

POLITECNICO
MILANO 1863

Facoltà di ingegneria

Corso di Ingegneria dei Sistemi Edilizi:

Produzione e Costruzione

**SISTEMI ANTINCENDIO NELLE STAZIONI
METROPOLITANE**

Relatore: Prof. Davide Luraschi

Gianluca Fornaro

10656622

Anno accademico: 2025/26

INDICE

1. Introduzione e obiettivi della tesi

- 1.1 Contesto e motivazioni
- 1.2 Obiettivi e campo di applicazione
- 1.3 Struttura della tesi

2. Incendi nelle stazioni metropolitane: scenari ed esempi

- 2.1 Caratteristiche del rischio incendio in stazioni sotterranee
- 2.2 Esempi di incendi in metropolitane (breve rassegna storica)
- 2.3 Progettazione della sicurezza

3. Sistemi antincendio e vie d'esodo nelle stazioni metro e ferroviarie

- 3.1 Impianto idranti di stazione e di galleria
- 3.2 Sistemi water mist e/o sprinkler su banchine e locali tecnici
- 3.3 Ventilazione, controllo fumo e calore
- 3.4 Vie di esodo, compartimentazione e filtri a prova di fumo

4. Quadro normativo italiano

- 4.1 Principi generali della prevenzione incendi (Codice e RTO)
- 4.2 DM 21 ottobre 20145 – Regola tecnica per le metropolitane
- 4.3 Altre norme e decreti pertinenti

5. Normative estere

- 5.1 Normative europee
- 5.2 Normative e standard extra-europei
- 5.3 Confronto qualitativo tra approccio italiano ed estero

6. Sistemi water mist e HI-FOG

6.1 Principi di funzionamento dei sistemi water mist

6.2 Descrizione del sistema water mist di stazione

6.3 Soluzione HI-FOG per una stazione tipo della Linea M5 di Milano

7. Conclusioni e prospettive future

7.1 Riflessioni sui sistemi antincendio nelle metropolitane moderne

7.2 Vantaggi e limiti dell'approccio water mist rispetto ad altre soluzioni

7.3 Considerazioni finali e prospettive future

8. Abstract

9. Bibliografia

1. Introduzione e obiettivi della tesi

1.1. Contesto e motivazioni

Le infrastrutture di trasporto collettivo, e in particolare le linee metropolitane e le grandi stazioni ferroviarie, svolgono un ruolo fondamentale nella mobilità urbana contemporanea, garantendo elevati volumi di passeggeri in spazi spesso confinati e complessi dal punto di vista impiantistico. In questo contesto, la gestione del rischio incendio assume un'importanza centrale, sia per la tutela della vita umana sia per la continuità di esercizio del servizio, con ricadute dirette sulla sicurezza della città e sul funzionamento del sistema dei trasporti. Gli eventi incidentali verificatisi negli ultimi decenni in alcune reti metropolitane internazionali hanno mostrato come un incendio in stazione possa evolvere rapidamente, coinvolgendo materiali, impianti e flussi di esodo, e come la progettazione antincendio debba integrare aspetti strutturali, impiantistici e gestionali.

In Italia la regolamentazione della sicurezza antincendio nelle metropolitane è stata oggetto di un importante processo di aggiornamento, culminato con il Decreto Ministeriale 21 ottobre 2015 e con l'adozione dell'approccio prestazionale previsto dal cosiddetto "Codice di prevenzione incendi". La progettazione degli impianti di protezione attiva – reti idranti, sistemi sprinkler e water mist, impianti di ventilazione e controllo dei fumi, impianti di rivelazione e allarme – deve risultare coerente con tali disposizioni, oltre che con le pertinenti norme UNI, EN e NFPA che disciplinano le prestazioni e le condizioni di esercizio dei sistemi. Parallelamente, le reti metropolitane di altri Paesi europei ed extraeuropei hanno sviluppato soluzioni normative e tecniche differenti, talvolta più orientate a standard internazionali come NFPA 130 e NFPA 750, che offrono utili termini di confronto rispetto all'impostazione italiana.

1.2. Obiettivi e campo di applicazione

La presente tesi ha come obiettivo principale l'analisi dei sistemi antincendio adottati nelle stazioni metropolitane e in infrastrutture analoghe, con particolare riferimento agli impianti di protezione attiva e all'organizzazione delle vie di fuga. In primo luogo vengono richiamati alcuni esempi significativi

di incendi in stazioni metropolitane, al fine di mettere in evidenza gli scenari tipici di sviluppo dell'incendio e le criticità emerse in termini di evacuazione, controllo dei fumi e prestazioni degli impianti. Successivamente si descrivono i principali sistemi antincendio presenti nelle stazioni tipo – reti idranti di stazione e di galleria, sistemi water mist e sprinkler, impianti di ventilazione e di estrazione fumi, dispositivi di compartimentazione e percorsi di esodo protetti – utilizzando come riferimento sia la normativa vigente sia la documentazione progettuale relativa a una linea metropolitana reale.

Un ulteriore obiettivo del lavoro è l'inquadramento del quadro normativo applicabile, articolato su tre livelli: normativa italiana per le metropolitane, normative e linee guida europee, standard internazionali extraeuropei con particolare attenzione a Stati Uniti e Giappone. Tale analisi consente di evidenziare analogie e differenze tra i diversi approcci regolatori, con riferimento sia ai requisiti prestazionali richiesti ai sistemi di protezione attiva sia alle prescrizioni relative alla gestione dell'emergenza e all'esodo dei passeggeri.

Infine, la tesi approfondisce il caso dei sistemi ad acqua nebulizzata ad alta pressione (water mist) applicati alle stazioni metropolitane, prendendo come esempio la soluzione HI-FOG proposta per una stazione tipo della Linea 5 della metropolitana di Milano. A partire dalle prescrizioni normative e dalle specifiche di progetto, si descrivono le principali aree protette, le logiche di attivazione e le prestazioni richieste, mettendo in luce i vantaggi e i limiti di questa tecnologia rispetto ai sistemi sprinkler tradizionali.

1.3. Struttura della tesi

La tesi è articolata in sette capitoli principali. Nel Capitolo 2 vengono analizzati gli scenari di incendio tipici delle stazioni metropolitane e presentati alcuni esempi significativi di eventi reali, con particolare attenzione alle dinamiche di propagazione, alla formazione dei fumi e alle problematiche di evacuazione dei passeggeri. Il Capitolo 3 è dedicato alla descrizione dei principali sistemi antincendio presenti nelle stazioni metro e ferroviarie, con riferimento alle reti idranti, ai sistemi sprinkler e water mist, agli impianti di ventilazione e controllo fumi e alle soluzioni per le vie di esodo e la compartimentazione.

Nel Capitolo 4 si analizza il quadro normativo italiano applicabile alle metropolitane, con particolare riferimento al DM 21 ottobre 2015 e alle

principali norme tecniche di supporto, mentre il Capitolo 5 amplia la prospettiva al contesto internazionale, presentando sinteticamente alcune normative europee e extraeuropee rilevanti per la progettazione della sicurezza antincendio in stazioni. Il Capitolo 6 costituisce il focus applicativo del lavoro ed è dedicato ai sistemi water mist e, in particolare, alla soluzione HI-FOG adottata o proposta per una stazione tipo della Linea 5 della metropolitana di Milano, ricavata dalla documentazione tecnica disponibile. Il Capitolo 7 raccoglie infine i principali risultati emersi, propone un confronto qualitativo tra i diversi sistemi e approcci normativi esaminati e presenta alcune considerazioni conclusive e possibili sviluppi futuri nell'ambito dell'ingegneria della sicurezza antincendio applicata alle infrastrutture di trasporto collettivo.

2. Incendi nelle stazioni metropolitane: scenari ed esempi significativi

2.1. Caratteristiche del rischio incendio in stazioni sotterranee

Le stazioni metropolitane rappresentano ambienti critici per la sicurezza antincendio a causa della loro configurazione confinati, profondi e con elevati carichi di affollamento. I principali scenari di incendio derivano da fonti di innesco come cortocircuiti negli impianti elettrici, materiali combustibili sui treni (tessuti, plastiche, fluidi idraulici), rifiuti accumulati o atti dolosi, con propagazione accelerata a causa del tunnel effect e della ventilazione naturale forzata. In tali contesti, il controllo dei fumi caldi è determinante: la loro stratificazione riduce la visibilità (spesso sotto i 10 m entro 2-3 minuti) e genera temperature letali ($>60^{\circ}\text{C}$ a 2 m di altezza), compromettendo l'esodo verso le uscite di sicurezza e i percorsi protetti. Inoltre, la presenza di scale mobili, banchine e mezzanini amplifica il rischio di panic spreading, richiedendo sistemi di compartimentazione (filtri fumo REI 120) e ventilazione SEFFC per mantenere tenui strati inferiori respirabili.

La dinamica tipica prevede un fire load elevato (fino a 500 MJ/m^2 nei locali tecnici) e crescita rapida HRR (Heat Release Rate $>20 \text{ MW}$ per treno), con necessità di attivare idranti e water mist entro 60-120 secondi per limitare il flashover [Figura 01]. Questi elementi emergono chiaramente dalle slide sulle lezioni di combustione e reazione al fuoco, dove si evidenziano i principi fisici della piramide del fuoco e le classi di rischio OH1-OH3 per locali tecnici e banchine.

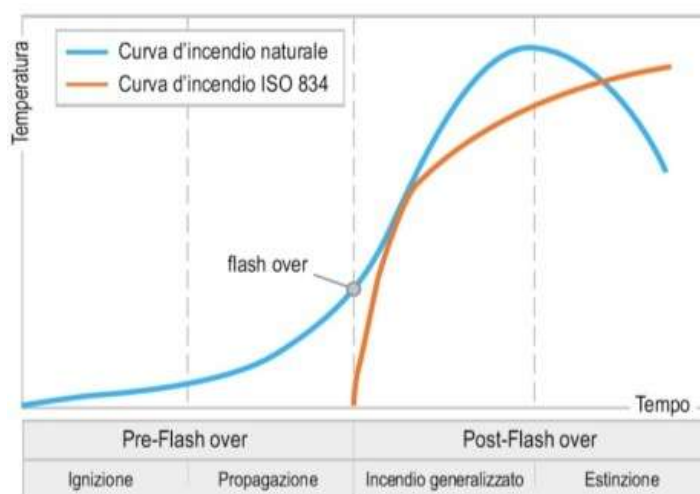


Figura 01 - Curva convenzionale di sviluppo dell'incendio

2.2. Esempi di incendi in metropolitane (breve rassegna storica)

Tra gli eventi più emblematici, l'incendio della stazione di Kaprun (Austria, 2000) [Figura 02] vide un ascensore in panne innescare un fuoco su cavi elettrici, con fumo denso che invase il tunnel inclinato bloccando l'esodo di 155 sciatori: 39 vittime per intossicazione, evidenziando i limiti della ventilazione naturale in percorsi verticali. In Italia, l'incendio alla stazione di San Benedetto del Tronto (2015) su un Frecciarossa coinvolse plastiche interne al treno, con controllo efficace grazie a idranti e rivelazione IRAI, ma criticità nella gestione dell'affollamento della banchina; analogamente, roghi a Torino Porta Nuova (2019) e Roma Termini (2026) bloccarono le linee sotterranee per il fumo proveniente dai cavi elettrici, testando SEFFC e filtri fumo.

A livello internazionale, il disastro di Daegu (Corea del Sud, 2003) causò 192 morti per incendio doloso su un treno: la lentezza di evacuazione (porte bloccate, fumo non estratto) e l'assenza di water mist portarono a temperature oltre i 1000°C e visibilità zero in 4 minuti.

Altri casi significativi includono il King's Cross (Londra, 1987), dove un mozzicone su scale in legno portò al flashover (31 morti), spingendo l'adozione di NFPA 130 per ventilazione push-pull, e Baku (Azerbaijan, 1995), con 289 vittime per esplosione metano in stazione sotterranea, che sottolineò la vulnerabilità ai gas combustibili. Questi esempi dimostrano come la prevenzione passi per rivelazione precoce, sistemi wet (idranti/water mist) e strategie di fumo control, lezioni integrate nel DM 21/10/2015 per le metropolitane italiane.



Figura 02 – Disastro di Kaprun (Austria 11 novembre 2000)

2.3. Progettazione della sicurezza

Dagli eventi analizzati emergono principi progettuali chiave, che orientano la sicurezza antincendio verso un approccio integrato e performance-based, come richiesto dal Codice di Prevenzione Incendi (DM 3/8/2015) e dal DM 21/10/2015 per le metropolitane. Prioritaria è la protezione dei percorsi esodo, ottenuta mediante filtri a prova di fumo con sovrappressione (UNI EN 12101-6), che mantengono uno strato respirabile sotto i 2,5 m di altezza anche in presenza di fumo denso, come dimostrato dai fallimenti verticali a Kaprun; questi sistemi, pressurizzati a 50-100 Pa, garantiscono tempi di evacuazione Available Safe Egress Time (ASET) superiori al Required Safe Egress Time (RSET), tipicamente 4-6 minuti per stazioni con affollamento D3.

Efficace risulta la combinazione di idranti (UNI 10779: portata 120 l/min per 4 unità simultanee a 0,2 MPa) e water mist (UNI EN 14972) per gestire HRR elevati (>20 MW), riducendo i danni collaterali rispetto agli sprinkler tradizionali: nei casi come Daegu e San Benedetto, l'assenza di nebulizzazione ha amplificato la propagazione, mentre test FM/VdS confermano che water mist spegne incendi OH3 in 20-60 secondi con portate 10-20 volte inferiori, minimizzando allagamenti e downtime operativo.

Essenziale è la ventilazione differenziale SEFFC (UNI 9494-2), che confina i fumi caldi sopra i 2,5 m tramite estrazione push-pull (capacità 150-200 m³/s per stazione), evitando la miscelazione come a King's Cross; simulazioni CFD (Computational Fluid Dynamics) per scenari worst-case, come treno fermo in banchina, ottimizzano flussi aria a 3-5 m/s, integrando RTO (Reaction to Fire Optimization) per materiali Reaction to Fire classe A/B-s1,d0 (es. pannelli REI 120).

La progettazione deve bilanciare questi elementi con resilienza economica, come nei capitolati della Linea M5 Milano, dove ibridazioni idranti-water mist-IRAICFD riducono il rischio vite (Rvita D2-D3) del 40-50% rispetto a layout pre-2015, preparando il terreno per l'analisi dei sistemi specifici nei capitoli successivi.

3. Sistemi antincendio e vie di esodo nelle stazioni metro e ferroviarie

3.1. Impianto idranti di stazione e di galleria

La rete idranti costituisce il primo livello di protezione attiva nelle stazioni metropolitane, progettata per un intervento rapido su incendi iniziali in galleria e banchina, garantendo l'operatività dei Vigili del Fuoco e limitando la propagazione. Secondo UNI 10779:2021, per livelli di pericolosità 3 tipici di queste strutture, l'impianto deve assicurare 4 idranti simultanei con portata minima di 120 l/min ciascuno e pressione residua $\geq 0,2$ MPa all'ultimo sfavorito. Questa capacità si ottiene con gruppi pressurizzatori ridondanti: due elettropompe centrifughe principali (parallele, asse orizzontale) più pompa jockey per compensare perdite di tenuta, alimentate da fonti elettriche distinte e acquedotto dedicato "singolo superiore".

Dal locale centrale antincendio, un collettore distribuisce la portata a circuiti dedicati – galleria (lato deposito e precedente stazione), banchine pari/dispari, mezzanino/atrio – controllati da valvole lucchettabili con microswitch per monitoraggio IRAI remoto. Sulle banchine standard (110 m × 13 m), 4 idranti murali DN45 spazati ogni 20-25 m (regola del filo teso) assicurano copertura completa, con cassette equipaggiate di manichette semirigide, lance e tubi flessibili [Figura 03]. In galleria, tubazioni DN80-100 in acciaio zincato (UNI EN 10255, PN16, giunzioni Victaulic) corrono lungo il soffitto, con valvole DN45 ogni 50 m e giunti dielettrici obbligatori per isolare la linea di contatto; ogni idrante include l'interruttore di emergenza per la catenaria.

Nei locali tecnici (edicole, immondiziari), estintori portatili/carrellati (classe A/B/C) integrano la copertura indiretta dal mezzanino, mentre attacchi autopompa (2× DN70 con girello UNI 804) facilitano l'intervento esterno, protetti da valvole di sicurezza (1,2 MPa), di non ritorno e di drenaggio automatico. Tale configurazione, deriva dai capitolati per prolungamenti metropolitani come la M5 Milano.



Figura 03 - Idrante stazione metro con manichette

3.2. Sistemi water mist e/o sprinkler su banchine e locali tecnici

Per spazi ristretti e rischi elettrici, i sistemi water mist ad alta pressione rappresentano una soluzione avanzata rispetto agli idranti, ideale per locali tecnici, sotto banchina e aree critiche. Operando a pressioni superiori a 34,5 bar (NFPA 750), nebulizzano acqua potabile pura in gocce [Figura 04] da 50-100 μm , agendo su tre fronti: raffreddamento (assorbimento calore latente), saturazione (diluzione vapori e ossigeno) e schermatura (blocco irraggiamento termico), con volumi d'acqua drasticamente ridotti rispetto agli sprinkler tradizionali.

L'esempio più concreto è l'impianto HI-FOG progettato per la stazione ST01 della Linea M5 a Milano. Al centro del sistema c'è l'unità di pompaggio LPU05/051: 5 pompe volumetriche principali (con una di riserva) che erogano 683 litri al minuto a 95 bar di pressione, consumando 144 kW di potenza. Una pompa "jockey" più piccola mantiene sempre 25 bar di pressione nelle tubazioni anche a riposo. L'acqua arriva direttamente dall'acquedotto pubblico tramite una tubatura DN80, senza bisogno di serbatoi di riserva.

L'attivazione è automatica: gli ugelli si aprono con bulbi termosensibili (a 57°C) nei sistemi "umidi" o tramite elettrovalvole remote nei sistemi "diluvio". Sensori di flusso e pressione collegati all'IRAI controllano ogni zona separatamente.

I tubi sono in acciaio inossidabile AISI 316L, progettati per resistere a 4 volte la pressione di esercizio. Questo riduce le perdite di carico (secondo la formula di Darcy-Weisbach) e mantiene l'impianto discreto dal punto di vista estetico.

Rispetto agli sprinkler tradizionali (UNI EN 12845), i sistemi water mist usano il 10% dell'acqua, causando meno danni da allagamento. Sono certificati FM, VdS ed Eurofins per scenari metropolitani.

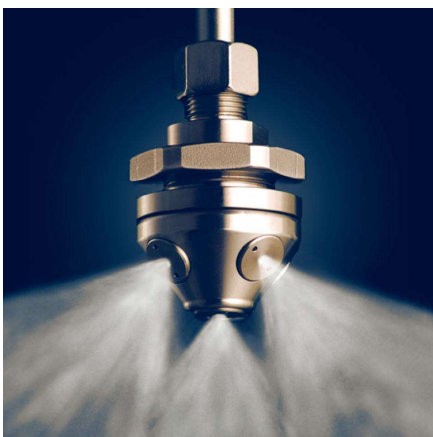


Figura 04 - Ugello water mist nebulizzazione

3.3. Ventilazione, controllo fumo e calore

La ventilazione entra in azione dopo i sistemi antincendio "wet" (idranti/water mist), quando l'IRAI rileva il fuoco. Il suo compito è semplice ma cruciale: mantenere la visibilità sopra 10 metri e uno strato d'aria respirabile sotto i 2,5 m di altezza lungo le vie di esodo.

La norma UNI 9494-2 (Appendice H) descrive i SEFFC (Sistemi Evacuazione Forzata Fumo e Calore) con due strategie principali:

- **Estrazione dal soffitto:** Camere di ventilazione che aspirano i fumi caldi ($>200^{\circ}\text{C}$) a $150\text{-}200\text{ m}^3/\text{s}$
- **Sovrapressione ai filtri:** Aria fresca pompata nelle scale crea una pressione di $50\text{-}100\text{ Pa}$ che blocca l'arrivo del fumo

L'interazione con il water mist è delicata: se l'aria soffia troppo veloce ($>5\text{ m/s}$), disperde la nebbia prima che spenga il fuoco.

Per questo:

- *Prima si attiva water mist (20-60 secondi)*
- *Dopo 2-5 minuti parte la ventilazione*

Nella Linea M5 Milano, la ventilazione trasversale "push-pull" estrae 300 m³/s dalla galleria, riducendo le temperature letali del 70% in 3 minuti. Sensori di CO e opacità nell'IRAI coordinano tutto, attivando anche gli allarmi GSA per l'evacuazione.

3.4. Vie di esodo, compartimentazione e filtri a prova di fumo

Le vie di esodo seguono un percorso progressivo e ridondante per portare i passeggeri rapidamente dalla banchina alla superficie:

- *Dalla banchina al mezzanino: 3 scale per banchina (2 fisse da 3 m di larghezza, 1 mobile da 1 m)*
- *Dal mezzanino alla strada: Uscite larghe 2,4-3,6 m*

Dimensioni minime garantite (per evitare code e panico):

- *Orizzontali: 0,8-1,2 m (densità max 0,7 persone/m²)*
- *Verticali: 1,0-1,4 m (max 50 m senza uscite)*

La compartimentazione trasforma ogni area della stazione in una "scatola di sicurezza" isolata (classe S3 III del Codice di Prevenzione Incendi).

L'idea è semplice: se il fuoco divampa in un locale tecnico o sulla banchina, le fiamme e il fumo non possono propagarsi alle vie di esodo o alle aree adiacenti. Ogni compartimento resiste indipendentemente per il tempo necessario all'evacuazione e all'arrivo dei soccorsi, creando barriere fisiche che contengono l'incendio entro confini precisi.

Queste "scatole" si realizzano con elementi specifici:

- **Pareti e soffitti:** REI120 (resistono 120 minuti al fuoco, al calore e al passaggio di fiamme)
- **Porte:** E30-Sa (si chiudono automaticamente con molle, sono antifumo e resistono 30 minuti)

- **Tubi e cavi:** guaine dielettriche (isolano elettricamente, proteggono la catenaria dai cortocircuiti)

I filtri a prova di fumo nelle scale di sicurezza sono il cuore del sistema: enormi ventilatori pompano aria fresca creando una sovrappressione di 50 Pa (UNI EN 12101-6). È come una "porta a vento invisibile": la pressione più alta nelle scale impedisce al fumo di entrare, anche se le porte si aprono per l'esodo. L'eventuale condensa formata dall'umidità viene raccolta e scaricata tramite lance di drenaggio e pozzi dedicati, evitando ristagni pericolosi.

L'illuminazione di emergenza (intensità minima 1 lux, UNI EN 1838) si attiva automaticamente, illuminando percorsi e scale con luce fredda e direzionale. I pulsanti GSA II (Gruppi di Segnalazione e Allarme), distribuiti strategicamente, attivano sirene e messaggi EVAC multilingua ("Uscita di emergenza - Emergency exit").

Risultato concreto: anche con migliaia di passeggeri in panico, il tempo di esodo RSET (Required Safe Egress Time) si riduce a 4 minuti, lasciando ampio margine rispetto al tempo disponibile prima che il fumo diventi letale.

4. Quadro normativo italiano

4.1. Principi generali della prevenzione incendi (Codice e RTO)

Il quadro normativo italiano per la sicurezza antincendio nelle metropolitane si fonda principalmente sul D.M. 3 agosto 2015, noto come Codice di prevenzione incendi, e sulle successive integrazioni e regole tecniche verticali. Il Codice introduce un approccio prestazionale, in cui le misure di sicurezza non sono solo prescrittive, ma vengono progettate in funzione degli obiettivi di sicurezza da raggiungere, combinando in modo coerente misure passive (resistenza al fuoco, compartimentazione), attive (idranti, sprinkler, water mist, SEFFC) e gestionali (GSA, procedure di emergenza).

Per strutturare il progetto, il Codice definisce 10 strategie antincendio (S1–S10), che coprono i principali aspetti della sicurezza:

- *reazione al fuoco dei materiali*
- *resistenza al fuoco delle strutture*
- *compartimentazione*
- *esodo*
- *gestione della sicurezza (GSA)*
- *controllo dell'incendio e dei fumi*
- *rivelazione ed allarme*
- *operatività in emergenza*
- *sicurezza degli impianti tecnici*

A ciascuna strategia è associato un livello di prestazione (I, II, III) in funzione del rischio per la vita (Rvita), classificato da D1 (basso) a D3 (elevato). Per le metropolitane, caratterizzate da ambienti sotterranei affollati e difficili da evacuare, il Codice colloca tipicamente l'opera nelle classi Rvita D2–D3.

Ne derivano, ad esempio:

- **S3 III:** compartimentazione con elementi EI60–REI120 tra galleria, stazione e vie di esodo
- **S4 III:** esodo ridondato con percorsi protetti e filtri a prova di fumo
- **S6 II:** controllo dell'incendio dimensionato per $HRR > 20 \text{ MW}$ (incendi di treno)

- **S8 II:** sistemi di evacuazione forzata fumo e calore (SEFFC) conformi UNI 9494-2.

Le Regole Tecniche Orizzontali (RTO) del Codice sono integrate da Regole Tecniche Verticali (RTV) per attività specifiche; tra queste, il D.M. 18 ottobre 2019 ha aggiornato diverse RTV, mentre per le metropolitane la RT dedicata è il D.M. 21 ottobre 2015.

In questo quadro, per le linee metropolitane vengono richiesti, in sintesi:

- *reti idranti di linea e di stazione*
- *sistemi water mist per locali tecnici e sottobanchina*
- *impianti di rivelazione ed allarme incendio di livello III (IRAI III)*
- *sistemi di evacuazione vocale (EVAC).*

Le priorità progettuali possono essere riassunte in tre punti:

- **evitare l'innescio** (S1: materiali con classe di reazione al fuoco almeno B-s1,d0)
- **garantire la stabilità in incendio** (S2: resistenza al fuoco non inferiore a 120 minuti per le strutture principali)
- **assicurare un esodo sicuro** (S4: percorsi orizzontali con lunghezze contenute, tipicamente <100 m tra comparti).

4.2. D.M. 21 ottobre 2015 – Regola tecnica per le metropolitane

Il D.M. 21 ottobre 2015 approva la Regola Tecnica verticale (RT) specifica per la progettazione, la costruzione e l'esercizio delle linee metropolitane, traducendo i principi generali del Codice in requisiti mirati per questa tipologia di infrastrutture. La RT impone la realizzazione di comparti antincendio distinti, separando ad esempio galleria e stazione e garantendo percorsi protetti dalle banchine fino alla superficie.

Per la protezione attiva, il decreto prescrive:

- Reti idranti interne dimensionate per pericolosità 3 (almeno 4 idranti funzionanti contemporaneamente a 120 l/min e 0,2 MPa)
- impianti water mist per i locali tecnici classificati OH1–OH3, conformi alla UNI EN 14972.

La continuità di funzionamento è garantita attraverso:

- Alimentazione idrica ridondata (acquedotto più riserva; gruppi di pompaggio configurati 2+1)
- giunti dielettrici e interruttori di emergenza per la catenaria
- sistemi di ventilazione SEFFC per il controllo dei fumi, progettati per mantenere lo strato tenui inferiore a 2,5 m e la visibilità non inferiore a 10 m nelle vie di esodo.

La RT individua anche le principali aree da proteggere e gli impianti associati:

- *banchine e gallerie*: reti idranti
- *vani scale mobili e quadri elettrici*: sistemi water mist, spesso di tipo diluvio
- *edicole e locali sottobanchina*: copertura specifica con impianti ad acqua nebulizzata o sprinkler, in funzione del carico d'incendio.

L'intero sistema è pensato per essere integrato: le RT richiedono il coordinamento tra IRAI, building automation (BAS) e posto centrale operativo (PCO), così da garantire l'attivazione automatica e coordinata di rivelazione, impianti di spegnimento, ventilazione e gestione degli allarmi. Per l'esodo, vengono richieste scale con larghezza non inferiore a 3 m, filtri a prova di fumo almeno EI30-Sa e una gestione della sicurezza (GSA) adeguata ai livelli di rischio delle metropolitane.

4.3. Altre norme e decreti pertinenti

Oltre al Codice e alla RT metropolitane, il quadro normativo è completato da una serie di decreti e norme tecniche che disciplinano in dettaglio i singoli impianti e gli aspetti specialistici. In particolare:

- **Il D.M. 20 dicembre 2012** fornisce la regola tecnica per la protezione attiva, richiamando:
 - *UNI 10779 per le reti idranti*
 - *UNI EN 12845 per i sistemi sprinkler*
 - *UNI EN 14972 per i sistemi water mist*
 - *UNI 11292 per i locali destinati ai gruppi di pompaggio*
- **Il D.M. 9 maggio 2007** introduce l'approccio di Fire Safety Engineering (FSE), consentendo progetti performance-based supportati da calcoli, simulazioni (ad es. CFD per fumi e temperature) e scenari d'incendio realistici.
- **La UNI 9494-2 (Appendice H)** disciplina i SEFFC (Sistemi di Evacuazione Forzata di Fumo e Calore) per ambienti complessi come le stazioni sotterranee, mentre la UNI EN 12101-6 definisce i criteri per i sistemi a sovrappressione nei filtri a prova di fumo.
- **La CEI EN 50122-1** riguarda l'isolamento elettrico delle linee di contatto e delle masse metalliche adiacenti, aspetto fondamentale nelle gallerie metropolitane in presenza di acqua e impianti antincendio ad acqua.

Infine, il **D.Lgs. 81/2008** integra questo quadro, introducendo obblighi di valutazione del rischio, formazione del personale e gestione della sicurezza (GSA) anche in esercizio, completando la prospettiva strettamente impiantistica con quella organizzativa e gestionale.

5. Normative estere

5.1. Normative europee

Anche nei principali Paesi europei, le normative per le metropolitane presentano significative variazioni nazionali, pur convergendo su standard EN armonizzati e approcci prestazionali performance-based, spesso influenzati da incidenti storici emblematici come King's Cross (1987).

Germania: La Musterbauordnung (MBO) e la DIN 18230 costituiscono il quadro di riferimento, richiedendo sistemi SEFFC certificati VDI 6019 con ventilazione trasversale push-pull (capacità tipica 200 m³/s per stazione), sprinkler automatici sulle banchine e water mist secondo VdS 3188 per locali tecnici OH1-3 (pressioni 40-80 bar, gocce 50-200 µm). Idranti DN52 sono richiesti ogni 30 m nelle gallerie, con giunti antishock. La Berlin U-Bahn, rinnovata post-incendi anni '90, adotta filtri pressurizzati EI90 (equivalenti UNI EN 12101-6), quadri elettrici protetti da sistemi HI-FOG-like e audit biennali TÜV, garantendo riaperture in meno di 24 ore.

Francia: Le regole CSTB APSAD R15 e il Règlement de Sécurité tunnels prescrivono idranti naspi DN25/45 (120 l/min), sprinkler sulle banchine e water mist ad alta pressione (NF EN 14972) per vani scale e generatori. Il sistema AIV (aération incendie voie) estrae i fumi longitudinalmente (3-5 m/s), mentre le scale di esodo sono certificate REI90. Paris Métro integra deluge sottobinari dopo l'incendio del 2019, con EVAC multilingue e simulazioni CFD per Rvita D3.

Regno Unito: Approved Document B e BS 9999 privilegiano la Fire Safety Engineering (PD 7974-6), richiedendo sprinkler coverage A (BS EN 12845), SEFFC (BS EN 12101-6) e platform edge doors parziali (PED). Post-King's Cross, London Underground adotta water mist sugli escalator, integrata con CCTV/IRAI, enfatizzando i human factors (tempi esodo specifici 2,5-6 minuti).

Svizzera: La SIA 385/1 armonizza norme EN con compartimenti REI120, ventilazione differenziale e water mist certificata FM per sottobinari. Zurigo SBB valida le tenute fumo con test reali (15 minuti certificati).

5.2. Normative e standard extra-europei

Stati Uniti: La NFPA 130 ("Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail") rappresenta il riferimento principale, aggiornato anche in conseguenza di eventi internazionali come King's Cross.

Richiede:

- sprinkler Quick Response coverage A sulle banchine (5,6 mm/min su 12 m²)
- standpipe classe I (DN65, 950 l/min a 0,69 MPa) ogni 45 m nelle gallerie
- smoke control con capacità estrattiva >150 m³/s, ventilazione push-pull e annunci EVAC automatici

La NFPA 750 incentiva water mist per locali tecnici/machinery (test FM/UL2167, gocce <1000 µm, 10-100 bar). Nelle stazioni NYC Subway, deluge sottobinari integrati con idranti riducono il downtime del 50% rispetto all'acqua pura. L'approccio privilegia l'FSE (Annex G: calcoli CFD obbligatori) con audit annuali FTA.

Giappone: Le MLIT Guidelines del Ministero dei Trasporti evolvono da tragedie nazionali e Daegu (2003), imponendo:

- water mist/deluge su treni e vani (JIS A 1301, controllo HRR <30 MW)
- ventilazione longitudinale (>300 km/h aria, fumo estratto fino a 500 m)
- platform screen doors (PSD) ermetiche tra banchina e treno (riduzione tempi esodo del 40%)

Tokyo Metro utilizza sistemi HI-FOG-like per scale mobili e quadri (70 bar, bulbo 68°C), con simulazioni fire plume per visibilità 30 m e resilienza sismica (pompe 3+1 con backup diesel).

5.3. Confronto qualitativo tra approccio italiano ed estero

L'analisi comparativa evidenzia punti di forza e aree di miglioramento dell'approccio italiano rispetto ai modelli internazionali, offrendo spunti preziosi per future evoluzioni normative.

Protezione attiva: L'Italia (DM 21/10/2015) è prescrittiva su reti idranti e water mist (UNI EN 14972), allineandosi a Francia e Germania ma con

maggior enfasi sui giunti dielettrici per catenaria – un vantaggio unico per linee elettrificate. I sistemi HI-FOG italiani sono equivalenti ai VdS/FM europei e NFPA 750 USA, ma mancano indicazioni specifiche su platform screen doors (PSD), comuni in Giappone e UK, che riducono drasticamente i tempi di esodo confinandosi al treno.

Ventilazione fumo: Tutti i Paesi adottano SEFFC, ma con differenze strategiche: l'Italia privilegia il trasversale (UNI 9494-2), efficace ma meno performante della longitudinale ad alta velocità USA/Giappone (300 km/h), che estrae fumi su lunghe distanze mantenendo visibilità superiore.

Approccio prestazionale: UK/USA eccellono nell'FSE (NFPA 130 Annex G, PD 7974-6), con simulazioni CFD e test obbligatori; l'Italia è più prescrittiva ma evolve verso il performance-based con le RTV (D.M. 18/10/2019). Il Giappone si distingue per resilienza sismica e integrazione PSD/water mist, mentre l'Italia eccelle nella ridondanza elettrica (2+1 pompaggio).

In sintesi, l'approccio italiano è bilanciato e robusto, particolarmente adatto a contesti urbani densi come Milano, ma potrebbe beneficiare di:

- *maggior flessibilità FSE per scenari complessi*
- *introduzione opzionale di PSD*
- *armonizzazione con EN/NFPA per water mist universale*
- *ventilazione longitudinale per gallerie lunghe*

Questa convergenza internazionale rafforza la solidità del quadro normativo italiano, che si conferma competitivo nel panorama europeo ed extraeuropeo.

6. Sistemi water mist e impianti HI-FOG

6.1. Principi di funzionamento dei sistemi water mist

I sistemi water mist rappresentano una delle soluzioni più avanzate per la protezione antincendio nelle stazioni metropolitane, distinguendosi dagli sprinkler tradizionali per la capacità di generare una nebbia finissima che spegne rapidamente senza causare danni collaterali significativi.

A differenza degli sprinkler, che erogano gocce grosse (1000-2000 μm), i water mist operano a pressioni elevate (35-100 bar) tramite pompe volumetriche multistadio, producendo gocce minuscole (50-1000 μm). Questa dimensione ridotta crea una superficie di contatto enorme con il fuoco, attivando tre meccanismi sinergici:

- **Raffreddamento:** assorbimento del calore latente (2,6 MJ/litro evaporando a 20°C)
- **Diluzione ossidanti:** saturazione vapore riduce O_2 <15% vicino alla fiamma
- **Schermatura radiante:** barriera nebbia blocca fino al 90% del calore infrarosso

La norma UNI EN 14972-1 (2021, recepita DM 20/12/2012) classifica i sistemi per pressione:

Classe	Pressione	Gocce	Efficacia
<i>Alta</i>	>34,5 bar	<300 μm	Spegnimento A/B/C
<i>Media</i>	3,5-34,5 bar	300-1000 μm	Controllo
<i>Bassa</i>	<3,5 bar	>1000 μm	Solo raffreddamento

I test di certificazione (Parti 2-9) valutano rischi OH1 (uffici/tecnici), OH3 (depositi) e machinery (macchine idrauliche), confrontandoli con UNI EN 12845 (sprinkler). Rispetto a CO_2 (tossico) o polveri (conduttive), water mist è sicura (no residui), ecologica (solo acqua) e versatile (solidi/liquidi/elettrici).

Vantaggi per metropolitane: portate basse (4-15 l/min/m² vs 5,8 mm/min sprinkler), evaporazione rapida (danni <10%), compatibilità SEFFC (velocità aria <5 m/s), spegnimento rapido (20-60 s)

Limiti: sensibilità turbolenze, costi pompe (100-200 kW), certificazioni obbligatorie (FM/VdS/Eurofins). Il ritorno economico deriva da downtime ridotto (<24h) e manutenzione minima.

I protocolli di certificazione UNI EN 14972 (Parti 2-9) testano l'efficacia su tre categorie di rischio specifiche delle metropolitane:

- **OH1:** uffici e locali tecnici leggeri
- **OH3:** depositi e immondiziari
- **Machinery:** vani macchine con fluidi idraulici

Questi test confrontano le prestazioni water mist con quelle degli sprinkler tradizionali (UNI EN 12845), dimostrando superiorità su incendi complessi.

Rispetto agli altri estinguenti fissi:

Agente	Problemi	Water mist
CO ₂	Tossico per occupanti	Sicura (solo H ₂ O)
Polveri	Residui conduttivi	No residui
Gas inerti	Richiesta evacuazione	Occupanti restano
Schiuma	Non adatta elettrici	Versatile su tutti

Vantaggi specifici per metropolitane:

- *Portate ridotte:* 4-15 l/min/m² (vs 5,8 mm/min sprinkler)
- *Danni minimi:* evaporazione rapida entro 10-20 m (<10% sprinkler)
- *Compatibilità SEFFC:* non interferisce se velocità aria <5 m/s
- *Spegnimento rapido:* 20-60 secondi (vs solo controllo sprinkler)
- *ROI elevato:* downtime <24h (vs giorni), manutenzione solo filtri acqua

Principali limiti:

- Sensibilità a turbolenze (>5 m/s causa dropout nebbia)
- Costi iniziali elevati (pompe 100-200 kW)
- Certificazioni obbligatorie (FM/VdS/Eurofins)

6.2. Descrizione del sistema water mist di stazione

I capitolati tecnici per prolungamenti metropolitani descrivono water mist come complemento essenziale agli idranti, dedicato a locali tecnici non coperti dalle reti ad acqua principale (conformi DM 21/10/2015 e UNI EN 14972-1).

Aree protette tipiche (classificazione UNI EN 12845):

- Centrale antincendio (OH1)
- Edicola + fascia esterna 4 m verso pubblico (OH3, doppia fila ugelli)
- Locale immondiziario (OH3)
- Vani scale mobili + gruppo elettrogeno (machinery, diluvio)
- Quadri ventilazione/cabina BT/UPS (OH1-3)

Configurazioni principali:

Tipo	Caratteristiche	Attivazione
<i>Umido</i>	Tubi pieni, 25 bar standby	Bulbi 57-68°C
<i>Diluvio</i>	Ugelli aperti	Elettrovalvole IRAI

Alimentazione e pompaggio:

L'acqua arriva da acquedotto pubblico tramite tubazione DN80 (capacità garantita 63-78 m³/h a 2 bar minimum). Il sistema include:

- 7 elettropompe principali + 1 pompa jockey (mantiene costante 25 bar nelle tubazioni a riposo)
- Valvola principale DN38 con pressostato di allarme collegato alla centrale di rivelazione

Tipi di tubazioni:

Uso	Materiale	Caratteristiche
<i>Visibili</i>	Acciaio zincato + Victaulic	PN16, giunzioni rapide
<i>Interrate</i>	PEHD	Profondità >80 cm
<i>Tutti i giunti</i>	Rinforzati	Safety factor 4x

Interazioni critiche con altri sistemi:

- *Ventilazione fumi: water mist si attiva prima (spegnimento), SEFFC dopo (2-5 min), evitando il "washout" della nebbia. Autonomia: 60 minuti per rischi OH3*
- *Monitoraggio:*
 - Sistemi umidi: flussostati rilevano attivazione
 - Sistemi diluvio: solenoidi confermano apertura
 - Segnale "Impianto Intervenuto" trasmesso a PCO/BAS

Questa progettazione performance-based (test scala reale fornitore) copre aree critiche dove idranti sono insufficienti, integrando comparti EI120/REI120.

6.3. Soluzione HI-FOG per una stazione tipo della Linea M5 di Milano

La proposta Marioff HI-FOG per la stazione ST01 Linea M5 Milano è un caso studio esemplare, redatta per Metropolitana Milanese.

Cuore del sistema: unità LPU051 centralizzata [Figura 05]:

- *5 motori elettrici principali + 1 backup*
- *Picco: 683 l/min a 95 bar (per sottobanchina + porte vagoni, safety factor +10%)*
- *Potenza: 144 kW (rete ridondata 2 fonti)*
- *Standby: 25 bar (pompa jockey)*
- *Acqua: acquedotto DN80 (63-78 m³/h@2 bar, no serbatoi)*

Rete distribuzione:

- *Tubazioni: AISI 316L (DN38 collettori → DN12 diramazioni, DIN 2353)*
- *Supporti: ogni 1,2-2,5 m (NFPA 750)*
- *Perdite carico: formula Darcy-Weisbach (alta pressione)*

Valvola principale: DN38 (pressostato 24 Vdc), monitorata IRAI/BAS.

Aree protette (zonificazione precisa, test FM/Eurofins/VdS ISO 17025):

Area	Rischio	Ugelli	Portata	Note
Batterie CPSS + rifiuti	OH3	7+1 serie 3000	4 l/min/m ²	Umido, bulbo 57°C, test Eurofins
Sottobanchina	Machinery			



Figura 05 – Unità di pompaggio LPU051 HI-FOG

7. Conclusioni e prospettive future

7.1. Riflessioni sui sistemi antincendio nelle metropolitane moderne

Ripercorrendo i temi trattati in questa analisi, emerge con chiarezza come la sicurezza antincendio nelle stazioni metropolitane rappresenti una sfida complessa, dove ambienti confinati, affollamenti elevati e operazioni 24/7 impongono un approccio integrato che va oltre le semplici reti idranti. In Italia, il quadro normativo delineato dal D.M. 21 ottobre 2015 e dal Codice di prevenzione incendi (D.M. 3/8/2015) ha posto le basi per una progettazione resiliente: compartimenti antincendio distinti (REI120 per galleria e percorsi protetti), idranti dimensionati per 4 simultanei a 120 l/min con pressione residua 0,2 MPa, e un crescente ruolo per i sistemi water mist ad alta pressione nei locali tecnici e sottobanchina. Questi ultimi, come illustrato nel capitolato per i prolungamenti di linea metropolitana, non sono mera aggiunta tecnologica, ma una risposta performance-based a rischi specifici come incendi elettrici o fluidi idraulici, dove l'acqua nebulizzata (gocce 50-100 μm) eccelle nel raffreddare, saturare e schermare senza i danni diffusi degli sprinkler tradizionali.

Il caso studio HI-FOG per la stazione ST01 della Linea M5 Milano sintetizza questa evoluzione: un sistema centralizzato LPU051 che, con 683 l/min a 95 bar, copre con precisione chirurgica aree OH1-3 e machinery spaces, da batterie CPSS a vani scale mobili, grazie a test reali certificati FM/VdS. Qui, la narrazione tecnica si intreccia con la pratica: tubi AISI 316L minimalisti, valvole zonali intelligenti collegate all'IRAI, e un design che riduce il downtime post-intervento a meno di 24 ore, come dimostrato da applicazioni come Aviopolis a Helsinki. Confrontato con esteri – NFPA 130 negli USA con i suoi standpipe classe I e ventilazione push-pull massiccia, o le linee guida MLIT giapponesi con PSD ermetiche e resilienza sismica – l'approccio italiano si rivela solido e prescrittivo, ma con spazio per maggiore flessibilità FSE, come simulazioni CFD per ottimizzare flussi fumo o integrazioni AI per rivelazione predittiva.

7.2. Vantaggi e limiti dell'approccio water mist rispetto ad altre soluzioni

L'approccio water mist si distingue nettamente dalle alternative tradizionali, offrendo un profilo prestazionale superiore in contesti metropolitani, ma non privo di trade-off. Rispetto agli idranti (UNI 10779), richiede portate drasticamente inferiori (4-15 l/min/m² vs 480 l/min totali per 4 idranti), minimizzando danni strutturali ed elettrico – cruciale in quadri BT o vani scale dove l'acqua pura rischierebbe cortocircuiti diffusi. Confrontato con sprinkler standard (UNI EN 12845), non si limita al controllo del fuoco ma lo spegne completamente su classe A/B/C grazie a tre azioni sinergiche (raffreddamento 2,6 MJ/litro, saturazione O₂<15%, schermo IR>90%), con evaporazione rapida che riduce i danni da bagnamento del 90% e "lava" il fumo mantenendo visibilità >10 m durante l'esodo. Vis-à-vis gas estinguenti (CO₂, Inergen), elimina rischi letali per occupanti (zero decessi accidentali vs 63 EPA CO₂ 1975-99) e residui corrosivi, usando solo acqua potabile eco-sostenibile (ODP/GWP zero).

Tuttavia, i limiti sono tangibili: sensibilità a turbolenze ventilazione (>5 m/s causa dropout nebbia), costi iniziali elevati (pompe 144 kW, tubi inox vs acciaio zincato idranti), e necessità certificazioni rigorose (FM/VdS test reali vs prescrizioni UNI). Manutenzione critica (filtri anticalcare, calibrazione ugelli) e dipendenza pressione (dropout >10% = fallimento) lo rendono meno "plug-and-play" di sprinklers. In sintesi, water mist eccelle dove precisione e minimizzazione danni prevalgono (locali tecnici, sottobanchina), ma idranti restano insostituibili per spazi aperti/banchine; ibridazione ottimale.

7.3. Considerazioni finali e orizzonti futuri

In definitiva, i sistemi antincendio metropolitani non sono solo impianti, ma ecosistemi che bilanciano prevenzione, intervento e ripresa operativa, priorizzando la vita umana in contesti ad alto rischio. L'Italia eccelle nell'integrazione dielettrica (giunti per catenaria) e nell'armonizzazione UNI-EN, ma il confronto internazionale suggerisce traiettorie evolutive: obbligatorietà delle platform screen doors per ridurre tempi esodo del 40%, ventilazione longitudinale ad alta velocità (>300 km/h come in Giappone) per tunnel profondi, e ibridazioni water mist-aerosol per zero residui in quadri sensibili. Per progettisti e tesi future, raccomando un focus su BIM per simulazioni predittive, test scala 1:1 su scenari metro-specifici (es. treno

fermo in stazione), e aggiornamenti alla RT metropolitane incorporando elementi NFPA 750 per water mist universale.

Questa analisi non chiude un capitolo, ma ne apre di nuovi: in un'epoca di espansione urbana sotterranea, la sicurezza antincendio diventa leva di sostenibilità, garantendo metropolitane affidabili, green e pronte a domani. L'innovazione, dal primo idrante al nebbia HI-FOG, resta il filo conduttore per proteggere chi le vive ogni giorno.

Abstract (IT)

La presente tesi analizza i sistemi di protezione antincendio nelle stazioni metropolitane, con particolare attenzione alle normative italiane e alle soluzioni innovative per la gestione del rischio incendio in ambienti sotterranei ad alto afflusso.

Partendo da un quadro normativo aggiornato (DM 21/10/2015 e integrazioni al DM 11/01/1988), si esaminano gli obiettivi primari di sicurezza: minimizzazione della probabilità di insorgenza e propagazione degli incendi, esodo sicuro degli occupanti entro 10 minuti, stabilità strutturale (R120 per gallerie) e intervento dei soccorsi. Casi storici emblematici, come Kaprun (2000, 155 vittime per effetto camino), Daegu (2003) e incidenti italiani (San Benedetto del Tronto 2015, Torino 2017), evidenziano criticità in ventilazione, compartimentazione e controllo fumi, integrando lezioni nel DM italiano.

Si approfondiscono i sistemi di protezione attiva, focalizzandosi su water mist ad alta pressione (HI-FOG®), efficaci nel raffreddamento superfici, soppressione fiamme e limitazione danni idrici (riduzione 90% acqua vs sprinkler). L'analisi include esodi protetti (larghezze min. 1,8 m, visibilità >15 m), ventilazione emergenza (>1,5 m/s backlayering) e Fire Safety Engineering per scenari da 7000 kW.

Conclusioni propongono ottimizzazioni per metropolitane come M5 Milano, enfatizzando modellazioni CFD e manutenzione per resilienza.

Abstract (EN)

This thesis examines fire protection systems in metro stations, focusing on Italian regulations and innovative solutions for managing fire risks in high-traffic underground environments.

Starting from the updated regulatory framework (DM 21/10/2015 and integrations to DM 11/01/1988), it addresses primary safety objectives: minimizing fire ignition and spread probability, ensuring occupant safe evacuation within 10 minutes, structural stability (R120 for tunnels), and emergency response facilitation. Emblematic historical cases, such as Kaprun (2000, 155 fatalities due to chimney effect), Daegu (2003), and Italian incidents (San Benedetto del Tronto 2015, Torino 2017), highlight critical issues in ventilation, compartmentation, and smoke control, informing lessons integrated into the Italian DM.

Active protection systems are analyzed in depth, with emphasis on high-pressure water mist (HI-FOG®), effective in surface cooling, flame suppression, and minimizing water damage (90% reduction vs. sprinklers). The study covers protected evacuation paths (min. width 1.8 m, visibility >15 m), emergency ventilation (>1.5 m/s backlayering), and Fire Safety Engineering for scenarios up to 7000 kW.

Conclusions propose optimizations for metros like Milan M5, stressing CFD modeling and maintenance for enhanced resilience.

Bibliografia

- Ministero dell'Interno. Decreto 21 ottobre 2015: Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per le metropolitane. Gazzetta Ufficiale n. 253, 30/10/2015.
URL: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/10/30/15A08046/sg>.
- Ministero dell'Interno. Decreto 20 dicembre 2012: Regola tecnica per gli impianti di protezione attiva antincendio.
URL:
http://download.acca.it/BibLus-net/OpereEdili/DM_20dicembre2012_RegolaTecnicaImpiantiAntincendio.pdf.
- Marioff s.r.l. : Sistema antincendio water mist HI-FOG per stazione ST01 Linea M5 Milano [Allegato 01 – Ing. Galli].
- Relazione tecnica e capitolato per prolungamento linea metropolitana (impianti antincendio water mist). [Allegato 02 – Ing. Galli].
- Marioff Corporation HI-FOG per tunnel M30 Madrid (case study metropolitane).
URL: <https://www.ins-news.com/it/100/819/1884/Sistema-antincendio-HI-FOG-per-il-progetto-del-tunnel-M30-di-Madrid---.htm>.
- Incendio King's Cross (Londra, 1987). URL:
https://www.insic.it/wp-content/uploads/attach/Vanzini_05_13.pdf.
- Incendio Daegu (Corea del Sud, 2003). URL:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Inc%C3%AAndio_no_metr%C3%B4_de_Daegu.
- Incendio Kaprun (Austria, 2000).
URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Kaprun_disaster.
- Incendio Frecciarossa San Benedetto del Tronto (2015): URL:
<https://www.ilrestodelcarlino.it/ascoli/cronaca/rogo-sui-binari-in-cento-94b42fde>
- Incendio binari Torino Porta Nuova (2019). URL:
<https://tg24.sky.it/torino/2019/10/29/incendio-porta-nuova-torino>.

