



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile – Resilienza del
Costruito

Tesi di Laurea Magistrale

L'influenza di contesti urbani a forte affollamento sulla
gestione dell'emergenza nei cantieri: proposte
innovative applicate a casi studio reali

Relatore

Prof. Ing. Alberto Lauria

Candidata

Angelica Altini

Matricola: 305527

Anno Accademico 2023-2024

Sommario

| | |
|--|-----|
| Abstract..... | 6 |
| 1. Introduzione..... | 7 |
| 2. La gestione delle emergenze nei luoghi di lavoro | 9 |
| 2.1 Prescrizioni normative in materia di gestione delle emergenze | 10 |
| 2.1.1 Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (D.lgs. 81/2008)..... | 10 |
| 2.1.2 Decreto GSA (D.M. 2 settembre 2021): PEE..... | 12 |
| 2.2 Il soccorso pubblico in Italia..... | 14 |
| 3. Definizione dei casi studio | 17 |
| 3.1 Cantiere al Museo Egizio di Torino..... | 19 |
| 3.2 Cantiere al Teatro Regio di Torino | 24 |
| 3.3 Cantiere a CityLife di Milano | 29 |
| 3.4 Cantieri in luoghi con picchi di affluenza..... | 35 |
| 4. Valutazione del rischio | 44 |
| 4.1 La valutazione dei rischi ai sensi del D.lgs. 81/2008..... | 44 |
| 4.2 La matrice dei rischi nell'ambito della gestione delle emergenze..... | 50 |
| 4.3 Applicazione della matrice integrativa del rischio ai casi studio..... | 54 |
| 5. Misure compensative per migliorare la gestione delle emergenze in cantiere | 62 |
| 5.1 Strategie di protezione per la gestione delle emergenze..... | 65 |
| 5.1.1 Sistema GIS per lo studio dei percorsi dei mezzi di soccorso | 65 |
| 5.1.1.1 Applicazione su Arcgis per i casi studio di Torino..... | 69 |
| 5.1.1.2 Applicazione su ArcGIS per il caso studio di CityLife a Milano.. | 87 |
| 5.1.1.3 Applicazione su ArcGIS Pro per i cantieri con picchi di affluenza | 92 |
| 5.1.2 Utilizzo di RFID e DPI intelligenti..... | 96 |
| 5.2 Strategie di prevenzione per la gestione delle emergenze | 100 |
| 5.2.1 Cooperazione e pianificazione con le squadre di soccorso..... | 100 |
| 5.2.2 Intelligenza artificiale e simulazioni in VR e AR..... | 103 |

| | |
|--|-----|
| 6. Analisi dei risultati e conclusioni | 107 |
| 7. Bibliografia e sitografia | 112 |

Indice delle Figure

| | |
|---|----|
| Figura 1: Inquadramento Museo Egizio con indicazione delle principali attrazioni turistiche presenti nelle vicinanze, elaborazione propria..... | 19 |
| Figura 2: Futura Piazza Egizia. Immagine presa da OMA | 21 |
| Figura 3: Foto d'epoca della copertura realizzata (sx); Schema rappresentativo dei volumi delle componenti strutturali principali (dx)..... | 24 |
| Figura 4: Sezione Teatro Regio, immagine presa dal sito ufficiale del Regio. | 26 |
| Figura 5: Inquadramento territoriale del distretto di CityLife a Milano, elaborazione propria..... | 29 |
| Figura 6: Masterplan di CityLife a Milano, immagine presa dal sito ufficiale del progetto. | 30 |
| Figura 7: Cartografia rappresentativa del cantiere di Vedano al Lambro, rappresentazione propria..... | 37 |
| Figura 8: Cartografia rappresentativa del cantiere di Vedano al Lambro rispetto all'autodromo di Monza, elaborazione propria. | 39 |
| Figura 9: Progetto di realizzazione dell'agrinido, immagine presa dall'articolo online del periodico locale LeccePrima, https://www.lecceprima.it/foto/cronaca/l-innovativo-progetto-dell-agrinido/ | 41 |
| Figura 10: Cartografia rappresentativa dell'area dei comuni di riferimento con indicazione di dove si svolge la notte della Taranta, elaborazione propria. | 43 |
| Figura 11: Esempio di matrice del rischio, elaborazione propria. | 46 |
| Figura 12: scala qualitativa per la valutazione del rischio, elaborazione propria. | 55 |
| Figura 13: Confronto risultati matrice integrativa del rischio per tutti i casi studio, elaborazione propria. | 60 |
| Figura 14: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il Teatro Regio, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps..... | 71 |
| Figura 15: Mappatura dei percorsi su ArcGIS Pro, elaborazione propria. | 73 |
| Figura 16: Close - up sulla zona più centrale di Torino caratterizzata da un maggiore affollamento con indicazione delle principali piazze, elaborazione propria screenshot da ArcGIS Pro..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Figura 17: Tabella rappresentativa dei dati associati ad ogni singolo segmento nella rete stradale mappata, screenshot da ArcGIS pro. | 76 |
| Figura 18: Analisi del percorso più veloce tra il Comando dei VVF e il Teatro Regio, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 77 |
| Figura 19: Analisi dei percorsi più veloci fra l'Humanitas Gradenigo, il CTO e il Teatro Regio, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 78 |
| Figura 20: Analisi dei percorsi del Teatro Regio per il 25 Aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 80 |
| Figura 21: Esempio di ricalcolo del percorso in presenza di deviazioni, elaborazione propria screenshot da ArcGIS Pro. | 81 |
| Figura 22: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il Museo Egizio, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps..... | 82 |
| Figura 23: Analisi dei percorsi del Museo Egizio per il 24 dicembre, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 84 |
| Figura 24: Analisi dei percorsi del Museo Egizio per il 25 aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 86 |
| Figura 25: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per la Torre Allianz, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps..... | 88 |
| Figura 26: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per la Torre Allianz, elaborazione propria..... | 89 |
| Figura 27: Indicazione in rosso dell'area a maggiore affollamento per CityLife, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 89 |
| Figura 28: Analisi dei percorsi CityLife per il 24 dicembre e 25 aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro. | 90 |
| Figura 29: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il cantiere di Vedano al Lambro, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps. | 93 |
| Figura 30: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps. | 94 |
| Figura 31: principali componenti di un sistema RFID, elaborazione propria. | 96 |
| Figura 32: Immagine rappresentativa del funzionamento del sistema di DPI intelligenti di SafetyForge, immagine presa dal sito web https://safetyforge.it/ | 98 |
| Figura 33: Immagine raffigurante il DPI Visual Analyzer sviluppato da Partitalia, immagine presa dal sito web di Partitalia. | 99 |
| Figura 34: Immagini di simulazione di realtà virtuale del cantiere sviluppate da | |

Augmenta in collaborazione con TwoReality, immagini tratte dal sito web:
https://www.augmenta.it/portfolio_page/vr-in-cantiere-formazione-e-training-vr/. 105
 Figura 35: esempio di realtà aumentata per il monitoraggio dei rischi in cantiere,
 screenshot da video di GAMMA AR
<https://www.youtube.com/watch?v=DzFctc7bkCM>. 106
 Figure 1: Persone nei punti di raccolta dopo la prova di evacuazione delle Tre torri e
 del centro commerciale di CityLife, contenuto multimediale scattato personalmente.

33

Indice delle Tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 1: Stima complessiva persone presenti al Museo Egizio ogni due ore e mezza, elaborazione propria. | 23 |
| Tabella 2: Stima presenza contemporanea di persone Teatro Regio, elaborazione propria. | 28 |
| Tabella 3: valori di probabilità di accadimento, elaborazione propria. | 45 |
| Tabella 4: valori gravità del danno, elaborazione propria. | 45 |
| Tabella 5: definizione dei punteggi da attribuire in termini di caratteristiche geometriche e funzionali, elaborazione propria. | 52 |
| Tabella 6: definizione dei punteggi in termini di contesto urbanistico, elaborazione propria. | 53 |
| Tabella 7: definizione dei punteggi per gli occupanti, elaborazione propria. | 53 |
| Tabella 8: matrice integrativa del rischio per il Museo Egizio, elaborazione propria. | 55 |
| Tabella 9: matrice integrative del rischio per il Teatro Regio, elaborazione propria. | 56 |
| Tabella 10: matrice integrativa del rischio per il grattacielo Allianz a CityLife, elaborazione propria. | 57 |
| Tabella 11: matrice integrativa del rischio per il cantiere di Vedano al Lambro nei pressi dell'Autodromo di Monza, elaborazione propria. | 58 |
| Tabella 12: matrice integrativa del rischio per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria. | 59 |
| Tabella 13: Elenco riassuntivo di tutte le misure compensative di protezione e prevenzione per il miglioramento del sistema della gestione delle emergenze, elaborazione propria. | 64 |

| | |
|---|-----|
| Tabella 14: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per il Teatro Regio, elaborazione propria. | 72 |
| Tabella 15: Riassunto delle tempistiche dei percorsi durante la giornata del 24 dicembre, elaborazione propria..... | 79 |
| Tabella 16: Riassunto delle tempistiche dei percorsi durante la giornata del 25 Aprile, elaborazione propria. | 79 |
| Tabella 17: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per il Museo Egizio, elaborazione propria. | 83 |
| Tabella 18: Riassunto delle tempistiche dei percorsi del Museo Egizio durante la giornata del 24 dicembre, elaborazione propria..... | 85 |
| Tabella 19: Riassunto delle tempistiche dei percorsi del Museo Egizio durante la giornata del 25 aprile, elaborazione propria. | 85 |
| Tabella 20: Riassunto delle tempistiche dei percorsi per CityLife durante le giornate del 24 dicembre e 25 aprile, elaborazione propria. | 91 |
| Tabella 21: Tempi di percorrenza durante il GP di Monza e della Notte della Taranta per i due cantieri di Vedano al Lambro e Melpignano, elaborazione propria. | 95 |
| Tabella 22: Tabella riassuntiva dei risultati per il Teatro Regio, elaborazione propria. | 107 |
| Tabella 23: tabella riassuntiva misure compensative da adottare per il Teatro Regio, elaborazione propria. | 108 |
| Tabella 24: Tabella riassuntiva dei risultati per il Museo Egizio, elaborazione propria. | 109 |
| Tabella 25: Tabella riassuntiva misure compensative da adottare per il Museo Egizio, elaborazione propria. | 109 |
| Tabella 26: Tabella riassuntiva dei risultati per la Torre Allianz, elaborazione propria. | 109 |
| Tabella 27: Tabella riassuntiva misure compensative da adottare per la Torre Allianz, elaborazione propria. | 110 |
| Tabella 28: Tabella riassuntiva dei risultati per il cantiere di Vedano al Lambro, elaborazione propria. | 110 |
| Tabella 29: Tabella riassuntiva dei risultati per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria..... | 110 |

Abstract

La gestione delle emergenze nei cantieri edili riveste un ruolo fondamentale, poiché influisce non solo sulla sicurezza dei lavoratori ma anche su quella delle altre persone che si trovano nelle vicinanze del cantiere. In particolare, la tesi di laurea analizza il tema della gestione delle emergenze per quei cantieri edili che si collocano in contesti urbani complessi caratterizzati da forte affollamento. L'obiettivo è analizzare l'influenza che il contesto urbano di un cantiere ha sul sistema di gestione delle emergenze e, sulla base dei risultati ottenuti, proporre delle soluzioni per migliorarne l'efficacia. A tal fine, vengono presi in esame cinque casi studio rappresentativi: un cantiere presso il Museo Egizio e il Teatro Regio a Torino, uno nella Torre Allianz a Milano e due cantieri che si collocano in aree caratterizzate da eventi sporadici ad altissimo affollamento, quali il Gran Premio d'Italia di Monza e il concertone della Notte della Taranta a Melpignano. Per ciascuno di questi casi studio si effettua un'analisi preliminare per definirne le peculiarità e, successivamente viene proposta una matrice integrativa del rischio. Si tratta di uno strumento con il quale è possibile valutare quantitativamente in che modo le caratteristiche del cantiere e del contesto circostante possano avere un impatto considerevole sulla la gestione delle emergenze. Alla luce delle criticità emerse, il presente studio propone delle misure compensative di protezione e di prevenzione per implementare il sistema di gestione delle emergenze interne ed esterne. Le diverse soluzioni proposte sono state individuate attraverso lo studio di una metodologia innovativa per l'analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso tramite il GIS, implementata con il software ArcGIS Pro. Tale approccio introduce una nuova variabile, ovvero l'impatto che l'affollamento urbano durante giornate critiche ad alto affollamento (festività, manifestazioni, ecc.) ha sui tempi di intervento dei soccorsi, evidenziando un aumento significativo dei tempi di percorrenza rispetto a condizioni ordinarie.

Questa tesi evidenzia la necessità di un approccio avanzato alla gestione delle emergenze nei cantieri, basato sull'adozione di strumenti innovativi e su una stretta collaborazione con gli enti di soccorso, come i Vigili del Fuoco e i servizi sanitari. Ad esempio, l'integrazione futura dei sistemi proposti, inclusi i GIS, all'interno delle procedure operative di tutti i soggetti coinvolti nella gestione delle emergenze consentirebbe di prevedere e gestire più efficacemente le criticità dovute alla gestione di un'emergenza in condizioni di pubblico affollamento, con un impatto positivo sulla sicurezza di lavoratori e cittadini.

1. Introduzione

La tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro rappresenta un tema di grande rilevanza sociale ed economica in tutti i paesi dell'Unione Europea, in quanto rappresenta comunemente un requisito di legalità e qualità del lavoro stesso. I numeri relativi agli infortuni e alle malattie professionali continuano a destare preoccupazione e, nonostante l'implementazione di normative sempre più stringenti e misure preventive avanzate, il numero di incidenti sul lavoro rimane elevato. Come dimostrano i dati INAIL, nel 2022 sono occorsi circa 703 mila infortuni, di cui oltre 1.200 mortali. Di questi, 203 hanno interessato il settore delle costruzioni, mostrando come in Italia quasi ogni due giorni un lavoratore perde la vita in cantiere. Questo scenario sottolinea la necessità di un approccio sempre più rigoroso alla gestione della sicurezza sul lavoro, soprattutto nei cantieri, dove la complessità e la variabilità delle condizioni lavorative aumentano significativamente i rischi. È fondamentale che l'intero sistema della sicurezza venga progettato considerando le peculiarità e i rischi specifici del cantiere, adottando misure compensative mirate per gestire in modo efficace ogni situazione di emergenza.

A tal fine, il presente lavoro di tesi propone di approfondire un aspetto fondamentale della sicurezza nei cantieri: la gestione delle emergenze. Il Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro (D.Lgs. n. 81/2008) rappresenta il principale riferimento normativo in Italia in materia di tutela della salute e della sicurezza, definendo tutte le misure necessarie non solo in materia di prevenzione ma anche di protezione, e dunque di gestione delle emergenze. Tuttavia, in alcune circostanze, tali disposizioni standard potrebbero risultare insufficienti. Vi sono infatti dei cantieri per cui, a causa di vincoli interni e/o esterni, è fondamentale prestare un'attenzione ancora maggiore nella pianificazione delle emergenze. Infatti, come verrà approfondito nei capitoli successivi, vi sono degli aspetti cruciali che, nell'ambito della gestione delle emergenze, non sempre vengono considerati. Un esempio è la valutazione circa l'effettiva raggiungibilità e accessibilità dei mezzi di soccorso esterni al cantiere, aspetto fondamentale per garantire un intervento tempestivo ed efficace. Tale analisi diventa particolarmente rilevante nei cantieri situati in contesti urbani molto affollati, come il centro cittadino, sede di numerose manifestazioni pubbliche, eventi sportivi, mostre ed esposizioni; o in edifici ad alta affluenza, come scuole o grandi uffici, tutte situazioni che possono influire sulla rapidità degli interventi di soccorso. Un ulteriore elemento da considerare nella

gestione delle emergenze è la presenza di soggetti terzi nelle prossimità del cantiere. Questi, devono essere ovviamente tutelati ma, inconsapevoli delle procedure da seguire in caso di emergenza, potrebbero trovarsi coinvolti o interferire inconsapevolmente con l'operato delle squadre di soccorso. Infine, un altro aspetto rilevante riguarda la possibilità che un cantiere si svolga all'interno di un edificio storico e/o caratterizzato da una particolare complessità architettonica. In questo caso, l'approccio alla gestione delle emergenze deve considerare potenziali ritardi che possono derivare dall'individuazione precisa dei lavoratori da soccorrere, nonché dell'importanza di preservare il valore storico dell'edificio.

Per approfondire questi temi, saranno esaminati diversi casi studio con l'obiettivo di analizzare come una possibile situazione di emergenza in cantiere, legata alla particolarità dell'edificio o alla sua posizione nel contesto urbano possa richiedere l'adozione di misure compensative ulteriori per la mitigazione dei rischi. I casi studio selezionati mirano a rappresentare la variabilità delle condizioni in cui è necessario un approccio più mirato alla gestione delle emergenze: da cantieri in edifici storici nel cuore di Torino, al grattacielo più alto d'Italia presso CityLife a Milano, fino a considerare due casi studio che si collocano in aree in cui vengono organizzati eventi sporadici ad elevatissima affluenza. L'analisi partirà dalle caratteristiche peculiari di ciascun caso studio, conducendo una valutazione dei rischi che tenga conto delle specificità di ogni cantiere e delle condizioni interne ed esterne che possono influire sulle operazioni di soccorso. In particolare, si intende proporre un nuovo metodo di valutazione del rischio, applicabile a tutti quei cantieri dove si rende necessaria un'analisi integrativa per una gestione più efficace delle emergenze.

Alla luce dei risultati ottenuti, saranno proposte diverse misure e strumenti innovativi da utilizzare per garantire la migliore gestione delle emergenze anche nei casi più critici. Tra le diverse soluzioni proposte si enfatizzerà l'attenzione circa l'utilizzo del GIS per l'analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso per i contesti urbani che presentano un notevole affollamento. Nell'ultimo capitolo della tesi, analizzando tutti i risultati ottenuti si andranno ad individuare, per ogni caso studio proposto, quali sono le specifiche misure da adottare per garantirne una più efficiente gestione delle emergenze.

2. La gestione delle emergenze nei luoghi di lavoro

Prima di analizzare i vari casi studio, è necessario comprendere come siano gestite attualmente le emergenze nei luoghi di lavoro in Italia. Come riportato dall'INAIL *“con il termine emergenza si definisce una situazione anomala, rispetto alle normali condizioni lavorative, dalla quale possono derivare, o siano già derivate, incidenti o infortuni”*. (INAIL, 2015). Le emergenze nei cantieri edili possono derivare da cause interne al cantiere o da fattori esterni, legati all'ambiente circostante o a situazioni impreviste. Le principali emergenze da prendere in considerazione includono:

- Infortuni dei lavoratori → incidenti sul lavoro come caduta dall'alto, scivolamenti, cedimenti strutturali, caduta gravi, utilizzo scorretto delle attrezzature e macchinari, ecc....
- Incendi ed esplosioni → questi possono essere dovuti alla presenza di materiale infiammabile, attrezzature elettriche, atmosfere esplosive o eventi esterni al cantiere stesso.
- Emergenze sanitarie → condizioni di salute dei lavoratori tanto gravi da richiedere un intervento immediato.
- Emergenze ambientali → condizioni meteorologiche avverse come alluvioni, terremoti o frane, contaminazioni esterne o interne.

Quando si tratta di emergenze è importante agire sul sistema di prevenzione degli infortuni, pertanto sulle misure necessarie per evitare o ridurre al minimo il rischio di incidenti e, dunque, di infortuni e malattie professionali. Come previsto dal D.lgs. 81/2008, il datore di lavoro è colui che è sempre e comunque responsabile di tutti gli aspetti in materia di sicurezza. Difatti, avendo potere di spesa e decisionale, definisce quali misure preventive è necessario adottare. Fra queste, le più importanti sono senza dubbio il Documento di Valutazione dei Rischi (DVR) tramite il quale viene effettuata una valutazione di tutti i rischi dell'attività lavorativa; la formazione, informazione e addestramento dei lavoratori; la sorveglianza sanitaria e l'implementazione di tutte quelle misure tecniche, organizzative e procedurali volte a ridurre al minimo i rischi. La prevenzione è strettamente legata alla gestione delle emergenze, in quanto rappresenta il primo passo per ridurre la probabilità che l'evento incidentale si verifichi. Di seguito, si analizzeranno gli obblighi del datore di lavoro che sono previsti specificatamente in materia di gestione delle emergenze.

2.1 Prescrizioni normative in materia di gestione delle emergenze

In Italia, la gestione delle emergenze è regolata principalmente da due riferimenti normativi: il Decreto Legislativo 81/2008, che stabilisce le norme generali sulla sicurezza nei luoghi di lavoro, e il Decreto GSA (Gestione della Sicurezza Antincendio) del 2 settembre 2021, che fornisce specifiche indicazioni sui contenuti del piano di emergenza. Di seguito, vengono riportate le principali prescrizioni previste dalle due legislazioni citate.

2.1.1 Testo unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (D.lgs. 81/2008)

Il cantiere, in quanto luogo di lavoro, è regolato dalle normative generali sulla sicurezza, con particolare riferimento al decreto legislativo n. 81/2008, noto come Testo Unico sulla Sicurezza, che disciplina le norme relative alla salute e alla sicurezza nei luoghi di lavoro. In particolare, il D.lgs. 81/2008 alla sezione VI del Titolo I definisce nell'articolo 43 le disposizioni generali cui il datore di lavoro deve adempiere in materia di gestione delle emergenze. Dunque, il datore di lavoro:

- **organizza** i necessari rapporti con i servizi pubblici competenti in materia di primo soccorso, salvataggio, lotta antincendio e gestione dell'emergenza;
- **designa** preventivamente i lavoratori incaricati dell'attuazione delle misure di prevenzione incendi, lotta antincendio, salvataggio, primo soccorso e gestione delle emergenze in genere;
- **informa** tutti i lavoratori che possono essere esposti a un pericolo grave e immediato circa le misure predisposte e i comportamenti da adottare;
- **programma** gli interventi, prende i provvedimenti e dà istruzioni affinché i lavoratori, in caso di pericolo grave immediato che non può essere evitato, possano cessare la loro attività, o mettersi al sicuro, abbandonando immediatamente il luogo di lavoro;
- **adotta** i provvedimenti necessari affinché qualsiasi lavoratore, in caso di pericolo grave ed immediato per la propria sicurezza o per quella di altre persone e nell'impossibilità di contattare il competente superiore gerarchico, possa prendere le misure adeguate a evitare le conseguenze di tale pericolo, tenendo conto delle sue conoscenze e dei mezzi tecnici disponibili.
- **garantisce** la presenza di mezzi di estinzione idonei alla classe di incendio ed al livello di rischio presenti sul luogo di lavoro, tenendo anche conto delle

particolari condizioni in cui possono essere usati. L'obbligo si applica anche agli impianti di estinzione fissi, manuali o automatici, individuati in relazione alla valutazione dei rischi.

(D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81)

Oltre agli obblighi generali del datore di lavoro, il D.lgs. 81/2008 al Titolo IV, tratta il tema nella gestione delle emergenze in cantiere nella definizione di due documenti fondamentali nell'ambito della sicurezza dei cantieri: PSC (Piano di Sicurezza e Coordinamento) e POS (Piano Operativo di Sicurezza).

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento, come riportato all'articolo 100, *“è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori”*. (D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81). La redazione del PSC è obbligo del Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP) per tutti i cantieri in cui è prevista la presenza, anche non contemporanea, di più imprese esecutrici. L'allegato XV del Decreto 81 elenca i contenuti minimi del PSC, specificando che esso deve includere l'organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori, qualora la gestione delle emergenze sia organizzata in modo comune. L'articolo 104 al comma 4 riporta che, nel caso in cui nel contratto di affidamento dei lavori sia specificato che il committente o il responsabile dei lavori provvedano all'organizzazione del servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori, allora i datori di lavoro sono esonerati dall'obbligo previsto all'Articolo 18, comma b. Tale obbligo fa riferimento alla designazione dei lavoratori che devono attuare le misure di prevenzione e lotta all'incendio, evacuazione in caso di pericolo grave e immediato e, comunque, di gestione dell'emergenza.

Per quanto riguarda le imprese, come riportato all'articolo 17 comma a, il datore di lavoro deve occuparsi della valutazione di tutti i rischi con la conseguente elaborazione del DVR, il Documento di Valutazione dei Rischi. Nell'ambito del singolo cantiere, il DVR viene ulteriormente sviluppato e dettagliato tramite il POS, Piano Operativo di Sicurezza che viene redatto da ciascun datore di lavoro delle imprese esecutrici e dettaglia tutte le misure specifiche che ogni impresa attua per garantire la sicurezza dei propri lavoratori, ivi compresa la gestione delle emergenze. Tra i contenuti minimi del Piano Operativo di Sicurezza (POS), come definiti dall'allegato XV del Decreto Legislativo 81/2008, è prevista l'indicazione dei nominativi degli addetti al pronto

soccorso, alla prevenzione incendi e all'evacuazione dei lavoratori, nonché dei responsabili per la gestione delle emergenze nel cantiere. Inoltre, devono essere riportati i nominativi del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, sia aziendale che territoriale, se eletto o designato.

Un altro tema fondamentale, previsto nel Decreto 81/2008 nella redazione dei documenti relativi alla sicurezza, è la gestione delle interferenze. Nei luoghi di lavoro si parla di interferenze quando l'attività di un lavoratore/impresa interferisce spazialmente o temporalmente con quella di un altro, incrementando la probabilità di incidenti e i rischi per la sicurezza dei lavoratori. Nel caso l'attività in esame rientri nell'ambito di applicazione del Titolo IV e cioè nel caso di lavori edili o di ingegneria civile, la norma prevede che il tema delle interferenze venga trattato dal CSP nella fase di stesura del PSC. Come riportato al punto 2.3.2 dell'Allegato XV il PSC deve contenere tutte le indicazioni operative necessarie per gestire lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni interferenti e, nel caso in cui permanga il rischio interferenziale, il CSP indica le misure preventive e protettive e i DPI da adottare al fine di ridurre al minimo questi rischi. Quando l'attività non rientra nel Titolo IV, si considerano le prescrizioni dell'Articolo 26, per il quale il datore di lavoro committente deve elaborare il Documento Unico di Valutazione dei Rischi interferenziali (DUVRI) che indichi le misure da adottare per eliminare o ridurre al minimo i rischi da interferenze.

2.1.2 Decreto GSA (D.M. 2 settembre 2021): PEE

Oltre agli obblighi in materia di gestione delle emergenze, il Testo Unico sulla Sicurezza (TUS) fa riferimento al Decreto Ministeriale 10 marzo 1998, che stabilisce i criteri generali di sicurezza antincendio e le linee guida per la gestione delle emergenze nei luoghi di lavoro. Tuttavia, questo decreto è stato abrogato nel 2021, con l'entrata in vigore di tre nuovi decreti riguardanti la prevenzione incendi nei luoghi di lavoro. In merito alla gestione delle emergenze, è fondamentale fare riferimento al Decreto del 2 settembre 2021 (Decreto GSA, Gestione della Sicurezza Antincendio), che stabilisce nuovi criteri per la gestione della sicurezza nei luoghi di lavoro sia durante le normali attività che in situazioni di emergenza, e definisce i requisiti per il servizio di prevenzione e protezione antincendio.

All'articolo 2 il Decreto GSA riporta che il datore di lavoro è obbligato a redigere un

Piano di Emergenza ed Evacuazione (PEE) nei seguenti casi:

- luoghi di lavoro ove siano occupati almeno dieci lavoratori;
- luoghi di lavoro aperti al pubblico caratterizzati dalla presenza contemporanea di più di cinquanta persone, indipendentemente dal numero dei lavoratori;
- luoghi di lavoro che rientrino nell'allegato I al decreto del Presidente della Repubblica 1° agosto 2011, n. 151.

In tutti gli altri casi, il datore di lavoro non è obbligato a redigere un piano di emergenza, ma rimane comunque necessario adottare misure organizzative e gestionali da applicare in caso di incendio che devono essere riportate nel documento di valutazione dei rischi. Considerando che, nella maggior parte dei casi, il cantiere è un luogo di lavoro dove possono esserci momenti in cui vi è compresenza di più di dieci operai, è possibile affermare che la predisposizione del PEE è di fatto, quasi sempre, obbligatoria. Il Piano di Emergenza ed Evacuazione, pertanto, è un documento conciso che descrive le procedure che i lavoratori devono seguire per prevenire i rischi durante un'emergenza e per lasciare il luogo di lavoro, o l'area pericolosa, in modo rapido e sicuro.

Nell'allegato II del presente decreto sono indicati i contenuti del piano di emergenza, che deve includere diversi fattori chiave, tra cui le caratteristiche dei luoghi (con particolare attenzione alle vie di esodo), le modalità di rilevazione e diffusione dell'allarme incendio, il numero e l'ubicazione delle persone presenti, i lavoratori esposti a rischi particolari, il numero di addetti incaricati di gestire l'emergenza, l'evacuazione, la lotta antincendio e il primo soccorso, e il livello di informazione e formazione fornito ai lavoratori. Dev'essere basato su chiare istruzioni scritte, specificando i compiti del personale incaricato di gestire la sicurezza antincendio e quelli del personale con responsabilità in caso di incendio. Il piano deve inoltre includere misure specifiche per informare tutto il personale sulle procedure da seguire, misure speciali per i lavoratori esposti a rischi particolari e per le aree ad alto rischio di incendio, e le procedure per la chiamata e l'assistenza ai Vigili del Fuoco. Infine, deve essere corredato da planimetrie che riportano la distribuzione dei luoghi, le vie di esodo, le compartimentazioni antincendio, l'ubicazione dei sistemi e delle attrezzature di sicurezza, degli allarmi, degli impianti di estinzione, dei dispositivi di interruzione di energia e fluidi, delle aree a rischio specifico e degli ascensori utilizzabili in caso di incendio. (Decreto Ministeriale 2 settembre 2021). Pertanto, mentre il Documento di Valutazione dei Rischi identifica tutti i fattori di rischio e le misure di prevenzione e

protezione da applicare sul posto di lavoro, il Piano di Emergenza ed Evacuazione si focalizza specificamente sulle azioni da intraprendere durante le situazioni di emergenza.

In sintesi, la gestione delle emergenze è un aspetto rilevante per tutti i luoghi di lavoro e comporta una serie di obblighi per il datore di lavoro. Tuttavia, sebbene il Piano di Emergenza ed Evacuazione (PEE), così come il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e il Piano Operativo di Sicurezza (POS), debbano essere redatti tenendo conto delle specificità del cantiere, molto spesso non vengono sufficientemente approfonditi e valutati tutti i fattori che impattano sulla gestione delle emergenze in contesti urbani caratterizzati da difficile accessibilità per i mezzi di soccorso, edifici di particolare complessità distributiva o con vincoli specifici, o particolari situazioni di affollamento. Al fine di studiare come questo aspetto sia determinante in termini di sicurezza dei lavoratori, verranno analizzati quattro diversi casi studio.

2.2 Il soccorso pubblico in Italia

Quando si affronta il tema della salute e sicurezza dei lavoratori, è fondamentale investire adeguatamente nelle misure di prevenzione per ridurre al minimo il rischio di eventi calamitosi. Inoltre, è altrettanto fondamentale analizzare cosa accade in caso di incidente e individuare ed addestrare i soggetti designati alle procedure di salvataggio. Uno degli aspetti più importanti del soccorso è certamente il tempo, poiché la rapidità dell'intervento può influenzare significativamente l'esito di un'emergenza. In Italia, quando si verifica un evento che crea una situazione di pericolo, reale o potenziale, per la sicurezza delle persone o dei beni, si attiva un complesso sistema di risposta che coinvolge diverse istituzioni pubbliche.

In particolare, ai sensi del D.Lgs. n.139 del 2006: *"Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, è una struttura dello Stato ad ordinamento civile [...] per mezzo del quale il Ministero dell'interno assicura, anche per la difesa civile, il servizio di soccorso pubblico e di prevenzione ed estinzione degli incendi su tutto il territorio nazionale"*.

Dunque, la missione dei Vigili del Fuoco è il cosiddetto soccorso tecnico urgente, che comprende una vasta gamma di interventi volti alla tutela della vita umana, dei beni materiali e dell'ambiente. Come si legge sul sito ufficiale dei VVF, tra questi interventi rientrano: incendi, incidenti stradali, rischi industriali e inquinamento, incendi boschivi e operazioni di salvataggio di persone in pericolo, incastrate, ferite, intossicate, annegate o disperse. Pertanto, nel caso di una qualsiasi emergenza in

cantiere che mette in pericolo la vita dei lavoratori, i Vigili del Fuoco sono i primi a intervenire con tempestività per prestare assistenza. Proprio per la varietà di situazioni che sono chiamati a gestire, i VVF sono altamente specializzati e dispongono di tutta l'attrezzatura più idonea per i diversi scenari. Infatti, oltre al personale operativo, all'interno del Corpo esistono numerose divisioni specializzate, ognuna formata per affrontare specifiche tipologie di emergenze. Questa multidisciplinarietà garantisce che i Vigili del Fuoco siano sempre preparati ad affrontare, con competenza e prontezza, qualsiasi situazione di pericolo, rendendo il loro intervento fondamentale per la sicurezza pubblica. Ad esempio, ipotizzando un crollo in cantiere con coinvolgimento di lavoratori bloccati sotto le macerie, viene chiamato ad intervenire il nucleo USAR (Urban Search and Rescue). Si tratta di Vigili del Fuoco specializzati nelle attività di soccorso in caso di presenza macerie, dovute a crolli, esplosioni, eventi sismici o dissesti idrogeologici. Le unità USAR utilizzano tecniche avanzate per valutare i rischi, localizzare le vittime e procedere con il loro recupero. Data l'urgenza di queste operazioni, le squadre si avvalgono di attrezzature altamente specializzate (geofoni, robot, termocamere, videocamere) e comprendono vari esperti, tra cui strutturisti, unità cinofile, tecnici specializzati, operatori sanitari, specialisti per la gestione di sostanze pericolose, e personale TAS (Topografia Applicata al Soccorso). Oltre al nucleo USAR, è importante citare il Gruppo Operativo Speciale (GOS) che viene impiegato in diverse circostanze che richiedono la movimentazione terre, ad esempio, per la ricerca dispersi. I GOS, infatti, hanno a disposizione molti dei macchinari di movimento terra che vengono impiegati in cantiere come escavatori, pale gommate, apripista, pinze demolitrici e martello demolitore.

Per quanto concerne il soccorso sanitario, in Italia è attivo il Servizio di Urgenza-Emergenza Medica (SUEM) e cioè il servizio sanitario dedicato alla gestione delle emergenze sanitarie e urgenze mediche. Tale organizzazione si articola in centrali operative, dove operano tecnici, infermieri e medici, i mezzi di soccorso, come ambulanze, automediche ed elicotteri, pronti a intervenire su tutto il territorio nazionale in risposta alle chiamate di emergenza da parte dei cittadini. In passato, per le emergenze sanitarie in Italia si chiamava il 118, il numero specifico per il soccorso medico. Tuttavia, a seguito della Direttiva Europea 2002/22/CE, è stato introdotto il 112 come numero unico di emergenza (NUE) a livello europeo. Il 112 non sostituisce solo il 118, ma unifica tutti i numeri di emergenza, inclusi quelli di Polizia (113), Vigili del Fuoco (115) e soccorso sanitario, permettendo di gestire tutte le richieste di

emergenza attraverso un'unica centrale operativa. Questo nuovo sistema ha permesso di ridurre notevolmente i tempi di risposta e la potenziale confusione data dalla presenza di diversi numeri operativi. Inoltre, centralizzando la ricezione di chiamate di emergenza è possibile gestirle e smistarle in modo più rapido ed efficace.

In caso di emergenza in cantiere, soprattutto in aree ad alta densità come i centri cittadini, oltre ai Vigili del Fuoco e al soccorso sanitario, vengono coinvolte anche le Forze dell'Ordine. Il loro ruolo è fondamentale per garantire la sicurezza pubblica, gestire il traffico, mantenere l'ordine e delimitare l'area interessata per facilitare le operazioni di soccorso. Le Forze dell'Ordine collaborano con i soccorritori, assicurandosi che l'accesso alle aree di emergenza sia libero e che la popolazione circostante venga informata e protetta durante l'intervento.

In sintesi, il sistema di soccorso italiano si fonda sulla sinergia di diversi organismi pubblici che cooperano fra loro al fine di garantire interventi tempestivi e salvare quante più vite possibile.

3. Definizione dei casi studio

Dopo aver illustrato l'iter procedurale italiano in materia di gestione delle emergenze, si passa all'introduzione dei casi studio che si prenderanno in esame al fine di studiare le eventuali lacune del sistema e le possibili implementazioni. I casi studio scelti sono rappresentativi di situazioni particolarmente complesse per le quali bisogna considerare diversi aspetti in tema di gestione delle emergenze.

Sono stati analizzati diversi cantieri, focalizzando l'attenzione sui seguenti criteri:

- Collocazione in aree urbane densamente popolate o nel centro cittadino, con strade di dimensioni ristrette e difficoltà di accesso dall'esterno.
- Importanza storica e architettonica dell'edificio o della zona che interessa il cantiere (c.d. zone auliche).
- Presenza quotidiana di un elevato numero di persone, che interagiscono volontariamente o involontariamente con l'area del cantiere.
- Aree o edifici a grande affluenza di persone.

Studiando questi aspetti, si prendono in esame dei casi studio che presentano caratteristiche diverse fra loro:

- Cantiere all'interno del Teatro Regio di Torino
- Cantiere all'interno del Museo Egizio di Torino
- Cantiere nel complesso "CityLife commerciale" a Milano
- Cantieri in luoghi ad altissimo affollamento

Si tratta di quattro esempi distinti che consentono di analizzare le tematiche in esame all'interno di contesti di riferimento diversificati. Si ipotizza che questi quattro siti siano interessati da cantieri legati a interventi di rilevante importanza, che richiedono l'impiego di numerose risorse, operai, materiali e mezzi d'opera.

Inoltre, per le loro caratteristiche, generalmente si tratta di cantieri continuativi, che non seguono la settimana lavorativa standard di otto ore al giorno dal lunedì al venerdì, ma attraverso una turnazione specifica, operano con continuità anche nel fine settimana, nei festivi, ed eventualmente anche di notte. Infatti, essendo per la maggior parte degli edifici ad interesse pubblico si ha la necessità di contrarre il più possibile le tempistiche di cantiere, sia per vincoli contrattuali che per minimizzare l'impatto sul contesto circostante, specie in aree urbane o ad alta affluenza. Questo aspetto è significativo, poiché è proprio durante i fine settimana che si svolgono le più importanti manifestazioni pubbliche e sportive, eventi che possono interferire con i

lavori del cantiere e, soprattutto, ostacolare l'accesso dei mezzi di soccorso in caso di emergenza. Questa criticità si manifesta in particolare nei cantieri torinesi del Museo Egizio e del Teatro Regio, situati nel cuore del centro cittadino, dove la loro posizione, unita alla possibile presenza di eventi pubblici statici o dinamici (manifestazioni sportive, fiere, cortei, ecc.) potrebbe impattare in modo significativo sull'efficacia degli interventi di soccorso esterno, in termini di tempi ed in generale di gestione dell'emergenza.

Un altro aspetto in comune per i quattro casi studio riguarda la gestione delle interferenze, sia all'interno dello stesso cantiere che rispetto all'ambiente esterno. Come riportato in precedenza, le interferenze in un cantiere sono un aspetto cruciale da gestire per non incrementare i rischi per i lavoratori. In contesti complessi, come quelli che si andranno ad analizzare, le interferenze riguardano anche la presenza di soggetti terzi esterni al cantiere che è necessario tutelare e proteggere. In generale, le interferenze che si possono considerare sono relative a:

- Spazi limitati per le aree di cantiere
- Traffico urbano intenso
- Infrastrutture e sottoservizi preesistenti
- Accessibilità mezzi d'opera
- Impatto sui residenti e attività commerciali limitrofe
- Rispetto del patrimonio storico, artistico e culturale
- Logistica di cantiere complessa
- Sicurezza dei lavoratori e dei terzi

Di seguito, si andrà a fornire una descrizione dettagliata dei casi studio prima di procedere con la definizione della matrice di valutazione del rischio.

3.1 Cantiere al Museo Egizio di Torino

Il Museo Egizio di Torino è uno dei musei più importanti al mondo dedicati esclusivamente alla civiltà egizia. Fondato nel 1824, è il più antico museo egizio del mondo e il secondo per importanza solo dopo il Museo Egizio del Cairo. Situato nel centro cittadino di Torino, il museo ospita una vasta collezione di reperti che coprono oltre 4000 anni di storia dell'antico Egitto. Il Museo, insieme all'Accademia delle Scienze, hanno sede nell'edificio barocco "Collegio dei nobili" realizzato da Michelangelo Garove dal 1679 al 1690 (MuseoTorino, 2010). In ogni caso, nel corso degli anni il Museo ha subito diversi lavori di ristrutturazione dovuti all'ampliarsi progressivo della collezione.

Per quanto concerne la sua posizione, il Museo si trova in Via Accademia delle Scienze, nel cuore del centro di Torino e nelle prossimità dei più importanti luoghi di interesse turistico della città come Piazza San Carlo, Piazza Castello, il Palazzo Reale e il Teatro Regio:

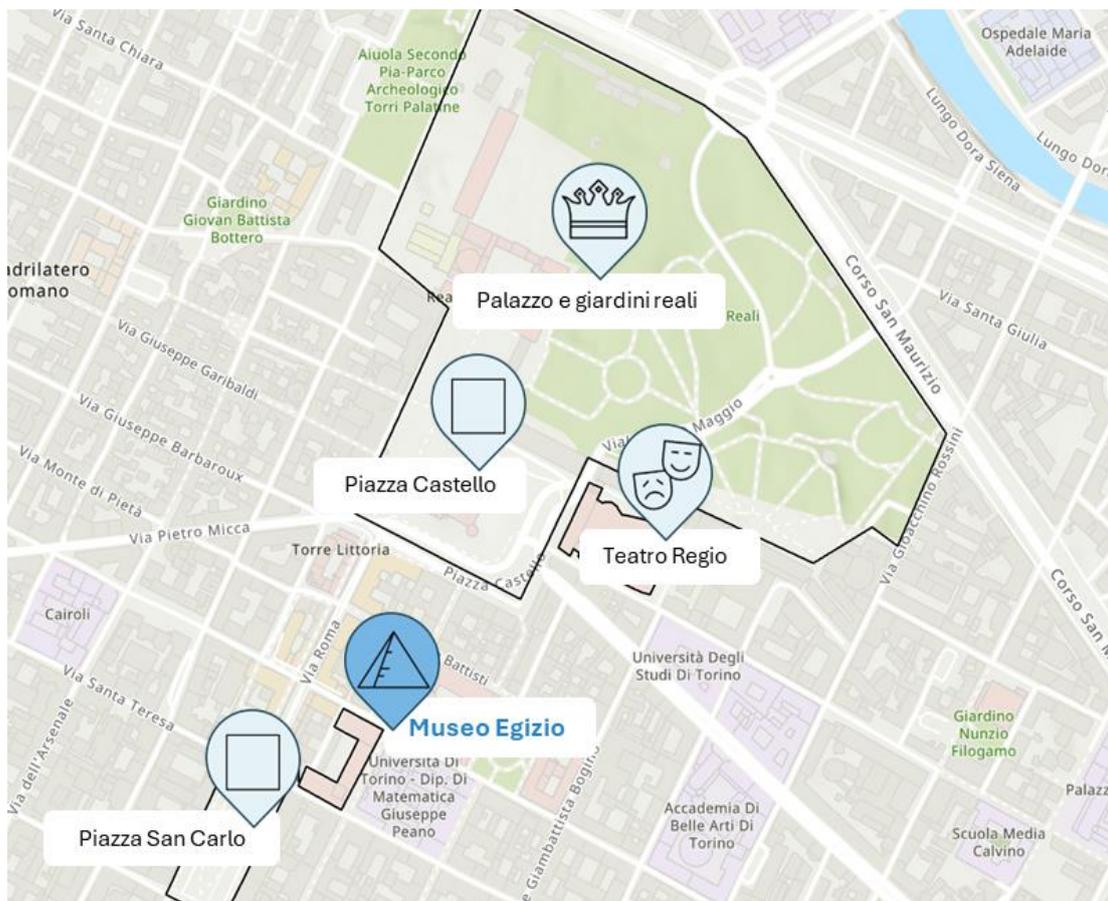


Figura 1: Inquadramento Museo Egizio con indicazione delle principali attrazioni turistiche presenti nelle vicinanze, elaborazione propria.

Come si osserva dalla Figura 1, il contesto urbanistico in cui il Museo Egizio si inserisce risulta abbastanza denso e ricco di luoghi di interesse della città. Infatti, oltre alla presenza di strade pedonali e vie dello shopping, il Museo è adiacente a due delle piazze più importanti di Torino, che sono spesso sede di manifestazioni pubbliche e cortei.

Analizzando, invece, la conformazione architettonica dell'edificio, il Museo Egizio si sviluppa su cinque piani, ciascuno dei quali ospita diverse sezioni della collezione e vari spazi funzionali:

- **Piano Interrato:** Accoglienza, biglietteria, aule didattiche, guardaroba, museum shop
- **Piano terra:** Spazi espositivi (Galleria dei Re), uffici, museum shop
- **Primo piano:** Spazi espositivi (epoca tarda e tolemaica), uffici, caffetteria, biblioteca
- **Secondo piano:** Spazi espositivi (medio regno), uffici
- **Terzo Piano:** Mostre temporanee

Si tratta di un Museo di dimensioni notevoli, con una superficie visitabile di 12.000 metri quadrati per un totale di 2,5km di percorso museale.

Dopo aver fornito una descrizione generale circa le principali caratteristiche del Museo, è possibile definire le peculiarità del cantiere oggetto di studio. Infatti, in vista del bicentenario nel 2024, il Museo Egizio di Torino sarà oggetto di una profonda trasformazione architettonica che possa aprire sempre di più le porte del Museo all'intera collettività. Il progetto è stato affidato allo studio di architettura olandese OMA (Office for Metropolitan Architecture) e prevede, come si legge in un comunicato dell'ufficio stampa del Museo, la rifunzionalizzazione complessiva del cortile al piano terra mediante la realizzazione di una copertura trasparente in vetro e acciaio. Inoltre, è incluso anche l'allestimento di un giardino egizio nella corte coperta, la realizzazione di nuove sale immersive e il riallestimento del Tempio di Ellesija e della Galleria dei Re. Si tratta di un progetto ambizioso per il quale sono stati stanziati 23 milioni di euro di investimenti e che dovrebbe ultimarsi entro la fine del 2024. L'aspetto più impattante è di sicuro la realizzazione della copertura della corte interna del palazzo che diventerà una nuova agorà distribuita su due livelli: il piano terra e il piano sotterraneo, protetti da una struttura trasparente in vetro e acciaio. Questo spazio sarà accessibile gratuitamente e amplierà di circa 975 metri quadrati sia il Museo che l'Accademia delle Scienze. In quest'area conviveranno un giardino egizio, un

bookshop nel porticato, una caffetteria, la biglietteria e un punto informativo per il Museo e l'Accademia delle Scienze. (Ufficio stampa della Fondazione Museo delle Antichità Egizie , 2023).



Figura 2: Futura Piazza Egizia. Immagine presa da OMA

Si tratta di un cantiere complesso in termini di risorse impiegate ma soprattutto in termini di sicurezza. In primis, un aspetto da non trascurare è l'importanza storica e artistica dell'edificio, per cui è necessario salvaguardarne l'integrità senza compromettere la struttura originaria o il valore architettonico. Tuttavia, il fattore più critico da prendere in esame riguarda la gestione delle interferenze di cantiere, sia verso l'ambiente esterno che all'interno dell'edificio stesso. Le interferenze esterne sono principalmente dovute alla posizione del Museo nel centro cittadino, area caratterizzata da un flusso costante di persone. Per questo motivo le operazioni di cantiere devono essere condotte in modo tale da minimizzare il loro impatto sul contesto urbano circostante, soprattutto in termini di rumore, vibrazioni e polveri che potrebbero anche danneggiare l'edificio stesso ed i suoi impianti in esercizio. Inoltre, essendo un cantiere all'interno di un edificio esistente sorge la necessità di gestire al meglio anche le interferenze dovute alla presenza contemporanea di un gran numero di persone esterne al cantiere. Per consentire i lavori della copertura il Museo è stato chiuso per tre settimane, dal 17 giugno al 12 luglio 2024. Durante questo periodo sono state eseguite le lavorazioni più invasive, che avrebbero potuto compromettere significativamente la sicurezza dei visitatori e del personale, motivo per cui si è deciso

di chiudere al pubblico. Nonostante ciò, la durata del cantiere copre un intervallo temporale che va da marzo a dicembre 2024, per cui si vuole analizzare il momento più critico in termini di interferenze, ovvero quando il Museo è aperto al pubblico.

Volendo fare una stima del numero di persone durante una giornata ordinaria di apertura del Museo bisogna considerare che, nel periodo dello svolgimento lavori, si avrà la presenza contemporanea di: lavoratori e personale di cantiere, visitatori, personale dipendente del Museo e ditte esterne impegnate nella regolare attività di esercizio museale, nonché per la manutenzione degli impianti e strutture espositive.

Per quanto concerne il numero di visitatori, l'ANSA (Agenzia Nazionale Stampa Associata) riporta che nel 2023 il Museo Egizio ha ospitato circa 1.061.157 persone, compresi anche gli eventi istituzionali e privati. Il Museo Egizio è aperto tutti i giorni, con orario ridotto il lunedì dalle 9:00 alle 14:00, mentre dal martedì alla domenica l'apertura è dalle 9:00 alle 18:30. Oltre al normale orario di visita, il museo offre la possibilità di organizzare eventi privati dopo la chiusura, dalle 18:30 in poi, dal martedì alla domenica. Pertanto, considerando anche solo 15 giorni di chiusura annuale per festività come Natale, si può affermare che il museo è quasi sempre frequentato per 350 giorni all'anno. Dunque, il numero di visitatori ogni giorno:

$$vis_{gg} = \frac{1061157}{350} \approx 3032 \frac{vis}{gg}$$

Considerando una media di otto ore al giorno di apertura del museo, tenendo conto che il lunedì l'orario è ridotto rispetto agli altri giorni, il numero di visitatori ogni ora:

$$vis_h = \frac{3032}{8} \approx 380 \frac{vis}{h}$$

Sul sito ufficiale del Museo Egizio si legge che ogni visita dura circa due ore e mezza, per cui considerando questo intervallo temporale, nel Museo ogni due ore e mezza ci saranno:

$$vis_{2,5h} = 380 * 2,5 \approx 950 \text{ visitatori}$$

Oltre alla presenza dei visitatori, è necessario analizzare anche il numero di dipendenti del Museo. Trattandosi di uno dei musei più importanti in Italia, coinvolto in moltissimi progetti a carattere nazionale e internazionale, l'organigramma del museo si articola in diverse aree specializzate. Il sito del Museo mette a disposizione la suddivisione del personale nei diversi settori amministrativi e gestionali, per un totale di risorse pari ad 86. A questi si aggiunge il personale incaricato della sicurezza delle

opere, della biglietteria, del guardaroba, dei servizi al pubblico e della caffetteria che ammonta a 74 dipendenti¹, suddivisi come segue:

- Personale a tempo indeterminato: 53
- Personale a tempo determinato: 12
- Apprendisti: 9

Si ottiene un totale di 160 persone che lavorano per il Museo Egizio. Complessivamente, considerando che non tutti i 160 dipendenti sono presenti ogni giorno e che alcuni potrebbero lavorare su turni o part-time, è plausibile che tra 80 e 100 persone lavorino quotidianamente al museo in un giorno ordinario.

Infine, è necessario aggiungere i membri della squadra operativa responsabili del cantiere, che comprendono lavoratori, tecnici e supervisori del progetto. Si stima un totale di circa 15 persone coinvolte in queste attività.

Dunque, considerando un intervallo temporale di due ore e mezza, nel Museo Egizio si ha la presenza contemporanea di:

| Visitatori | Dipendenti del Museo | Personale tecnico di cantiere | TOTALE |
|------------|----------------------|-------------------------------|---------------|
| 950 | 100 | 15 | 1065 |

Tabella 1: Stima complessiva persone presenti al Museo Egizio ogni due ore e mezza, elaborazione propria.

Questo dato è significativo per comprendere la complessità della gestione della sicurezza e delle emergenze in un cantiere di tale portata, dove le interferenze devono essere analizzate su più livelli. In primis, bisogna prendere in esame la posizione dell'edificio: la presenza di manifestazioni sportive, cortei o eventi pubblici nel centro cittadino potrebbe ostacolare l'accesso dei mezzi di soccorso e complicare le operazioni di evacuazione e gestione delle emergenze. Questo è particolarmente rilevante in un contesto urbano, dove il traffico e le folle possono creare congestioni che ritardano l'intervento in situazioni critiche.

A questa situazione bisogna aggiungere l'elevata affluenza del Museo Egizio, circa 1065 persone ogni due ore e mezza, per cui eventuali incidenti potrebbero coinvolgere non solo i lavoratori ma anche coloro che, ogni giorno, vengono involontariamente a contatto con il cantiere.

Pertanto, è essenziale esaminare e approfondire questi aspetti sia nella valutazione del rischio sia nella redazione del piano di gestione delle emergenze.

¹ Dati: (Museo Egizio, 2023)

3.2 Cantiere al Teatro Regio di Torino

Il secondo caso studio riguarda anch'esso un cantiere che ha luogo in uno degli edifici storici più importanti della città di Torino: il Teatro Regio. Inaugurato nel 1740 secondo il progetto di Benedetto Alfieri, il teatro è uno dei più antichi teatri d'opera ancora in attività a livello mondiale. Tuttavia, gran parte della struttura originale è andata perduta a causa di un devastante incendio nel 1936. Dopo questo tragico evento, ci vollero quasi 40 anni per ricostruire il teatro, che fu progettato dall'architetto Carlo Mollino e dall'ingegnere Marcello Zavelani Rossi, e finalmente inaugurato nel 1973. Si tratta di un edificio unico nel suo genere che *“risulta architettonicamente esaltante e tecnologicamente innovativo, in rapporto alla cultura tecnica di quegli anni, specificamente perché, in questo i pur fortissimi legami tra architettura e tecnica non sono immediatamente evidenti per l'osservatore, che viene più facilmente coinvolto dalla valenza lirica e poetica certamente affascinante.”* (Bardelli, 2010). Il Teatro Regio si colloca nel medesimo contesto urbanistico del Museo Egizio di Torino, infatti come si nota dalla Figura 1, affaccia direttamente su Piazza Castello uno dei punti nevralgici della città. Dunque, in termini di posizione all'interno del tessuto urbano, si riscontrano le medesime problematiche già analizzate per il Museo Egizio. Analizzando invece la conformazione architettonica dell'edificio, questa risulta molto complessa e articolata: il corpo del teatro segue una pianta curvilinea che si assottiglia simmetricamente lungo all'asse longitudinale, sviluppandosi in altezza su otto piani, quattro dei quali sotterranei. Unica è anche la copertura della sala centrale, caratterizzata da un paraboloido iperbolico in calcestruzzo armato sottilissimo, intuizione dell'ingegnere titolare dell'impresa costruttrice Felice Bertone².

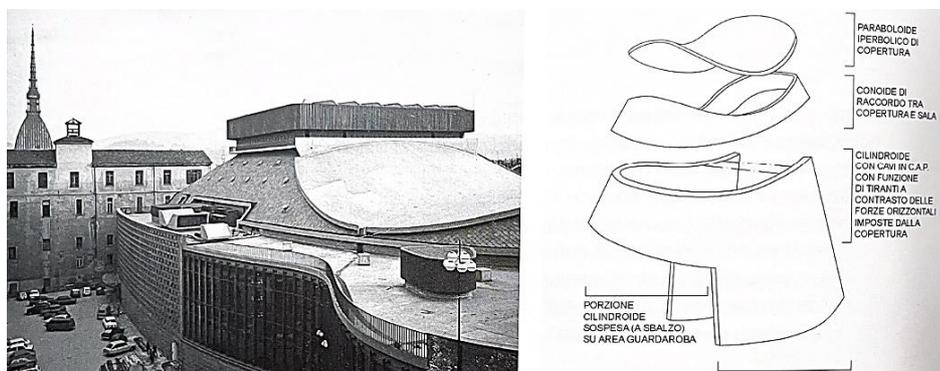


Figura 3: Foto d'epoca della copertura realizzata (sx); Schema rappresentativo dei volumi delle componenti strutturali principali (dx).

² Le immagini della Figura 3 sono state scansionate dal libro *Il Teatro Regio di Torino da Carlo Mollino ad oggi*, pagina 114.

Di seguito, si analizzano brevemente gli spazi del Teatro per fornire una panoramica sulla sua peculiare e unica struttura architettonica:

- **Palazzina Alfieri** → per accedere al nuovo Teatro Regio il primo edificio che si incontra è la storica facciata del teatro, l'unico elemento architettonico sopravvissuto al devastante incendio. Questo edificio, che si sviluppa su tre piani fuori terra, oggi ospita gli uffici amministrativi ed è collegato al nuovo teatro attraverso la Galleria Tamagno.
- **Galleria Tamagno** → si tratta dell'atrio coperto che permette l'accesso sia al teatro ma anche al Piccolo Regio.
- **Piccolo Regio** → Il Teatro Piccolo Regio Giacomo Puccini è una struttura più piccola, situata al di sotto del Teatro Regio, con una capienza massima di 380 posti. Dispone di un foyer dedicato e di una sala conferenze, rendendolo uno spazio versatile per eventi più raccolti rispetto alla sala principale.
- **Foyer principale** → Si tratta di uno spazio che connette la galleria alla sala principale, distribuito su tre livelli che conducono ai vari palchi del teatro. Il foyer si articola in diversi ambienti e si estende su una superficie di circa 4.000 metri quadrati.
- **Sala** → la sala principale del teatro ha una forma a conchiglia semiaperta e ha una capienza complessiva di 1592 posti.
- **Sale prove e servizio** → ai piani sotterranei del Teatro vi sono dei locali di notevoli dimensioni che ospitano numerosi servizi e sale prova. Nello specifico, per quanto riguarda le prove dei musicisti, vi si trovano la sala coro, la sala orchestra e 20 salette studio insonorizzate che si trovano a 7m di profondità. Poi vi è la sala regia che si trova al terzo piano sotterraneo (-9,80m), ha una superficie di 240 metri quadri e vi si trovano 16 piattaforme mobili che permettono di raggiungere diverse altezze. È presente anche una sala da ballo di 180 metri quadrati, 22 camerini, locale sartoria, sala trucco, calzoleria e parruccheria. A più di 12 metri sotto il livello del suolo si trovano, inoltre, i numerosi servizi tecnologici del teatro e cioè le centrali termiche, data center, ponti mobili e i servizi di emergenza.

(Torino, Teatro Regio, s.d.)

Si evince, quindi, la complessità strutturale dell'edificio, che si estende fino a una profondità massima di 13,50 metri sotto il livello del suolo e raggiunge un'altezza massima di 32,10 metri in corrispondenza della copertura.

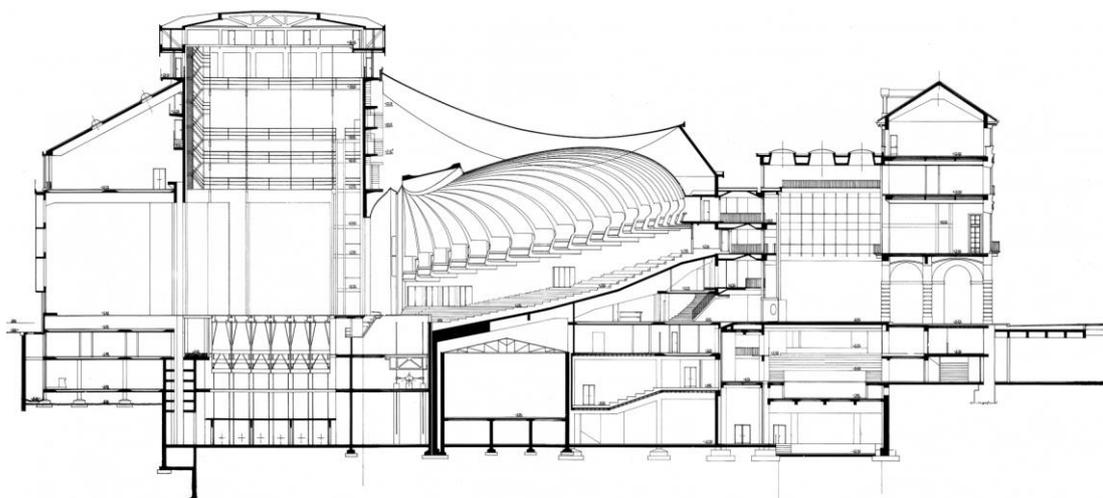


Figura 4: Sezione Teatro Regio, immagine presa dal sito ufficiale del Regio.

Dopo aver esaminato le principali caratteristiche del Teatro Regio, si passa all'analisi del cantiere oggetto di studio. L'obiettivo è quello di valutare le condizioni più critiche in termini di gestione delle emergenze. Tra i vari interventi che interessano il Teatro ogni anno, si vogliono analizzare gli scenari più critici e che espongono a maggiori rischi sia i lavoratori che i soggetti esterni al cantiere. Come già menzionato, a una profondità di 12,50 metri si trovano i locali che ospitano gli impianti tecnologici a servizio dell'intero Teatro Regio. In questo contesto, viene esaminato un cantiere dedicato alla manutenzione straordinaria di questi impianti. Trattandosi di sistemi complessi, la direzione tecnica del Teatro prevede ogni anno interventi di manutenzione programmata e verifiche funzionali. Questi interventi includono anche la possibile sostituzione di componenti difettosi o usurati, con l'obiettivo di garantire il corretto funzionamento e la continuità operativa dell'intero apparato impiantistico. Come si evince dal Servizio di Programmazione e Conduzione della Direzione Tecnica del Regio, gli impianti principali presenti nei sotterranei del teatro sono:

- Centrale di Pompaggio (quota -12,50 m): include elettropompe responsabili del funzionamento dei sistemi di ventilazione, termoconvettori e altri impianti di supporto alla struttura.
- Centrale Frigorigena (quota -6,80 m): gestisce la produzione di acqua refrigerata per il raffreddamento e comprende elettropompe e torri evaporative.
- Centrale Idrica: situata in profondità, è responsabile della distribuzione dell'acqua.

- Centrale Termica: include vari sistemi di riscaldamento e pressurizzazione delle caldaie.

(Direzione Tecnica - Servizio di Programmazione e Conduzione , 2021)

Dunque, gli interventi di manutenzione di tali impianti complessi, espongono i lavoratori a numerosi e diversi rischi. Tra questi si evidenziano: il lavoro con apparecchiature ad elevata pressione e temperatura, rischi elettrici, elettrocuzione, manipolazione di materiali pericolosi come lubrificanti o sostanze tossiche. In aggiunta, il lavoro in ambienti chiusi e interrati, caratterizzati da ventilazione insufficiente e accumulo di gas nocivi, può complicare ulteriormente le condizioni di sicurezza e rendere difficile l'evacuazione in caso di emergenza.

Questi fattori rendono necessaria una rigorosa pianificazione delle misure di sicurezza e un monitoraggio costante per prevenire incidenti e garantire la sicurezza dei lavoratori coinvolti.

Il Regio, avendo una capienza di 1592 posti, è soggetto ai controlli e alle prescrizioni della Commissione di vigilanza per Pubblico Spettacolo provinciale (CPV), ai sensi del D.P.R n.311 del 28 maggio 2001. Si tratta di un organo che ha il compito di esprimere pareri, sia su progetti di nuove costruzioni, sia di verificare periodicamente le condizioni di sicurezza, igiene, conformità alle normative vigenti e lo stato degli impianti nei locali di pubblico spettacolo già esistenti. La CPV è composta da diverse figure istituzionali e tecniche, tra cui il Comandante del Corpo di Polizia, il Comandante dei Vigili del Fuoco, il Sindaco, il Dirigente dell'Ufficio Tecnico, un rappresentante dell'Autorità Sanitaria e un esperto in elettrotecnica. Tra le diverse prescrizioni che vengono imposte dalla CPV, viene previsto che durante lo svolgimento di spettacoli non possono essere presenti cantieri attivi. Di conseguenza, gli interventi di manutenzione impiantistica vengono eseguiti in quei momenti in cui il pubblico non è presente.

Generalmente queste tipologie di interventi, vengono svolti in maniera continuativa nei periodi di chiusura al pubblico del Teatro, come durante le pause tra le stagioni o nei giorni in cui non ci sono rappresentazioni. Tuttavia, possono capitare dei casi per cui sono necessari degli interventi di emergenza anche durante la stagione teatrale. Dunque, così come nel caso del Museo Egizio, si vuole effettuare una stima di massima del numero di persone contemporaneamente presenti nel caso della situazione più critica. Si prevede, quindi, che gli interventi di manutenzione vengano eseguiti durante le prove di uno spettacolo teatrale, nonché durante le fasi di allestimento del Teatro in

vista della rappresentazione. Anche in questo caso vi sono tre tipologie di utenti presenti: la squadra di manutenzione impiantistica, la compagnia teatrale impegnata nelle prove e il gruppo di allestitori e scenografi che stanno preparando le scenografie. Sul sito ufficiale del Teatro Regio sono disponibili le informazioni relative all'organico del teatro all'anno 2023. Secondo i dati riportati, il personale del teatro è composto da un totale di 309 dipendenti, inclusi professori d'orchestra, artisti, maestri, membri della direzione artistica, impiegati, dirigenti e tecnici (Fondazione Teatro Regio di Torino, 2023). Si ipotizza che, durante lo svolgimento delle prove, siano presenti circa 200 persone impegnate sia nella prova dello spettacolo teatrale che dell'allestimento della scenografia.

Infine, per quanto concerne i membri della squadra manutentiva, si considerano dieci persone, inclusi tecnici specializzati, responsabili della sicurezza, assistenti e personale di supporto operativo. Dunque, riassumendo, si stima la presenza contemporanea di:

| Dipendenti del Teatro | Squadra di manutenzione | TOTALE |
|-----------------------|-------------------------|---------------|
| 200 | 10 | 210 |

Tabella 2: Stima presenza contemporanea di persone Teatro Regio, elaborazione propria.

A differenza del caso studio precedente, un cantiere di questo tipo offre il vantaggio di essere situato in una zona separata rispetto alla sala principale, dove si concentra la maggior parte delle persone. Tuttavia, un incidente in un cantiere di questo tipo presenta alcune criticità, oltre alle inevitabili interferenze con le persone presenti che devono essere evacuate, vi è il problema aggiuntivo della collocazione dei locali impiantistici, situati 12 metri sottoterra. Questo può comportare delle difficoltà nell'individuare rapidamente chi abbia necessità di soccorso. A tali aspetti, si aggiunge anche il problema della raggiungibilità da parte dei mezzi di soccorso, data dal contesto urbanistico in cui si inserisce il Teatro Regio.

Pertanto, in sede di valutazione dei rischi e di definizione del piano di gestione delle emergenze, si vedrà successivamente come sia necessario prevedere delle misure compensative per gestire al meglio questi rischi aggiuntivi.

3.3 Cantiere a CityLife di Milano

Il terzo caso studio si concentra su Milano, precisamente in una delle zone protagoniste di uno dei più significativi progetti di riqualificazione urbana in Europa: il quartiere CityLife. Nei primi anni 2000, con il trasferimento della Fiera di Milano nel nuovo polo di Rho-Però, l'area dismessa, estesa su 366.000 metri quadrati, è stata oggetto di una completa trasformazione da parte di CityLife, un consorzio composto da diverse imprese. L'ambizioso progetto ha così portato alla realizzazione di un distretto polifunzionale in cui convivono diverse funzioni sia pubbliche che private fra residenze di lusso, uffici, spazi commerciali, aree verdi e infrastrutture pubbliche, diventando un modello di rigenerazione urbana sostenibile e un simbolo della modernità di Milano.

Il complesso di CityLife si trova nel quartiere Portello di Milano, a circa 2,5 km dal Duomo, in una zona storica e strategica della città. Circondata da alcune delle attrazioni più iconiche di Milano, come il Parco Sempione, l'Arco della Pace, il Cimitero Monumentale e lo stadio di San Siro, CityLife gode di una posizione privilegiata che la collega sia al cuore culturale della città che alla zona commerciale e industriale.

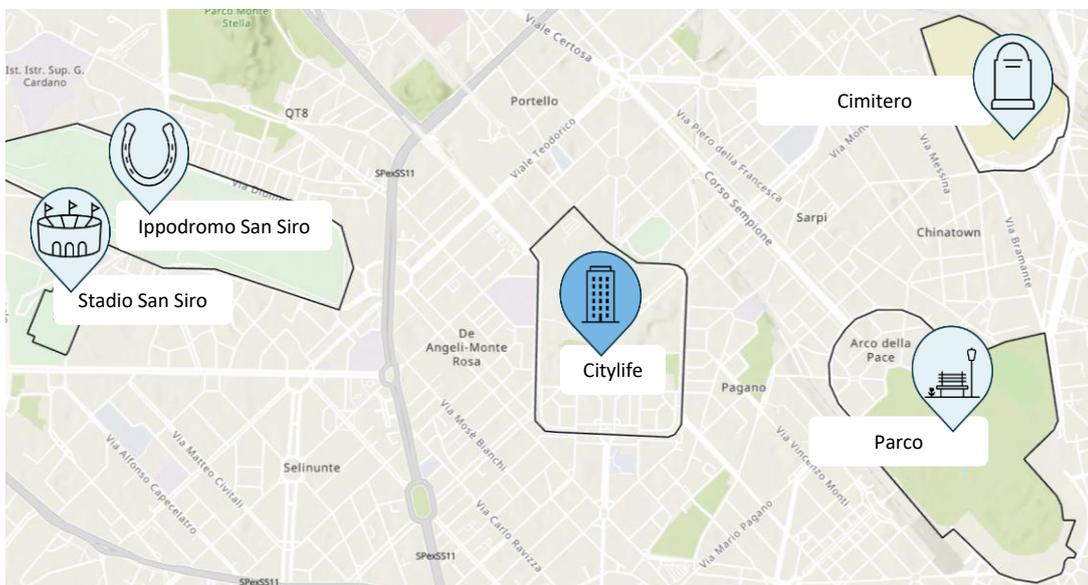


Figura 5: inquadratura territoriale del distretto di CityLife a Milano, elaborazione propria.

Analizzando, invece, le caratteristiche distintive della zona CityLife, essa si compone di alcuni elementi chiave:

- **Le Tre Torri – CityLife commerciale** → al centro dell'area si ergono tre grattacieli a destinazione direzionale, progettati da tre architetti di fama

internazionale. La Torre Allianz, disegnata da Arata Isozaki, è attualmente il grattacielo più alto d'Italia, con i suoi 209,2 metri di altezza. Accanto, si trova la Torre Generali, progettata da Zaha Hadid e la Torre Libeskind, progettata da Daniel Libeskind che ospita gli uffici della società PWC.

- **Residenze di lusso – CityLife residenziale** → nelle vicinanze delle tre torri, si sviluppa un elegante complesso residenziale, progettato dagli stessi Hadid e Libeskind.
- **Parco pubblico** → si tratta di un enorme parco di superficie 170.000 metri quadrati che rappresenta un'importante risorsa ecologica per la città di Milano, offrendo percorsi ciclabili e pedonali che favoriscono la mobilità sostenibile e l'uso degli spazi pubblici. All'interno del parco si trova anche l'asilo nido BabyLife, una struttura all'avanguardia costruita interamente in legno e a emissioni zero.
- **CityLife Shopping District** → il quartiere ospita uno dei più grandi centri commerciali urbani d'Italia, il CityLife Shopping District, che comprende oltre 80 negozi, un supermercato, 20 ristoranti, un cinema multisala e un ampio parcheggio interrato.
- **Stazione Metropolitana M5** → L'area di CityLife è servita dalla linea 5 della metropolitana di Milano, con la fermata Tre Torri situata nel centro del quartiere.

(CityLife, s.d.)

Tutte le diverse funzioni di CityLife sono state progettate con un design contemporaneo e innovativo, conferendo al quartiere un carattere distintivo che lo rende un polo attrattivo non solo per Milano e l'Italia, ma anche a livello europeo. Di seguito si allega il masterplan della zona tratto dal sito ufficiale del progetto:



Figura 6: Masterplan di CityLife a Milano, immagine presa dal sito ufficiale del progetto.

Come si può intuire, l'area in esame presenta notevoli differenze rispetto ai primi due casi studio. Innanzi tutto, non si tratta di edifici storici o aperti al pubblico che si trovano nel cuore del centro cittadino, ma di un quartiere moderno collocato nelle vicinanze del centro di Milano.

La principale sfida è data dalla complessità di un'area polifunzionale che ospita molteplici destinazioni d'uso. CityLife è un'area in cui si concentrano uffici, residenze, negozi e spazi pubblici, attirando un elevato e diversificato flusso di persone durante tutto il giorno, inclusi lavoratori, residenti, turisti e clienti. Questa varietà di utenza, unita all'alta densità di edifici in uno spazio relativamente contenuto, crea una situazione particolare dal punto di vista della gestione della sicurezza e delle emergenze. Il cantiere oggetto di studio si propone di analizzare uno scenario di evacuazione del complesso CityLife Commerciale, tra cui le tre torri direzionali e il centro commerciale.

Il cantiere che si vuole studiare riguarda un intervento di manutenzione nella torre più alta d'Italia: la torre Allianz. Questo edificio è un grattacielo di 50 piani (di cui 47 ad uso direzionale) e ha un'altezza complessiva di 202 metri. Ogni piano ha una superficie di 1100 metri quadrati, per un totale complessivo 53 mila metri quadrati ed è in grado di ospitare fino a 3800 persone. Si suppone che la torre sia oggetto di lavori di manutenzione straordinaria che, secondo l'articolo 3 del D.P.R. 380/01 (Testo Unico Edilizia) sono: *“le opere e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali degli edifici, nonché per realizzare ed integrare i servizi igienico-sanitari e tecnologici, sempre che non alterino la volumetria complessiva degli edifici e non comportino mutamenti urbanisticamente rilevanti delle destinazioni d'uso implicanti incremento del carico urbanistico.”* In questo caso, la gestione delle emergenze diventa particolarmente complessa a causa della natura e della struttura stessa dell'edificio, un grattacielo di 50 piani, che richiede una pianificazione meticolosa delle operazioni di evacuazione e soccorso. Le caratteristiche di un grattacielo introducono difficoltà specifiche, come l'altezza elevata, la densità di persone presenti in un singolo spazio e la necessità di coordinare i soccorsi su più livelli in contemporanea. A differenza del centro cittadino, dove eventi come manifestazioni o competizioni sportive possono essere previsti e inseriti nei piani di emergenza, quando la causa dell'emergenza è endogena all'edificio stesso diventa molto più complesso effettuare delle previsioni. Ciò si somma alle criticità intrinseche dell'area di CityLife che vede un afflusso costante e diversificato di persone durante

tutta la giornata, rendendo difficile prevedere esattamente chi sarà presente in un dato momento.

In conformità con il Decreto GSA (DM 2 settembre 2021), ogni anno viene organizzata un'esercitazione antincendio che coinvolge le Tre Torri e il Centro Commerciale di CityLife. L'obiettivo è quello di testare l'efficacia delle procedure di esodo da parte dei dipendenti e di individuare e risolvere eventuali criticità legate alle operazioni di evacuazione e di soccorso. Chiaramente ogni edificio ha protocolli e misure di sicurezza specifiche, che devono essere coordinate fra loro per garantire un'evacuazione sicura ed efficiente in tutta l'area.

L'ultima esercitazione si è svolta il 6 giugno 2024, e ho avuto l'opportunità di parteciparvi personalmente, evacuando insieme al personale della Torre Allianz. Nello specifico, la procedura prevedeva, una volta diffuso l'allarme antincendio, di esodare verticalmente lungo il vano scala antincendio fino a raggiungere l'area verde antistante i grattacieli, designata come punto di raccolta. L'allarme è stato diffuso, negli edifici interessati, alle ore 10.30 e, per quanto concerne la Torre Allianz, sono stati necessari 40 minuti per completare interamente la procedura di esodo.

Di seguito, si allegano delle foto scattate una volta raggiunto il punto di raccolta nella piazza Elsa Morante antistante le torri. Nelle immagini si riconoscono gli addetti alla prevenzione incendi e gestione dell'emergenza, in quanto indossano un gilet arancione o giallo ad alta visibilità.





Figure 1: Persone nei punti di raccolta dopo la prova di evacuazione delle Tre torri e del centro commerciale di CityLife, contenuto multimediale scattato personalmente.

La prova è stata eseguita senza particolari complicazioni per tutti gli edifici interessati e ha coinvolto un totale di 6300 persone. Infatti, essendo prevista la modalità lavorativa mista in presenza e *smart-working*, non erano fisicamente presenti tutti i dipendenti del centro direzionale. Anche per quanto riguarda il centro commerciale, essendo aperto da poco prima delle 10.30, non presentava particolari situazioni di affollamento. L'aspetto più importante di queste prove di evacuazione è individuare tutte le problematiche che hanno ritardato l'arrivo nei punti di raccolta, la gestione dell'emergenza dalle sale operative o il raggiungimento da parte dei mezzi di soccorso. Infatti, a seguito della prova svolta nel 2023 era emerso come l'autopompa serbatoio (APS) dei Vigili del Fuoco avesse trovato difficoltà nel raggiungere l'area di interesse, a causa della folla di persone evacuate che occupava le vie di accesso. Durante l'anno 2024, si è deciso di non simulare l'arrivo dell'APS ma di analizzare solo l'evacuazione delle Tre Torri e del centro commerciale. Tuttavia, per quanto concerne la Torre Allianz, i Vigili del Fuoco hanno riscontrato difficoltà nelle comunicazioni tra i mezzi a terra e i piani più alti della Torre.

Queste prove evidenziano come le criticità più importanti durante un'emergenza siano strettamente legate ai ritardi dei mezzi di soccorso, causati da diversi fattori che non

sempre vengono considerati nella gestione delle emergenze. La situazione si aggrava ancor di più se si ipotizza la presenza di un cantiere in cui vi sono dei lavoratori infortunati o che necessitano di essere soccorsi più velocemente possibile. In un contesto di emergenza, il tempo è un fattore determinante per una corretta riuscita dei soccorsi, soprattutto in ambienti complessi come un grattacielo. Ciò evidenzia ancor di più come sia fondamentale considerare questi aspetti in sede di redazione del Piano di gestione delle emergenze, al fine di facilitare le operazioni di soccorso, contrarre le tempistiche necessarie e salvare vite umane.

3.4 Cantieri in luoghi con picchi di affluenza

L'ultimo caso studio prende in analisi dei cantieri collocati in luoghi che registrano, per un periodo limitato di tempo, dei picchi elevatissimi di affluenza. Pertanto, ci si discosta da cantieri che hanno luogo in edifici di particolare importanza storico, commerciale o architettonica, al fine di analizzare due esempi di situazioni molto specifiche che coinvolgono un numero significativo di persone e di risorse. Si vogliono prendere in esame delle manifestazioni temporanee di pubblico spettacolo che, ai sensi del T.U.L.P.S (Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza), vengono definite come quelle manifestazioni musicali, sportive, danzanti o espositive che si svolgono in un periodo ben determinato, con una data di inizio e fine precise. Nello specifico, si considerano due eventi con un'affluenza di pubblico superiore alle 5000 persone per cui è richiesto il parere della Commissione di Vigilanza per Pubblico Spettacolo provinciale. (D.P.R. 28 maggio 2001, n.311). In queste circostanze, vengono redatti specifici piani di sicurezza, che includono la descrizione dettagliata di spazi e tempi, la stima dei partecipanti, la capienza massima degli ambienti, le misure di controllo e regolamentazione degli accessi, i percorsi separati per l'ingresso e l'uscita, il piano di emergenza e di evacuazione, e la suddivisione in settori. Oltre a ciò, viene allegato un piano di soccorso sanitario, il quale, in funzione del rischio associato all'evento, determina le risorse necessarie per ridurre i rischi e garantire la sicurezza durante l'evento. Come si può comprendere, se da un lato questi eventi vengono accuratamente programmati e studiati dal punto di vista della sicurezza, dall'altro emerge un aspetto interessante legato alla presenza di cantieri non direttamente situati nell'area della manifestazione, ma nelle sue immediate vicinanze. Nella maggior parte dei casi, quando si tratta di cantieri di rilevante entità, la Commissione Provinciale di Vigilanza può decidere di sospendere i lavori per tutta la durata dell'evento, al fine di ridurre i rischi interferenziali. Tuttavia, vi sono situazioni in cui cantieri di dimensioni minori, o con scadenze urgenti da rispettare, non vengono sospesi durante la manifestazione, determinando così una sovrapposizione temporale tra l'evento e lo svolgimento dei lavori. Questo genera delle complessità gestionali significative per il cantiere, in quanto bisogna affrontare limitazioni dovute alla chiusura delle strade e alla deviazione dei percorsi per i mezzi di soccorso, nonché alle situazioni di traffico intenso che porterebbero ad un ritardo aggiuntivo delle operazioni di soccorso in cantiere.

In Italia, circostanze di questo tipo sono particolarmente frequenti, poiché numerose manifestazioni temporanee di varia natura, si tengono in piccoli centri urbani ma, grazie alla loro importanza culturale, sportiva o turistica, riescono ad attirare centinaia, se non migliaia, di persone. Questi eventi possono essere festival, sagre, concerti o celebrazioni locali che, pur svolgendosi in contesti relativamente ristretti, comportano un afflusso significativo di pubblico.

Proprio in quest'ottica, sono stati selezionati due casi studio rappresentativi: il primo riguarda un cantiere situato nelle vicinanze dell'ampia area dell'autodromo di Monza, sede del Gran Premio d'Italia; il secondo si concentra sul piccolo comune di Melpignano, che una volta all'anno diventa teatro del mega concertone della Notte della Taranta. Questi due esempi permettono di esaminare le diverse sfide legate alla gestione di emergenze in contesti molto diversi per dimensioni e capacità logistiche, ma accomunati da eventi di grande richiamo che comportano significativi picchi di affluenza e richiedono misure di sicurezza straordinarie.

Il primo esempio riguarda un evento di risonanza mondiale che attrae ogni anno migliaia di visitatori da tutto il mondo: il Gran Premio d'Italia. Si tratta di una gara automobilistica ad alta velocità che si svolge nell'ambito del Campionato Mondiale di Formula 1, la categoria più alta dell'automobilismo sportivo. Tale campionato si tiene ogni anno e comprende una serie di gare (Gran Premi) che si tengono in diversi Paesi del mondo su circuiti fra loro differenti in termini di lunghezza, curve e rettilinei. La tappa italiana di questa competizione prende il nome di Gran premio d'Italia e ha luogo presso l'autodromo nazionale di Monza, la sede storica del Gran Premio, che ha ospitato ben 89 edizioni della gara su 94 totali. Per quanto concerne la capienza massima, l'autodromo può ospitare fino a 118.865 spettatori, valore che si registra in occasione del Gran Premio d'Italia di Formula 1, l'evento di punta che catalizza la più alta affluenza di pubblico. Tuttavia, l'autodromo non si limita a ospitare solo questo appuntamento: durante l'anno è teatro di altri eventi rilevanti come il Monza Rally Show, competizioni ciclistiche, tra cui una tappa del Giro d'Italia, e manifestazioni culturali come il Brianza Rock Festival.

L'autodromo di Monza si trova all'interno del Parco di Monza, uno dei più grandi parchi recintati d'Europa con un'estensione di ben 720 ettari e inaugurato nel 1805 per volere dell'imperatore Napoleone Bonaparte. Oltre alla pista, il parco accoglie anche la Villa Reale di Monza, un centro ippico, cascate e mulini, che conferiscono al luogo

una rilevanza culturale e paesaggistica di grande valore. Il caso studio in esame riguarda un cantiere situato nel comune di Vedano al Lambro, che confina con il Parco di Monza sul lato ovest e si trova tra i paesi più prossimi all'Autodromo di Monza. In particolare, si analizza un progetto di costruzione di una nuova scuola elementare in Via delle Rimembranze, a meno di 2 km di distanza dall'autodromo. L'attività di cantiere si articola in due fasi fondamentali, innanzitutto si procederà alla costruzione del nuovo plesso scolastico in un'area attualmente occupata da vegetazione, situata all'interno del lotto disponibile. Dopodiché, una volta completata la nuova struttura, si prevede la demolizione del vecchio plesso scolastico che verrà sostituito con un'area verde attrezzata per il gioco dei bambini. Una delle principali criticità di questo cantiere è legata alle interferenze fra le lavorazioni del cantiere e la presenza di soggetti terzi quali bambini e personale della scuola. Per garantire il regolare svolgimento delle lezioni, è essenziale che la pianificazione del cantiere prenda in considerazione tutti gli aspetti di sicurezza necessari a tutelare la presenza dei bambini nell'area. Sarà necessario implementare strategie di gestione del cantiere che minimizzino il rumore e il disagio per gli studenti e il personale scolastico, garantendo al contempo la sicurezza in tutte le fasi del progetto. Per quanto concerne la nuova struttura, si tratta di un fabbricato con due piani fuori terra, una geometria regolare e interamente realizzata con pannelli prefabbricati in XLAM³, aspetto che contribuisce a contrarre i tempi di costruzione. Nella cartografia che segue si mostra l'area di intervento in cui l'edificio in rosso è quello che verrà demolito, mentre in nero viene rappresentata la sagoma del nuovo plesso scolastico.



Figura 7: cartografia rappresentativa del cantiere di Vedano al Lambro, rappresentazione propria.

³ Pannelli costituiti da strati di legno massiccio incollati fra loro in modo incrociato.

Quindi, a differenza degli altri casi studio, non si tratta di un cantiere in un edificio esistente ma di una nuova costruzione. L'intervento è strutturato in modo da garantire la continuità dell'attività scolastica senza interruzioni, con lavori intensificati durante i periodi di pausa scolastica, in particolare nei mesi estivi, e anche nei giorni festivi. Tuttavia, essendo il Gran Premio d'Italia solitamente programmato tra la fine di agosto e l'inizio di settembre, è quasi certo che lo svolgimento della gara coinciderà con i giorni di attività del cantiere. Questo crea una situazione complessa, che non è possibile trascurare in fase di redazione di piano di gestione delle emergenze in cantiere. Se da un lato un evento come il Gran Premio viene accuratamente progettato in termini di sicurezza, dall'altro è necessario valutare l'impatto che un evento di questa portata può avere su un cantiere, anche di dimensioni ridotte come quello di Vedano. Durante il Gran Premio, infatti, si verifica un aumento drastico del traffico, molte strade vengono chiuse e un numero significativo di risorse viene impiegato per garantire la sicurezza dell'evento. Ad esempio, per il Gran Premio d'Italia del 1° settembre 2024, sono stati destinati 620 persone esclusivamente alle operazioni di vigilanza e controllo. (Vitagliano, 2024)

Dunque, per la sua posizione il cantiere potrebbe presentare delle problematiche qualora sopraggiunga una situazione di emergenza durante il Gran Premio. Infatti, molte vie di accesso circostanti l'autodromo vengono chiuse o limitate al traffico per ragioni di sicurezza e questo, unito all'elevato numero di risorse impegnate nell'evento, potrebbe ritardare l'arrivo dei soccorsi in caso di incidente nel cantiere. Al fine di minimizzare questi rischi, sarebbe necessario adottare dei piani di emergenza coordinati fra gli organizzatori del Gran Premio, le autorità locali e i soggetti responsabili del cantiere stesso. L'ideale sarebbe predisporre un protocollo specifico da adottare in caso di Gran Premio con misure come la definizione di percorsi alternativi per i soccorsi, il potenziamento della presenza di unità di emergenza nei pressi del cantiere durante i giorni di gara, e una costante comunicazione tra tutti gli enti coinvolti. Di seguito si allega una cartografia rappresentativa in cui si pone in evidenza la posizione del cantiere rispetto all'autodromo di Monza e al corrispettivo parco. Inoltre, consultando il Piano del Traffico redatto per il Gran Premio del 2023, si indicano nella mappa anche il parcheggio auto, gli accessi carrabili e i divieti di circolazione, nell'area più prossima al cantiere.



Figura 8: Cartografia rappresentativa del cantiere di Vedano al Lambro rispetto all'autodromo di Monza, elaborazione propria.

Dopo aver analizzato cosa accade nel caso di un cantiere di dimensioni contenute nelle prossimità di un'area fortemente attrattiva come l'autodromo di Monza, si vuole analizzare la situazione in cui un piccolo centro urbano si trovi a gestire, occasionalmente, un picco notevole di affluenza. È il caso del comune di Melpignano, in provincia di Lecce, che ogni anno ospita a fine agosto il concertone finale della "Notte della Taranta". Si tratta di uno dei più grandi festival in Italia dedicato alla tradizione della *pizzica*, una danza popolare tipica del Salento, in Puglia. L'evento, nato nel 1998, si svolge ad agosto e termina con un grande concerto finale che, appunto, si tiene a Melpignano e attrae ogni anno decine di migliaia di spettatori sia dall'Italia che dall'estero. Infatti, durante le diverse edizioni vengono ospitati artisti sia locali che internazionali che reinterpretano la *pizzica* mescolandola con generi come il rock, il jazz, e la musica elettronica. (Fondazione Notte della Taranta, 2020)

Per quanto riguarda Melpignano, si tratta di un piccolo comune di circa 2000 abitanti e che si estende per una superficie di 11 chilometri quadrati. Dunque, una realtà molto contenuta, 17 volte più piccola di Milano, che una volta all'anno ospita un evento così importante che, nell'ultima edizione del 2024, è stato trasmesso in diretta in prima serata su Rai 3. I dati riportati sul sito ufficiale dell'evento indicano che nel 2024 circa 100 mila persone erano presenti nell'area del concerto e 150 mila complessivi nell'intero borgo del paese dove erano stati allestiti degli schermi. Avendo una risonanza notevole, il concertone della Notte della Taranta non coinvolge soltanto il comune di Melpignano ma anche i comuni limitrofi di Cursi e Castrignano dei Greci in cui vengono predisposte delle aree parcheggio con dei percorsi pedonali che conducono nel luogo dell'evento. Questa organizzazione mira a distribuire meglio i flussi di visitatori, alleviando la pressione su Melpignano, un piccolo centro che non dispone delle infrastrutture per accogliere un afflusso così massiccio di persone. In ogni caso, così come previsto dalla Commissione Provinciale di Vigilanza, vengono predisposti accurati piani di sicurezza e di soccorso sanitario con moltissime risorse impegnate durante l'evento. La Notte della Taranta durante tutta la giornata del concertone finale vede picchi di affluenza straordinari per cui, come nel caso dell'autodromo, si pone il problema di come gestire eventuali emergenze in cantieri che si trovano vicini all'evento. La situazione è ulteriormente aggravata dal fatto che, a differenza dell'autodromo di Monza, situato vicino a una grande città con numerosi ospedali e stazioni dei Vigili del Fuoco, Melpignano e i comuni circostanti sono più isolati. In termini di assistenza sanitaria, esiste un presidio ospedaliero a Poggiardo, distante circa 15 km, ma le principali strutture ospedaliere si trovano a Tricase (25 km), Lecce (30 km) e Gallipoli (35 km).

Questo vuol dire che in caso di gravi incidenti nei cantieri durante eventi di grande richiamo come la Notte della Taranta, si potrebbero incontrare diverse criticità: la congestione stradale dovuta all'afflusso massiccio di persone, la limitata disponibilità di risorse già impegnate nella gestione dell'evento, e la distanza dai principali ospedali e stazioni dei Vigili del Fuoco, che potrebbe ritardare i soccorsi.

Il cantiere oggetto di studio riguarda la costruzione di un agrinido a Melpignano, un asilo nido inserito in un contesto rurale che unisce l'educazione infantile con la natura e le attività agricole. Questa struttura innovativa si inserisce all'interno di un finanziamento previsto dal PNRR (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza), missione 4 (istruzione e ricerca), componente 1, investimento 1.1, volto a promuovere la

realizzazione di asili nido e scuole dell'infanzia su tutto il territorio nazionale. Il progetto, realizzato dallo studio di architettura genovese Dodi Moss S.r.l., prevede la costruzione di un edificio a bassissimo impatto ambientale (Nzeb, Nearly Zero Energy Building), con un design energeticamente efficiente e sostenibile. L'agrinido sarà dotato di un sistema di raccolta dell'acqua piovana per l'irrigazione degli spazi verdi, ponendo grande attenzione all'integrazione armoniosa con il contesto agricolo circostante. L'idea alla base del progetto è di offrire ai bambini esperienze educative all'aperto, arricchite dalla partecipazione ad attività agricole, favorendo un legame diretto con la natura e promuovendo lo sviluppo della sensibilità ambientale fin dai primi anni.



Figura 9: progetto di realizzazione dell'agrinido, immagine presa dall'articolo online del periodico locale LeccePrima, <https://www.lecceprima.it/foto/cronaca/l-innovativo-progetto-dell-agrinido/>

I lavori per la realizzazione dell'agrinido sono iniziati a maggio 2024 e si concluderanno verso la fine dello stesso anno. Durante questo periodo, dunque, il cantiere ha coinciso in parte con gli eventi della Notte della Taranta. Sebbene sia difficile immaginare una sovrapposizione diretta delle attività con il concertone serale, è molto probabile che, data la natura continuativa dell'evento, ci siano stati momenti in cui le operazioni del cantiere e l'evento stesso si siano incrociate. Infatti, durante tutta la giornata del concertone, il Comune di Melpignano propone una serie di iniziative preparatorie all'evento serale, oltre ciò una folla consistente si dirige verso la zona del palco già dalle prime ore del giorno per assicurarsi i posti migliori. Questo vuol dire che vi saranno già dalla mattina dei flussi di visitatori in ingresso nel Paese molto significativi.

Inoltre, Melpignano è un comune di dimensioni molto ridotte, inserito in un contesto

prevalentemente agricolo e industriale, che riesce a gestire ormai da anni eventi come la Notte della Taranta ma si potrebbero verificare delle problematiche in caso di emergenze in cantiere. In uno scenario di questo tipo, così come per il Gran Premio d'Italia, sarebbe necessario integrare i piani di gestione delle emergenze per garantire una risposta efficace in caso di incidenti. La grande affluenza di persone e la congestione delle strade circostanti richiederebbero un coordinamento accurato con le forze dell'ordine locali, prevedendo risorse specifiche dedicate al cantiere, come personale sanitario e vie di accesso preferenziali per i mezzi di soccorso. La planimetria che segue illustra il Comune di Melpignano e i vicini comuni di Corsi e Castrignano dei Greci, che rivestono un ruolo fondamentale nella gestione logistica della Notte della Taranta. Data la limitata grandezza di Melpignano, questi comuni offrono supporto nella predisposizione di parcheggi per auto e moto e nell'organizzazione di percorsi pedonali che facilitano l'accesso al luogo del concertone finale. La cartografia illustra in modo chiaro l'organizzazione logistica della Notte della Taranta e la posizione del cantiere per la costruzione dell'agrinido. La vicinanza del cantiere al luogo del concertone e alle principali arterie di collegamento con i comuni limitrofi di Corsi e Castrignano de' Greci evidenzia la rilevanza di questi fattori nella pianificazione. Le dimensioni ridotte del comune di Melpignano accentuano ulteriormente l'importanza di considerare questi aspetti nella redazione del piano di gestione delle emergenze in cantiere.

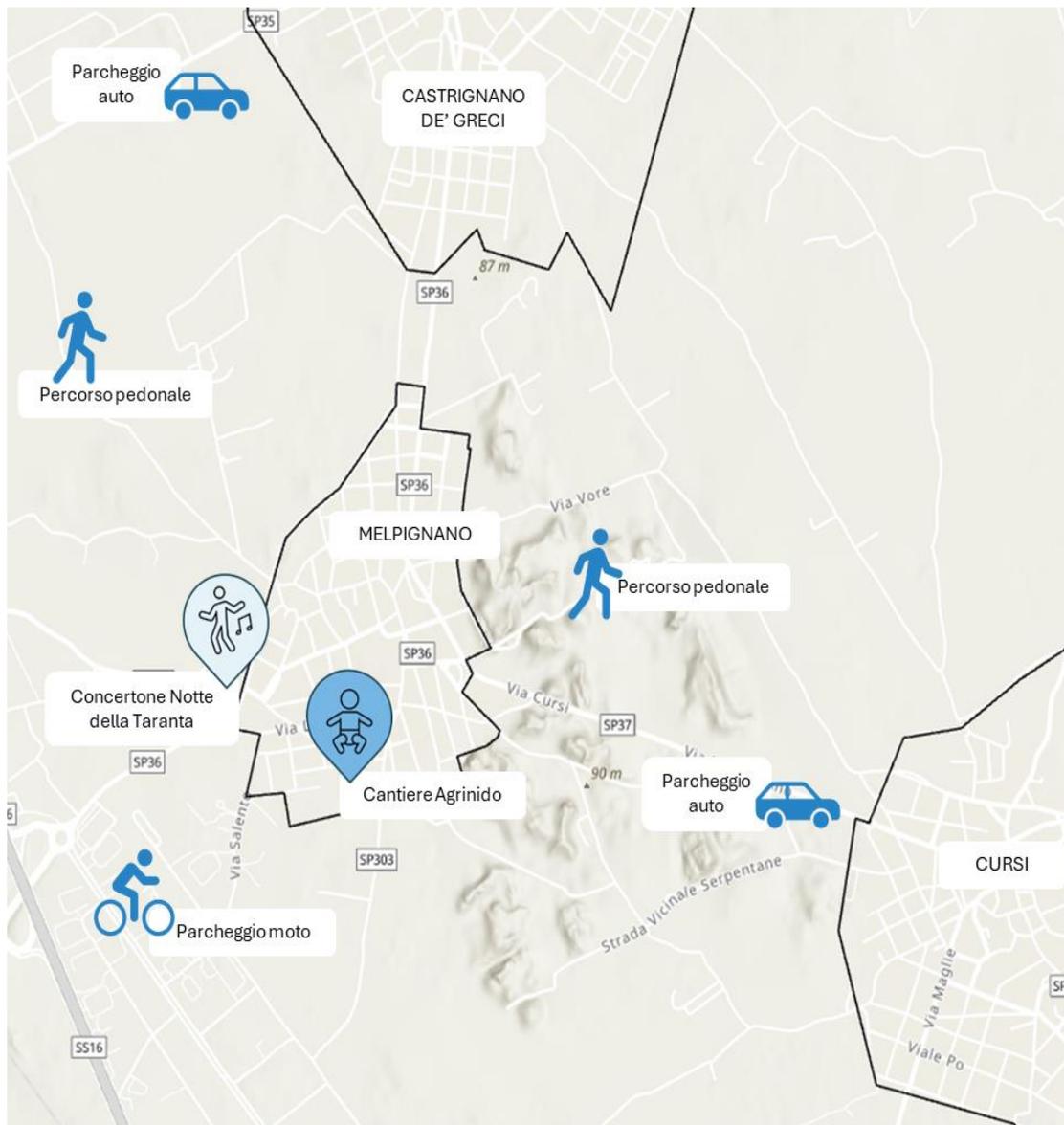


Figura 10: Cartografia rappresentativa dell'area dei comuni di riferimento con indicazione di dove si svolge la notte della Taranta, elaborazione propria.

In conclusione, questi due esempi hanno messo in luce la complessità derivante dalla presenza di cantieri situati in prossimità di eventi temporanei che registrano picchi elevati di affluenza. Si è evidenziato come la gestione delle emergenze diventi cruciale in contesti caratterizzati da un elevato afflusso di persone, richiedendo una pianificazione meticolosa e un coordinamento tra diversi enti. Le difficoltà maggiori infatti sono proprio dovute a questi flussi straordinari che vengono analizzati e pianificati negli specifici piani di sicurezza degli eventi di pubblico spettacolo. Tuttavia, non bisogna però trascurare questi aspetti di sicurezza quando si redigono i piani di gestione delle emergenze di cantieri anche di piccole dimensioni perché questo rappresenta un aspetto cruciale per garantire la sicurezza dei lavoratori.

4. Valutazione del rischio

Dopo aver descritto i diversi casi studio si vuole focalizzare l'attenzione sulla valutazione del rischio. Innanzitutto, si andrà ad esplicitare quali siano le prescrizioni di normativa in Italia per i luoghi di lavoro nell'ambito della valutazione dei rischi, enfatizzando cosa viene previsto nel caso dei cantieri edili. Dopodiché, verrà proposto uno strumento integrativo di valutazione del rischio, pensato per valutare le specificità dei cantieri in esame e considerare fattori particolari che potrebbero influenzare la gestione della sicurezza e delle emergenze nei contesti analizzati.

4.1 *La valutazione dei rischi ai sensi del D.lgs. 81/2008*

In ambito di valutazione dei rischi, il riferimento fondamentale è sempre il D.lgs. 81 del 2008 (TUS) che definisce cosa è, chi la fa e perché è così importante. Infatti, all'Articolo 2 la valutazione dei rischi viene definita come la *“valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza.”* Dunque, la valutazione dei rischi è un aspetto fondamentale nell'ambito della sicurezza dei lavoratori ed è un obbligo non delegabile del datore di lavoro. Tale analisi viene concretizzata nel Documento di Valutazione del Rischio (DVR) che viene redatto dal datore di lavoro in collaborazione con il responsabile del servizio prevenzione e protezione (RSPP), il medico competente e consultando anche il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza (RLS). Per quanto riguarda i contenuti e la modalità di redazione del DVR, questi vengono illustrati alla Sezione II del Titolo I, Articoli 28 e 29. Innanzitutto, la valutazione deve considerare tutti i rischi ragionevolmente prevedibili, includendo lo stress lavoro-correlato, i rischi per le lavoratrici in stato di gravidanza, quelli legati alle differenze di genere, età e provenienza da altri Paesi. Devono inoltre essere presi in considerazione i rischi connessi alla tipologia contrattuale e la possibilità di rinvenimento di ordigni bellici inesplosi. Il risultato finale di questa analisi si concretizza nel DVR che deve contenere una relazione completa sulla valutazione di tutti i rischi per la salute e la sicurezza durante l'attività lavorativa, le misure di prevenzione e protezione attuate e i DPI adottati in seguito alla valutazione.

In ambito di valutazione dei rischi è utile riportare la definizione presente nel D.lgs. 81 all'Articolo 2: “«rischio»: *probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione*”.

Questa definizione è in linea con gli standard internazionali ISO 31000 e ISO 12100, che stabiliscono linee guida per la gestione del rischio. La metodologia prevede di valutare il rischio attraverso la formula:

$$R = P \times D$$

Dove P rappresenta la probabilità di accadimento di un evento dannoso e D indica la gravità del danno che l'evento potrebbe causare. Questi due fattori, moltiplicati tra loro, forniscono una misurazione quantitativa del rischio. Per semplificare il processo di valutazione, entrambe le variabili vengono comunemente rappresentate su una scala numerica che va da 1 a 4. Questo sistema di punteggio consente di identificare i livelli di rischio con maggiore precisione, classificandoli in categorie gestibili e guidando l'adozione di misure preventive appropriate.

Per quanto concerne la probabilità i valori di riferimento sono:

| VALORE | DEFINIZIONE | SPIEGAZIONE |
|--------|-----------------|---|
| 1 | Improbabile | Non si sono verificati episodi simili |
| 2 | Poco probabile | Vi sono rari episodi simili che si sono verificati |
| 3 | Probabile | Vi è qualche episodio in cui il pericolo ha causato danno |
| 4 | Molto probabile | Vi sono molti episodi in cui il pericolo ha causato danno |

Tabella 3: valori di probabilità di accadimento, elaborazione propria.

Per quanto concerne la gravità del danno, invece:

| VALORE | DEFINIZIONE | SPIEGAZIONE |
|--------|---------------|---|
| 1 | Lieve | Infortunio con effetti rapidamente reversibili |
| 2 | Significativo | Infortunio con lesioni reversibili a medio termine |
| 3 | Grave | Infortunio con lesioni irreversibili o invalidità parziale |
| 4 | Gravissimo | Infortunio con lesioni irreversibili e invalidità totale o conseguenze letali |

Tabella 4: valori gravità del danno, elaborazione propria.

Pertanto, il datore di lavoro valuta i rischi legati a ciascuna attività combinando la probabilità di accadimento con la gravità del danno, ottenendo così il preciso livello di rischio. Incrociando questi due fattori (P e D), è possibile costruire una matrice del rischio: uno strumento efficace per determinare se il livello di rischio è accettabile in un preciso contesto lavorativo o se, al contrario, sono necessarie misure compensative per ridurlo. Un esempio di matrice del rischio, dunque, presenta la seguente conformazione:

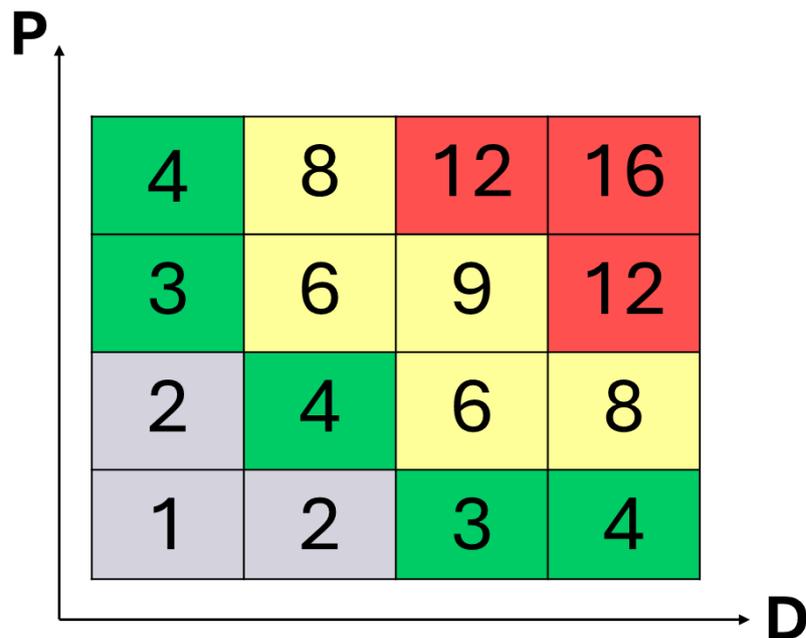


Figura 11: Esempio di matrice del rischio, elaborazione propria.

Le diverse aree colorate della matrice contraddistinte da un intervallo di valori corrispondono a livelli di rischio differenti, che vanno dal meno rischioso alle situazioni più pericolose e mortali. L'area grigia indica un rischio basso, dove gli infortuni che possono verificarsi sono generalmente lievi e rapidamente reversibili. L'area verde rappresenta il rischio accettabile, gli infortuni possono avere effetti a medio termine, ma rimangono comunque reversibili. L'area gialla segnala un rischio notevole, in questo caso esiste la possibilità di infortuni con conseguenze serie, come invalidità parziale o effetti irreversibili. Il datore di lavoro, in presenza di rischi di questo tipo, deve prendere in considerazione l'adozione di misure preventive più rigorose, per evitare che l'esposizione a tali rischi possa compromettere gravemente la salute e la sicurezza dei lavoratori. Infine, l'area rossa rappresenta il rischio elevato, caratterizzato da eventi potenzialmente letali o che possono causare invalidità totale. Quando un'attività rientra in questa zona, è imperativo intervenire immediatamente

per ridurre il rischio, adottando misure drastiche di mitigazione o, in casi estremi, sospendendo l'attività fino a quando non sia possibile operare in condizioni di sicurezza, ovvero con un livello di rischio accettabile. Al fine di ridurre il rischio, sono possibili due principali strategie e cioè intervenire sulla probabilità del rischio o sull'entità del danno. Diminuire la probabilità che l'evento rischioso si verifichi vuol dire intensificare le misure preventive, che mirano a ridurre la frequenza del rischio. Ad esempio, implementare la formazione e addestramento del personale, la manutenzione regolare delle attrezzature o il monitoraggio continuo delle attività lavorative. Qualora le misure di prevenzione non fossero di per sé risolutive occorre è agire sull'entità del danno mediante l'adozione di misure protettive che permettano di minimizzare le conseguenze nel caso in cui l'infortunio dovesse verificarsi. Ad esempio, l'uso di dispositivi di protezione individuale o collettiva e l'introduzione di tecnologie avanzate per la sicurezza per la protezione dei lavoratori.

Queste prescrizioni vengono definite dal Decreto 81/2008 per tutti i luoghi di lavoro, tuttavia, quando si tratta di cantieri edili bisogna far riferimento alle specifiche indicazioni presenti al Titolo IV dello stesso decreto. In un cantiere, infatti, i lavoratori sono esposti ad una vasta gamma di rischi data la variabilità e la dinamicità delle attività che sono chiamati ad eseguire. È possibile eseguire una distinzione fra rischi per la sicurezza, per la salute e i cosiddetti rischi trasversali o organizzativi. I rischi per la sicurezza sono quelli che minacciano l'incolumità fisica dei lavoratori e sono spesso i più pericolosi, poiché possono causare lesioni temporanee, permanenti o, nei casi più gravi, la morte. Tra i più comuni vi sono:

- Rischio di caduta dall'alto → si verifica quando il lavoratore opera ad una quota superiore a 2m rispetto ad un piano stabile. Si tratta di uno dei rischi più comuni nei cantieri date le numerose lavorazioni in quota, la presenza di ponteggi o altre opere provvisorie che espongono i lavoratori al pericolo di caduta.
- Rischio di seppellimento → tipico nelle operazioni di scavo, in particolare quando si lavorano trincee o fossati con profondità superiori a 1,50 metri.
- Rischio di schiacciamento → questo rischio può derivare dalla presenza di macchinari pesanti, che potrebbero ribaltarsi, o da carichi non adeguatamente assicurati.
- Rischio caduta materiali dall'alto → in cantiere, generalmente, vi è la presenza di macchinari per il sollevamento materiali (come la gru a torre) che comporta

il rischio di caduta gravi dall'alto sui lavoratori.

- Rischi da elettrocuzione → dovuto ad eventuali guasti dell'attrezzatura elettrica utilizzata in cantiere o in generale dalla presenza di impianti elettrici in tensione.

I rischi per la salute sono quelli che, a lungo termine, comportano l'insorgere di malattie professionali nei lavoratori e sono dovuti all'esposizione prolungata ad agenti fisici, chimici e biologici in cantiere. A differenza degli infortuni, le malattie professionali si sviluppano gradualmente nel tempo e spesso i sintomi emergono solo dopo anni di esposizione continuativa. I principali rischi per la salute sono:

- Rischio esposizione rumore e vibrazioni → questi rischi sono dovuti principalmente all'utilizzo costante di macchinari rumorosi e attrezzature che generano vibrazioni. L'esposizione prolungata a livelli elevati di rumore può causare ipoacusia, ovvero l'indebolimento dell'udito, mentre le vibrazioni possono danneggiare il sistema nervoso e circolatorio, fino a causare disturbi vascolari.
- Rischio chimico → nei cantieri edili, i lavoratori possono essere esposti a diverse sostanze chimiche sotto forma di polveri, liquidi o gas. Queste sostanze, come solventi, vernici o cementi, possono essere tossiche se inalate o se assorbite attraverso la pelle. Tra i rischi chimici più pericolosi vi è l'esposizione all'amianto, un materiale che può liberare fibre estremamente pericolose se inalate, causando malattie gravi come il mesotelioma pleurico o il carcinoma polmonare.
- Rischio biologico → anche se meno evidente, il rischio biologico è presente in cantieri dove vi è esposizione ad agenti patogeni come batteri, virus, funghi e parassiti. Questo rischio può derivare da ambienti insalubri o dal contatto con materiali contaminati e comporta lo sviluppo di malattie infettive.

Infine, vi sono i rischi trasversali o organizzativi, che derivano dalla gestione e dall'organizzazione del lavoro all'interno del cantiere. Questi rischi non sono direttamente legati all'ambiente fisico o ai materiali utilizzati, ma emergono dalle dinamiche lavorative, dall'interazione tra diverse imprese presenti sul cantiere e dalle modalità con cui sono organizzate le attività. Un'organizzazione efficiente del cantiere e delle singole lavorazioni permette da un lato di gestire in modo efficace i rischi derivanti da lavorazioni interferenti, dall'altro contribuisce a ridurre il rischio di stress lavoro – correlato tra i lavoratori, che può essere causato da un ambiente di lavoro

disorganizzato o non ergonomico.

La valutazione dei rischi in cantiere viene formalizzata mediante i due documenti fondamentali in termini di sicurezza: PSC e POS. Come menzionato in precedenza, il Piano di Sicurezza e Coordinamento viene redatto dal CSP e rappresenta il riferimento principale per la gestione delle attività interferenti. Tuttavia, il PSC non si limita solo a questo aspetto: deve contenere anche una relazione in cui vengono individuati, analizzati e valutati tutti i rischi con riferimento all'area e all'organizzazione del cantiere, alle lavorazioni e le loro interferenze. Secondo l'Allegato XV del D.lgs. 81/2008 viene riportato che: *“in riferimento alle lavorazioni, il coordinatore per la progettazione suddivide le singole lavorazioni in fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richiede, in sottofasi di lavoro, ed effettua l'analisi dei rischi presenti, con riferimento all'area e alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni e alle loro interferenze, ad esclusione di quelli specifici propri dell'attività dell'impresa”*. Dunque, nel PSC, vengono valutati tutti i rischi generali che non sono connessi specificatamente all'attività delle imprese esecutrici. I rischi specifici legati alle lavorazioni proprie di ciascuna impresa sono invece trattati nel POS, che deve essere redatto dal datore di lavoro di ogni impresa esecutrice. Il POS rappresenta, in sostanza, una versione del DVR ma focalizzata sulle attività specifiche dell'impresa nel contesto del cantiere. Infatti, il datore di lavoro deve indicarvi tutte le misure preventive e protettive che verranno adottate per mitigare i rischi legati alle singole lavorazioni, integrando quanto già previsto nel PSC.

In sintesi, il PSC costituisce la base per la gestione complessiva della sicurezza durante tutte le fasi del lavoro in cantiere, il POS, d'altro canto, svolge una funzione più specifica, analizzando i rischi connessi a ogni singola fase e sottofase operativa. La verifica della coerenza dei due documenti spetta al Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione (CSE). Egli, infatti, deve assicurarsi che il POS di ciascuna impresa esecutrice sia coerente con le prescrizioni generali espresse nel PSC e che non presenti contraddizioni.

In sintesi, il Decreto 81/2008 definisce le modalità di esecuzione della valutazione dei rischi in tutti i luoghi di lavoro, fornendo anche delle specifiche aggiuntive nel caso dei cantieri.

4.2 La matrice dei rischi nell'ambito della gestione delle emergenze

In base a quanto riportato, la normativa italiana definisce le prescrizioni e gli obblighi che i soggetti coinvolti devono rispettare al fine di eseguire correttamente sia la valutazione del rischio che le misure di gestione delle emergenze. Tuttavia, non viene illustrata una metodologia apposita da seguire nel caso di cantieri, come quelli presentati, che presentano delle particolarità che non dipendono direttamente da fattori interni ma per i quali sarebbe opportuno prevedere delle misure aggiuntive in termini di sicurezza. Il problema principale è quello legato all'imprevedibilità delle situazioni che possono verificarsi e che potrebbero portare a esiti negativi in caso di infortunio. Si pensi, ad esempio, ai cantieri del Teatro Regio e del Muso Egizio, la loro posizione così centrale potrebbe generare, in momenti di particolare affollamento delle piazze prospicienti, dei ritardi notevoli in caso di emergenza; oppure il complesso commerciale milanese "CityLife" caratterizzato dalla compresenza di grandi flussi di persone, o eventi unici come il Gran Premio o la Notte della Taranta che attraggono migliaia di spettatori in particolari momenti dell'anno. Questi contesti presentano condizioni che esulano dalle condizioni standard e sono particolarmente influenzati dalle condizioni ambientali del nostro paese, caratterizzato dalla ricchezza di siti storici e artistici e limitata disponibilità di spazi.

La gestione di queste situazioni richiede un approccio mirato al fine di prevedere misure specifiche che tengano conto del cantiere nello specifico contesto circostante. Per questo motivo, oltre ad una valutazione del rischio di tipo standard, si propone una matrice del rischio integrativa che consenta di analizzare le peculiarità specifiche dei cantieri e di comprendere rapidamente se siano necessarie delle misure aggiuntive per compensare il maggiore rischio dovuto alle caratteristiche del cantiere stesso. In questo modo, nonostante la variabilità di situazioni che possono verificarsi, si è voluto creare uno strumento che possa essere adattato a tutti quei casi in cui sia necessario approfondire il tema della gestione delle emergenze. La matrice integrativa è pensata per valutare in modo approfondito e specifico tre aspetti fondamentali che incidono sulla gestione delle emergenze nei cantieri:

- Caratteristiche geometrico funzionali dell'edificio
- Contesto urbanistico
- Caratteristiche degli occupanti.

Per ogni cantiere, questi tre ambiti vengono analizzati in dettaglio, e a ciascuno viene

assegnato un valore, da 1 a 4, in base alla complessità e al livello di rischio individuato. Il primo aspetto mira ad analizzare l'influenza sulle operazioni di soccorso in emergenza delle caratteristiche geometrico – funzionali, sia che si tratti di un cantiere in un edificio esistente che nel caso di una nuova costruzione. Si considera innanzitutto la presenza di piani interrati, che rappresentano una criticità per l'evacuazione e l'intervento dei soccorsi a causa della loro scarsa o complicata accessibilità e dei tempi di evacuazione più lunghi. Inoltre, si evidenzia il numero di piani fuori terra dell'edificio, la distribuzione e organizzazione dei percorsi interni e la complessità geometrica in termini di forma dell'edificio. Infine, si considera anche l'eventuale presenza di luoghi a rischio specifico, cioè delle particolari aree dell'edificio che possono presentare dei rischi che richiedono misure di intervento altamente avanzate e specifiche. Esempi di tali luoghi includono potenzialmente ambienti confinati, aree che necessitano bonifiche per la presenza di amianto, zone a rischio chimico, biologico, radiologico, ecc.

| <i>PUNTEGGIO</i> | <i>Piani interrati</i> | <i>Numero di piani fuori terra</i> | <i>Percorsi</i> | <i>Forma</i> | <i>Presenza di luoghi a rischio specifico</i> |
|------------------|--|---|--|---|--|
| 1 | Nessun piano interrato | Edificio basso, fino a due piani fuori terra | Percorsi semplici, lineari, ben segnalati e con accessi ampi e diretti | Edificio di forma regolare, con facile distribuzione degli spazi e delle vie di fuga | Nessun luogo a rischio specifico |
| 2 | 1 piano interrato facilmente accessibile | Edificio di medie dimensioni, fra i 3 e 5 piani fuori terra | Percorsi mediamente complessi, con qualche curva o cambio di direzione | Edificio con forma moderatamente irregolare (a "L" o a "T"), con un'organizzazione più complessa dei percorsi interni | Presenza di un numero limitato di luoghi a rischio specifico (piccole aree con materiali pericolosi) |
| 3 | 2-3 piani interrati con accessi ridotti | Edificio alto, tra i 6 e i 10 piani fuori terra | Percorsi articolati e differenziati che necessitano di opportuna segnaletica per essere identificati | Edificio con una forma irregolare complessa, con aree più difficili da raggiungere o percorsi frammentati (a "U" o circolare) | Numerosi luoghi a rischio specifico controllabili con misure di sicurezza standard. |

| | | | | | |
|----------|---|--|---|--|---|
| 4 | Oltre 3 piani interrati con accessi complessi, vie di fuga limitate e difficoltà di intervento per i soccorritori | Grattacielo o edificio molto alto, oltre dieci piani fuori terra | Percorsi intricati, corridoi labirintici con molteplici vie di accesso o uscita | Edificio con forma altamente irregolare con geometrie non convenzionali (facciate non lineari, superfici ondulate, strutture reticolari) | Aree con alta concentrazione di luoghi a rischio specifico (sezioni contenenti amianto, rischi biologici o ambienti confinati) che richiedono misure di protezione straordinarie. |
|----------|---|--|---|--|---|

Tabella 5: definizione dei punteggi da attribuire in termini di caratteristiche geometriche e funzionali, elaborazione propria.

Il secondo aspetto riguarda l'analisi del contesto urbanistico in cui il cantiere si inserisce. Pertanto, si valuta l'accessibilità dei mezzi di soccorso, che può influire sui tempi di intervento in caso di emergenza, i vincoli dell'area, come restrizioni ambientali o edifici storici, la densità edilizia, che complica logistica e operazioni di evacuazione, e infine la frequenza di manifestazioni ed eventi pubblici, che può aumentare il traffico e i rischi operativi.

CONTESTO URBANISTICO

| <i>PUNTEGGIO</i> | <i>Accessibilità dei mezzi di soccorso</i> | <i>Vincoli</i> | <i>Densità edilizia</i> | <i>Manifestazioni ed eventi pubblici</i> |
|------------------|--|---|--|--|
| 1 | Accesso diretto senza ostacoli, strade ampie | Nessun vincolo o restrizione | Aree a bassa densità edilizia (edifici distanziati e ampi spazi) | Nessun evento pubblico rilevante |
| 2 | Accesso generalmente buono ma con qualche limitazione (strade strette, sensi unici) | Vincoli minori legati al fatto che si tratti di un edificio in funzione | Aree a media densità edilizia (edifici raggruppati ma non troppo vicini) | Eventi pubblici occasionali e di piccola portata |
| 3 | Accesso difficile con ostacoli significativi (zone pedonali, strade strette, traffico intenso) | Vincoli significativi (edifici storici, aree di interesse pubblico) | Aree densamente edificate (edifici molto vicini e spazi ridotti) | Eventi pubblico regolari o di media portata |

| | | | | |
|----------|--|---|---|---|
| 4 | Accesso limitato o quasi impossibile con barriere fisiche o restrizioni urbane (ZTL, strade chiuse o bloccate) | Vincoli stringenti (aree protette, vincoli paesaggistici) | Aree estremamente edificate (edifici strettamente ravvicinati e pochissimo spazio di manovra) | Eventi pubblici frequenti o di grande portata |
|----------|--|---|---|---|

Tabella 6: definizione dei punteggi in termini di contesto urbanistico, elaborazione propria.

Infine, l'ultimo aspetto da considerare riguarda le caratteristiche degli occupanti dell'edificio in cui si svolge il cantiere. L'accessibilità di pubblico esterno, infatti, può costituire un fattore critico in caso di emergenza, poiché è essenziale garantirne la sicurezza ed evitare il coinvolgimento nell'incidente, assicurando un'evacuazione rapida e senza complicazioni. Nello specifico si valuteranno le caratteristiche degli occupanti prevalenti e cioè presenti in maggior numero nelle situazioni considerate. Gli aspetti che si analizzano sono il numero degli occupanti, la tipologia, la diversa familiarità con l'edificio e la durata della loro permanenza.

OCCUPANTI

| <i>PUNTEGGIO</i> | <i>Numero degli occupanti</i> | <i>Tipologia di occupanti</i> | <i>Familiarità con l'edificio</i> | <i>Durata della permanenza</i> |
|------------------|-------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| 1 | Fino a 50 occupanti | Solo personale formato e addestrato | Occupanti con familiarità con l'edificio (personale) | Permanenza prolungata (personale) |
| 2 | Da 51 – 200 a occupanti | Presenza di occupanti non formati (pubblico generico) | Occupanti moderatamente familiari con l'edificio (visitatori frequenti) | Permanenza frequente ma non costante |
| 3 | Da 201 - 1000 occupanti | Occupanti con esigenze speciali (anziani, bambini) | Occupanti con scarsa familiarità (pubblico occasionale) | Permanenza breve e occasionale |
| 4 | Oltre 1000 occupanti | Occupanti con esigenze complesse (disabili) | Occupanti estranei alla struttura (grandi eventi o partecipanti esterni) | Occupanti temporanei e sporadici |

Tabella 7: definizione dei punteggi per gli occupanti, elaborazione propria.

In questo modo è possibile studiare per qualsiasi cantiere se presenta delle caratteristiche tali per cui è necessario eseguire ulteriori valutazioni in termini di gestione delle emergenze. Si ottiene così un quadro completo dei fattori più critici, come la struttura architettonica e le dimensioni nel caso in cui cantiere si svolga in un

edificio esistente; il contesto urbano per valutare la raggiungibilità dei mezzi di soccorso dall'esterno e infine, la presenza di occupanti esterni al cantiere, considerando quanti sono e le loro caratteristiche.

4.3 Applicazione della matrice integrativa del rischio ai casi studio

Una volta definiti i punteggi per ciascuna delle tre categorie, è possibile applicare la matrice del rischio integrativa agli esempi di cantieri proposti. Innanzitutto, i punteggi verranno assegnati in base alle caratteristiche specifiche di ogni cantiere, utilizzando le tabelle precedenti come riferimento e considerando quello che viene definito il momento più sfavorito. Questo vuol dire che verranno prese in esame le condizioni più critiche che si possono avere in cantiere, perché sono queste che vengono considerate in fase di redazione dei piani di emergenza. Successivamente, si calcolerà una media aritmetica dei punteggi per ciascuna categoria, ottenendo un valore rappresentativo per lo specifico contesto, le caratteristiche geometriche e funzionali, e la presenza di occupanti. Per ottenere il punteggio complessivo, verrà poi applicata una media ponderata dei tre valori, assegnando un peso maggiore al contesto urbanistico (0,5), seguito dalle caratteristiche geometriche e funzionali (0,4) e infine dalla presenza di occupanti (0,1). Questo approccio mira a dare maggiore rilevanza a quegli elementi che influenzano maggiormente le operazioni in cantiere durante una situazione di emergenza. Per questo motivo, l'aspetto che ha il "peso" maggiore è il contesto urbanistico poiché aree urbane complesse e poco accessibili potrebbero ritardare l'arrivo tempestivo dei soccorsi così come il loro operato sul posto. Viene, dunque, dato maggior risalto alla raggiungibilità del cantiere dall'esterno, seguita dalla complessità strutturale dell'edificio, che può influenzare la velocità di evacuazione e le operazioni di soccorso, e infine, alla presenza di persone esterne. Questo perché, la presenza di terzi, è un aspetto che viene tenuto in conto in fase di pianificazione della sicurezza in cantiere ed è collegato a fattori come lo spazio disponibile e le dinamiche di evacuazione. In un cantiere che si svolge in un grande spazio all'aperto, ad esempio, le operazioni di evacuazione risultano generalmente più agevoli rispetto a un cantiere in un'area limitata, dove i percorsi di fuga possono essere più difficili da gestire. Inoltre, nella maggior parte dei casi, la presenza simultanea di personale esterno e dei lavoratori di cantiere viene evitata per ridurre i rischi per i terzi, minimizzando così potenziali interferenze che potrebbero aumentare il livello di pericolo per le persone non coinvolte direttamente nei lavori. Una volta ottenuto il punteggio finale, questo

permetterà di valutare il livello di rischio e definire le misure da adottare secondo una scala qualitativa:

- 1: Non sono necessarie misure integrative.
- 1,1 - 1,9: Necessarie misure integrative minime.
- 2 - 2,4: Necessarie misure integrative moderate.
- 2,5 - 3,4: Necessarie misure integrative significative.
- 3,5 - 4: Necessarie misure integrative urgenti e complesse per rischio elevato.



Figura 12: scala qualitativa per la valutazione del rischio, elaborazione propria.

Questo approccio consente di personalizzare la gestione delle emergenze per ogni cantiere, garantendo che le misure siano proporzionate al rischio specifico di ogni situazione. Il primo esempio analizzato è relativo al cantiere di trasformazione del Museo Egizio, per cui sulla base delle caratteristiche dello stesso definite al paragrafo 3.1, si assegnano i punteggi delle diverse categorie:

CARATTERISTICHE GEOMETRICO - FUNZIONALI

| CANTIERE | Piani interrati | Numero di piani fuori terra | Percorsi | Forma | Luoghi a rischio specifico | Media |
|--------------|-----------------|-----------------------------|----------|-------|----------------------------|-------------|
| Museo Egizio | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2,20 |

CONTESTO URBANISTICO

| CANTIERE | Accessibilità dei mezzi di soccorso | Vincoli | Densità edilizia | Manifestazioni ed eventi pubblici | Media |
|--------------|-------------------------------------|---------|------------------|-----------------------------------|-------------|
| Museo Egizio | 4 | 3 | 4 | 4 | 3,75 |

OCCUPANTI

| CANTIERE | Numero degli occupanti /gg | Tipologia di occupanti | Familiarità con l'edificio | Durata della permanenza | Media |
|--------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| Museo Egizio | 3 | 2 | 3 | 3 | 2,75 |

| | |
|------------------------|-------------|
| MEDIA PONDERATA | 3,05 |
|------------------------|-------------|

Tabella 8: matrice integrativa del rischio per il Museo Egizio, elaborazione propria.

La matrice integrativa del rischio per il cantiere al Museo Egizio indica un livello di rischio elevato, con un punteggio compreso tra 2,5 e 3,4, il che richiede l'adozione di misure compensative significative. L'elemento più critico risulta essere il contesto urbanistico: il museo si trova in un'area ad alta densità edilizia, con vie pedonali che limitano l'accessibilità ai mezzi di soccorso, aggravando ulteriormente i tempi di intervento in caso di emergenza. Questo problema è esacerbato dalla frequente presenza di manifestazioni ed eventi pubblici che aumentano il rischio di interferenze esterne. Anche la presenza di un pubblico eterogeneo, oltre ai lavoratori del cantiere, rappresenta un aspetto delicato, poiché coinvolge individui con diversa familiarità con l'edificio. In contrasto, il fattore geometrico-funzionale ha un impatto minore sul rischio complessivo, dato che l'edificio ha una struttura semplice e regolare, facilitando le operazioni di evacuazione e intervento.

Per quanto riguarda il Teatro Regio di Torino, la matrice integrativa del rischio:

CARATTERISTICHE GEOMETRICO - FUNZIONALI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Piani interrati</i> | <i>Numero di piani fuori terra</i> | <i>Percorsi</i> | <i>Forma</i> | <i>Luoghi a rischio specifico</i> | Media |
|---------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Teatro Regio | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3,60 |

CONTESTO URBANISTICO

| <i>CANTIERE</i> | <i>Accessibilità dei mezzi di soccorso</i> | <i>Vincoli</i> | <i>Densità edilizia</i> | <i>Manifestazioni ed eventi pubblici</i> | Media |
|---------------------|--|----------------|-------------------------|--|--------------|
| Teatro Regio | 4 | 3 | 4 | 4 | 3,75 |

OCCUPANTI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Numero degli occupanti /gg</i> | <i>Tipologia di occupanti</i> | <i>Familiarità con l'edificio</i> | <i>Durata della permanenza</i> | Media |
|---------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Teatro Regio | 3 | 2 | 2 | 2 | 2,25 |

| | |
|------------------------|-------------|
| MEDIA PONDERATA | 3,54 |
|------------------------|-------------|

Tabella 9: matrice integrative del rischio per il Teatro Regio, elaborazione propria.

Come si osserva, si ottiene un punteggio maggiore rispetto al Museo Egizio, rientrando sempre nella fascia di rischio elevata, per cui sono necessarie delle misure integrative specifiche per compensare tale livello di rischio. Le maggiori criticità in questo caso sono legate sia alle caratteristiche geometrico funzionali dell'edificio che al contesto urbanistico. Il Teatro Regio, infatti, presenta una conformazione architettonica

altamente complessa con numerosi piani interrati, coperture paraboliche e una moltitudine di locali e ambienti interni. Inoltre, a 12 metri di profondità trovano collocazione numerosi impianti tecnologici avanzati che utilizzano anche miscele e sostanze pericolose. Oltre a questo aspetto, il Regio è inserito nel medesimo contesto urbanistico del Museo Egizio, caratterizzato da strade strette, elevata densità edilizia e frequenti manifestazioni pubbliche e sportive. L'aspetto meno critico riguarda la presenza di occupanti, in quanto si considera un cantiere di manutenzione che è attivo in una fascia oraria in cui non vi sono degli spettacoli teatrali. Si considera, tuttavia, la presenza di personale all'interno del teatro che, ad esempio, si sta occupando del montaggio della scenografia, delle prove musicali o semplicemente dell'allestimento di sala in vista del prossimo evento in programma.

Considerando, invece, il grattacielo Allianz presso CityLife di Milano:

CARATTERISTICHE GEOMETRICO - FUNZIONALI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Piani interrati</i> | <i>Numero di piani fuori terra</i> | <i>Percorsi</i> | <i>Forma</i> | <i>Luoghi a rischio specifico</i> | <i>Media</i> |
|-----------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| CityLife | 4 | 4 | 2 | 3 | 2 | 3,00 |

CONTESTO URBANISTICO

| <i>CANTIERE</i> | <i>Accessibilità dei mezzi di soccorso</i> | <i>Vincoli</i> | <i>Densità edilizia</i> | <i>Manifestazioni ed eventi pubblici</i> | <i>Media</i> |
|-----------------|--|----------------|-------------------------|--|--------------|
| CityLife | 3 | 2 | 2 | 3 | 2,50 |

OCCUPANTI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Numero degli occupanti /gg</i> | <i>Tipologia di occupanti</i> | <i>Familiarità con l'edificio</i> | <i>Durata della permanenza</i> | <i>Media</i> |
|-----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|
| CityLife | 4 | 2 | 1 | 1 | 2,00 |

| | |
|------------------------|-------------|
| MEDIA PONDERATA | 2,65 |
|------------------------|-------------|

Tabella 10: matrice integrativa del rischio per il grattacielo Allianz a CityLife, elaborazione propria.

Il punteggio complessivo per il cantiere del grattacielo Allianz risulta inferiore rispetto ai casi precedenti, ma rientra comunque nella fascia di rischio alto. La complessità è dovuta alla natura stessa dell'edificio, trattandosi di un edificio a grande altezza in caso di evacuazione di emergenza vi potrebbero essere dei problemi di raggiungibilità da parte dei soccorsi, soprattutto ai piani più alti. Anche il contesto urbanistico pone delle sfide, in particolare per quanto riguarda il possibile affollamento delle vie circostanti durante un'evacuazione di massa. Sebbene l'area non sia caratterizzata da una densità

edilizia elevata, il flusso di persone potrebbe ostacolare l'arrivo tempestivo dei mezzi di soccorso. Per quanto riguarda gli occupanti, il profilo prevalente è costituito dal personale che lavora stabilmente nel grattacielo. Questi individui hanno una buona familiarità con l'edificio e sono addestrati su come comportarsi in caso di emergenza, riducendo così il rischio legato alla gestione delle persone durante un'evacuazione.

Gli ultimi due esempi differiscono rispetto ai casi precedenti poiché non riguardano cantieri all'interno di edifici esistenti, ma sono relativi alla costruzione ex novo di una scuola elementare e di un asilo nido. Questi progetti si trovano in prossimità di aree che, seppur in maniera occasionale, ospitano eventi di grande rilevanza, come il Gran Premio d'Italia e la Notte della Taranta. Andando a definire la matrice integrativa del rischio si evidenziano delle differenze rispetto ai precedenti casi:

CARATTERISTICHE GEOMETRICO - FUNZIONALI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Piani interrati</i> | <i>Numero di piani fuori terra</i> | <i>Percorsi</i> | <i>Forma</i> | <i>Luoghi a rischio specifico</i> | <i>Media</i> |
|-------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Vedano al Lambro | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1,20 |

CONTESTO URBANISTICO

| <i>CANTIERE</i> | <i>Accessibilità dei mezzi di soccorso</i> | <i>Vincoli</i> | <i>Densità edilizia</i> | <i>Manifestazioni ed eventi pubblici</i> | <i>Media</i> |
|-------------------------|--|----------------|-------------------------|--|--------------|
| Vedano al Lambro | 2 | 2 | 2 | 4 | 2,50 |

OCCUPANTI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Numero degli occupanti /gg</i> | <i>Tipologia di occupanti</i> | <i>Familiarità con l'edificio</i> | <i>Durata della permanenza</i> | <i>Media</i> |
|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Vedano al Lambro | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,50 |

| | |
|------------------------|-------------|
| MEDIA PONDERATA | 1,88 |
|------------------------|-------------|

Tabella 11: matrice integrativa del rischio per il cantiere di Vedano al Lambro nei pressi dell'Autodromo di Monza, elaborazione propria.

CARATTERISTICHE GEOMETRICO - FUNZIONALI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Piani interrati</i> | <i>Numero di piani fuori terra</i> | <i>Percorsi</i> | <i>Forma</i> | <i>Luoghi a rischio specifico</i> | Media |
|-------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------|--------------|-----------------------------------|--------------|
| Melpignano | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1,20 |

CONTESTO URBANISTICO

| <i>CANTIERE</i> | <i>Accessibilità dei mezzi di soccorso</i> | <i>Vincoli</i> | <i>Densità edilizia</i> | <i>Manifestazioni ed eventi pubblici</i> | Media |
|-------------------|--|----------------|-------------------------|--|--------------|
| Melpignano | 2 | 2 | 2 | 4 | 2,50 |

OCCUPANTI

| <i>CANTIERE</i> | <i>Numero degli occupanti /gg</i> | <i>Tipologia di occupanti</i> | <i>Familiarità con l'edificio</i> | <i>Durata della permanenza</i> | Media |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------|
| Melpignano | 1 | 3 | 1 | 1 | 1,50 |

| | |
|------------------------|-------------|
| MEDIA PONDERATA | 1,88 |
|------------------------|-------------|

Tabella 12: matrice integrativa del rischio per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria.

In questi due casi, il livello di rischio complessivo rientra nella fascia lieve. Entrambi i cantieri non presentano significative criticità legate alla complessità architettonica, né si trovano in contesti urbanistici particolarmente problematici. Tuttavia, l'unica fonte di potenziale complicazione è rappresentata dai grandi eventi annuali, come il Gran Premio d'Italia o la Notte della Taranta, che potrebbero generare situazioni complesse in caso di emergenze o incidenti durante i lavori. Infatti, si osserva come alla voce “manifestazioni ed eventi pubblici” in entrambi i casi si registra un punteggio di 4. Questo vuol dire che, nonostante si tratti di cantieri che non presentano particolari difficoltà, nell’ambito della gestione delle emergenze bisogna considerare eventi così importanti in fase di redazione del cronoprogramma, al fine di adottare le misure più adeguate in relazione al momento di contemporaneità delle attività di cantiere e di svolgimento della manifestazione.

Di seguito si presenta una panoramica riassuntiva di tutti i casi studio:

| Casi studio | Rischio Basso 1 | Rischio Lieve 1,1 – 1,9 | Rischio Moderato 2 – 2,4 | Rischio Alto 2,5 – 3,4 | Rischio Elevato 3,5 – 4 |
|---------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Museo Egizio | ○ | ○ | ○ | ○ | ● |
| Teatro Regio | ○ | ○ | ○ | ● | ○ |
| Grattacielo Allianz | ○ | ○ | ○ | ● | ○ |
| Vedano al Lambro | ○ | ● | ○ | ○ | ○ |
| Melpignano | ○ | ● | ○ | ○ | ○ |

Figura 13: Confronto risultati matrice integrativa del rischio per tutti i casi studio, elaborazione propria.

L'immagine allegata permette di trarre un quadro complessivo dei rischi legati ai cantieri analizzati nei diversi contesti. Si evidenzia come il Museo Egizio e il grattacielo Allianz sono classificati con un rischio alto (2,5–3,4), suggerendo la necessità di misure integrative importanti per migliorare la gestione delle emergenze. Nel caso del Museo Egizio tali misure devono compensare il maggiore rischio legato all'effettiva raggiungibilità dell'area, dove l'accessibilità dei mezzi di soccorso può risultare difficoltosa, e l'importanza storica dell'edificio, che comporta una maggiore presenza di visitatori, aumentando l'esposizione al rischio. La Torre Allianz, invece, presenta sfide legate alla sua conformazione architettonica, data l'altezza dell'edificio e la possibile difficoltà di completamento dell'evacuazione in caso di emergenza, nonché l'operato effettivo delle squadre di soccorso. Il caso studio che ha registrato il punteggio più elevato è il Teatro Regio, che ricade nella categoria di rischio elevato (3,5–4). Questo indica la necessità di studiare attentamente le operazioni di cantiere e prevedere un sistema di gestione delle emergenze che sia commisurato alla complessità architettonica dell'edificio, unitamente alla difficile accessibilità dei mezzi di soccorso. Infine, i cantieri in luoghi caratterizzati da grandi eventi pubblici, come Vedano al Lambro (MB) e Melpignano (LE), registrano un rischio lieve (1,1–1,9). Pur essendo meno pericolosi in termini di attività di cantiere, potrebbero esserci

dei risvolti critici in caso di emergenza durante lo svolgimento delle manifestazioni citate. Questa analisi mette in luce l'importanza di utilizzare strumenti integrativi, come la matrice del rischio, da integrare in un contesto più ampio di gestione delle emergenze. La matrice integrativa del rischio consente infatti di valutare con precisione le peculiarità di ciascun cantiere e, di conseguenza, di applicare misure personalizzate per la gestione delle emergenze. Ad esempio, pur essendo i cantieri del Teatro Regio e il Museo Egizio situati nello stesso contesto urbano, i rischi associati risultano profondamente diversi: mentre il Teatro Regio presenta una maggiore complessità architettonica, il Museo Egizio pone sfide differenti, legate maggiormente all'effettiva accessibilità dell'edificio. L'adozione della matrice permette di analizzare con maggiore precisione questi fattori di rischio e di proporre misure mirate e proporzionate al livello di rischio rilevato. Tale strumento può essere adoperato per differenti casi studio al fine di provare a comprendere in maniera rapida ed efficace e, soprattutto, già in fase anche di pianificazione di cantiere, se è necessario prevedere delle misure che vadano a compensare le situazioni gravose descritte. Nel capitolo successivo, a partire dai risultati di questa analisi, verranno proposte misure integrative specifiche per ciascuno dei casi studio analizzati. Tali misure saranno finalizzate a compensare i diversi rischi derivanti dalle peculiarità dei cantieri, con l'obiettivo di garantire un'efficace gestione delle emergenze, adattata alle specifiche esigenze di ciascun contesto. Questo approccio differenziato è essenziale per affrontare le sfide uniche che caratterizzano ciascun cantiere, da quelli situati in aree densamente popolate come centri storici, a quelli più isolati o dedicati a eventi temporanei con affluenza variabile.

5. Misure compensative per migliorare la gestione delle emergenze in cantiere

Fino a questo momento, sono stati innanzitutto individuati e analizzati i diversi casi studio da prendere in esame per l'analisi del sistema di gestione delle emergenze. Successivamente, è stato introdotto uno strumento integrativo alla tradizionale valutazione dei rischi al fine di comprendere se, per un determinato cantiere, è necessario prevedere delle misure specifiche in relazione al rischio rilevato. A questo punto, l'obiettivo è definire le diverse misure compensative da adottare per migliorare la gestione delle emergenze, tenendo conto delle specifiche caratteristiche di ciascun cantiere. Le soluzioni proposte mirano a rafforzare gli attuali piani di gestione delle emergenze che si focalizzano sulle principali situazioni emergenziali che possono verificarsi in cantiere, senza soffermarsi sul contesto specifico in cui il cantiere è inserito, aspetto che richiede una maggiore attenzione.

Come visto in precedenza, l'attuale normativa italiana in materia di salute e sicurezza sul lavoro prevede che il datore di lavoro disponga una valutazione di tutti i rischi ragionevolmente prevedibili e connessi con l'attività lavorativa nel suo contesto. Nel caso in cui la valutazione individui rischi classificati nelle aree "gialla" o "rossa" della matrice di rischio, ossia rischi considerati notevoli o elevati, è obbligatorio implementare misure preventive e/o protettive per ridurre tali rischi. Nei cantieri edili, ciò si concretizza attraverso la redazione e l'applicazione del Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) e del Piano Operativo di Sicurezza (POS). Come precedentemente evidenziato occorre tuttavia considerare elementi ulteriori, ovvero aggiungere misure preventive e protettive integrative e specifiche che possano migliorare l'intero sistema di gestione delle emergenze. Ciò si vede necessario, ad esempio, nel caso in cui si riscontrino delle problematiche in termini di accessibilità dei mezzi di soccorso come per cantieri in centri urbani densamente edificati, oppure in grattacieli in aree ad elevatissima presenza di persone o cantieri ubicati in luoghi che sporadicamente presentano picchi di affollamento. In tutti questi contesti particolari, le misure standard di gestione del rischio e delle emergenze possono risultare insufficienti. Per questo motivo, si applica la matrice integrativa del rischio, definita nel capitolo precedente, al fine di determinare quale sia il livello specifico di rischio da valutare in termini di gestione delle emergenze. Dunque, seguendo la procedura, si assegnano i diversi punteggi in funzione delle caratteristiche del cantiere

e, sulla base dei risultati ottenuti, si assume consapevolezza del livello di rischio aggiuntivo che si deve mitigare. Una volta noto ciò, è possibile prevedere diverse misure compensative per migliorare la gestione delle emergenze. Tali misure possono essere suddivise in interventi di prevenzione e protezione, destinati sia alla gestione delle emergenze interne che a quelle esterne.

Nello specifico, quando si parla di **emergenza interna** ci si riferisce alla gestione di una situazione anomala rispetto alle normali condizioni lavorative, che coinvolge direttamente i lavoratori o tutte le persone che sono influenzate dall'evento all'interno del cantiere. In pratica, gestire un'emergenza interna significa identificare i lavoratori coinvolti, localizzarli, valutarne le condizioni, e comprendere di quale tipo di soccorso possano aver bisogno. Oltre a questo, nell'ambito della gestione delle emergenze interne al cantiere rientra la scelta di tutte le misure preventive e protettive che, da un lato, riducano la probabilità che l'emergenza si verifichi e, dall'altro, minimizzino i danni per le persone presenti. La gestione dell'**emergenza esterna**, invece, si concentra sugli effetti che l'emergenza interna ha sul contesto esterno del cantiere. In situazioni in cui i lavori si svolgono in un'area aperta e senza particolari interferenze né ambientali e né con soggetti terzi, l'impatto sull'ambiente esterno può essere minimo. Tuttavia, in contesti urbani altamente edificati ed affollati, come, ad esempio, quello in cui si colloca il Museo Egizio di Torino, le implicazioni possono essere ben più rilevanti, soprattutto se l'emergenza coincide con eventi pubblici, come una manifestazione. In questi casi, la gestione dell'emergenza esterna diventa molto importante non solo per la sicurezza dei lavoratori, ma anche per garantire l'incolumità delle persone presenti nell'area circostante. Un altro aspetto fondamentale della gestione dell'emergenza esterna è la valutazione dell'accessibilità del cantiere per i mezzi di soccorso. Esistono dei casi in cui il traffico, la conformazione delle strade e altri fattori possono ostacolare o ritardare l'arrivo dei soccorsi. Per questo motivo, è indispensabile tenere conto del contesto urbanistico e prevedere misure che facilitino un accesso rapido e sicuro, riducendo al minimo i rischi per tutte le persone coinvolte, sia interne che esterne al cantiere.

Di seguito si allega una tabella riassuntiva di tutte le misure compensative che possono essere introdotte per migliorare il sistema di gestione delle emergenze in cantiere. Per ciascuna di queste si indica se si tratta di soluzioni pensate per la gestione dell'emergenza esterna (EM-E) o interna (EM-I):

| Misure compensative del rischio per il miglioramento della gestione delle emergenze | |
|---|---|
| Misure di PROTEZIONE | Misure di PREVENZIONE |
| Utilizzo di sistemi GIS per la definizione dei percorsi dei mezzi di soccorso in contesti urbani complessi (EM-E) | Informazione preventiva delle squadre di soccorso, sviluppo di prove di evacuazione integrate ed eventuali presidi di vigilanza straordinari (EM-I) |
| Dotazione a tutti i lavoratori di RFID per monitorare la loro posizione in tempo reale (EM-I) | Sviluppo di un piano coordinato fra la direzione lavori e le squadre di soccorso (EM-I/EM-E). |
| Implementazione di DPI intelligenti per monitorare lo stato di utilizzo dei dispositivi di sicurezza dei lavoratori (EM – I) | Simulazioni di realtà virtuale e aumentate per simulare eventuali infortuni in contesti particolari e predisporre delle strategie di intervento mirate (EM-I) |
| Uso di droni in caso di emergenza in contesti molto affollati sia per verificare la posizione dei lavoratori, sia per analizzare l'effettiva accessibilità dei mezzi di soccorso. (EM-E/EM-I) | Software gestionali con AI per monitorare dati da RFID e DPI intelligenti, utilizzando machine learning per prevenire situazioni critiche (EM-I) |
| Strumenti di localizzazione GPS su attrezzature e macchinari per evitare collisioni o sovraffollamenti in aree pericolose (EM-I) | Formazione avanzata tramite simulazioni interattive e scenari di emergenza realistici basati su VR/AR per tutto il personale (EM-I) |

Tabella 13: Elenco riassuntivo di tutte le misure compensative di protezione e prevenzione per il miglioramento del sistema della gestione delle emergenze, elaborazione propria.

Successivamente, si andranno ad analizzare alcune fra le più rilevanti soluzioni preventive e protettive proposte, focalizzando l'attenzione sull'utilizzo del GIS per lo studio di percorsi alternativi per i mezzi di soccorso.

5.1 Strategie di protezione per la gestione delle emergenze

Le misure di protezione volte a potenziare il sistema di gestione delle emergenze hanno l'obiettivo di ridurre il più possibile le conseguenze derivanti dall'evento incidentale. Queste soluzioni sono pensate per limitare al massimo le conseguenze, sia per i lavoratori all'interno del cantiere, sia per le persone esterne che, pur non essendo direttamente coinvolte nelle attività, potrebbero subire effetti significativi a causa delle caratteristiche stesse del cantiere. I casi studio analizzati, infatti, coinvolgono un numero elevato di individui che sono estranei al cantiere ma, per la posizione dello stesso, potrebbero esserne influenzati in condizioni di emergenza. Per questo motivo si andranno ad approfondire diverse strategie di protezione innovative che potrebbero essere adoperate nel caso di cantieri in cui sia necessaria una maggiore attenzione nei confronti del sistema di gestione delle emergenze.

5.1.1 Sistema GIS per lo studio dei percorsi dei mezzi di soccorso

Il GIS (Geographic Information System), conosciuto in italiano come Sistema Informativo Territoriale (SIT), rappresenta uno strumento innovativo che sta guadagnando sempre più importanza in vari ambiti della vita quotidiana, dalla pianificazione urbana alla gestione delle emergenze su ampia scala. Si tratta di un sistema informatico avanzato in grado di acquisire, memorizzare, aggiornare e trattare dati georeferenziati, cioè dati associati a una specifica posizione geografica. L'innovazione del GIS risiede proprio nell'uso di questi dati, che consentono di descrivere oggetti del mondo reale sotto tre principali aspetti:

- **Posizione geografica:** ogni oggetto è localizzato in base a un sistema di riferimento noto e scelto in funzione delle specifiche esigenze.
- **Attributi:** oltre alla posizione, ogni oggetto può essere descritto tramite una serie di informazioni aggiuntive, come dimensioni, nome, caratteristiche fisiche o funzionali.
- **Relazioni spaziali:** il GIS consente di analizzare le relazioni tra gli oggetti, sia spaziali (es. vicinanza o distanza tra due punti) che non spaziali (es. collegamenti funzionali o logici).

(Lingua & Matrone, 2023)

Questi tre elementi permettono al GIS di rappresentare il mondo reale in modo più complesso e completo rispetto alle mappe tradizionali. Dunque, ciascun oggetto non solo è definito spazialmente, ma è possibile anche associarvi ulteriori dati, come link a risorse esterne (URL, documenti, immagini) o informazioni tecniche. Questo consente di integrare in una rappresentazione territoriale dinamica tutte le informazioni necessarie, rendendole facilmente accessibili in un unico sistema. Grazie alle sue notevoli potenzialità, il GIS sta trovando applicazioni in molteplici settori, dalla pianificazione urbana alla gestione ambientale, dalla conservazione dei beni culturali alla sicurezza. Per esempio, le pubbliche amministrazioni utilizzano sempre più frequentemente il GIS per mappare il territorio comunale e identificare, ad esempio, le aree a rischio, come quelle con elevata pericolosità sismica o idrogeologica. Inoltre, il GIS si integra perfettamente con i Piani Regolatori Generali (PRG), facilitando la visualizzazione e la gestione delle diverse zone urbanistiche e delle loro caratteristiche tecniche. Pertanto, si tratta di uno strumento essenziale che semplifica sia la modalità di consultazione delle mappe, che la possibilità di ottenere informazioni relativamente al territorio e tutti gli aspetti che lo caratterizzano. Come è possibile intuire, i dati rappresentano il fulcro del GIS, poiché vanno a caratterizzare sia dal punto di vista informativo che geometrico qualsiasi oggetto della rappresentazione. Nello specifico, all'interno di un sistema GIS è possibile ritrovare diverse tipologie di dati, tra cui i dati geometrici e i dati descrittivi. I dati geometrici rappresentano la geometria del territorio e possono essere di due tipi: vettoriali o raster. In particolare, i dati vettoriali sono quelli che effettivamente consentono la rappresentazione degli oggetti all'interno del GIS attraverso tre forme differenziate, ovvero linee, poligoni e punti. Generalmente i punti sono utilizzati per localizzare oggetti con una dimensione trascurabile rispetto alla scala di rappresentazione, come alberi; le polilinee rappresentano elementi lineari come strade o fiumi; mentre i poligoni descrivono aree come laghi, foreste o confini amministrativi. Ovviamente il tutto varia a seconda della scala di rappresentazione e dell'obiettivo con il quale il GIS stesso viene utilizzato. Accanto ai dati geometrici troviamo i dati descrittivi, che forniscono ulteriori informazioni sugli oggetti rappresentati. Questi possono essere veri e propri database associati agli elementi geometrici oppure metadati, che descrivono le caratteristiche dei dati stessi, come la fonte, la data di acquisizione o la precisione del rilevamento.

Una volta comprese le principali caratteristiche e applicazioni del sistema GIS, si vuole utilizzare questa tecnologia a supporto dell'attività di cantiere e, nello specifico, per integrare e implementare il sistema di gestione delle emergenze. L'idea nasce dall'analisi dei casi studio presentati che si collocano in contesti urbani complessi, situati nel cuore di centri cittadini, in prossimità di aree pedonali o zone con un'alta concentrazione di persone. In questi scenari, l'utilizzo del GIS si rivela strategico per analizzare e ottimizzare i percorsi che i mezzi di soccorso devono seguire per raggiungere il cantiere, tenendo conto delle peculiarità del contesto urbano, come l'affollamento o la presenza di ostacoli e vincoli che possono rallentare l'intervento.

Per eseguire l'analisi dei percorsi, si utilizzerà ArcGIS Pro, il software sviluppato da ESRI (Environmental Systems Research Institute), considerato uno dei principali strumenti desktop per i Sistemi Informativi Geografici (GIS), insieme a QGIS. La scelta di ArcGIS Pro è motivata da due ragioni principali: l'integrazione con ArcGIS Online e la possibilità di effettuare analisi di rete (network analysis). Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco (VVF), infatti, utilizza un sistema WebGIS, ovvero una piattaforma geografica informativa online che consente di gestire, manipolare e condividere dati geospaziali attraverso il web. Questo strumento si rivela particolarmente utile per permettere ai VVF di condividere in tempo reale informazioni cruciali, come ad esempio le limitazioni stradali in previsione di eventi straordinari, o per catalogare gli interventi eseguiti dalle squadre operative. Un esempio concreto di tale utilizzo si è verificato a seguito dei terremoti che hanno colpito il centro Italia nel 2016. In quell'occasione, Esri ha stipulato una convenzione con il Corpo Nazionale dei VVF per creare una rappresentazione geografica condivisibile in cloud tramite ArcGIS Online, che ha facilitato la gestione delle operazioni di soccorso e monitoraggio post-sisma. Questo sistema ha reso possibile una visualizzazione centralizzata delle informazioni geografiche, permettendo alle squadre di soccorso di operare in maniera più coordinata ed efficace. (Esri Italia) Pertanto, si comprende come l'utilizzo di ArcGIS Pro come supporto per l'analisi dei percorsi di emergenza, specie nei cantieri situati in contesti urbani complessi, apre la strada a future implementazioni con le squadre di soccorso stesse. Un potenziale sviluppo potrebbe consistere nella condivisione diretta dei dati del cantiere, come percorsi di accesso, eventuali manifestazioni, ostacoli e rischi presenti sul sistema di WebGIS specifico già utilizzate dai VVF. L'altra motivazione che ha spinto

all'utilizzo di ArcGIS Pro risiede nella sua capacità di eseguire network analysis, ossia analisi di rete che consentono di creare un dataset della rete stradale e utilizzare tali informazioni per condurre varie analisi spaziali sui percorsi. Questo strumento si rivela particolarmente utile per determinare il percorso più rapido, tenendo conto di fattori come la lunghezza del tragitto, il traffico, e la presenza di ostacoli. La network analysis permette anche di simulare eventuali deviazioni forzate dovute a chiusure stradali, lavori in corso o altri impedimenti, rendendo possibile una pianificazione dinamica e adattabile in tempo reale.

Dopo aver stabilito quale software verrà utilizzato e le motivazioni alla base della scelta, è possibile delineare sinteticamente l'analisi che verrà condotta attraverso il sistema GIS per ogni caso studio definito. L'obiettivo principale è creare uno strumento efficace per valutare, in termini di tempi e distanze, i percorsi che i mezzi di soccorso devono percorrere per raggiungere il cantiere in caso di emergenza. Per ogni cantiere preso in esame, si concentrerà l'analisi sulle giornate dell'anno più sfavorevoli per la gestione delle emergenze, poiché sono questi i momenti che presentano maggiori difficoltà e, quindi, rappresentano scenari di test ideali per l'implementazione dei piani di emergenza. Si tratta di giornate caratterizzate da un aumento significativo del traffico e degli affollamenti, che possono ritardare l'operato delle squadre di soccorso. Nel caso dei cantieri situati a Torino e Milano, si studieranno il **25 aprile** e il **24 dicembre** come giornate critiche per simulare i percorsi. Queste date sono significative perché rappresentano festività nazionali in cui si verifica un notevole incremento dell'affollamento nelle strade, dovuto sia alla celebrazione in sé che ad eventuali manifestazioni pubbliche o sportive che si tengono proprio quei giorni. Questo affollamento rende più difficile l'accesso rapido delle squadre di soccorso, creando condizioni ideali per valutare la capacità di risposta in tali circostanze. Per quanto riguarda i cantieri di Vedano e Melpignano, saranno presi in considerazione rispettivamente il giorno del **Gran Premio di Italia** e il giorno della **Notte della Taranta**. Entrambi questi eventi generano un notevole afflusso di persone e traffico, rendendo queste simulazioni interessanti per valutare cosa accade per un cantiere di modesta entità durante eventi sporadici così rilevanti.

Una volta definite le giornate critiche da considerare, l'obiettivo è simulare il percorso che collega i diversi cantieri in esame con i principali punti di riferimento per il soccorso in caso di emergenza, ovvero il distacco dei Vigili del Fuoco e il pronto soccorso più vicino. A tal fine, si consulteranno i dati sul traffico disponibili su Google Maps per le giornate selezionate, così da ottenere due valori fondamentali: il tempo di percorrenza ordinario in assenza di traffico e il tempo di percorrenza effettivo durante le giornate critiche. Sulla base di queste informazioni, si costruirà un database stradale su ArcGIS Pro per ciascun cantiere e utilizzando la network analysis, si simulerà la durata del percorso tra il cantiere e i punti di riferimento di soccorso. L'analisi includerà:

- Le durate di percorrenza nelle condizioni ordinarie.
- Le variazioni di durata durante le giornate critiche.
- I percorsi alternativi da seguire in caso di ostacoli o incidenti su strada.

Le specifiche di tutto questo procedimento verranno illustrate in dettaglio nel paragrafo che segue per i diversi casi studio in esame.

5.1.1.1 Applicazione su ArcGIS per i casi studio di Torino

In primo luogo, si vuole utilizzare il GIS per l'analisi dei percorsi dei casi studio proposti per la città di Torino, cioè due possibili cantieri che hanno luogo rispettivamente presso il Museo Egizio e il Teatro Regio. Come analizzato in precedenza, si tratta di due cantieri che si collocano nel cuore del centro storico della città, in un contesto urbanistico caratterizzato da un'elevata densità edilizia, presenza di strade pedonali e la vicinanza a due delle principali piazze della città: Piazza Castello e Piazza San Carlo. Durante il corso dell'anno queste due piazze ospitano numerosi eventi pubblici e sportivi che attirano un elevato numero di persone. Tra questi si annoverano manifestazioni come "Tennis & Friends", una manifestazione dedicata al tennis e allo sport, eventi per il clima organizzati da Fridays For Future, esposizioni di libri e piante, fiere di antiquariato, e gare podistiche che spesso coinvolgono l'intero centro cittadino. Questo aspetto è fondamentale poiché permette di comprendere la dinamicità e l'affollamento del contesto urbano Museo Egizio e Teatro Regio. Per questo motivo, essendo il soccorso una questione prettamente di tempo, lo studio dei percorsi dei mezzi di soccorso rappresenta un elemento fondamentale in termini di gestione delle emergenze. Si vuole infatti studiare come

cambiano le tempistiche di percorrenza da una giornata ordinaria senza manifestazioni a giornate caratterizzate da particolari affollamenti, come il 25 aprile e il 24 dicembre. Per quanto riguarda i soccorsi, l'analisi si concentrerà sui percorsi che i Vigili del Fuoco e i mezzi di soccorso sanitario devono intraprendere per raggiungere il Museo Egizio e il Teatro Regio di Torino. Per i Vigili del Fuoco, il punto di riferimento sarà il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, situato in Corso Regina Margherita a Torino. Si tratta di uno dei distaccamenti più importanti della città, dotato di numerosi automezzi, nuclei speciali (come il nucleo USAR per la ricerca e il soccorso in macerie), e attrezzature altamente specializzate. Per quanto riguarda il soccorso sanitario, si farà riferimento alla struttura più vicina, l'Humanitas Gradenigo. Tuttavia, in caso di emergenze di maggiore gravità, si considereranno anche altre strutture cruciali come l'Ospedale Regina Margherita e il CTO (Centro Traumatologico Ortopedico) di Torino, che dispongono di risorse avanzate per la gestione di incidenti complessi. Questi luoghi rappresentano i punti di partenza per l'analisi dei percorsi che le autopompe serbatoio (APS) dei Vigili del Fuoco e le ambulanze dovranno seguire per raggiungere il Teatro Regio e il Museo Egizio nel minor tempo possibile.

Per ottenere i dati sul traffico, si fa riferimento a Google Maps, un servizio di mappatura web sviluppato da Google, considerato una delle applicazioni di mobilità più utilizzate a livello globale. Google Maps offre non solo la possibilità di visualizzare il traffico in tempo reale, ma anche di accedere a dati storici relativi a una determinata area o percorso. Per calcolare i tempi di percorrenza, Google Maps utilizza diverse fonti: i dati storici sul traffico, che indicano i tempi medi di arrivo in vari momenti della giornata; la tipologia delle strade e i relativi limiti di velocità; e i dati in tempo reale sulla velocità e la posizione degli utenti che stanno utilizzando l'app. Grazie a queste informazioni, Google Maps è in grado di stimare l'ETA (Estimated Time of Arrival), ovvero il tempo di arrivo previsto, sia per il traffico corrente, sia per fare previsioni storiche o future.

Pertanto, l'analisi prenderà in esame inizialmente i percorsi di soccorso per il Teatro Regio e successivamente per il Museo Egizio. Innanzitutto, si vogliono considerare i tempi ordinari di percorrenza ipotizzando un momento della giornata in cui non vi sia traffico, ad esempio alle ore 6,40 di mattina del venerdì. A questo punto si visualizza su Google Maps quali siano le distanze e i percorsi suggeriti e che collegano il comando dei VVF in Corso Regina Margherita, l'Humanitas Gradenigo e il CTO al Teatro Regio.

Dunque, è possibile redigere una scheda riassuntiva che presenti tutti i dati ricavati:

SCHEDA TEMPI DI PERCORRENZA: CONDIZIONI ORDINARIE TEATRO REGIO

| TEATRO REGIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|----------------------|--|---------------------|-----------|
| Giorno e ora | Traffico tipico di un venerdì mattina ore 6,40 | | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km | circa 7km |
| Tempo di percorrenza | 15m | 8m | 15m |



Figura 14: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il Teatro Regio, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps.

Il Comando dei VVF e il CTO presentano approssimativamente la stessa distanza rispetto al Teatro Regio, mentre l'Humanitas Gradenigo risulta essere molto più vicina. In condizioni ordinarie, il Teatro Regio può essere raggiunto da tutti e tre i punti di partenza analizzati in un tempo massimo di 15 minuti. Tuttavia, si vuole verificare cosa accade se si prendano in esame due giornate critiche per traffico e affollamento: il 24 dicembre e il 25 aprile. Essendo giorni festivi, si può intuire come già di per sé il centro cittadino risulterà affollato, ed eventi come musei gratuiti, concerti, e fiaccolate organizzati dal comune contribuiscono ulteriormente a incrementare il flusso di persone, specialmente nelle piazze nevralgiche come Piazza San Carlo e Piazza Castello. Dunque, essendo i cantieri analizzati di tipo continuativo, ossia attivi anche in giorni di festa, si assiste ad uno scenario in cui alle difficoltà legate ai singoli casi studio si aggiunge un incremento significativo della folla. Questo fattore può rappresentare una criticità notevole per la gestione delle emergenze, creando problemi di accessibilità e causando ritardi nei tempi di risposta dei mezzi di soccorso, in caso di incidenti gravi o gravissimi in cantiere.

Per queste due giornate cruciali, si procederà all'analisi dei percorsi e dei tempi di percorrenza su Google Maps, scegliendo come orario di riferimento le 18:30 del pomeriggio. Oltre al percorso standard, generalmente utilizzato per coprire il tragitto, Google Maps suggerisce anche percorsi alternativi che attraversano diverse strade. Tuttavia, i tempi di percorrenza risultano significativamente maggiori rispetto alle condizioni ordinarie, a causa dell'affollamento e del traffico tipico di queste giornate:

| TEATRO REGIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|----------------------|----------------------------|---------------------|-----------|
| Giorno e ora | 24 dicembre 2023 ore 18.30 | | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km | circa 7km |
| Tempo di percorrenza | 28-30m | 12m | 24-26m |

| TEATRO REGIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|----------------------|--------------------------|---------------------|-----------|
| Giorno e ora | 25 aprile 2024 ore 18.30 | | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km | circa 7km |
| Tempo di percorrenza | 24-26m | 10m | 22m |

Tabella 14: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per il Teatro Regio, elaborazione propria.

Le tabelle evidenziano un significativo aumento dei tempi di percorrenza per gli scenari analizzati. In particolare, l'incremento è notevole per il Comando dei Vigili del Fuoco e per il CTO, dove il tempo necessario per raggiungere il Teatro Regio quasi raddoppia. Al contrario, per l'Humanitas Gradenigo, le tempistiche rimangono pressoché invariate, data la sua vicinanza al punto di arrivo, essendo situata a pochi

chilometri dal cantiere. A questo punto, si procede con l'utilizzo del sistema GIS su ArcGIS Pro per mappare tutti i percorsi suggeriti da Google Maps per i tragitti analizzati. Si osserva che i percorsi sono gli stessi, ciò che cambia sono i tempi a seconda della giornata presa in esame.

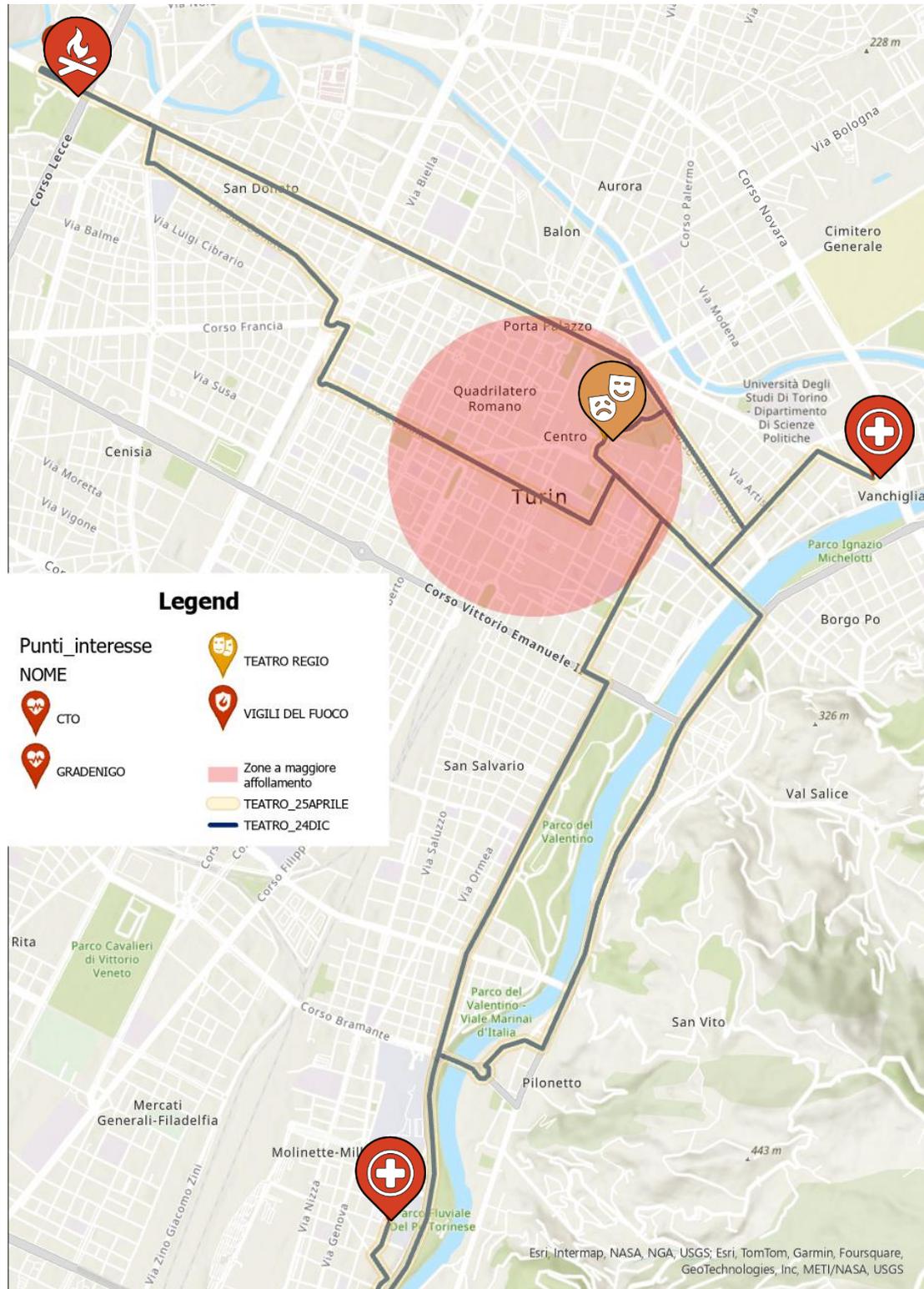


Figura 15: Mappatura dei percorsi su ArcGIS Pro, elaborazione propria.

Oltre ai percorsi, si identificano le aree del centro di Torino che solitamente presentano alti livelli di affollamento, in particolare le zone circostanti Piazza San Carlo e Piazza Castello, la stazione centrale di Porta Nuova, Piazza Vittorio, Via Garibaldi e Porta Palazzo. Queste aree, essendo spesso soggette a congestione pedonale e traffico intenso, rappresentano dei punti critici che possono influire significativamente sui tempi di intervento dei soccorsi. Inoltre, i percorsi suggeriti da Google Maps non considerano la possibilità di attraversare con un automezzo i Giardini Reali partendo da Porta Palazzo, in quanto chiusi al traffico privato. Tuttavia, è risaputo che, in situazioni di emergenza, i mezzi di soccorso possono percorrere strade normalmente interdette al pubblico. Pertanto, su ArcGIS Pro si traccia questo percorso alternativo tra le possibili opzioni utilizzabili dai mezzi di soccorso, garantendo così una simulazione più accurata delle loro reali possibilità di intervento.

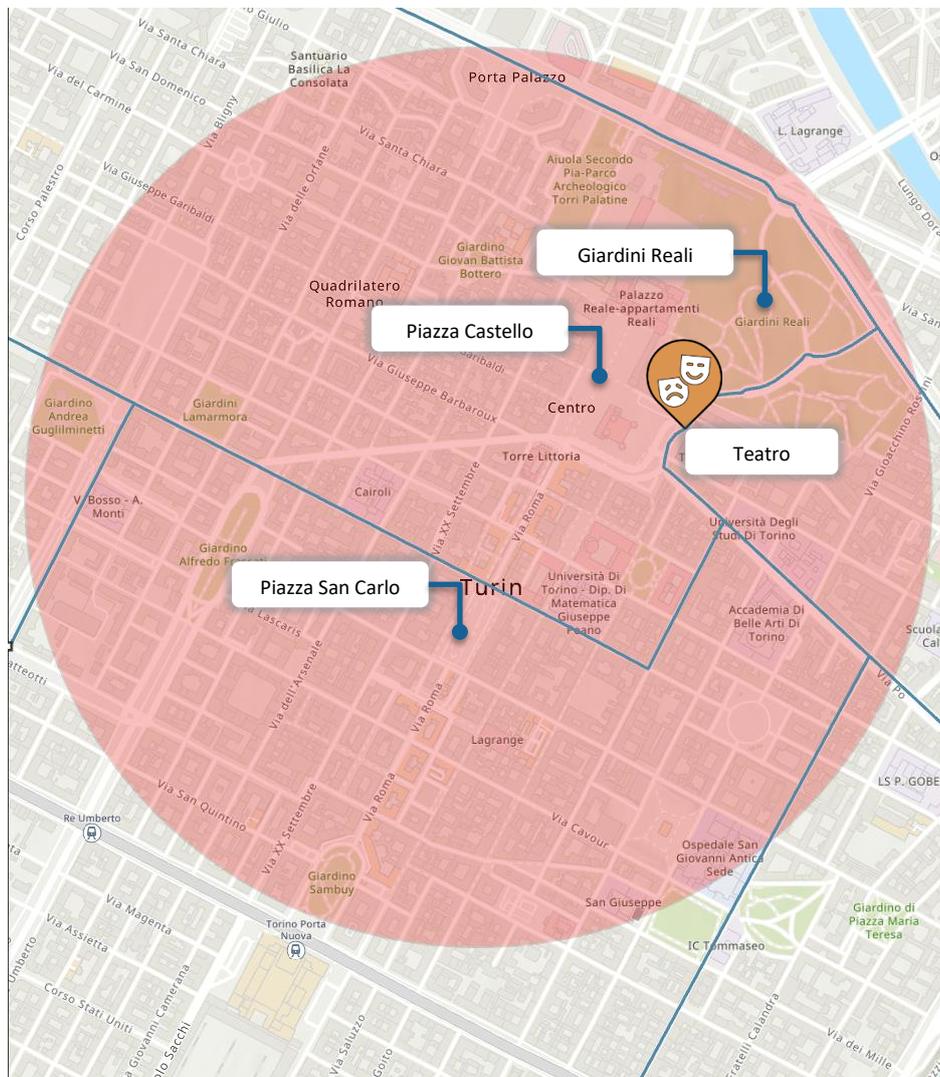


Figura 16: Close - up sulla zona più centrale di Torino caratterizzata da un maggiore affollamento con indicazione delle principali piazze, elaborazione propria screenshot da ArcGIS Pro

A questo punto, dopo aver impostato la rete su ArcGIS Pro, è possibile eseguire la Network Analysis, uno strumento avanzato del software che consente di analizzare le reti stradali per eseguire diverse operazioni. Tra le principali funzionalità della Network Analysis ci sono:

- Determinare il percorso più veloce in termini di tempo o di distanza, utilizzando l'algoritmo di Dijkstra, un algoritmo efficiente per trovare il percorso ottimale tra due punti su una rete. Questo algoritmo esplora tutte le possibili rotte, assegnando un "peso" ad ogni segmento della rete (basato su fattori come la distanza, il tempo di percorrenza, o le condizioni del traffico) e seleziona il percorso con il costo minore, garantendo così il tempo più breve o la distanza minima.
- Valutare percorsi alternativi in caso di chiusure stradali, deviazioni o altri ostacoli.
- Calcolare le aree di copertura che possono essere raggiunte entro un determinato tempo di guida, permettendo di analizzare la capacità di risposta dei mezzi di soccorso in base alla distanza e alle condizioni stradali.

Per i casi studio in esame, l'obiettivo è analizzare quale tra i diversi percorsi rappresentati sia il più rapido in termini di tempo. Il parametro chiave, ovvero il "peso" assegnato a ogni segmento della rete strutturata, sarà proprio il tempo di percorrenza in auto, espresso in minuti e ricavato da Google Maps per le giornate identificate. Per eseguire questa analisi, il primo passo è generare un Network Dataset, una sorta di "contenitore" che rappresenta la rete stradale. Tale rete è costituita da archi e nodi: i nodi rappresentano le intersezioni o i punti di inizio e fine del percorso, mentre gli archi corrispondono ai segmenti stradali. Per ogni segmento si vanno ad associare delle informazioni essenziali per l'analisi come il tempo di percorrenza o la lunghezza espressa in metri. Per cui si procede assegnando a ciascun segmento della rete l'informazione relativa al tempo di percorrenza da Google Maps partendo dall'analisi della giornata del 24 dicembre. A questo punto, si decide di applicare un ritardo temporale ai percorsi che attraversano il cuore del centro di Torino, nelle zone caratterizzate da maggiore affollamento. Questo perché Google Maps calcola i tempi di percorrenza principalmente in base ai dati medi di traffico e agli utenti che stanno

utilizzando l'app in tempo reale. Tuttavia, durante giornate festive come quelle analizzate, Maps non considera pienamente l'incremento del tempo di percorrenza dovuto alla presenza di grandi folle nelle strade. Questo ritardo è ulteriormente aggravato dalla presenza di manifestazioni ed eventi che si svolgono in queste giornate. Per questo motivo, a tutti i segmenti della rete che rientrano nelle cosiddette "zone rosse" precedentemente mappate (Figura 16) viene assegnato un tempo di percorrenza maggiorato. Si stima che, in queste condizioni di affollamento, per percorrere un tratto di circa 400 metri si possa impiegare fino a 3 minuti in più rispetto alle normali condizioni di traffico. Questo consente di simulare più accuratamente l'impatto dell'affollamento sulle tempistiche di arrivo dei mezzi di soccorso. A questo punto per tutti i segmenti della rete è stata associata l'informazione relativa al tempo, con le specifiche maggiorazioni nel cuore del centro cittadino:

| | FID | Lunghezza | Durata | Data |
|---|------------|------------------|---------------|-------------|
| 1 | 0 | 386 | 7 | 24/12/2024 |
| 2 | 1 | 4030 | 30 | 24/12/2024 |
| 3 | 2 | 243 | 8 | 24/12/2024 |
| 4 | 3 | 799 | 5 | 24/12/2024 |
| 5 | 4 | 3185 | 18 | 24/12/2024 |
| 6 | 5 | 910 | 3 | 24/12/2024 |
| 7 | 6 | 773 | 7 | 24/12/2024 |

Figura 17: Tabella rappresentativa dei dati associati ad ogni singolo segmento nella rete stradale mappata, screenshot da ArcGIS pro.

Dunque, è possibile eseguire la network analysis per determinare, sulla base dei dati inseriti, quale sia il percorso più rapido tra i tre considerati. In particolare, per il collegamento tra il Comando Prov.le dei Vigili del Fuoco e il Teatro Regio, sono stati tracciati tre percorsi: due suggeriti da Google Maps, e un terzo che prevede l'attraversamento dei Giardini Reali, opzione non contemplata da Google Maps ma possibile in caso di emergenza. Dall'analisi emerge che proprio questo percorso, denominato "Percorso 1" ed evidenziato in viola nell'immagine seguente, è quello che consente di raggiungere il Teatro Regio nel minor tempo possibile. Al contrario, gli altri due percorsi presentano tempi complessivi maggiori, in particolare il Percorso 3,

che attraversa le zone più centrali e affollate di Torino, nonostante sia proprio quello consigliato come il più veloce da Google Maps.

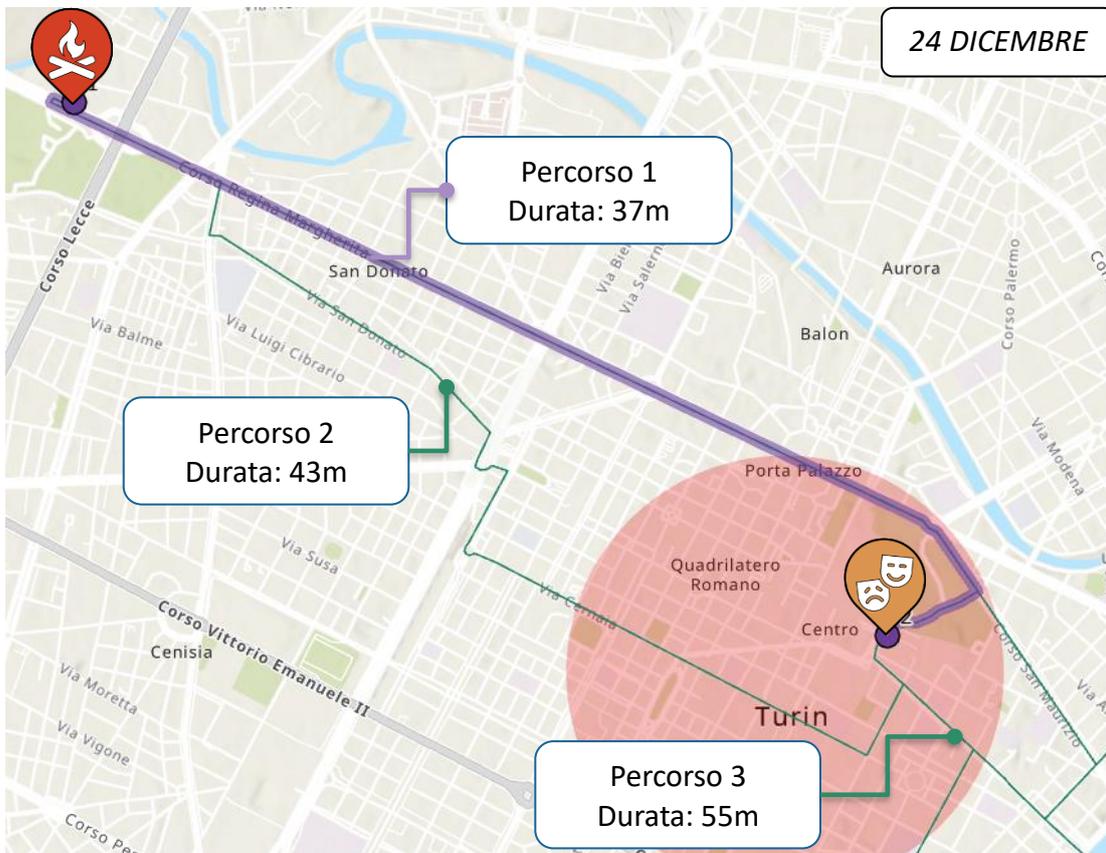


Figura 18: Analisi del percorso più veloce tra il Comando dei VVF e il Teatro Regio, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

L'analisi è stata successivamente ripetuta per il CTO e per l'Humanitas Gradenigo, mantenendo i percorsi suggeriti da Google Maps e applicando le maggiorazioni temporali nelle aree più centrali della città. In entrambi i casi, sono stati analizzati due percorsi proposti per ciascun collegamento. Nel caso dell'Humanitas Gradenigo, il percorso più rapido, denominato "Percorso 1", è evidenziato in verde e, come già rilevato precedentemente, prevede l'attraversamento dei Giardini Reali. Il "Percorso 2", invece, suggerito da Google Maps, presenta un tempo di percorrenza maggiore. Per quanto riguarda il CTO, il "Percorso 1", il più veloce, è evidenziato in arancione. Anche in questo caso, il secondo percorso, suggerito da Maps, risulta meno efficiente, con tempi di percorrenza più lunghi.

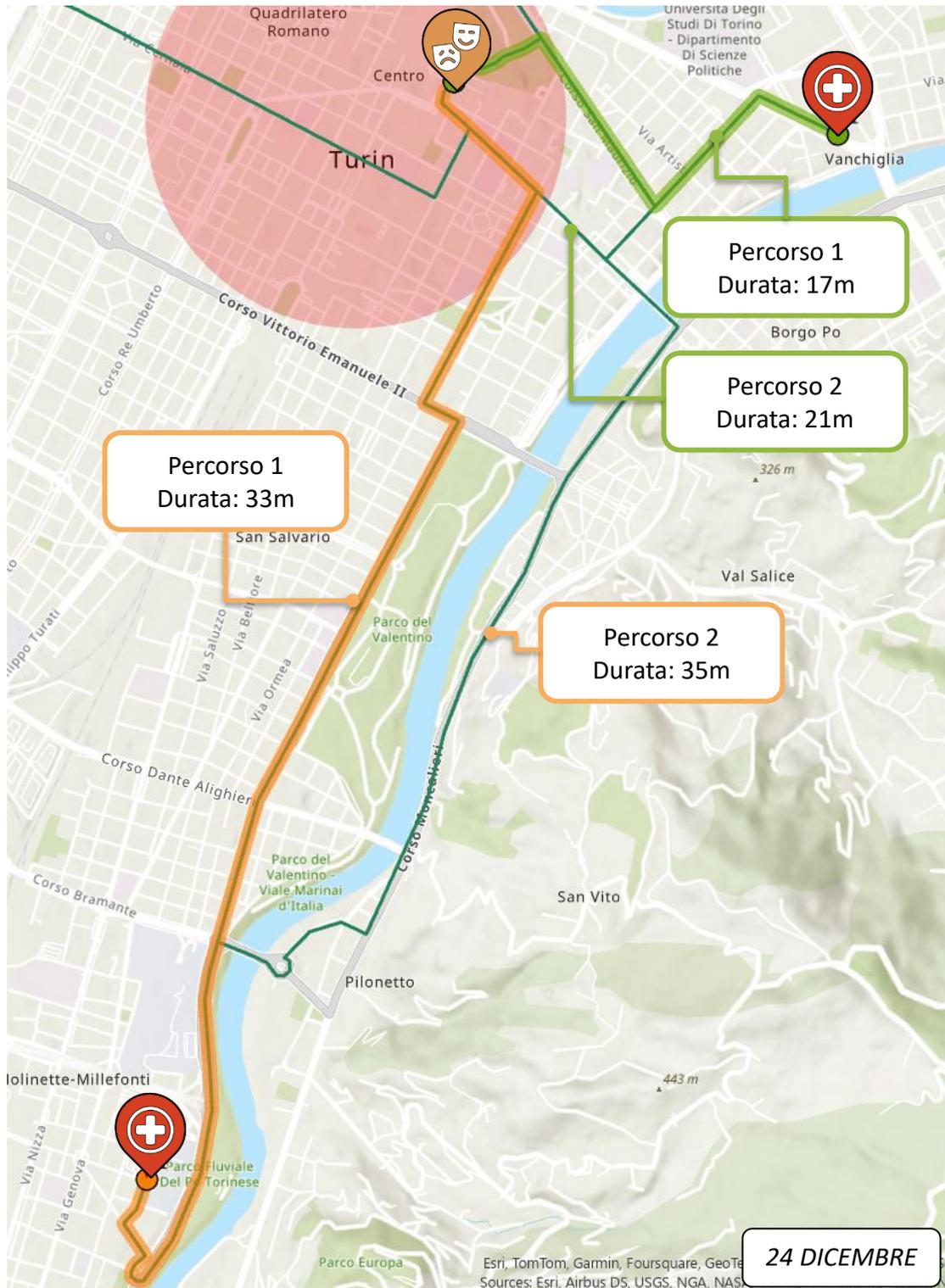


Figura 19: Analisi dei percorsi più veloci fra l'Humanitas Gradenigo, il CTO e il Teatro Regio, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

Riassumendo, emerge chiaramente come in una giornata particolarmente congestionata, come il 24 dicembre, i tempi di percorrenza rispetto a uno scenario standard aumentino significativamente. Questo incremento è dovuto sia al maggiore traffico stradale, evidenziato nella prima analisi condotta su Google Maps, sia al

maggiore affollamento, un fattore che Google Maps non considera ma che è cruciale per l'analisi:

TEMPI DI PERCORRENZA: 24 DICEMBRE

| TEATRO REGIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|---|-----------|---------------------|-----------|
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km | circa 7km |
| Tempo di percorrenza standard | 15m | 8m | 15m |
| Tempo di percorrenza 24 dic Google Maps | 28-30m | 12m | 24-26m |
| Tempo di percorrenza 24 dic ArcGIS Pro | 37-55m | 17-21m | 33-35m |

Tabella 15: Riassunto delle tempistiche dei percorsi durante la giornata del 24 dicembre, elaborazione propria.

Ora, seguendo lo stesso identico procedimento illustrato in precedenza, si procede con l'analisi delle tempistiche in uno scenario alternativo: il 25 aprile, altra giornata caratterizzata da notevoli affollamenti nel cuore del centro cittadino. Per quanto riguarda i percorsi, questi risultano invariati rispetto a quelli del 24 dicembre, come si può osservare nella Figura 15. Si eseguono quindi i medesimi passaggi descritti, applicando le relative maggiorazioni delle tempistiche per i tratti che attraversano le zone più congestionate del centro urbano. Successivamente, viene eseguita l'analisi e generata una cartografia rappresentativa (Figura 20) che riassume tutti i percorsi individuati, con le indicazioni delle tempistiche per ciascuno. Evidenziati in viola, verde e arancione sono indicati i percorsi più veloci emersi dall'analisi. Dunque, riassumendo le tempistiche previste durante il 25 aprile:

TEMPI DI PERCORRENZA: 25 APRILE

| TEATRO REGIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|---|-----------|---------------------|-----------|
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km | circa 7km |
| Tempo di percorrenza standard | 15m | 8m | 15m |
| Tempo di percorrenza 25 apr Google Maps | 24-26m | 10m | 22m |
| Tempo di percorrenza 25 apr ArcGIS Pro | 28-41m | 11-13m | 25-26m |

Tabella 16: Riassunto delle tempistiche dei percorsi durante la giornata del 25 Aprile, elaborazione propria.

In entrambi gli scenari analizzati, si osserva un significativo incremento delle tempistiche dei mezzi di soccorso, in particolare provenienti dal Comando Prov.le e dal CTO, che vedono raddoppiare i loro tempi di percorrenza. Questo dato è particolarmente rilevante poiché, tramite l'uso del GIS, diventa possibile prevedere con precisione i tempi di percorrenza reali durante giornate caratterizzate da traffico intenso e affollamento straordinario. Ciò consente di pianificare in anticipo percorsi

alternativi o adottare misure compensative del rischio per gestire al meglio situazioni che, pur non essendo comunemente considerate, hanno un impatto cruciale sull'efficienza dei soccorsi.

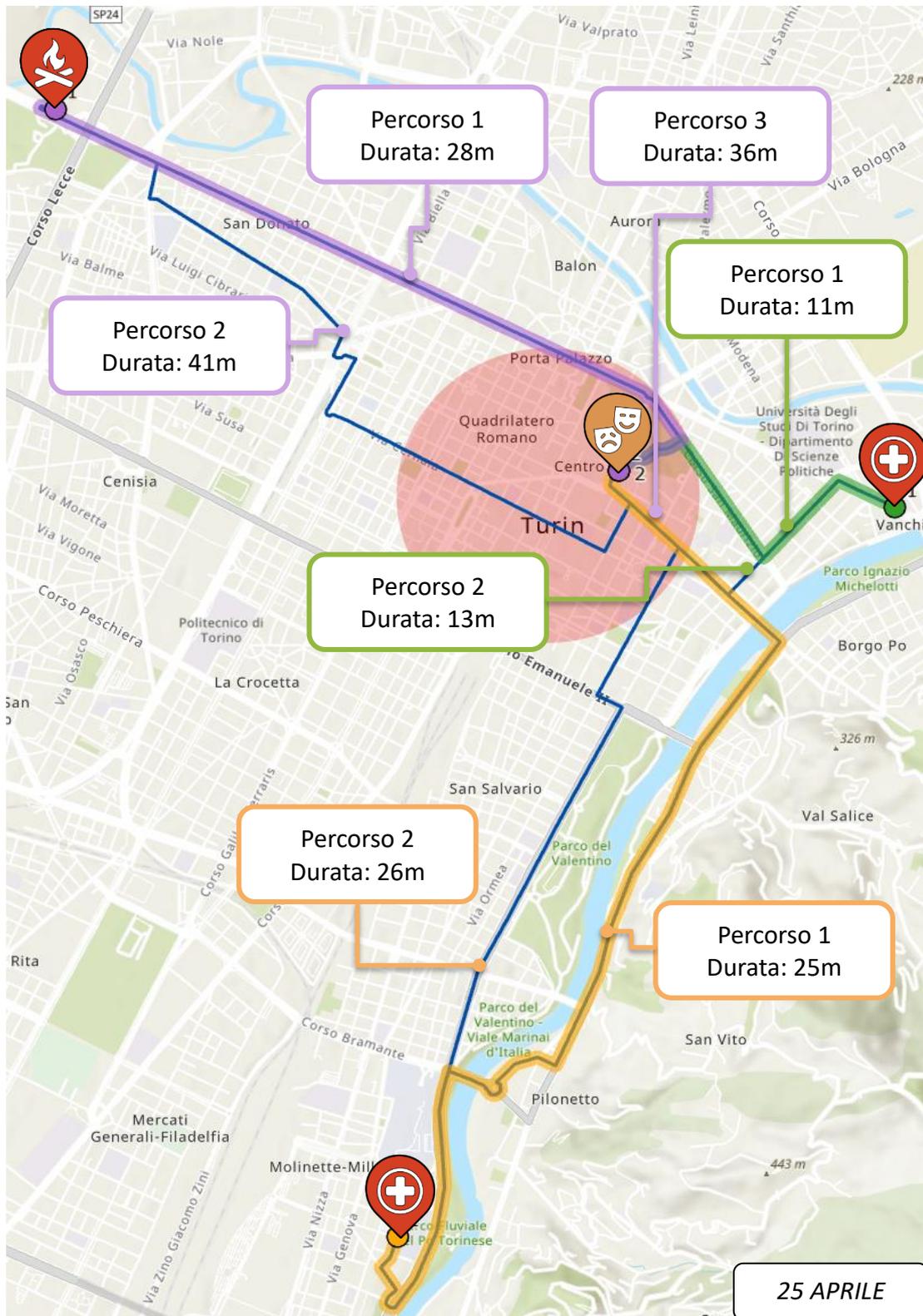


Figura 20: Analisi dei percorsi del Teatro Regio per il 25 Aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

Come già accennato, ArcGIS Pro offre la possibilità di eseguire analisi per valutare l'impatto di eventuali ostacoli lungo i percorsi. Volendo farne un esempio, si considera lo scenario del 24 dicembre, con riferimento al tragitto che collega il Comando dei Vigili del Fuoco e l'Humanitas Gradenigo al Teatro Regio. Si ipotizza che l'area di Porta Palazzo, nonché il percorso che attraversa i Giardini Reali, siano completamente inaccessibili a causa di una manifestazione, un corteo o lavori stradali che bloccano il transito. Inserendo questa informazione all'interno del software, ArcGIS Pro è in grado di ricalcolare automaticamente il percorso, adattandolo alle nuove condizioni e offrendo soluzioni alternative.

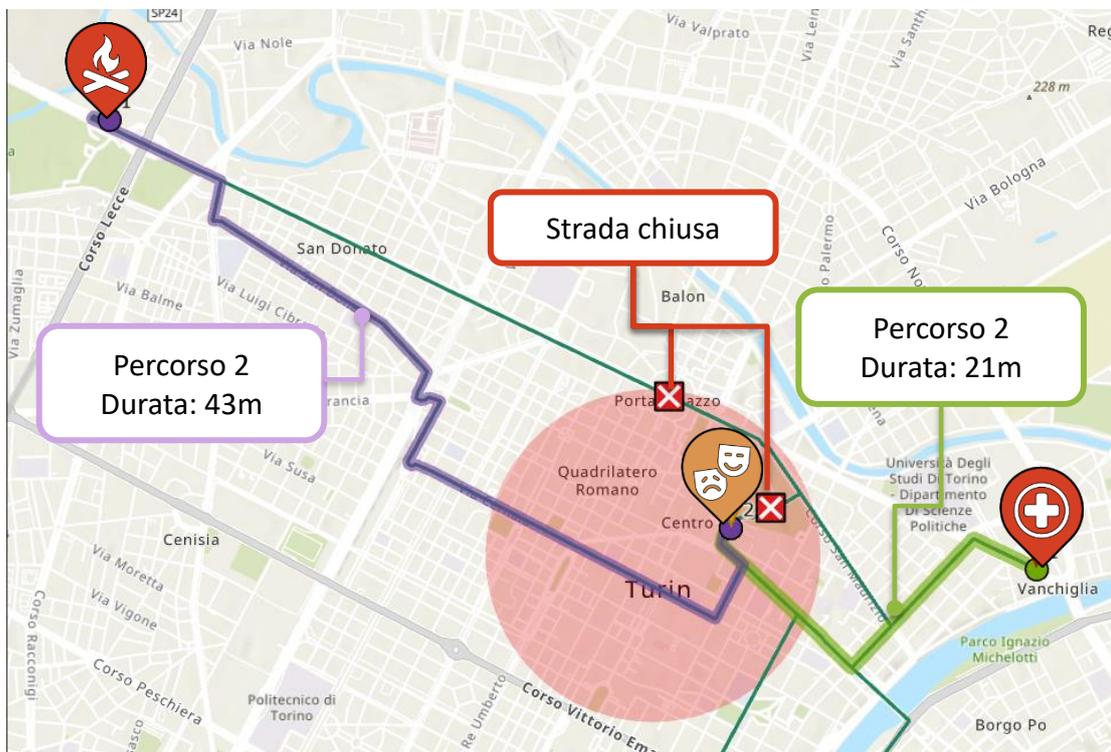


Figura 21: Esempio di ricalcolo del percorso in presenza di deviazioni, elaborazione propria screenshot da ArcGIS Pro.

In questo caso, i percorsi da seguire non saranno necessariamente i più brevi, ma quelli che non presentano restrizioni, comportando un inevitabile incremento nei tempi di percorrenza. Questo evidenzia un altro aspetto cruciale dell'utilizzo del GIS nella gestione delle emergenze: grazie al GIS, è possibile da un lato stimare con precisione le reali condizioni del traffico, considerando anche i livelli di affollamento, e dall'altro, si ha la possibilità di inserire restrizioni o limitazioni già nella fase di pianificazione del cantiere. Un ulteriore vantaggio emergerebbe se questi dati fossero integrati anche nei sistemi GIS utilizzati dai Vigili del Fuoco. In questo modo, si ottimizzerebbe non solo la reattività, ma anche l'efficienza degli interventi di emergenza, riducendo

ulteriormente i tempi di risposta in scenari complessi e altamente congestionati. L'intera analisi condotta per il Teatro Regio verrà ora replicata considerando il Museo Egizio. Innanzi tutto, si analizzano i percorsi e tempi di percorrenza ordinari sempre considerando un generico venerdì mattina alle ore 6:40.

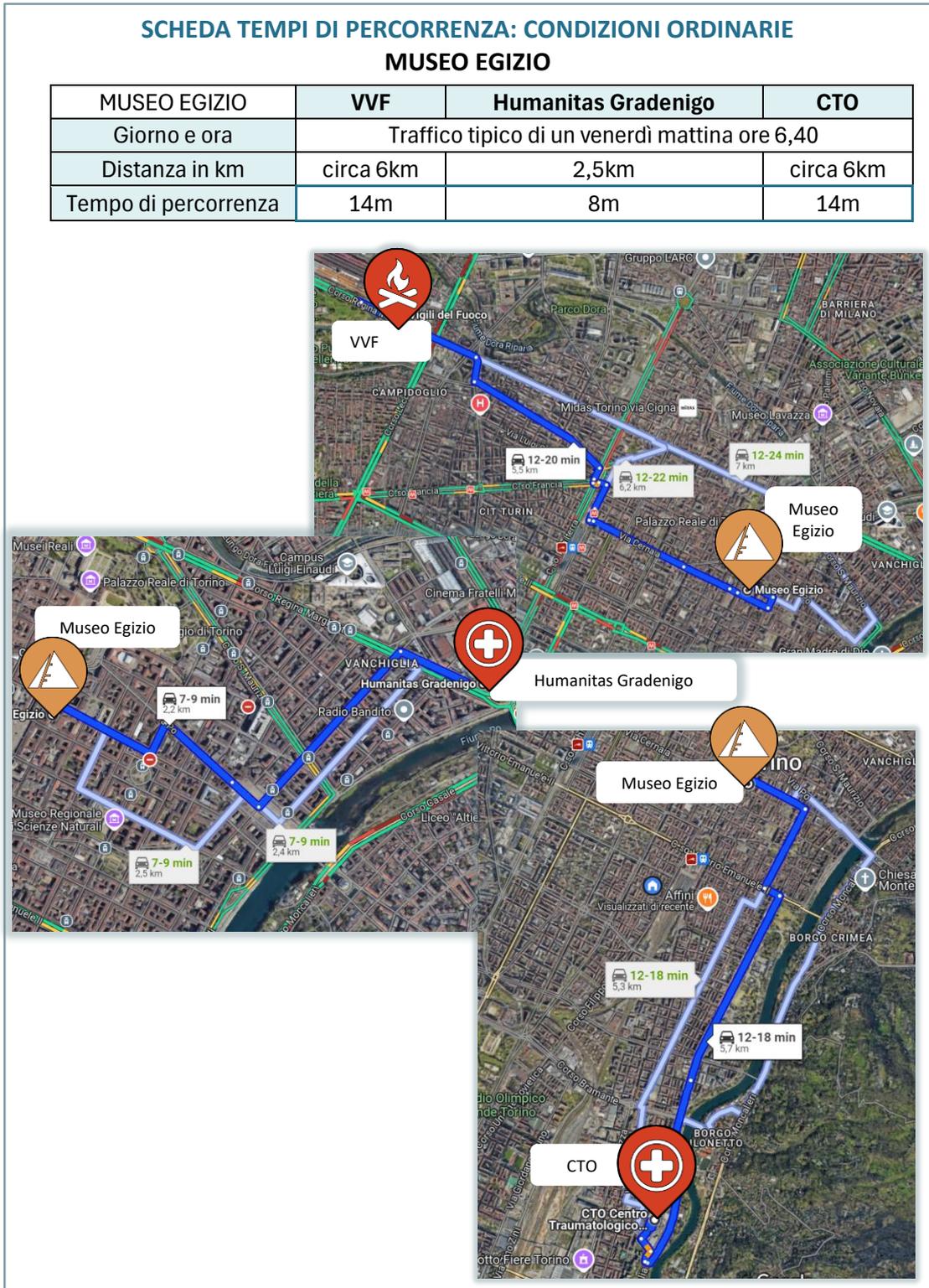


Figura 22: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il Museo Egizio, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps.

Si osserva come i tempi di percorrenza e i percorsi siano simili a quelli del Teatro Regio per cui ci si aspettano dei risultati simili a quelli precedentemente ottenuti. Anche in questo caso, l'obiettivo è valutare come cambiano queste tempistiche in giornate particolari quali il 24 dicembre e il 25 aprile. Per prima cosa, dunque, si consultano dai dati di Google Maps i tempi di percorrenza dei medesimi percorsi durante tali giorni:

| MUSEO EGIZIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------|
| Giorno e ora | 24 dicembre ore 18.30 | | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 2,5km | circa 6km |
| Tempo di percorrenza | 26m | 12m | 22m |

| MUSEO EGIZIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------|
| Giorno e ora | 25 aprile ore 18.30 | | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 2,5km | circa 6km |
| Tempo di percorrenza | 22m | 10m | 20m |

Tabella 17: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per il Museo Egizio, elaborazione propria.

Analogamente a quanto osservato per il Teatro Regio, anche per il Museo Egizio si registra un incremento significativo dei tempi di percorrenza, con un raddoppio dei minuti necessari per raggiungere il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco e per il CTO. Adesso, utilizzando sempre ArcGIS Pro, si procederà alla mappatura dei percorsi, alla definizione della rete stradale con le relative informazioni temporali, e infine all'esecuzione della Network Analysis per identificare i percorsi più rapidi in termini di tempo di percorrenza. Per quanto riguarda il 24 dicembre, i percorsi che vengono suggeriti da Google Maps sono simili a quanto visto per il Teatro Regio. La differenza più rilevante sta nel fatto che il Museo Egizio presenta una posizione più centrale e questo comporta dei tempi e dei percorsi leggermente diversi rispetto a quanto visto precedentemente. Nella Figura 23 vengono riportati i risultati della Network Analysis, in cui vengono evidenziati in viola, verde e arancione i percorsi più veloci per raggiungere il Museo Egizio. Si riscontra come il percorso che attraversa i Giardini Reali risulta essere il più lento sia per il Comando dei Vigili del Fuoco che per l'Humanitas Gradenigo. Questo è un dato significativo, poiché, diversamente da quanto accade per il Teatro Regio, dove attraversare i Giardini Reali rappresentava il percorso più veloce, nel caso del Museo Egizio il passaggio attraverso i giardini implica un ritardo considerevole. La differenza è dovuta al fatto che il Museo Egizio si trova più lontano da Piazza Castello, quindi attraversare i Giardini Reali comporta il transito su strade che, in giornate particolarmente affollate come quelle prese in

esame, presentano rallentamenti significativi. Nel dettaglio, attraversare i Giardini Reali comporta un tempo complessivo di quasi 50 minuti (Percorso 3) partendo dal Comando dei VVF e di 30 minuti (Percorso 3) dall'Humanitas Gradenigo, valori ben superiori rispetto ai percorsi più rapidi individuati tramite l'analisi e alle tempistiche ordinarie.

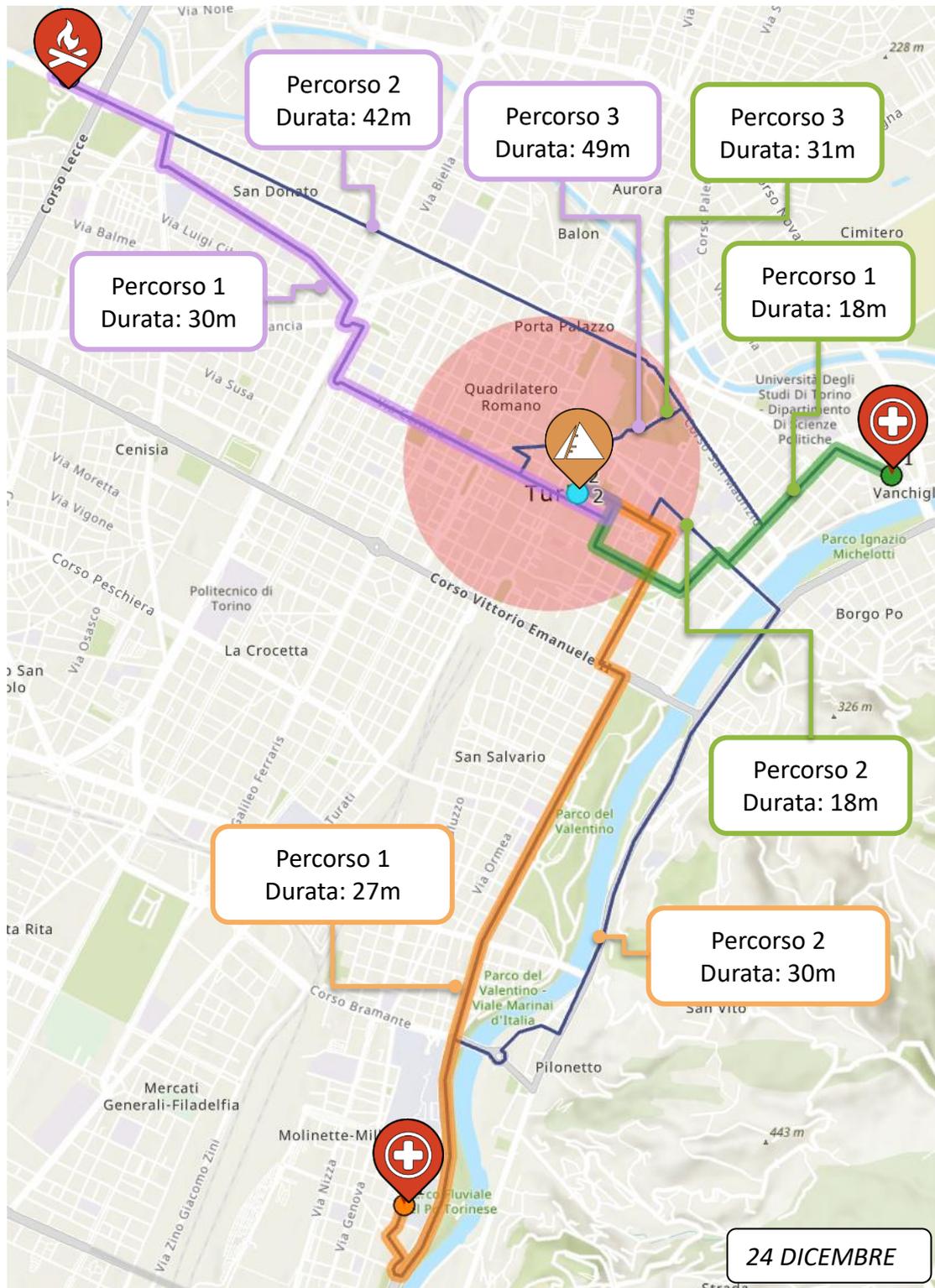


Figura 23: Analisi dei percorsi del Museo Egizio per il 24 dicembre, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

Dunque, confrontando le tempistiche ottenute per il Museo Egizio;

TEMPI DI PERCORRENZA: 24 DICEMBRE

| MUSEO EGIZIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|---|-----------|---------------------|-----------|
| Distanza in km | circa 6km | circa 2,5km | circa 6km |
| Tempo di percorrenza standard | 14m | 8m | 14m |
| Tempo di percorrenza 24 dic Google Maps | 26m | 12m | 22m |
| Tempo di percorrenza 24 dic ArcGIS Pro | 30-49m | 18-31m | 27-30m |

Tabella 18: Riassunto delle tempistiche dei percorsi del Museo Egizio durante la giornata del 24 dicembre, elaborazione propria.

Analogamente a quanto osservato per il Teatro Regio, anche per il Museo Egizio si registra un significativo aumento dei tempi di percorrenza nella giornata del 24 dicembre. In particolare, i tempi indicati da Google Maps e quelli calcolati con ArcGIS Pro mostrano discrepanze evidenti, mettendo in luce l'importanza del GIS come strumento di supporto per la redazione del piano di gestione delle emergenze. Questo perché è possibile prevedere in anticipo eventuali ritardi nei tempi di intervento dei mezzi di soccorso, prevedendo percorsi alternativi o altre misure compensative in giornate caratterizzate da forte affluenza. Allo stesso modo, l'analisi viene ripetuta per lo scenario del 25 aprile, i cui esiti sono riportati nella Figura 24 a pagina seguente. Anche in questo caso, i percorsi che attraversano i Giardini Reali (Percorso 3) risultano essere quelli con il tempo di percorrenza più elevato.

TEMPI DI PERCORRENZA: 25 APRILE

| MUSEO EGIZIO | VVF | Humanitas Gradenigo | CTO |
|---|-----------|---------------------|-----------|
| Distanza in km | circa 6km | circa 2,5km | circa 6km |
| Tempo di percorrenza standard | 14m | 8m | 14m |
| Tempo di percorrenza 25 apr Google Maps | 22m | 10m | 20m |
| Tempo di percorrenza 25 apr ArcGIS Pro | 30-38m | 12-24m | 26-27m |

Tabella 19: Riassunto delle tempistiche dei percorsi del Museo Egizio durante la giornata del 25 aprile, elaborazione propria.

Anche in questo caso si evidenzia un incremento significativo dei tempi di percorrenza calcolati con ArcGIS Pro rispetto alle condizioni ordinarie e a quelli stimati da Google Maps.

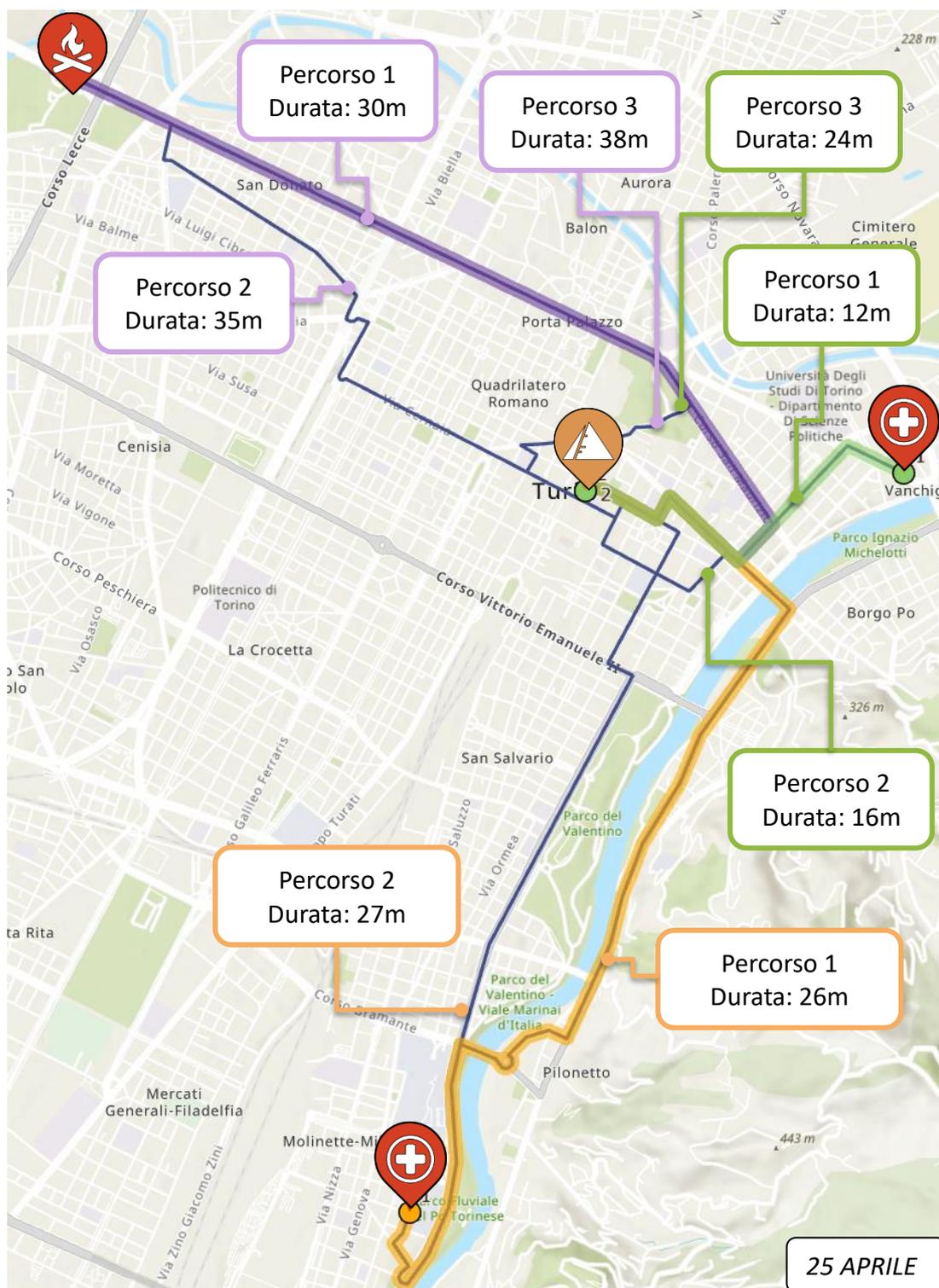


Figura 24: Analisi dei percorsi del Museo Egizio per il 25 aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

I due scenari analizzati per la città di Torino mettono in luce l'importanza dell'utilizzo del GIS nello studio dei percorsi come misura compensativa del rischio, particolarmente utile in contesti urbani altamente affollati. L'integrazione del GIS nella fase di pianificazione della gestione delle emergenze consente di valutare in anticipo le criticità legate all'arrivo dei soccorsi, soprattutto quando il

cronoprogramma dei lavori prevede giornate particolari, come quelle analizzate. Conoscendo in anticipo le difficoltà logistiche, è possibile adottare ulteriori misure di prevenzione o protezione, come la dotazione di dispositivi RFID o DPI intelligenti ai lavoratori, al fine di compensare eventuali ritardi calcolati nell'arrivo dei mezzi di soccorso.

5.1.1.2 Applicazione su ArcGIS per il caso studio di CityLife a Milano

Dopo aver esaminato l'analisi dei percorsi utilizzando ArcGIS Pro per il contesto di Torino, è utile approfondire uno scenario diverso, come quello di CityLife a Milano. In particolare, il caso studio si concentra su un cantiere di manutenzione all'interno della Torre Allianz, attualmente il grattacielo più alto d'Italia, situato all'interno del complesso residenziale, commerciale e direzionale di CityLife. Le criticità di questo contesto riguardano principalmente due aspetti: da un lato, la varietà delle destinazioni d'uso presenti nell'area, che genera affollamenti significativi; dall'altro, le peculiarità di un cantiere in un grattacielo, che possono complicare l'effettiva individuazione e raggiungibilità dei lavoratori da soccorrere. Dal punto di vista urbanistico, CityLife è situata leggermente decentrata rispetto al centro cittadino, a differenza dei casi analizzati a Torino, ma rimane comunque un'area complessa dal punto di vista della viabilità e dell'accesso dei mezzi di soccorso. L'obiettivo è quindi ripetere, utilizzando Google Maps e ArcGIS Pro, la stessa analisi dei tempi di percorrenza già condotta per il Teatro Regio e il Museo Egizio, per valutare eventuali criticità simili o specifiche legate al contesto di CityLife. Per quanto concerne i punti di partenza dell'analisi, si vogliono sempre considerare i Vigili del Fuoco e il soccorso sanitario. Il distaccamento dei Vigili del Fuoco più vicino è il Comando Provinciale dei VVF di Milano, mentre per il soccorso sanitario, l'ospedale e il pronto soccorso più vicini sono quelli dell'Ospedale San Carlo Borromeo. Le giornate di simulazione, come nel caso di Torino, partiranno dalla valutazione dei tempi di percorrenza standard, calcolati in un venerdì mattina alle ore 6:40. Successivamente, si analizzeranno i dati di Google Maps relativi a due scenari specifici: il 24 dicembre e il 25 aprile. Anche in questo caso, si scelgono queste due giornate poiché tipicamente caratterizzate da un maggiore affollamento stradale, con particolare rilevanza per le aree centrali e per il complesso di CityLife.

**SCHEDA TEMPI DI PERCORRENZA: CONDIZIONI ORDINARIE
TORRE ALLIANZ – CITYLIFE MILANO**

| Torre Allianz - CITYLIFE | VVF | Ospedale S. Carlo Borromeo |
|--------------------------|--|----------------------------|
| Giorno e ora | Traffico tipico di un venerdì mattina ore 6,40 | |
| Distanza in km | circa 2km | circa 5km |
| Tempo di percorrenza | 7m | 14m |

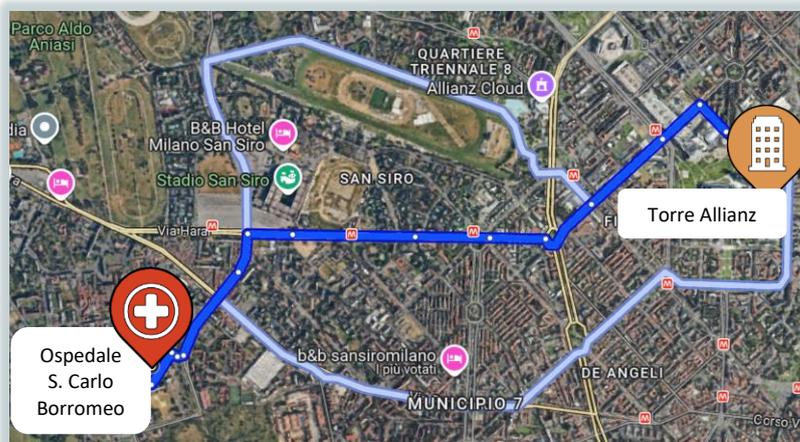
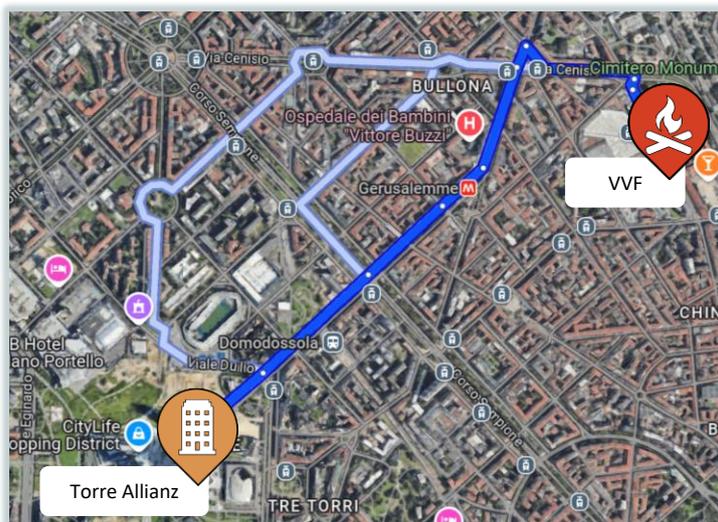


Figura 25: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per la Torre Allianz, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps.

Rispetto ai casi precedenti, in questo scenario il Comando dei Vigili del Fuoco è situato più vicino alla Torre Allianz rispetto all'ospedale. Una volta identificati i percorsi standard suggeriti da Google Maps per raggiungere la Torre Allianz, si vogliono analizzare i tempi di percorrenza che Google Maps prevede durante i due scenari di interesse: il 24 dicembre e il 25 aprile. Anche in questo caso, come mostra la tabella nella pagina successiva, i tempi di percorrenza risultano maggiori rispetto allo scenario standard.

| | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
| Torre Allianz - CITYLIFE | VVF | Ospedale S. Carlo Borromeo |
| Giorno e ora | 24 dicembre ore 18.30 | |
| Distanza in km | circa 2km | circa 5km |
| Tempo di percorrenza | 10m | 20m |

| | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Torre Allianz - CITYLIFE | VVF | Ospedale S. Carlo Borromeo |
| Giorno e ora | 25 aprile ore 18.30 | |
| Distanza in km | circa 2km | circa 5km |
| Tempo di percorrenza | 9m | 18m |

Figura 26: Tempi di percorrenza durante il 24 dicembre e il 25 aprile per la Torre Allianz, elaborazione propria.

A questo punto, si procede con l'analisi dei percorsi su ArcGIS Pro seguendo il medesimo procedimento adottato in precedenza: partendo dai dati di traffico e dai percorsi forniti da Google Maps, viene tracciata la rete stradale che servirà come base per l'analisi. Successivamente, a ciascun segmento della rete viene associato il relativo tempo di percorrenza, che viene poi incrementato in base alla posizione del tratto analizzato. Nel caso di Torino, la maggiorazione interessava i tratti della rete che si trovavano nelle aree più centrali e congestionate della città. In questo scenario, invece, tutta l'area di CityLife viene considerata particolarmente critica e soggetta ad elevata congestione. Essendo un'area che mescola diverse destinazioni d'uso (residenziale, commerciale, e direzionale), presenta infatti un elevato livello di affollamento, soprattutto pedonale. Come evidenziato durante la prova di evacuazione del 2023, gli automezzi di soccorso potrebbero incontrare difficoltà a transitare in caso di evacuazione, a causa della folla che si riversa per le strade, oltre alle persone già presenti nell'area. Questo fattore, che non viene preso in considerazione da Google Maps, è invece cruciale per l'analisi condotta con ArcGIS Pro.

Pertanto, per i tratti della rete stradale che rientrano nell'area critica (indicata in rosso nella mappa), si applica una maggiorazione di circa quattro minuti, dovuta alla presenza della folla.

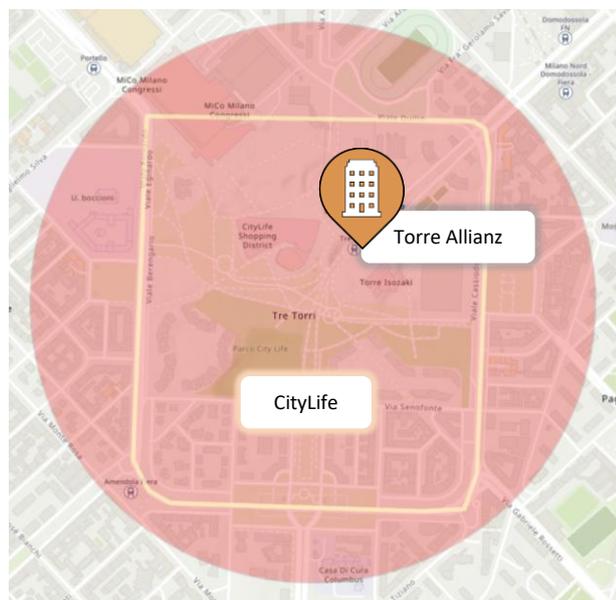


Figura 27: Indicazione in rosso dell'area a maggiore affollamento per CityLife, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

Di seguito vengono riassunti i risultati dell'analisi per il cantiere collocato nella Torre Allianz presso CityLife.

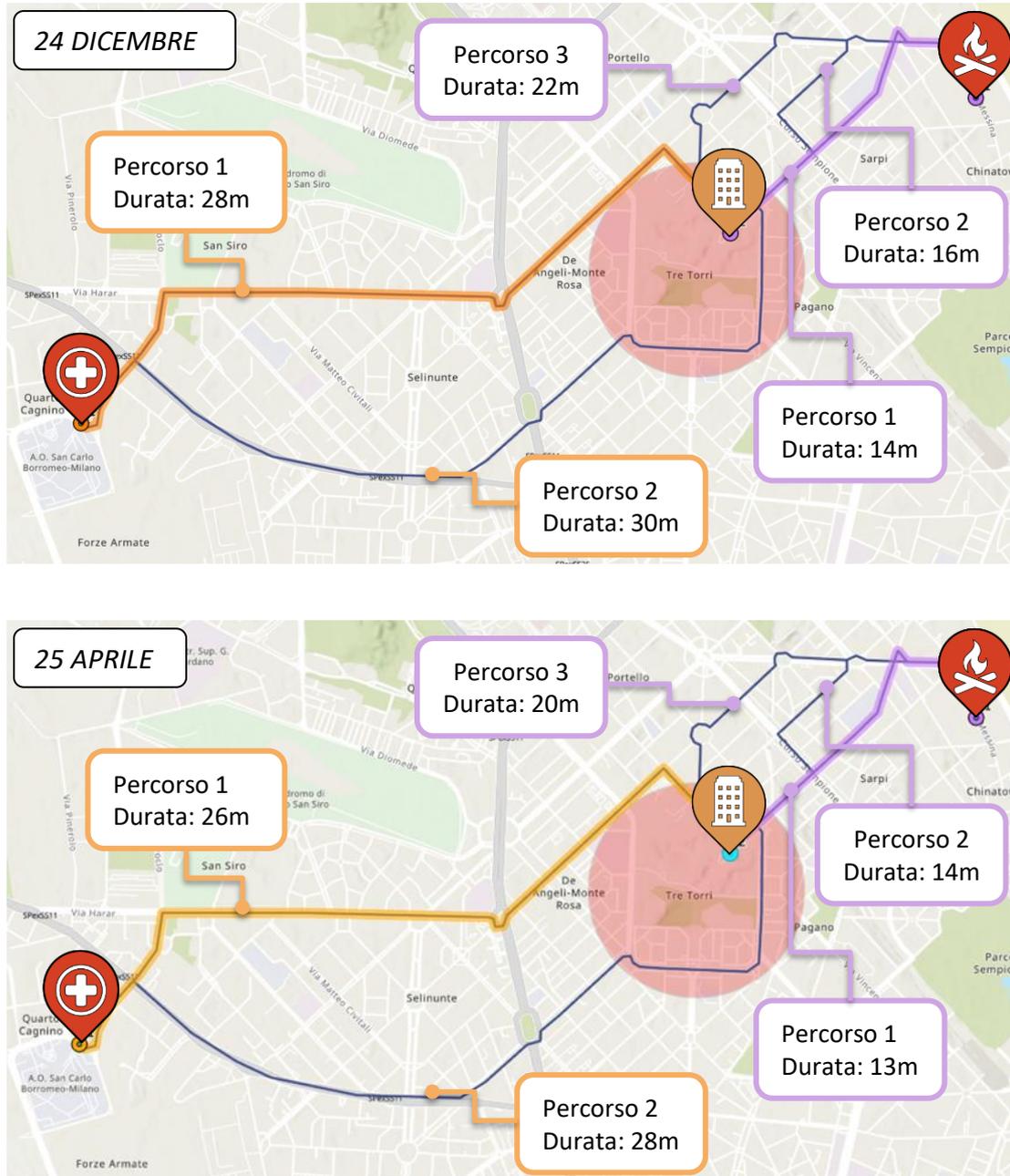


Figura 28: Analisi dei percorsi CityLife per il 24 dicembre e 25 aprile, elaborazione propria con screenshot da ArcGIS Pro.

Come si osserva nella Figura 28 per entrambi gli scenari considerati si riscontrano da Google Maps i medesimi percorsi, tuttavia, le tempistiche risultano maggiori per la giornata del 24 dicembre. Anche in questo caso, così come per i casi studio della città di Torino, l'incremento dei tempi di percorrenza si aggira intorno al doppio rispetto alle condizioni ordinarie.

TEMPI DI PERCORRENZA: 24 DICEMBRE

| Torre Allianz - CITYLIFE | VVF | Ospedale S. Carlo Borromeo |
|---|-----------|----------------------------|
| Distanza in km | circa 2km | circa 5km |
| Tempo di percorrenza standard | 7m | 14m |
| Tempo di percorrenza 24 dic Google Maps | 10m | 20m |
| Tempo di percorrenza 24 dic ArcGIS Pro | 14-22m | 28-30m |

TEMPI DI PERCORRENZA: 25 APRILE

| Torre Allianz - CITYLIFE | VVF | Ospedale S. Carlo Borromeo |
|---|-----------|----------------------------|
| Distanza in km | circa 2km | circa 5km |
| Tempo di percorrenza standard | 7m | 14m |
| Tempo di percorrenza 24 dic Google Maps | 9m | 18m |
| Tempo di percorrenza 24 dic ArcGIS Pro | 13-20m | 26-28m |

Tabella 20: Riassunto delle tempistiche dei percorsi per CityLife durante le giornate del 24 dicembre e 25 aprile, elaborazione propria.

In conclusione, i casi studio di Milano e Torino hanno evidenziato le potenzialità circa l'utilizzo di strumenti avanzati come ArcGIS Pro per l'analisi dei percorsi di emergenza in contesti urbani complessi e ad alta densità. A Torino, con il Teatro Regio e il Museo Egizio, e a Milano con la Torre Allianz di CityLife, si è riscontrato un notevole incremento delle tempistiche di percorrenza durante giornate particolarmente affollate, come il 24 dicembre e il 25 aprile. In entrambi i contesti, i percorsi suggeriti da Google Maps, sebbene utili, non tengono conto di alcune criticità come l'affollamento straordinario in specifici momenti dell'anno. L'uso di ArcGIS Pro ha permesso di simulare scenari realistici, maggiorando i tempi di percorrenza per i tratti più congestionati e permettendo così una pianificazione più accurata dei soccorsi. Questi risultati dimostrano come, in fase di progettazione e gestione delle emergenze, sia fondamentale prevedere scenari particolari e adottare misure compensative, come la definizione di percorsi alternativi o l'impiego di tecnologie innovative per proteggere i lavoratori, al fine di garantire la sicurezza e la tempestività degli interventi di soccorso.

5.1.1.3 Applicazione su ArcGIS Pro per i cantieri con picchi di affluenza

L'ultimo aspetto da esaminare riguarda i cantieri situati in aree che, sebbene generalmente meno complesse da un punto di vista urbanistico, registrano picchi straordinari di affluenza in occasione di eventi speciali. È il caso del cantiere della scuola elementare di Vedano al Lambro, vicino all'autodromo di Monza, e del cantiere di Melpignano, paese sede della "Notte della Taranta". I cantieri di Milano e Torino sono caratterizzati da una duplice complessità, da un lato strutturale – architettonica e dall'altro sono inseriti in un contesto urbanistico particolarmente affollato e con densità edilizie notevoli. I cantieri di Vedano e Melpignano, invece, non presentano situazioni particolarmente complesse dal punto di vista costruttivo, essendo due edifici scolastici abbastanza semplici e lineari. Tuttavia, la loro particolarità sta nell'essere situati in luoghi che, in modo sporadico, attirano migliaia di persone per eventi unici come il Gran Premio di Italia e la Notte della Taranta. L'obiettivo è quindi valutare come l'uso del GIS e di Google Maps possa essere efficace nella gestione delle emergenze e dei percorsi di soccorso in questi contesti eccezionali, dove l'affluenza è rilevante solo in determinati e sporadici momenti dell'anno.

In primo luogo, è necessario definire i punti di partenza dell'analisi, ovvero i distaccamenti dei Vigili del Fuoco e gli ospedali da considerare per una valutazione precisa dei percorsi e delle tempistiche di soccorso. Nel caso lombardo, il comando dei VVF più vicino al cantiere della scuola elementare di Vedano al Lambro è il distaccamento volontario di Lissone, situato a circa 2,7 km di distanza. Tuttavia, poiché i distaccamenti volontari non garantiscono sempre un'operatività continua, non si prenderà in considerazione questo comando. L'analisi si concentrerà invece sul Comando Provinciale dei VVF di Monza e Brianza, distante circa 5,5 km dal cantiere, che rappresenta la soluzione più vicina rispetto agli altri distaccamenti di Desio (8,8 km) e Seregno (10 km). Per quanto riguarda le strutture sanitarie, l'ospedale più vicino è l'Ospedale San Gerardo di Monza, che si trova a circa 3 km dal sito in esame. Passando al caso pugliese, per il cantiere di Melpignano, il distaccamento dei VVF più vicino è quello di Maglie, situato a circa 4 km di distanza. Per quanto riguarda gli ospedali, purtroppo non vi è la presenza di grandi ospedali o strutture mediche all'avanguardia nelle vicinanze dell'area in esame. Pertanto, l'analisi prenderà in considerazione il Presidio Ospedaliero "Veris Delli Ponti", situato a circa 10 km nel

vicino comune di Scorrano. A questo punto si analizzano i tempi ordinari di percorrenza per i due casi studio in esame considerando un generico venerdì mattina alle ore 6:40.

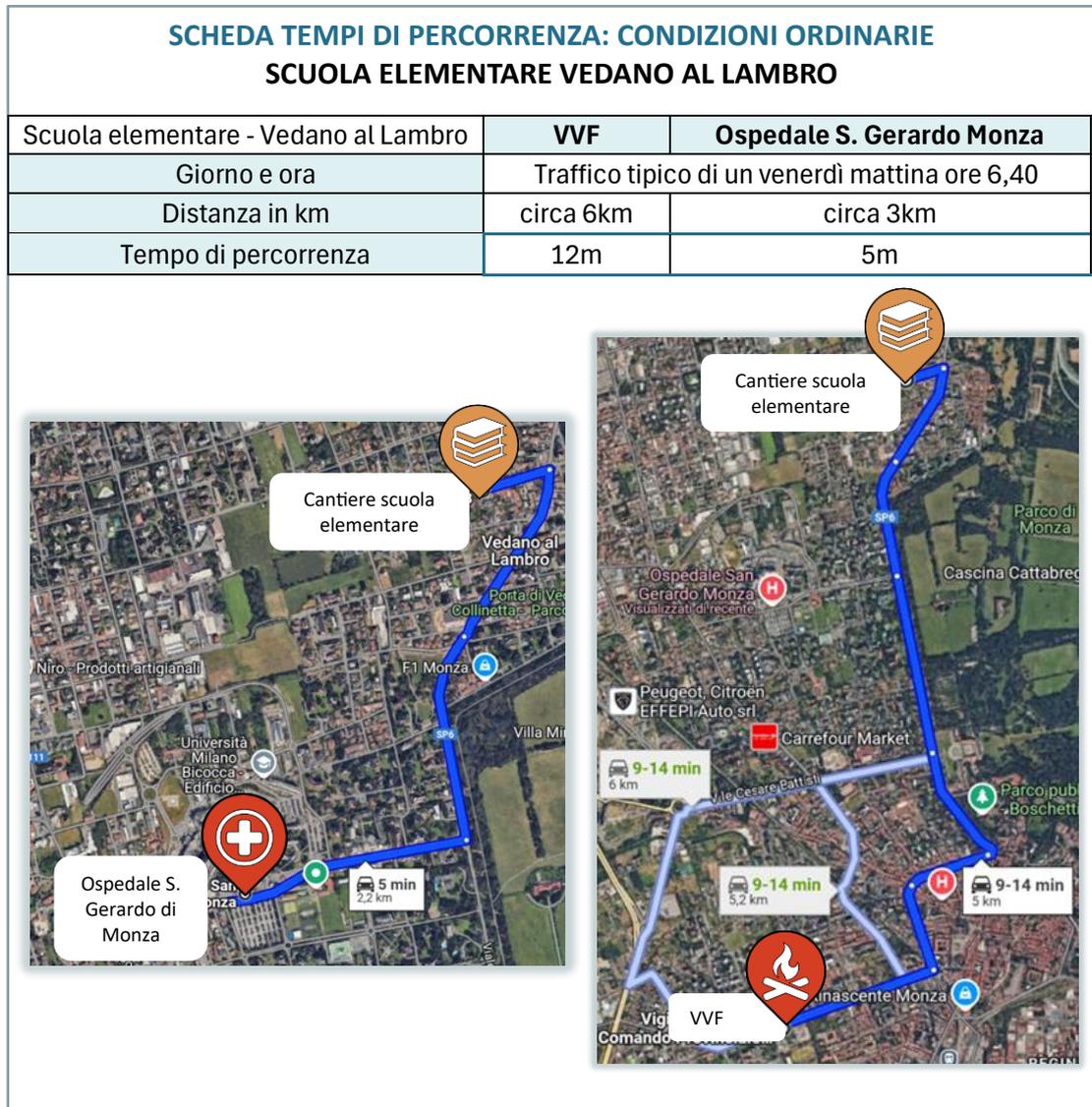


Figura 29: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il cantiere di Vedano al Lambro, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps.

Per il caso studio di Vedano al Lambro, si intende simulare come i tempi di percorrenza dei mezzi di soccorso variano durante un evento di portata straordinaria, come il Gran Premio d'Italia di Formula 1. Nel 2024, il GP si è svolto presso l'Autodromo di Monza domenica 1° settembre alle ore 15:00. L'analisi si concentrerà proprio su questa giornata, utilizzando i dati specifici del traffico di quell'evento, per valutare come tali condizioni incidano sui tempi di intervento dei Vigili del Fuoco e dei mezzi sanitari. Nel caso del cantiere dell'Agrinido di Melpignano, si procede ad analizzare le

tempistiche standard dei percorsi dei mezzi di soccorso, basandosi sui dati forniti da Google Maps:

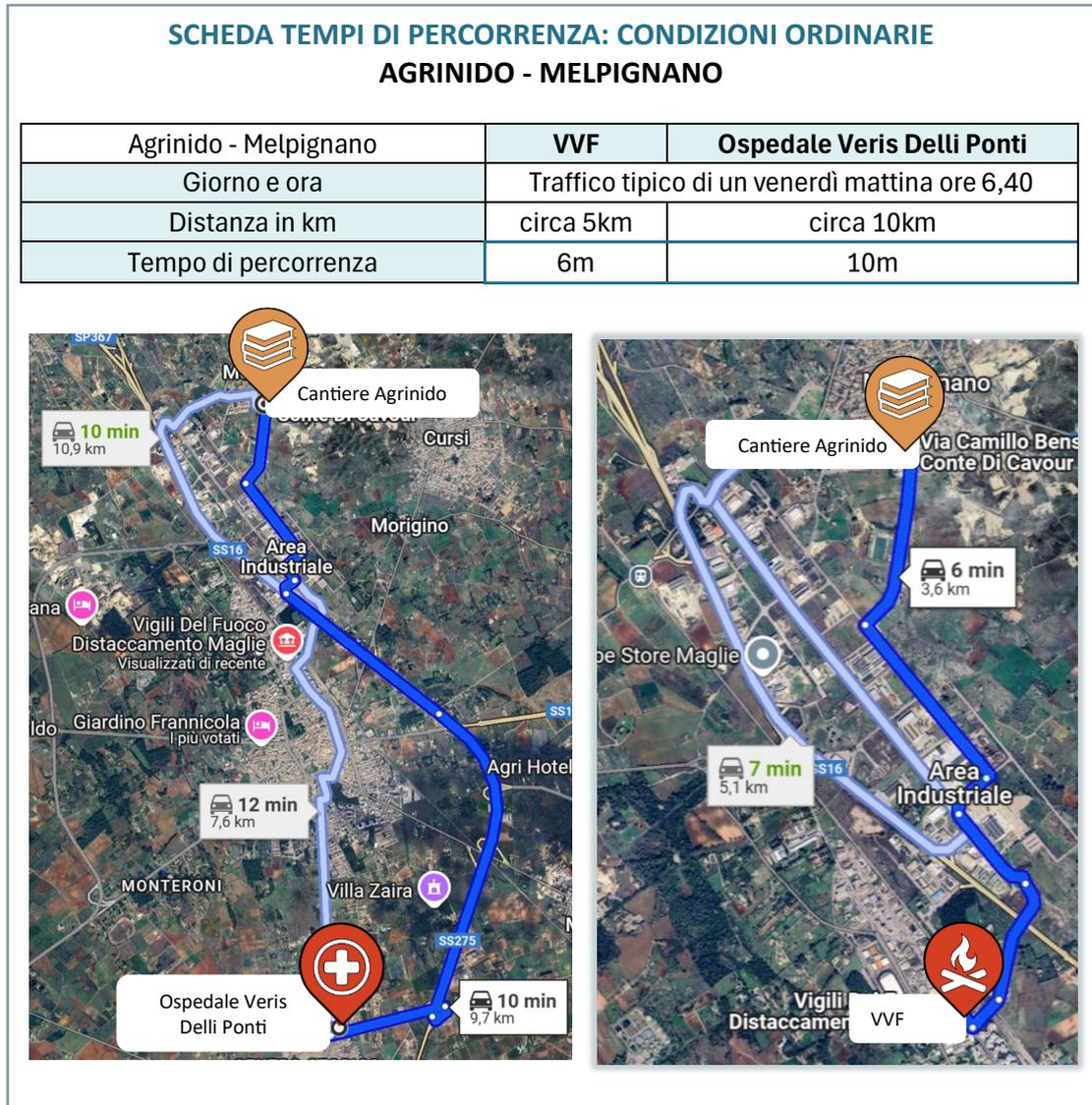


Figura 30: Scheda riassuntiva tempi di percorrenza ordinari per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria con dati e screenshot da Google Maps.

Per il caso studio di Melpignano, l'analisi si concentra sulle variazioni delle tempistiche dei mezzi di soccorso durante lo svolgimento dell'annuale Notte della Taranta, un evento che attira centinaia di spettatori e che si svolge lungo tutto l'arco della giornata del "concertone" finale. Nel 2024, il concertone si è tenuto il 24 agosto, e questo scenario rappresenta un'opportunità ideale per valutare l'impatto dell'affluenza straordinaria sui percorsi dei mezzi di soccorso.

A questo punto, si procede con l'analisi dei dati forniti da Google Maps relativi alle due giornate di grande affluenza: il Gran Premio d'Italia e il concertone della Notte della Taranta. Per il Gran Premio, che ha inizio alle 15:00, si desidera analizzare cosa

accade alle 14:00, quando tifosi e appassionati stanno convergendo verso l'autodromo. Questo rappresenta il momento di maggiore traffico in cui i tempi di percorrenza possono risultare significativamente alterati. Per quanto riguarda la Notte della Taranta, si vuole esaminare la situazione nel pomeriggio, alle ore 18:00, quando i flussi di spettatori iniziano a intensificarsi in vista dell'evento serale.

| Scuola elementare - Vedano al Lambro | VVF | Ospedale S. Gerardo Monza |
|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Giorno e ora | 1° settembre 2024 ore 14:00 | |
| Distanza in km | circa 6km | circa 3km |
| Tempo di percorrenza | 14m | 6m |

| Agrinido - Melpignano | VVF | Ospedale Veris Delli Ponti |
|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Giorno e ora | 24 agosto 2024 ore 18:00 | |
| Distanza in km | circa 5km | circa 10km |
| Tempo di percorrenza | 6m | 10m |

Tabella 21: Tempi di percorrenza durante il GP di Monza e della Notte della Taranta per i due cantieri di Vedano al Lambro e Melpignano, elaborazione propria.

Come evidenziato nella Tabella 21, i tempi di percorrenza calcolati da Google Maps non variano rispetto alle condizioni ordinarie, durante gli eventi straordinari del Gran Premio d'Italia e la Notte della Taranta. Questo dato è significativo perché mette in luce un limite rilevante nell'utilizzo di Google Maps: sebbene sia efficace nel monitorare in tempo reale il traffico, non è in grado di prevedere accuratamente le condizioni di traffico durante eventi sporadici e di grande affluenza. Ciò significa che, senza un monitoraggio sul posto o altre metodologie di indagine, non è possibile conoscere a priori o analizzare in dettaglio l'impatto che questi eventi avranno sul traffico. L'utilizzo di strumenti come ArcGIS Pro per l'analisi dei percorsi rappresenta una misura compensativa importante per migliorare la gestione delle emergenze, ma non costituisce la soluzione più efficace per valutare situazioni legate a eventi sporadici. In questi casi, sarebbe più opportuno adottare altre misure integrative di prevenzione e protezione. Ad esempio, è possibile pianificare in anticipo la gestione integrata con i soccorsi per la giornata dell'evento, collaborando preventivamente con i Vigili del Fuoco per stabilire presidi di controllo aggiuntivi, e coordinando la sovrapposizione delle attività di cantiere con tali eventi già nella fase di definizione del cronoprogramma. Questi aspetti verranno analizzati con maggiore dettaglio nel paragrafo 5.2.1 relativo alle misure di prevenzione per migliorare la gestione delle emergenze interne ed esterne in questi contesti così particolari e sporadici.

5.1.2 Utilizzo di RFID e DPI intelligenti

Un'ulteriore misura di protezione che è possibile adottare per integrare e migliorare il sistema di gestione delle emergenze è l'impiego di tecnologie RFID e DPI intelligenti. Questi strumenti risultano particolarmente efficaci nei cantieri complessi, caratterizzati da più piani, anche interrati, grandi dimensioni e spazi articolati. In tali contesti, le tecnologie RFID e i DPI intelligenti possono essere impiegati per diversi scopi; per quanto riguarda la gestione delle emergenze, essi consentono l'identificazione rapida delle persone che necessitano di assistenza, riducendo così i tempi di intervento per i soccorritori. Per comprendere l'applicazione di questi strumenti, è importante chiarire la loro natura e funzione.

Il termine RFID sta per “Radio Frequency Identification” e cioè una tecnologia innovativa che permette, tramite la propagazione di onde elettromagnetiche, l'identificazione automatica e a distanza di oggetti, mezzi e persone dotati di un apposito tag, sia statici che in movimento (GepInformatica, 2022). Per comprendere al meglio il funzionamento e le potenziali applicazioni di questa tecnologia, è utile analizzare le sue componenti principali. Un sistema RFID è costituito dai seguenti elementi fondamentali:



Figura 31: principali componenti di un sistema RFID, elaborazione propria.

Il primo componente di un sistema RFID è il **tag**, un chip che viene utilizzato per immagazzinare informazioni specifiche. Questo tag funziona come un'etichetta digitale che memorizza un codice univoco universale (UID) e altri dati rilevanti, rendendolo riconoscibile all'interno del sistema. I tag RFID si dividono in due categorie principali: attivi e passivi. I tag attivi, dotati di batteria interna, trasmettono autonomamente dati su lunghe distanze. Hanno ampia capacità di memoria, sono riscrivibili e spesso integrano sensori per monitorare parametri come temperatura e pressione. I tag passivi non hanno batteria e funzionano solo a breve distanza dal lettore, sono tipicamente impiegati nei badge aziendali per l'accesso agli edifici.

Inoltre, i tag possono essere di sola lettura (non modificabili), di lettura/scrittura (dati aggiornabili) e anticollisione (leggibili contemporaneamente da un unico lettore). I diversi tag comunicano con **un'antenna** che trasmette e riceve onde radio, consentendo la conversione dei segnali in dati leggibili e l'identificazione a distanza dei tag stessi. Una volta letti, i dati passano attraverso un **sistema di codifica** che ne verifica la correttezza e funge quindi da filtro, assicurando che solo i dati validi vengano elaborati. Infine, un **sistema di gestione centrale**, connesso in rete, raccoglie e organizza le informazioni provenienti da ogni tag RFID. Questo sistema non solo consente di visualizzare e analizzare i dati in tempo reale, ma permette anche di condividere tali informazioni con altre piattaforme online e di memorizzarle per un accesso futuro. Tale architettura centralizzata rende possibile un monitoraggio continuo e un controllo dei dati in ogni momento, migliorando l'efficienza e la sicurezza nella gestione delle informazioni. Lo sviluppo della tecnologia RFID affonda le sue radici nella Seconda guerra mondiale, quando fu inizialmente implementata in ambito militare per identificare a distanza oggetti e persone. Da allora, il progresso tecnologico ha portato a un'evoluzione che ha permesso all'RFID di espandersi in molteplici settori, dalla moda ai sistemi di pagamento e accesso, come il Telepass, ai sistemi antitaccheggio impiegati nei supermercati.

Nel contesto del cantiere, la tecnologia RFID può svolgere un ruolo cruciale per migliorare il sistema di sicurezza dei lavoratori. Un'applicazione innovativa consiste nell'integrare i tag RFID sui dispositivi di protezione individuale (DPI) indossati dai lavoratori. In questa maniera è possibile monitorare in tempo reale la conformità e l'efficienza dei DPI, assicurando che siano idonei, in buone condizioni, non scaduti e, eventualmente, correttamente combinati tra loro. I DPI diventano così "smart" grazie all'integrazione di tag attivi o passivi che ne consentono l'identificazione sia a distanza che in prossimità. Si parla, infatti, di DPI intelligenti, una nuova misura innovativa che può concretamente migliorare l'intero sistema di sicurezza in cantiere. Grazie a questa tecnologia, il datore di lavoro può monitorare, anche a distanza, l'uso corretto dei dispositivi di protezione individuale da parte di ogni lavoratore. Volendo fornire un esempio concreto di sviluppo e utilizzo dei DPI intelligenti, è possibile far riferimento al lavoro dell'impresa italiana IoTron. Gli sviluppatori di questa realtà hanno infatti implementato un sistema chiamato SafetyForge in cui vengono proposti dei DPI intelligenti, dotati di tag RFID, che possono essere controllati mediante un'applicazione smartphone. L'applicazione rileva la presenza e l'idoneità dei DPI,

permettendo controlli sistematici all'inizio della giornata o monitoraggi continui durante le attività operative. In caso di anomalie, come un DPI mancante o non conforme, l'app emette un allarme che segnala l'irregolarità all'operatore, contribuendo a un controllo efficace e continuo della sicurezza sul lavoro. Tutti i dati raccolti dai tag RFID vengono elaborati in rete attraverso una piattaforma centralizzata, che non solo monitora le condizioni attuali, ma è anche in grado di analizzare i dati per prevedere potenziali rischi, migliorando così la capacità di prevenzione e aumentando il livello di sicurezza generale nel cantiere. (IoTron, s.d.)



Figura 32: Immagine rappresentativa del funzionamento del sistema di DPI intelligenti di SafetyForge, immagine presa dal sito web <https://safetyforge.it/>

Un'altra tecnologia che è possibile combinare con i DPI intelligenti è il DPI Visual Analyzer, un sistema di controllo avanzato per la sicurezza in cantiere. Questo dispositivo consiste in un varco elettronico, installato presso i punti di accesso alle zone di lavoro, dotato di lettori RFID in grado di tracciare i DPI intelligenti. In questo modo è possibile verificare automaticamente se i lavoratori indossano correttamente i DPI, la loro conformità e le scadenze, garantendo il rispetto delle norme di sicurezza del cantiere. Affinché il sistema funzioni correttamente, ogni DPI deve essere dotato di un tag RFID specifico, che permette al varco di identificare e monitorare lo stato dei dispositivi indossati. In questo modo, si massimizzano le condizioni di sicurezza, prevenendo potenziali rischi legati all'uso inappropriato dei DPI.

Un esempio concreto di questa tecnologia è l'IoT DPI Solution sviluppato da Partitalia. Questo varco, dotato di lettori RFID, registra nel Cloud i dati raccolti ogni volta che un lavoratore passa attraverso il punto di controllo. In questo modo, non solo si automatizza il controllo della conformità dei DPI, ma si rende anche possibile

monitorare lo stato di usura degli stessi, contribuendo a un sistema di sicurezza più efficiente e basato su dati in tempo reale. (Partitalia Srl, 2023)



Figura 33: Immagine raffigurante il DPI Visual Analyzer sviluppato da Partitalia, immagine presa dal sito web di Partitalia.

Dopo aver compreso le principali caratteristiche degli RFID e il loro utilizzo in cantiere, è fondamentale analizzare il contributo che questi sistemi offrono in termini di miglioramento della gestione delle emergenze. Infatti, tra le differenti informazioni che questi tag sono in grado di immagazzinare, vi è la geolocalizzazione in tempo reale, consentendo di conoscere la posizione precisa di ogni lavoratore all'interno del cantiere. Questa informazione diventa particolarmente rilevante in grandi cantieri che si estendono su vaste superfici o che sono strutturati su più livelli. In caso di emergenza, la possibilità di individuare rapidamente il lavoratore in difficoltà permette di intervenire tempestivamente per metterlo in sicurezza anche prima dell'arrivo delle squadre di soccorso, riducendo così al minimo i tempi di intervento e aumentando le probabilità di un esito positivo.

In sintesi, i sistemi RFID e i DPI intelligenti hanno un duplice ruolo in cantiere: da un lato, facilitano il monitoraggio costante delle condizioni di sicurezza, garantendo che i lavoratori indossino correttamente i dispositivi di protezione; dall'altro, rappresentano un importante strumento di supporto per la gestione delle emergenze, consentendo interventi mirati e tempestivi delle squadre di soccorso.

5.2 Strategie di prevenzione per la gestione delle emergenze

Come visto fin ora, le misure di protezione proposte puntano a ottimizzare l'intero sistema di gestione delle emergenze una volta che queste si verificano. In particolare, l'impiego di sistemi GIS per lo studio dei percorsi consente di analizzare il tempo effettivo di intervento da parte delle squadre di soccorso e prevedere soccorsi alternativi. In parallelo, l'uso di tecnologie come gli RFID aumenta la sicurezza sul cantiere, rendendo più semplice l'individuazione dei lavoratori in situazioni di emergenza e migliorando così l'efficacia dei soccorsi.

Per quanto riguarda le misure di prevenzione, queste mirano a prevenire l'insorgere di situazioni di emergenza, intervenendo sia nella fase di pianificazione del cantiere sia durante lo svolgimento dei lavori. Nello specifico, si analizzeranno due strategie di prevenzione mirate, innanzitutto la possibilità di comunicazione e cooperazione preventiva con le squadre di soccorso. Inoltre, si vuole studiare l'utilizzo dell'intelligenza artificiale per combinare i dati degli RFID, simulando possibili scenari con realtà virtuale e aumentata per individuare i principali ostacoli in cantiere durante un'emergenza.

5.2.1 Coordinamento e pianificazione con le squadre di soccorso

La prima misura di prevenzione che si vuole proporre per migliorare la gestione delle emergenze punta a rafforzare il **coordinamento con le squadre di soccorso**, in particolare con i Vigili del Fuoco. Infatti, durante la fase di pianificazione delle attività di cantiere potrebbero essere individuate delle giornate caratterizzate da eventi occasionali ad elevato affollamento o, ad esempio, utilizzando il GIS potrebbe emergere una congestione critica in determinate giornate nelle prossimità del cantiere. In questi casi specifici una soluzione efficace consiste nel comunicare preventivamente con le squadre di soccorso al fine di pianificare e condividere una strategia comune. Questo approccio può rivelarsi utile in casi studio come quelli di Melpignano e Veduggio al Lambro, dove pur non essendoci criticità significative relative all'accessibilità e transito all'interno del cantiere, è noto lo svolgimento di eventi importanti quanto occasionali in grado di attrarre folle significative. In queste circostanze informare preventivamente i VVF e le strutture sanitarie vicine consente di organizzare le risorse in modo mirato e ottimale, migliorando la tempestività degli interventi in caso di emergenza. Questo aspetto è fondamentale perché mentre eventi di rilevanza pubblica

prevedono protocolli e risorse apposite, cantieri di minore entità possono facilmente trascurare il potenziale impatto di simili affollamenti.

Dunque, il Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP) già in fase di redazione del cronoprogramma di cantiere può scegliere alternativamente di limitare o sospendere, per le giornate di maggiore affluenza, le lavorazioni che presentano i rischi maggiori per i lavoratori oppure, se questa limitazione non è possibile, può decidere di informare anticipatamente le squadre di soccorso e le strutture ospedaliere dei rischi connessi all'attività del cantiere, in modo che esse siano preparate a gestire emergenze coordinate. Questo può essere garantito andando a valutare preventivamente i percorsi dei mezzi di soccorso, tenendo conto di tutte le restrizioni e le chiusure stradali predisposte dal comune per quella specifica giornata. Dunque, in questo modo sia i VVF che i presidi sanitari ospedalieri più vicini all'area interessata, sono già a conoscenza della presenza di un cantiere, delle lavorazioni e rischi associati in caso di emergenza, e possono predisporre delle unità apposite da riservare unicamente per il cantiere. Grazie a ciò, nel caso in cui un incidente dovesse coincidere con un evento sporadico ad elevata affluenza, la comunicazione anticipata permette alle squadre di soccorso di conoscere già la posizione del cantiere, i percorsi più rapidi e le risorse necessarie, riducendo così al minimo i tempi di intervento e potenziando l'efficacia della risposta all'emergenza.

Nel caso di cantieri in aree urbane complesse come quelli analizzati per la città di Torino, è possibile anche prevedere un **servizio di vigilanza straordinario** da parte dei Vigili del Fuoco in occasioni specifiche. In contesti di pubblico spettacolo o manifestazioni ad alta affluenza, i servizi di vigilanza sono forniti dal Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco, in conformità alle deliberazioni delle commissioni comunali o provinciali competenti, e sono servizi a pagamento che devono essere richiesti obbligatoriamente dai titolari degli eventi (Vigili del Fuoco, s.d.). Per esempio, il Teatro Regio di Torino richiede un servizio di vigilanza VVF durante rappresentazioni, considerata la portata dell'evento e l'elevata presenza di pubblico. Tale servizio non è generalmente previsto durante giornate ordinarie in cui non vi è affluenza di pubblico all'interno del teatro o comunque in qualsiasi altro luogo aperto al pubblico privo di eventi in corso. Tuttavia, l'analisi GIS ha evidenziato come in alcune giornate dell'anno, a causa dell'elevato affollamento nelle aree circostanti, i tempi di percorrenza dei mezzi di soccorso tendano a raddoppiare rispetto ai tempi usuali, ritardando così potenziali interventi in caso di emergenza all'interno del cantiere.

Dunque, in giornate con un elevato afflusso nelle aree circostanti, la presenza di un cantiere di manutenzione impiantistica all'interno del teatro, combinata con il montaggio di una nuova scenografia e l'esecuzione delle prove, potrebbe rendere necessaria la richiesta di un supporto di vigilanza straordinario. Tale misura non solo migliorerebbe la sicurezza complessiva dell'area, ma consentirebbe anche di affrontare tempestivamente eventuali emergenze, riducendo i rischi per i lavoratori, per il pubblico e per l'edificio stesso.

Un'ulteriore strategia di prevenzione riguarda l'organizzazione delle **prove di evacuazione antincendio**, obbligatorie ai sensi del DM del 2 settembre 2021 per i luoghi di lavoro in cui il datore di lavoro è tenuto a predisporre un piano di emergenza ed evacuazione. Dunque, nei contesti analizzati, vengono previste per legge delle prove di evacuazione, almeno con cadenza annuale. Tuttavia, queste simulazioni potrebbero essere ulteriormente ottimizzate svolgendole durante giornate di particolare affollamento e valutando l'effettiva raggiungibilità dei mezzi di soccorso. Utilizzando il GIS, è possibile identificare in anticipo le giornate critiche per affluenza e organizzare le prove in quei momenti, permettendo di osservare sia la capacità di evacuazione all'interno dell'edificio sia l'impatto della folla esterna sui tempi reali di arrivo dei soccorsi. Questo approccio risulta particolarmente efficace in contesti come quello di CityLife, dove ho partecipato alla prova di evacuazione antincendio del 2024. In quell'occasione, l'affollamento generato dall'evacuazione dell'intero complesso direzionale e commerciale ha creato flussi significativi di persone in corrispondenza della zona sottostante i grattacieli, nei punti di raccolta. Sarebbe interessante, per la prova del 2025, studiare non solo l'esecuzione della prova stessa, ma anche le effettive condizioni di accesso dei mezzi di soccorso alle torri, considerando la presenza della folla che sta evacuando.

In conclusione, una gestione delle emergenze che tenga conto delle specificità di contesto e delle dinamiche di affollamento, soprattutto nei cantieri situati in aree urbane densamente popolate o vicine a luoghi di grande richiamo, è essenziale per garantire sicurezza e tempestività di intervento. Le soluzioni proposte, come la collaborazione anticipata con le squadre di soccorso, l'eventuale vigilanza straordinaria e la pianificazione mirata delle prove di evacuazione, rappresentano misure di prevenzione concrete per mitigare i rischi e migliorare la risposta alle emergenze.

5.2.2 *Intelligenza artificiale e simulazioni in VR e AR*

Una ulteriore strategia proposta per migliorare la gestione delle emergenze in cantiere si basa sull'adozione di strumenti innovativi, in particolare sull'integrazione dell'intelligenza artificiale (IA), che permette di unificare e ottimizzare tutte le misure di sicurezza trattate finora. L'IA può infatti supportare l'analisi preventiva e la previsione di scenari di rischio, facilitando la gestione sia delle emergenze interne al cantiere sia di quelle esterne.

L'intelligenza artificiale è una tecnologia innovativa che si occupa di creare sistemi capaci di imitare le funzioni cognitive degli esseri umani, come il ragionamento, l'apprendimento e la risoluzione di problemi. Grazie all'IA, i sistemi sono in grado di percepire l'ambiente, analizzare i dati ricevuti (che possono essere pre-elaborati o raccolti tramite sensori), e rispondere con azioni mirate verso il raggiungimento di obiettivi specifici. Inoltre, i sistemi di IA possono adattarsi autonomamente: analizzano gli effetti delle proprie azioni, apprendono dall'esperienza e migliorano il proprio comportamento per ottimizzare le prestazioni nel tempo (Parlamento Europeo, 2020). Grazie alle sue capacità e alla possibilità di elaborare enormi quantità di dati, l'intelligenza artificiale sta trovando sempre maggior applicazione in vari settori. Dall'assistenza sanitaria all'istruzione e formazione, fino a migliorare la sicurezza di automobili e mezzi di trasporto, l'IA è diventata una componente fondamentale della vita quotidiana delle persone e rappresenta uno strumento di grande importanza.

In termini di gestione delle emergenze in cantiere, l'intelligenza artificiale offre opportunità significative per migliorare le modalità di gestione attuali. Questa tecnologia può essere applicata su due fronti distinti ma complementari.

In primo luogo, l'intelligenza artificiale può essere utilizzata per elaborare i dati provenienti dalle analisi condotte utilizzando il GIS. Grazie alla sua capacità di gestire grandi volumi di dati, l'IA può analizzare rapidamente una vasta gamma di combinazioni di percorsi per i mezzi di soccorso, considerando variabili come il traffico, le chiusure stradali e i flussi di affollamento per ogni giorno dell'anno. Questo approccio permette di identificare le giornate più critiche in termini di accessibilità al cantiere, garantendo che vengano adottate misure preventive per mitigare i ritardi nel caso di un'emergenza.

D'altra parte, l'IA può fungere da strumento integrativo in combinazione con dispositivi di protezione individuale smart, equipaggiati con sensori RFID. Attraverso l'analisi dei dati registrati dai tag RFID, è possibile monitorare l'uso corretto delle

attrezzature e identificare i "near miss" o quasi incidenti. Si tratta di eventi che, sebbene non abbiano portato a un incidente reale, hanno il potenziale di causarne uno, ovvero rappresentano situazioni in cui si verifica una violazione delle norme di sicurezza che, se non fosse stato per circostanze fortunate, avrebbe potuto portare a infortuni o danni materiali. Analizzando questi dati, è possibile delineare scenari critici e prevedere quali situazioni siano più suscettibili a generare incidenti, consentendo l'implementazione di misure preventive mirate. In questo caso si parla di Machine Learning e cioè la possibilità di un sistema tecnologico di apprendere e formulare previsioni sulla base dei dati che analizza autonomamente. È proprio grazie a questa potenzialità che è possibile anticipare i possibili scenari di incidente attraverso un'analisi dei near miss, dei movimenti e delle operazioni attive all'interno del cantiere.

Utilizzando i dati e gli scenari elaborati tramite l'intelligenza artificiale, è possibile creare simulazioni avanzate con il supporto della realtà virtuale (Virtual Reality, VR) e della realtà aumentata (Augmented Reality, AR). La realtà virtuale consente di riprodurre digitalmente ambienti o oggetti reali, dando vita a mondi interamente simulati in cui l'utente può immergersi per vivere esperienze sensoriali realistiche e specifiche. La realtà aumentata, invece, si integra con l'ambiente reale migliorandolo attraverso sovrapposizioni digitali, come informazioni aggiuntive, istruzioni o persino elementi visivi interattivi. Questo arricchimento permette non solo di comprendere meglio le situazioni sul campo, ma in alcuni casi di intervenire direttamente sugli oggetti tramite interfacce AR, favorendo il controllo immediato e in tempo reale.

Utilizzando gli scenari critici e i quasi-incidenti rilevati in cantiere, è possibile creare una replica virtuale del cantiere, ad esempio tramite un modello BIM (Building Information Modeling). Integrandolo con simulazioni in realtà virtuale (VR), i lavoratori possono addestrarsi con visori immersivi sulle attività che dovranno svolgere e sui comportamenti da adottare in caso di emergenza. Questo approccio rappresenta un livello avanzato di formazione e addestramento: all'interno dell'ambiente simulato, i lavoratori sperimentano realisticamente i potenziali rischi del cantiere e imparano a gestirli al meglio, favorendo un apprendimento esperienziale. La VR permette loro di "vivere" le situazioni critiche in sicurezza, aumentando la consapevolezza e l'efficacia delle risposte di fronte ai pericoli reali, riducendo così il rischio di incidenti. In Italia un numero crescente di aziende sta adottando corsi di formazione specifici attraverso la realtà virtuale, sfruttando le potenzialità immersive

di questo strumento per migliorare l'apprendimento dei lavoratori. Queste simulazioni possono essere svolte in due momenti chiave: prima dell'inizio dei lavori, per preparare il personale alle attività future e fornirgli tutte le informazioni necessarie per operare in sicurezza; e durante i lavori, sfruttando i dati analizzati dall'intelligenza artificiale (attraverso sensori RFID e l'analisi dei *near miss*) per creare simulazioni di situazioni critiche già verificatesi in cantiere, anche se senza incidenti. Questo approccio formativo permette ai lavoratori di vivere in prima persona scenari potenzialmente pericolosi, aumentando la loro consapevolezza dei rischi e migliorando la capacità di risposta a possibili situazioni di emergenza. Un esempio concreto dell'utilizzo della realtà virtuale per la formazione dei lavoratori proviene dalla collaborazione tra le società Augmenta e TwoReality, che hanno sviluppato un sistema di simulazione VR specifico per le attività di cantiere. Grazie a questa tecnologia, i lavoratori possono sperimentare realisticamente i pericoli presenti sul posto di lavoro, imparando a riconoscerli e a gestirli in sicurezza.

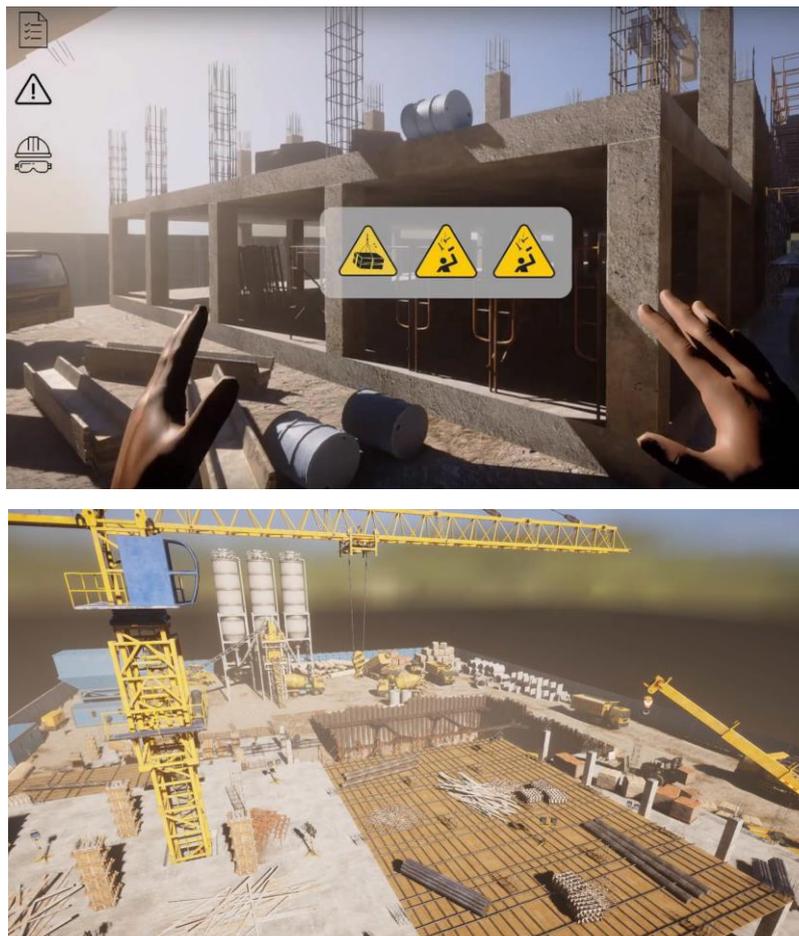


Figura 34: Immagini di simulazione di realtà virtuale del cantiere sviluppate da Augmenta in collaborazione con TwoReality, immagini tratte dal sito web: https://www.augmenta.it/portfolio_page/vr-in-cantiere-formazione-e-training-vr/.

Anche la realtà aumentata (AR) ricopre un ruolo fondamentale nella sicurezza e nella formazione in cantiere, permettendo ai lavoratori di visualizzare in tempo reale, tramite applicazioni su smartphone e tablet, i rischi presenti nell'ambiente circostante. Questa tecnologia può essere integrata con dispositivi di protezione individuale (DPI) intelligenti, che avvisano i lavoratori direttamente sul proprio dispositivo mobile in caso di utilizzo scorretto degli stessi, offrendo inoltre istruzioni dettagliate su come indossarli correttamente. Con specifici sensori, l'AR può anche monitorare le condizioni fisiche dei lavoratori (come la frequenza cardiaca o la temperatura corporea), prevenendo possibili infortuni attraverso una rilevazione tempestiva di segnali di affaticamento o stress termico. In questo modo, la realtà aumentata non solo supporta il lavoratore nelle attività quotidiane, ma promuove anche una cultura della sicurezza proattiva, rafforzando la consapevolezza dei rischi e favorendo una corretta gestione degli strumenti di protezione. Anche in questo caso, esistono diversi esempi di applicazioni AR che permettono di analizzare il cantiere in modo innovativo, visualizzando i rischi legati alle attività lavorative e monitorando l'avanzamento dei lavori grazie ai dati dei modelli BIM e CAD. Un esempio rilevante è GAMMA AR, un'applicazione per il monitoraggio dei cantieri che utilizza la tecnologia AR per sovrapporre modelli tridimensionali (BIM) direttamente sull'area di costruzione tramite smartphone o tablet.

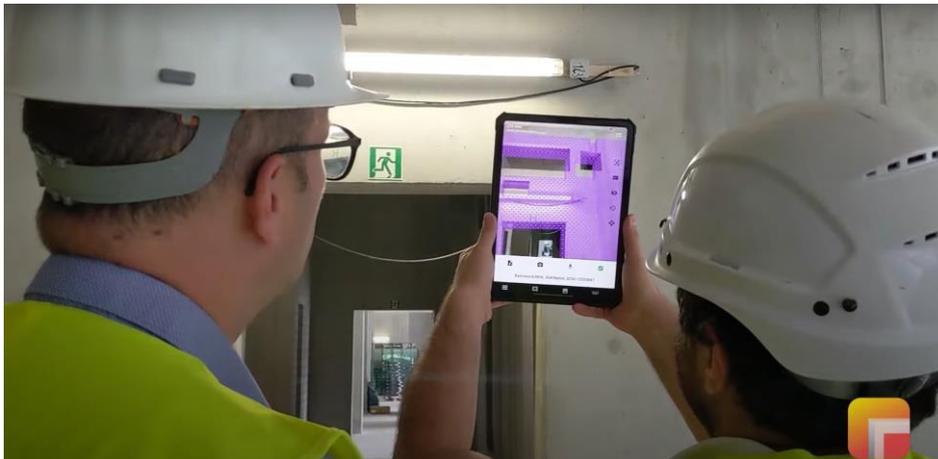


Figura 35: esempio di realtà aumentata per il monitoraggio dei rischi in cantiere, screenshot da video di GAMMA AR <https://www.youtube.com/watch?v=DzFctc7bkCM>.

In conclusione, l'integrazione di tecnologie avanzate come l'intelligenza artificiale, la realtà virtuale e la realtà aumentata rappresenta una svolta per la sicurezza e la formazione in cantiere. Questi strumenti non solo permettono di migliorare la prevenzione dei rischi e la gestione delle emergenze, ma favoriscono anche una formazione più coinvolgente e consapevole per i lavoratori.

6. Analisi dei risultati e conclusioni

Dopo aver analizzato le molteplici misure compensative che possono essere integrate in cantiere per ottimizzare la gestione delle emergenze, è possibile fare un'analisi finale conclusiva. La trattazione, partendo da un'analisi delle attuali pratiche di gestione delle emergenze nei cantieri, ha messo in luce la necessità di un approccio più specifico per contesti caratterizzati da peculiarità che richiedono particolare attenzione. A tal fine, sono stati analizzati vari casi studio, rappresentativi di situazioni in cui la gestione delle emergenze deve essere calibrata sulle caratteristiche del cantiere. In particolare, sono stati analizzati cantieri in edifici di rilievo storico, artistico e commerciale ubicati in aree urbane centrali e ad alto traffico, oltre a cantieri situati in zone che ospitano eventi occasionali con elevata affluenza. Per valutare quantitativamente l'impatto del contesto urbanistico, delle caratteristiche geometriche e funzionali e della presenza di occupanti sulla gestione delle emergenze, è stato sviluppato uno strumento di valutazione che integra la tradizionale valutazione del rischio. L'applicazione di questo strumento ai casi studio ha evidenziato la necessità di misure aggiuntive per compensare il maggiore rischio connesso a queste situazioni particolari. Sono quindi state proposte misure di protezione e prevenzione mirate a migliorare il sistema di gestione delle emergenze sia all'interno sia all'esterno del cantiere. A questo punto, in base ai risultati della valutazione integrativa del rischio e all'analisi delle caratteristiche delle principali misure proposte, è possibile determinare per ciascun caso studio le misure più idonee da applicare per ottimizzare il sistema di gestione delle emergenze.

Per quanto concerne il Teatro Regio di Torino, dalla valutazione dei rischi è emerso che:



| TEATRO REGIO DI TORINO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Caratteristiche geometrico funzionali | Contesto urbanistico | Caratteristiche degli occupanti | Rischio complessivo |
| 3,60 | 3,75 | 2,25 | 3,54 |

Tabella 22: Tabella riassuntiva dei risultati per il Teatro Regio, elaborazione propria.

ELEVATO!

Dunque, si tratta del caso studio che presenta il rischio complessivo più elevato rispetto agli altri. Gli aspetti più critici risultano essere le caratteristiche geometrico funzionali

e il contesto urbanistico. Dunque, in termini di misure compensative per migliorare il sistema di gestione delle emergenze:

| Misure compensative del rischio per il miglioramento della gestione delle emergenze | |
|---|--|
| Misure di PROTEZIONE | Misure di PREVENZIONE |
| Sistema GIS per analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso | Presidio di vigilanza VVF straordinario durante giornate particolarmente critiche (da analisi GIS) |
| Tag RFID installati su DPI intelligenti per tutti i lavoratori | Uso dell'AI per elaborare dati RFID e formazione e addestramento dei lavoratori con VR e AR. |

Tabella 23: tabella riassuntiva misure compensative da adottare per il Teatro Regio, elaborazione propria.

Nel caso del Teatro Regio, per quanto riguarda il contesto urbanistico, è innanzitutto necessario effettuare un'analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso tramite un sistema GIS. Dai risultati di tale analisi emerge che, in giornate particolarmente critiche come il 25 aprile e il 24 dicembre, i tempi di raggiungimento del teatro raddoppiano rispetto ai tempi di percorrenza ordinari. Pertanto, è essenziale valutare possibili percorsi alternativi e comprendere l'impatto della folla sull'accessibilità al cantiere. Inoltre, considerando le ampie dimensioni dell'edificio e la presenza di più piani interrati, dotare i lavoratori di RFID potrebbe rivelarsi particolarmente efficace. In caso di infortuni, ad esempio, i lavoratori impegnati nella manutenzione ai piani interrati potrebbero essere rapidamente localizzati, evitando ulteriori perdite di tempo per i soccorsi. L'intelligenza artificiale (IA), in questo contesto, può essere utilizzata sia per individuare le giornate critiche nei percorsi analizzati con GIS, sia per elaborare i dati RFID, migliorando i processi di formazione e addestramento con l'uso di realtà virtuale (VR) e aumentata (AR). Infine, durante le giornate più critiche identificate dall'analisi, si potrebbe prevedere un presidio straordinario di vigilanza antincendio da parte dei Vigili del Fuoco, aumentando così il livello di sicurezza complessivo.

Nel caso del Museo Egizio, come mostrato nella tabella seguente, il rischio complessivo risulta elevato. Le principali criticità riguardano il contesto urbanistico in cui il museo si inserisce: condividendo le stesse caratteristiche del Teatro Regio, si distingue per un elevato livello di affollamento e una notevole densità urbana.



| MUSEO EGIZIO DI TORINO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Caratteristiche geometrico funzionali | Contesto urbanistico | Caratteristiche degli occupanti | Rischio complessivo |
| 2,20 | 3,75 | 2,75 | 3,05 |

Tabella 24: Tabella riassuntiva dei risultati per il Museo Egizio, elaborazione propria.

ALTO!

Pertanto, le misure compensative del rischio devono essere commisurate alle caratteristiche principali del cantiere in esame:

| Misure compensative del rischio per il miglioramento della gestione delle emergenze | |
|---|---|
| Misure di PROTEZIONE | Misure di PREVENZIONE |
| Sistema GIS per analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso | Informazione preventiva delle squadre di soccorso |

Tabella 25: Tabella riassuntiva misure compensative da adottare per il Museo Egizio, elaborazione propria.

In questo caso, è fondamentale eseguire un'analisi sull'effettiva raggiungibilità del cantiere durante le giornate più critiche, data la complessità del contesto urbanistico circostante. Al contempo, poiché la geometria dell'edificio è piuttosto semplice e lineare, non è necessario ricorrere a dispositivi RFID; tuttavia, potrebbe essere utile stabilire una comunicazione preventiva con le squadre di soccorso, soprattutto in previsione di giornate critiche anche per le lavorazioni in cantiere, così da favorire interventi rapidi in situazioni di emergenza.

Analizzando l'esempio della Torre Allianz presso CityLife a Milano:



| TORRE ALLIANZ - CITYLIFE MILANO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Caratteristiche geometrico funzionali | Contesto urbanistico | Caratteristiche degli occupanti | Rischio complessivo |
| 3,00 | 2,5 | 2 | 2,65 |

Tabella 26: Tabella riassuntiva dei risultati per la Torre Allianz, elaborazione propria.

ALTO!

Analogamente al Museo Egizio, anche in questo caso si registra un rischio complessivo elevato, con criticità significative legate alle caratteristiche geometriche e funzionali dell'edificio. Trattandosi di un grattacielo, la gestione delle emergenze richiede un'attenzione particolare all'individuazione tempestiva dei lavoratori da soccorrere, al fine di ridurre i tempi di raggiungimento e migliorare l'efficacia degli interventi di soccorso.

| Misure compensative del rischio per il miglioramento della gestione delle emergenze | |
|---|--|
| Misure di PROTEZIONE | Misure di PREVENZIONE |
| Sistema GIS per analisi dei percorsi dei mezzi di soccorso | Prove di evacuazione integrate che verifichino anche l'accessibilità dei mezzi di soccorso. |
| Tag RFID installati su DPI intelligenti per tutti i lavoratori | Uso dell'AI per elaborare dati RFID e formazione e addestramento dei lavoratori con VR e AR. |

Tabella 27: Tabella riassuntiva misure compensative da adottare per la Torre Allianz, elaborazione propria.

Le misure da adottare si concentrano innanzitutto sull'analisi dei percorsi per i mezzi di soccorso: sebbene non vi siano le stesse criticità dei casi torinesi, è comunque necessario identificare le giornate più critiche e i possibili ritardi. In questo contesto, l'uso dei dispositivi RFID risulta particolarmente vantaggioso, poiché permette di monitorare costantemente la posizione dei lavoratori, fornendo alle squadre di soccorso informazioni cruciali per un intervento tempestivo. Inoltre, le prove di evacuazione assumono un ruolo centrale e possono essere pianificate considerando l'effettiva raggiungibilità dei mezzi di soccorso, con il supporto di simulazioni in VR e AR per rendere l'addestramento più realistico ed efficace.

Per quanto riguarda i cantieri di Vedano al Lambro e Melpignano:



| SCUOLA ELEMENTARE VEDANO AL LAMBRO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Caratteristiche geometrico funzionali | Contesto urbanistico | Caratteristiche degli occupanti | Rischio complessivo |
| 1,20 | 2,5 | 1,5 | 1,88 |

Tabella 28: Tabella riassuntiva dei risultati per il cantiere di Vedano al Lambro, elaborazione propria.

LIEVE!



| AGRINIDO MELPIGNANO | | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Caratteristiche geometrico funzionali | Contesto urbanistico | Caratteristiche degli occupanti | Rischio complessivo |
| 1,20 | 2,5 | 1,5 | 1,88 |

Tabella 29: Tabella riassuntiva dei risultati per il cantiere di Melpignano, elaborazione propria.

LIEVE!

In questo caso, il rischio può essere considerato lieve, pertanto non sono necessarie prescrizioni aggiuntive per migliorare il sistema di gestione delle emergenze. Tale livello di rischio è dovuto alle dimensioni contenute dei cantieri e all'impiego di un numero limitato di risorse. Tuttavia, è opportuno considerare che nell'area circostante si svolgono eventi sporadici con un afflusso significativo di persone.

Di conseguenza, è consigliabile predisporre piani coordinati con i mezzi di soccorso, così da avere risorse disponibili per un intervento tempestivo in caso di emergenza.

Alla luce delle analisi effettuate, risulta evidente come l'approccio alla gestione delle emergenze deve essere specificamente adattato in funzione delle caratteristiche di ciascun cantiere. Infatti, utilizzando uno strumento di valutazione dei rischi specifici, è possibile analizzare dettagliatamente le esigenze di ogni cantiere e identificare le misure integrative necessarie per migliorare il sistema di gestione delle emergenze.

Le misure suggerite possono essere molteplici e fra queste l'adozione di strumenti innovativi come i sistemi GIS, l'intelligenza artificiale o la realtà virtuale e aumentata, rappresenta un'opzione particolarmente promettente. I GIS possono essere utilizzati per analizzare in modo efficiente i percorsi dei mezzi di soccorso, considerando un aspetto che ancora viene trascurato: l'impatto della folla sui tempi di percorrenza, specialmente durante giornate di alta affluenza. Inoltre, l'integrazione di questi strumenti con i sistemi in uso dai Vigili del Fuoco potrebbe portare a miglioramenti significativi nella risposta alle emergenze. Infatti, una possibile implementazione futura potrebbe essere lo sviluppo di un sistema GIS online integrato con i VVF che, utilizzando l'AI, analizza automaticamente tutti i percorsi possibili, tenendo conto dell'affollamento, delle condizioni del traffico, la tipologia di emergenza e di altre variabili, per proporre la soluzione più efficace. Un altro aspetto emerso dall'analisi è la necessità di incrementare la collaborazione con le squadre di soccorso. Ciò può avvenire attraverso l'organizzazione di prove di evacuazione congiunte, la redazione di piani di coordinamento e, se necessario, l'istituzione di presidi straordinari di vigilanza. Queste misure non solo informano i Vigili del Fuoco e i servizi di soccorso sanitario sulla presenza del cantiere e sui potenziali rischi associati, ma favoriscono anche una maggiore sinergia tra le diverse parti coinvolte nella gestione delle emergenze. Inoltre, le tecnologie avanzate come RFID, intelligenza artificiale, realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR) rappresentano strumenti efficaci per migliorare la sicurezza complessiva del cantiere. Questi sistemi consentono ai coordinatori della sicurezza e ai direttori dei lavori di monitorare costantemente tutti gli aspetti legati alla sicurezza, garantendo un controllo più efficace e tempestivo.

In conclusione, la gestione delle emergenze è un tema di vitale importanza. Agire tempestivamente, tenendo in considerazione percorsi, affollamenti e posizione degli operai, può ridurre significativamente i tempi di intervento. Poiché ogni secondo è

cruciale in situazioni di emergenza, un approccio ben pianificato e integrato non solo migliora la sicurezza, ma ha anche il potenziale di salvare un numero maggiore di vite umane.

7. Bibliografia e sitografia

- A Melpignano prende forma "l'Agrinido", l'innovativa struttura per l'infanzia. (2023, Dicembre 03). *LeccePrima*.
- Amaro, G. G., Dell'Infante, V., & Di Cesare, P. (2023). Verso un cantiere 4.0. Come la realtà aumentata può migliorare produzione e sicurezza. *Ingenio*.
- Amaro, G. G., Di Cesare, P., & Perret, S. (2021). Guida alle soluzioni più innovative per la gestione della sicurezza in cantiere. *Ingenio*, 12.
- ANSA, R. (2024, Gennaio 01). Museo Egizio di Torino, nel 2023 oltre 1 milione di visitatori. Torino.
- Bardelli, P. G. (2010). *Il Teatro Regio di Torino da Carlo Mollino ad oggi*. Dario Flaccovio Editore.
- CityLife. (s.d.). Tratto da <https://www.city-life.it/it/progetto>
- D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81. (s.d.). *Testo Unico Sicurezza sul Lavoro*.
- D.P.R n.380 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia. (2001, Giugno 6).
- D.P.R. 28 maggio 2001, n.311. (s.d.). *Regolamento per la semplificazione dei procedimenti relativi ad autorizzazioni per lo svolgimento di attività disciplinate dal testo unico delle leggi di pubblica sicurezza nonché al riconoscimento della qualifica di agente di pubblica sicurezza* .
- Decreto legislativo n.139 - Riassetto delle disposizioni relative alle funzioni ed ai compiti del Corpo nazionale dei Vigili del Fuoco. (2006, Marzo 8).
- Decreto Ministeriale 10 marzo 1998. (s.d.). *Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro*.
- Decreto Ministeriale 2 settembre 2021 . (s.d.). *Criteri per la gestione della sicurezza antincendio nei luoghi di lavoro*.
- Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile. (s.d.). *Il soccorso*. Tratto da <https://www.vigilfuoco.it/chi-siamo/il-soccorso>
- Direzione Tecnica - Servizio di Programmazione e Conduzione . (2021, Luglio).
Teatro Regio di Torino . Tratto da

https://www.teatroregio.torino.it/sites/default/files/uploads/inline-files/3%29%20Capitolato_d%27appalto%20Manutenzione%20termoidraulico.pdf

Esri Italia. (s.d.). *VVF: la geografia dell'emergenza*.

Fastweb. (s.d.). *Realtà Virtuale e Realtà Aumentata: cosa sono e come possono cambiare la nostra vita*.

Fondazione Notte della Taranta. (2020). Tratto da La storia del festival : <https://www.lanottedellataranta.it/it/la-notte-della-taranta/la-storia-del-festival#1000>

Fondazione Teatro Regio di Torino. (2023). *Consistenza media del personale anno 2023* . Tratto da <https://www.teatroregio.torino.it>

Geopop. (2022). Come funziona il traffico di Google maps e come viene rilevato.

GepInformatica. (2022, Febbraio 9). *RFID: Nascita ed evoluzione di una tecnologia perfetta per la logistica di magazzino*.

INAIL . (2023). *Banca Dati statistica INAIL* . Tratto da <https://bancadatistatisticaoas.inail.it/analytics/>

INAIL. (2015). *La progettazione della sicurezza nel cantiere* .

IoTron. (s.d.). *SafetyForge*. Tratto da SafetyForge: Digitalizzare la sicurezza sul lavoro: <https://safetyforge.it/>

Lingua, A., & Matrone, F. (2023). Slide dell'insegnamento di "GIS modeling for City and Land" del CdL magistrale in Ingegneria Edile del Politecnico di Torino.

Monza, C. V. (s.d.). *Parco: sport, natura, relax*. Tratto da <https://reggiadimonza.it/parco/>

MonzaToday. (2023, Agosto 30). *Piano del Traffico - Monza GP 2023*.

Museo Egizio. (2023). *Personale* . Tratto da <https://www.museoegizio.it/trasparenza/staff/>

Museo Egizio di Torino . (s.d.). Tratto da <https://www.museoegizio.it>

MuseoTorino. (2010). *Collegio dei Nobili* . Tratto da <https://www.museotorino.it/view/s/35ff834bbbf54bb2911a91539da31085>

Parlamento Europeo. (2020, Settembre 3). *Che cos'è l'intelligenza artificiale?* Tratto da <https://www.europarl.europa.eu/topics/it/article/20200827STO85804/che-cos-e-l-intelligenza-artificiale-e-come-viene-usata>

Partitalia Srl. (2023, Marzo 15). *La soluzione di Partitalia per la sicurezza dei lavoratori di logistica, industria ed edilizia*. Tratto da

<https://www.partitalia.com/it/azienda/post/IoT-DPI-Solution-il-nuovo-sistema-IoT-per-identificare-i-DPI-sul-luogo-di-lavoro#:~:text=%E2%80%9CIoT%20DPI%20Solution%E2%80%9D%20nasce%20dall,interno%20degli%20%E2%80%9Csmart%20DPI%E2%80%9D>.

R.D. 18 giugno 1931, n. 773. (s.d.). *Testo unico delle leggi di pubblica sicurezza (TULPS)*.

Torino, Teatro Regio. (s.d.). *Visita virtuale - tour a 360 gradi e visita per immagini*.

Tratto da <https://www.teatroregio.torino.it/dentro-il-regio/visita-virtuale>

Ufficio stampa della Fondazione Museo delle Antichità Egizie . (2023, 10 26). 1824-2024 Il Museo Egizio verso il Bicentenario . Sabrina Prestipino.

Vigili del Fuoco. (s.d.). *Vigilanza Antincendio*. Tratto da <https://www.vigilfuoco.it/servizi-al-pubblico/vigilanza-antincendio>

Vitagliano, V. (2024, Settembre 2). Gran Premio d'Italia a Monza: imponente dispiegamento di Forza dell'Ordine. *MBNews - Giornale online della Provincia di Monza e Brianza* .