindi, una gestione dell'evacuazione più rapida e sicura.

Aver definito un sistema che riesce ad assistere effettivamente le persone evitando interferenze con le politiche di azione dei soccorritori comporta il miglior risultato della soluzione proposta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Klüpfel and H. Meyer-König, "PedGo Guardian: an assistant for evacuation decision making," in *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012*, U. Weidmann, U. Kirsch, and M. Schreckenberg, Eds. Springer International Publishing, 2014, pp. 445–454.
- [2] G. Bernardini, M. Azzolini, M. D’Orazio, and E. Quagliarini, "Intelligent evacuation guidance systems for improving fire safety of Italian-style historical theatres without altering their architectural characteristics," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 22, pp. 1006–1018, Nov. 2016.
- [3] E. R. Galea, H. Xie, S. Deere, D. Cooney, and L. Filippidis, "An international survey and full-scale evacuation trial demonstrating the effectiveness of the active dynamic signage system concept," *Fire and Materials*, vol. 41, no. 5, pp. 493–513, Aug. 2017.
- [4] N. E. Groner, "A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies," *Fire Safety Journal*, vol. 80, pp. 20–29, Feb. 2016.
- [5] C. Casareale, G. Bernardini, A. Bartolucci, F. Marincioni, and M. D’Orazio, "Cruise ships like buildings: Wayfinding solutions to improve emergency evacuation," *Building Simulation*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, Dec. 2017.
- [6] S. M. V. Gwynne, "Notification effectiveness for large groups," Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- [7] X. Yang, H. Dong, X. Yao, X. Sun, Q. Wang, and M. Zhou, "Necessity of guides in pedestrian emergency evacuation," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 442, pp. 397–408, Jan. 2016.
- [8] J. Bañgate, J. Dugdale, C. Adam, and E. Beck, "A review on the influence of social attachment on human mobility during crises," *Proceedings of the International ISCRAM Conference*, vol. 2017–May, no. March, 2017.
- [9] R. R. M. Gershon, K. A. Qureshi, M. S. Rubin, and V. H. Raveis, "Factors associated with high-rise evacuation: qualitative results from the World Trade Center Evacuation Study.," *Prehospital and disaster medicine*, vol. 22, no. 3, pp. 165–73, 2007.
- [10] M. D’Orazio and G. Bernardini, "An experimental study on the correlation between ‘attachment to belongings’ ‘pre-movement’ time," in *6th International Conference on pedestrian under evacuation dynamics – PED2012*, 2012.
- [11] Y. Ma, R. K. K. Yuen, and E. W. M. Lee, "Effective leadership for crowd evacuation," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 450, pp. 333–341, May 2016.
- [12] R. Lovreglio, E. Ronchi, and D. Nilsson, "An Evacuation Decision Model based on perceived risk, social influence and behavioural uncertainty," *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 66, no. April, pp. 226–242, Aug. 2016.
- [13] S. Heliövaara, J.-M. Kuusinen, T. Rinne, T. Korhonen, and H. Ehtamo, "Pedestrian behavior and exit selection in evacuation of a corridor – An experimental study," *Safety Science*, vol. 50, no. 2, pp. 221–227, Feb. 2012.
- [14] M. D’Orazio, G. Bernardini, S. Tacconi, V. Arteconi, and E. Quagliarini, "Fire safety in Italian-style historical theatres: How photoluminescent wayfinding can improve occupants’ evacuation with no architecture modifications," *Journal of Cultural Heritage*, vol. 19, pp. 492–501, May 2016.