



È vietata la riproduzione di questo documento senza la preventiva autorizzazione di MM Spa



PROLUNGAMENTO M5 A MONZA

CUP B94D17000000001

PPM_CDM_01

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Relazione di calcolo impianti di ventilazione

Simulazioni fluidodinamiche

IL DIRETTORE TECNICO DOTT. ING. FRANCESCO VENZA Ordine degli Ingegneri di Milano n° 14647		DOTT. ING. IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE FRA LE VARIE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE DOTT. ING. MASSIMILIANO BRANCA Ordine degli Ingegneri di Milano n° A18828		DOTT. ING. IL PROGETTISTA RESPONSABILE DOTT. ING. MARCO GUZZI Ordine degli Ingegneri di Milano n° A30123	
3	Febbraio 2019	Agg. progetto di fattibilità tecnica ed economica			Guzzi
A	30/01/2019	Modifica tracciato Cinisello		Fugazza	Guzzi
2	Luglio 2018	Progetto di fattibilità tecnica ed economica			Guzzi
0	15/06/2018	EMISSIONE		Fugazza	Guzzi
Aggiorn.	Data	Descrizione		Redatto	Verificato
				Acquisito	Approvato

COLLABORAZIONE
ALLA
PROGETTAZIONE:

CODIFICA
DOCUMENTO

Commessa

Lotto

Fase

Categoria

Opera

Progressivo

DM

0

P

I

IM

0233

PAGINE TOTALI 61





INDICE

1. Introduzione	5
2. Normativa di riferimento	6
3. Descrizione degli impianti di ventilazione	8
3.1. Impianti di ventilazione di galleria.....	8
3.2. Pozzi di aerazione naturale	9
3.3. Impianti di ventilazione di stazione.....	9
3.3.1. Camera di ventilazione di stazione	9
3.3.2. Ventilazione dei locali tecnici e dei locali commerciali di pertinenza delle stazioni	10
4. Modalità di funzionamento degli impianti di ventilazione	11
4.1. Esercizio normale	11
4.2. Emergenza incendio	11
4.2.1. Scenario di incendio in linea o treno incendiato in linea	11
4.2.2. Scenario di treno incendiato fermo in stazione.....	12
4.2.3. Scenario di incendio in ambiente di stazione (aree aperte al pubblico)	13
4.2.4. Scenario di incendio in locale tecnologico / in un locale commerciale di pertinenza della stazione.....	13
5. Dimensionamento del sistema ventilazione di linea e di stazione	14
5.1. Dati di base	14
5.1.1. Dati geometrici della linea	15
5.1.2. Curva d'incendio di progetto	18
5.1.3. Dati ambientali	19
5.1.4. Caratteristiche del materiale rotabile	20
5.1.5. Software di simulazione monodimensionale e modello numerico	20
5.2. Calcolo della velocità critica	22
5.3. Dimensionamento preliminare	22
5.3.1. Camera di ventilazione di stazione	22
5.3.2. Camera di ventilazione di galleria	23
5.4. Simulazioni fluidodinamiche monodimensionali	23
5.4.1. Metodologia.....	24
5.4.2. Simulazioni monodimensionali di treno incendiato in stazione.....	26
5.4.2.1. Scenari simulati	27
5.4.2.2. Risultati Scenario 1s.....	28
5.4.2.3. Risultati Scenario 2s.....	29
5.4.3. Simulazioni monodimensionali di treno incendiato in linea	30
5.4.3.1. Scenari simulati	31



5.4.3.2.	Scenario 1l dispari	32
5.4.3.3.	Scenario 1l pari.....	34
5.4.3.4.	Scenario 2l dispari	36
5.4.3.5.	Scenario 2l pari.....	38
5.4.3.6.	Scenario 3l dispari	40
5.4.3.7.	Scenario 3l pari.....	42
5.4.3.8.	Scenario 4l dispari	44
5.4.3.9.	Scenario 4l pari.....	46
5.4.3.10.	Scenario 4l wc pari	48
5.4.3.11.	Scenario 5l dispari	50
5.4.3.12.	Scenario 5l pari.....	52
5.4.3.13.	Tabella riassuntiva degli scenari di incendio in linea	54
6.	Conclusioni	56
7.	APPENDICE A	58
8.	Bibliografia	61



1. INTRODUZIONE

La tratta da Bignami a Monza Brianza si configura come il prolungamento della precedente tratta da Bignami a San Siro Harar-Dessiè della linea M5.

Il prolungamento consta di undici stazioni per una lunghezza di circa 12'700 m, la distanza tra due stazioni adiacenti varia tra i 600 m e i 1'300 m con una media di circa 1100 m. Il binario pari corre dalla stazione Monza Brianza verso la stazione Bignami e viceversa per il binario dispari.

Lo scavo della galleria è previsto quasi totalmente con TBM, con sezione circolare di diametro di 9 m. Il piano del ferro è situato ad una quota di 2.90 m rispetto al punto inferiore della sezione circolare. La profondità massima rispetto al piano di campagna è di circa 32 m. Le opere speciali come le stazioni, i manufatti di accesso, ingresso e salita della TBM, l'asta di manovra, zone di stazionamento e rimessaggio treni, sono previsti con realizzazione tramite metodo cut & cover. In particolare, i tratti di linea a cielo aperto tra le stazioni Cinisello e Campania, adiacenti al sovrappasso della tangenziale nord, sono caratterizzati da sezioni maggiori dovute alla presenza di manufatti speciali.

La scelta degli standard impiantistici e funzionali ha necessariamente dovuto tener conto di quanto già previsto nella tratta già in opera in termini di funzionalità generali dei vari sistemi, comprese alcune soluzioni differenti fra i due lotti principali di costruzione dell'attuale porzione di linea in servizio (primo lotto, da Bignami a Garibaldi e secondo lotto, da Garibaldi a San Siro Harar).

È doveroso premettere che la presente relazione, dovendo fungere da input progettuale per lo sviluppo del Progetto di Fattibilità tecnico economica, è stata sviluppata considerando la versione del tracciato compresa nel progetto di Fase 1 (Gennaio 2018) che, rispetto a quella prevista nella presente emissione progettuale, presenta come unica differenza la sostituzione della stazione Matteotti con la stazione Lincoln. Tale modifica non comporta sostanziali variazioni della lunghezza (tratta Lincoln-Cinisello Monza leggermente maggiore) e dell'altimetria della galleria oltre a non apportare alcuna variazione delle sezioni trasversali del tunnel (e conseguentemente dei diametri idraulici).

A seguito della definizione del tracciato così come riportato negli elaborati della presente emissione è stata quindi effettuato un riesame del progetto tramite il quale è stato valutato che le sopraccitate differenze non sono impattanti sul dimensionamento del sistema e, pertanto, considerando anche la fase di progetto di cui trattasi, si è convenuto di non rieseguire le simulazioni fluidodinamiche.

Analizzando i risultati riportati nel presente documento (in termini di specifiche dei ventilatori e delle strategie di ventilazione) è stato infatti valutato che i margini dei valori stimati rispetto ai limiti operativi indicati dalla normativa sono tali da rendere la scrivente ampiamente confidente circa il fatto che i risultati ricavati dalle simulazioni e dai calcoli, qualora venissero ripetute con la nuova versione del tracciato, non subirebbero variazioni tali da comportare modifiche sostanziali al sistema progettato.

Nella successiva fase progettuale si valuterà se ripetere le simulazioni utilizzando l'ultima versione disponibile per il tracciato, che presumibilmente subirà ulteriori piccole messe a punto.

Nei paragrafi seguenti sono riassunti i dati e le ipotesi di base utilizzati per i calcoli ed un riassunto degli esiti delle verifiche effettuate.



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Con l'emanazione del DPR 151 del 01 agosto 2011 le metropolitane sono diventate attività soggetta a CPI dei Vigili del Fuoco.

La Regola Tecnica di prevenzione incendi per le metropolitane è stata successivamente emanata con il Decreto del Ministero dell'Interno del 21 ottobre 2015, il quale indica anche gli obiettivi da perseguire nella progettazione, nella messa in servizio e nell'esercizio:

- a) *minimizzare la probabilità di insorgenza degli incendi e nel caso in cui un incendio si sviluppi comunque sul treno, sulla sede, ed in particolare in galleria e nelle aree di stazione, limitarne la sua propagazione;*
- b) *assicurare la possibilità che gli occupanti possano lasciare indenni, in modo autonomo, i luoghi in cui si è sviluppato l'incendio, nell'ambito delle procedure di emergenza, o che gli stessi possano essere soccorsi in altro modo;*
- c) *garantire la stabilità delle strutture portanti;*
- d) *limitare la propagazione di un incendio ad attività contigue;*
- e) *garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.*

Il sopracitato DM indica in particolare che la Regola Tecnica ad esso allegata si applica "...alle metropolitane nuove e nel caso di interventi di ampliamento o modifica di metropolitane, successivi alla data di entrata in vigore del presente decreto, limitatamente alle parti interessate dall'intervento..." e, quindi, si applica appieno al prolungamento a Monza-Brianza della Linea 5 di Milano oggetto della presente relazione.

Si riportano nel seguito gli estratti salienti della Regola Tecnica ai fini del dimensionamento degli impianti di ventilazione.

(Capo I – Generalità)

I.1. Premesse.

...Tenuto conto che, ai fini della sicurezza antincendio, va sempre perseguito l'obiettivo di condurre il treno in stazione, gli scenari d'incendio di riferimento più importanti, ma non esclusivi, sono:

- *scenario 1): l'incendio a bordo di un treno in stazione;*
- *scenario 2): l'incendio a bordo di un treno fermo in galleria;*
- *scenario 3): l'incendio di un'eventuale attività commerciale di pertinenza posta nell'atrio della stazione ed avente le caratteristiche geometriche ed impiantistiche riportate nella stessa regola tecnica;*
- *scenario 4): l'incendio in un locale tecnico.*

La potenza d'incendio, e quindi la curva naturale d'incendio, da assumere come base per i calcoli dei parametri dell'incendio quali profili di temperatura, altezza delle fiamme e portata dei fumi sarà stimata, per gli scenari di incendio 1) e 2), sulla base delle caratteristiche di combustibilità dei materiali che costituiscono i vagoni dei convogli. Nel caso in cui risulti una potenza totale inferiore a 7000 kW sarà comunque assunto un incendio di progetto minimo pari a 7000 kW su cui basare ogni calcolo dei parametri dell'incendio. La potenza va intesa come potenza totale di picco, espressa con una funzione temporale quadratica con coefficiente α pari a 0,014, corrispondente al raggiungimento della potenza di 1000 kW in 270 secondi.

(Capo V - Impianti di ventilazione di emergenza)

V.1. Impianti di ventilazione di emergenza - Criteri generali



...Gli impianti di ventilazione di emergenza costituiscono un elemento fondamentale per la sicurezza nelle metropolitane e devono essere progettati e realizzati secondo la regola dell'arte, al fine di raggiungere i seguenti obiettivi:

... in caso di incendio a bordo di un convoglio che perde mobilità all'interno di una galleria (riferimento allo scenario di incendio 2), assicurare che le persone possano evacuare il convoglio usando la galleria come percorso di sfollamento fino alla stazione più vicina o ad una uscita di sicurezza. La velocità dell'aria nella galleria dovrà essere sufficiente a contrastare i fenomeni espansivi dei fumi dell'incendio in senso contrario a quello dell'aria fresca immessa in galleria (backlayering) e comunque non potrà essere inferiore a 1,5 m/s; in ogni caso non si deve verificare, in galleria, lo stato critico per la sicurezza umana per tutto il tempo necessario al raggiungimento delle uscite di sicurezza di cui al capo IV.5, tenendo altresì conto delle difficoltà di sbarco e della ridotta mobilità degli occupanti sulla banchina di servizio;

... in caso di incendio a bordo di un treno che è fermo in stazione (riferimento allo scenario di incendio 1), assicurare che le persone possano evacuare il convoglio percorrendo il tratto di banchina di lunghezza definita al capo IV.2, fino ad entrare nei percorsi protetti; in ogni caso non si deve verificare lo stato critico per la sicurezza umana almeno per i primi dieci minuti dall'apertura delle porte del convoglio; controllare la velocità dell'aria nelle prime fasi dell'incendio (fase di crescita) al fine di agevolare l'evacuazione degli utenti in galleria.

(Capo V.4 Tipologia dei ventilatori)

La scelta dei ventilatori di estrazione degli impianti di ventilazione dovrà essere effettuata con riferimento alla temperatura dei fumi, corrette in funzione delle perdite e delle eventuali miscele con aria ambiente, che possono svilupparsi nello scenario di incendio preso a riferimento. Per gli impianti dedicati all'estrazione di fumi da incendio la classe dei ventilatori non dovrà essere inferiore ad F400/90 minuti.

(Capo IV.4. Percorsi di sfollamento)

...Il tratto protetto del percorso di sfollamento, che inizia immediatamente a valle delle uscite dalla galleria di stazione, dovrà essere progettato per garantire le condizioni sostenibili per la vita umana...

(Capo I.2. Termini, definizioni e tolleranze dimensionali)

...Stato critico per la sicurezza della vita umana: ciascuna delle condizioni limite alle quali può essere esposta una persona in metropolitana in caso di incendio. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati: l'esposizione delle persone ad un flusso termico radiante pari a 2,5 kW/m² determinato da stratificazioni di fumo caldo; l'esposizione delle persone a temperature di 60° C per tempi superiori a dieci minuti; una visibilità, riferita alla percezione delle uscite dalla galleria di stazione, pari a 15 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio; un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,3, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

...Condizioni sostenibili per la vita umana: condizioni sostenibili per un tempo indefinito alle quali può essere esposta una persona in un percorso di sfollamento protetto. La verifica progettuale consiste nell'impedire che si manifestino, mediante misure di prevenzione e protezione dagli incendi, condizioni più gravose di ciascuno dei limiti sotto indicati: una temperatura media dell'aria non superiore a 40° C; una visibilità, riferita alla percezione della segnaletica di emergenza, non inferiore a 30 m misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio; un livello medio della FED (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,1, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

Il dimensionamento preliminare del sistema di ventilazione implica la scelta della taglia delle camere di ventilazione di stazione e di galleria in termini di portata volumetrica elaborata.

Il calcolo della prevalenza esatta, e quindi della potenza dei singoli ventilatori con tutto ciò che concerne l'alimentazione, la definizione delle modalità di controllo e i vari interfacciamenti con gli altri sistemi fanno parte degli obiettivi delle fasi progettuali successive.



3. DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE

Gli impianti di ventilazione di stazione e di galleria hanno lo scopo principale di allontanare ed evacuare i prodotti di combustione dovuti ad un incendio che si dovesse verificare a bordo di un treno fermo in stazione o in galleria e quindi di creare, in entrambi i casi, una via di fuga sicura per i passeggeri.

Nella progettazione e nel dimensionamento degli impianti di ventilazione si è tenuto conto della progettazione strutturale e funzionale della galleria, delle stazioni e degli altri impianti potenzialmente utilizzati nella gestione delle emergenze. In particolare:

- Compartimentazioni degli ambienti di stazione, secondo DM 21 ottobre 2015;
- Presenza di porte di banchina che garantiscono una sostanziale separazione aeraulica fra gallerie e stazioni;
- Presenza di impianto sprinkler nelle tratte di galleria in corrispondenza delle banchine di stazione e nei tronchini;
- Sistemi di rilevazione fumo e incendio, di bordo e di stazione;
- Sistemi di rilevazione incendi (temperatura) in galleria;
- Rilevamento posizione treni tramite il sistema di segnalamento;
- Sistema centralizzato di telecomando e telecontrollo (SCADA).

3.1. IMPIANTI DI VENTILAZIONE DI GALLERIA

L'impianto di ventilazione deve essere progettato, in condizioni di normale esercizio, per apportare un opportuno ricambio dell'aria all'interno della galleria sia per garantire condizioni di temperatura e umidità accettabili per il benessere dei passeggeri, sia per smaltire la potenza termica generata da tutte le fonti di calore interne al sistema.

La configurazione adottata per il prolungamento da Bignami a Monza Brianza, in analogia a quanto previsto nella tratta già operativa, prevede che la camera di ventilazione di galleria sia integrata nel manufatto di stazione e che aspiri/immetta fumi/aria fresca lungo la via di corsa dei treni. La separazione aeraulica tra la galleria di stazione e la stazione stessa, qualora richiesta dallo scenario di incendio in essere, è garantita dalla presenza delle porte di banchina coadiuvata dagli impianti di ventilazione di gallerie e stazione.

In Figura 1 è riportato lo schema di funzionamento del sistema di ventilazione:

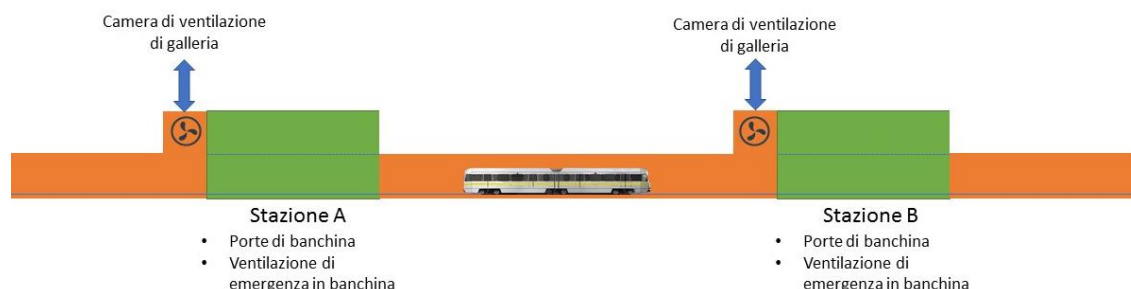


Figura 1 – schema di funzionamento del sistema di ventilazione

Il prolungamento in oggetto comprende tratti particolari, elencati di seguito, che potrebbero richiedere dimensionamenti ad hoc del sistema di ventilazione:

- porzione di galleria tra le stazioni Cinisello-Monza e la tratta all'aperto, in cui è prevista anche una zona per lo stazionamento/rimessaggio dei treni;
- porzione di galleria tra la tratta all'aperto e la stazione Campania;
- tratta finale della linea dal camerone scambi in ingresso alla stazione capolinea di Monza Brianza fino all'asta di manovra (compresa).



Tali zone sono caratterizzate da sezioni di dimensioni e proporzioni diverse rispetto alla galleria TBM, che costituisce il resto del prolungamento in fase di progetto, o da configurazioni particolari dal punto di vista aeraulico che richiedono pertanto valutazioni opportune in riferimento alla gestione dei fumi.

In particolare, a livello preliminare, date le lunghezze in gioco e la disponibilità in termini di spazio, si prevede l'installazione di:

- 2 coppie di jet fan per la tratta tra Cinisello Monza e il tratto all'aperto;
- 4 coppie di jet fan tra il tratto all'aperto e la stazione Campania;
- 2 coppie di jet fan nella galleria di collegamento con il deposito.

Per la parte terminale del prolungamento, come meglio specificato al paragrafo successivo, è previsto un camino di aerazione naturale al termine dell'asta di manovra, che permetterà la gestione dei fumi con le camere di ventilazione di galleria anche in questa porzione particolare di linea.

Si evidenzia infine che ciascuna camera di ventilazione è attrezzata con ventilatori che garantiscono nel complesso il 100% della portata nominale della camera stessa. La ridondanza per la gestione delle emergenze incendio anche con un ventilatore o una camera di ventilazione eventualmente fuori servizio per guasto o manutenzione è ottenuta tramite la possibilità (gestita da SCADA) di utilizzo di una o più camere di ventilazione di galleria adiacenti a quella affetta dal possibile guasto o in manutenzione.

3.2. POZZI DI AERAZIONE NATURALE

Tenuto conto della sezione tipologica di galleria prevista per il prolungamento in fase di progetto, è stato valutato che il rapporto di bloccaggio, definito come il rapporto tra la sezione del treno e la sezione di galleria, non sia tale da dover prevedere apprestamenti particolari per ciascuna tratta compresa fra due stazioni per lo sfogo dell'incremento di pressione dovuta all'effetto pistone.

È viceversa stato valutato l'inserimento di pozzi di aerazione naturale per garantire il ricambio d'aria di galleria e per garantire ovunque la possibilità di gestione dei fumi prodotti da eventuali incendi in linea.

In analogia a quanto adottato nella tratta precedente, sono previsti dei pozzi passivi di ventilazione naturale a circa metà tratta tra due stazioni. Tali pozzi sono integrati nei manufatti adibiti a uscita di sicurezza e accesso per i Vigili del Fuoco. In caso di emergenza incendio, una serranda interromperà il flusso d'aria e i canali resteranno disponibili per l'alaggio dei materiali da parte dei VV.F., oltre che per garantire l'aerazione del filtro a prova di fumo previsto a protezione del vano scale dell'uscita di sicurezza.

In aggiunta ai pozzi appena citati, è prevista la realizzazione di un pozzo di aerazione naturale all'estremità del tronchino di fine linea, in modo da poter garantire i ricambi d'aria necessari e gestire un eventuale incendio anche in quella particolare zona. Tale pozzo integrerà, così come quelli intertratta, la funzione di uscita di sicurezza e di accesso VV.F..

3.3. IMPIANTI DI VENTILAZIONE DI STAZIONE

3.3.1. CAMERA DI VENTILAZIONE DI STAZIONE

L'impianto di ventilazione di emergenza in stazione, proposto per il presente progetto, è analogo al sistema installato sulla tratta Garibaldi – San Siro. Esso è costituito da canalizzazioni poste nel controsoffitto di ciascuna banchina e da un sistema di serrande che permette di incanalare l'intero flusso sulla banchina desiderata.

La filosofia progettuale ipotizzata nel presente documento risulta identica rispetto a quanto previsto nella tratta San Siro – Garibaldi, anche per quanto riguarda le ridondanze previste. In particolare, l'impianto è dimensionato con un grado di ridondanza pari ad "1 su 2", ovvero con due ventilatori ciascuno in grado di elaborare da solo la portata per cui sono dimensionate le canalizzazioni di ciascuna banchina.



A livello operativo si potranno utilizzare entrambi i ventilatori al 50% della loro potenza nominale indirizzando tutta la portata sulle canalizzazioni relative alla sola banchina in emergenza oppure potranno essere utilizzati entrambi i ventilatori al 100% della potenza nominale indirizzando la portata su entrambe le banchine di stazione. Nel primo caso, un guasto ad uno dei due ventilatori verrà compensato portando al 100% la portata del ventilatore rimanente; nella seconda soluzione, in caso di avaria di un ventilatore, l'altra macchina si troverà già a regime al 100% della portata e verrà chiusa la serranda relativa alla canalizzazione sulla banchina non affetta dall'emergenza in modo da ottenere comunque una portata pari al 100% della capacità di un ventilatore sulla banchina adiacente al treno in emergenza.

3.3.2. VENTILAZIONE DEI LOCALI TECNICI E DEI LOCALI COMMERCIALI DI PERTINENZA DELLE STAZIONI

Per la gestione e l'evacuazione dei fumi prodotti da eventuali incendi nei locali tecnici e nei locali commerciali di pertinenza delle stazioni (in particolare per quello previsto presso la stazione Monza FS) è prevista la realizzazione di sistemi di canalizzazione e di ventilatori che saranno opportunamente dimensionati nelle successive fasi progettuali.

Le canalizzazioni potranno essere in parte o in toto comuni con l'impianto di condizionamento; in questa ipotesi saranno previste opportune serrande, il cui intervento sarà opportunamente configurato e interfacciato con il sistema di rilevazione incendi.

Le condotte di aerazione, le serrande e il ventilatore di emergenza seguiranno le norme di prodotto di riferimento per la componentistica relativa agli impianti di evacuazione di fumo e calore e avranno specifiche tecniche adatte alla temperatura dei fumi stimata (ove non esplicitamente prescritta dalla regola tecnica).



4. MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO DEGLI IMPIANTI DI VENTILAZIONE

4.1. ESERCIZIO NORMALE

In caso di normale funzionamento, la richiesta di ricambio d'aria nella galleria può essere assolta grazie al ricircolo naturale di aria attraverso le aperture verso l'esterno coadiuvato dall'effetto del movimento dei treni in galleria. In caso tale ricircolo non fosse sufficiente, è possibile attivare parzialmente le camere di ventilazione di galleria, eventualmente solo nelle ore in cui non vi è traffico di treni, al fine di garantire il lavaggio dei volumi che costituiscono il sistema.

Valutazioni più approfondite sulla scelta della strategia di ventilazione ottimale durante il normale funzionamento verranno effettuate nelle successive fasi progettuali.

Non è previsto alcun utilizzo della ventilazione di emergenza in stazione durante il normale funzionamento, in quanto il ricambio di aria negli ambienti di stazione è normalmente garantito dall'impianto di condizionamento. D'altra parte, la camera di stazione può essere attivata, se necessario, in caso di avaria del sistema di condizionamento per garantire il ricambio d'aria in banchina.

4.2. EMERGENZA INCENDIO

Durante le emergenze incendio, gli impianti di ventilazione sono impiegati per la gestione dei fumi prodotti, con il doppio obiettivo di rendere sicure le vie di esodo e le vie di accesso dei soccorritori e permettere l'evacuazione dei prodotti della combustione dagli ambienti sotterranei.

I principali scenari presi a riferimento per il dimensionamento degli impianti, come previsto dal D.M. 21 ottobre 2015, sono quelli di:

- treno incendiato in galleria
- treno incendiato fermo in stazione
- incendio in un'area aperta al pubblico di stazione
- incendio in un locale tecnico / in un locale di pertinenza della stazione

La presente relazione preliminare tratta principalmente i primi due scenari, in quanto dimensionanti dal punto di vista delle camere di ventilazione. Le modalità di funzionamento nei restanti scenari saranno approfondite nelle successive fasi progettuali.

4.2.1. SCENARIO DI INCENDIO IN LINEA O TRENO INCENDIATO IN LINEA

Durante le emergenze incendio in linea il sistema di ventilazione deve creare in breve tempo le condizioni ideali per consentire l'allontanamento dei passeggeri. In riferimento al D.M. 21 ottobre 2015, l'obiettivo primario è quindi quello di assicurare che le persone possano evacuare il convoglio percorrendo il tratto di banchina fino ad entrare nei percorsi protetti garantendo il non raggiungimento dello stato critico per la sicurezza umana (visibilità, concentrazione di monossido di carbonio, temperatura, radiazione termica). Il Sistema è inoltre progettato per permettere l'intervento delle squadre di soccorso in sicurezza.

Nello scenario caratterizzato da treno fermo in galleria, l'impianto di ventilazione sarà attivato secondo la logica push-pull, rappresentata in Figura 2. In particolare, è prevista l'attivazione di una delle due camere di ventilazione limitrofe alla tratta interessata in estrazione e dell'altra in immissione.

Nelle tratte particolari della linea (si veda paragrafo 3.1) saranno valutate nello sviluppo della presente fase di studio di fattibilità tecnica ed economica e/o nelle successive fasi progettuali strategie ad hoc, con utilizzo anche dei jet fan previsti. Tali acceleratori verranno utilizzati per convogliare i fumi nella direzione desiderata anche nei tratti più svantaggiati dal punto di vista aeraulico.



Figura 2 – schema di funzionamento di tipo push-pull, ventilazione di galleria

L'obiettivo del dimensionamento dell'impianto di ventilazione è quello di garantire il superamento della velocità critica e quindi la creazione di un percorso privo di fumi per i passeggeri. La verifica è effettuata in entrambi i sensi in cui è possibile indirizzare l'aria. Questo aspetto rende possibile, in funzione delle informazioni a disposizione del "Posto Centrale" (ad es. posizione del treno incendiato, posizione del focolaio rispetto alla lunghezza del treno) scegliere da quale delle due parti di galleria, rispetto alla posizione dell'incendio, indirizzare i fumi e, di conseguenza dirigere l'evacuazione nella tratta complementare.

Nel presente documento, a valle del dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione di linea per l'intero prolungamento (Capitolo 5), si è valutato, tramite simulazioni monodimensionali con software di modellazione specifici del settore, la robustezza dei calcoli eseguiti e delle scelte impiantistiche sulla porzione del prolungamento della Linea 5 che va dalla stazione Bignami (già attiva e integrata per garantire la continuità aeraulica con la porzione di linea già attiva) all'emersione della galleria all'esterno a valle della stazione Cinisello-Monza (lungo il binario dispari).

4.2.2. SCENARIO DI TRENO INCENDIATO FERMO IN STAZIONE

Nello scenario in cui il treno incendiato fosse fermo in stazione, i passeggeri, una volta sbarcati dal treno, salirebbero lungo le scale e si porterebbero all'esterno della stazione. In questo scenario le porte di banchina della stazione interessata dall'emergenza sono considerate aperte.

Il dimensionamento degli impianti di ventilazione di galleria e stazione prevede la possibilità di gestione e smaltimento dei fumi prodotti dall'incendio senza sostanziale interessamento degli ambienti di stazione anche alle massime potenze di incendio. Tale scopo è raggiunto abbinando una ventilazione di galleria di tipo longitudinale con logica push-pull e con camera di ventilazione di galleria della stazione interessata dall'incendio posta in estrazione, con l'attivazione della camera di ventilazione di stazione anch'essa in modalità estrazione.

Le simulazioni effettuate sul modello monodimensionale costruito con software specifici di settore, ha consentito di verificare la bontà della suddetta strategia su una stazione rappresentativa dell'intero prolungamento (Rondinella-Crocetta) in relazione alla capacità di gestione dei fumi e di assicurare le condizioni sostenibili per la vita umana lungo le vie d'esodo. Il funzionamento combinato dell'impianto di ventilazione di galleria e dell'impianto di ventilazione di stazione, permette infatti che i passeggeri, dopo aver superato i varchi al piano banchine, saranno in una zona protetta (priva di fumo) e investiti da aria fresca richiamata dalle discenderie.

Infine, nel caso di raggiungimento di livelli di potenza di incendio significativi, è prevista l'attivazione automatica dell'impianto sprinkler installato in galleria nella tratta corrispondente alle banchine di stazione. Tale impianto contribuisce a contenere le temperature nell'area immediatamente adiacente all'incendio, preservando quindi le strutture (che comunque presentano grado di resistenza al fuoco coerente con quanto richiesto dal DM 21 ottobre 2015).



4.2.3. SCENARIO DI INCENDIO IN AMBIENTE DI STAZIONE (AREE APERTE AL PUBBLICO)

Nel caso di incendio in ambiente di stazione, l'impianto di ventilazione sarà opportunamente configurato al fine di mantenere sgomberi da fumi i percorsi di esodo. La strategia di ventilazione per la gestione di questi scenari verrà approfondita nelle fasi progettuali successive.

4.2.4. SCENARIO DI INCENDIO IN LOCALE TECNOLOGICO / IN UN LOCALE COMMERCIALE DI PERTINENZA DELLA STAZIONE

Nel caso si verificasse un incendio all'interno di uno dei locali tecnologici, sarà prevista la possibilità di estrarre i fumi sfruttando eventualmente le condotte dell'impianto di condizionamento tramite un ventilatore di emergenza e serrande, il cui intervento sarà opportunamente configurato e interfacciato con il sistema di rilevazione incendi.



5. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA VENTILAZIONE DI LINEA E DI STAZIONE

Nel presente capitolo è riportato il dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione di linea e di stazione del prolungamento a Monza della Linea 5 di Milano.

La metodologia seguita ha previsto lo svolgimento di simulazioni fluidodinamiche monodimensionali con lo scopo di verificare, ad un livello di dettaglio maggiore ma su una porzione limitata di linea (circa metà dell'intera estensione del prolungamento), il dimensionamento preliminare effettuato tramite calcoli analitici e ragionamenti di buona tecnica sull'intera linea. La tratta considerata è rappresentativa anche della restante tratta di linea.

Nelle fasi di progetto successive si entrerà più in dettaglio mediante simulazioni monodimensionali puntuali su tutta la linea integrate da studi approfonditi (es. simulazioni tridimensionali) per le porzioni di linea con geometria complessa in modo da affinare le procedure per la gestione dell'incendio in tali tratti, quali cameroni scambi, tronchino terminale e le tratte adiacenti alla porzione di linea in trincea (quindi aerologicamente "aperta") caratterizzati da sezioni trasversali più ampie e da altezze maggiori. Nelle fasi progettuali successive sarà quindi possibile effettuare la messa a punto di dettaglio delle caratteristiche delle camere di ventilazione; delle altre macchine (es. acceleratori) e delle prese d'aria. Eventuali ottimizzazioni potrebbero inoltre essere effettuate modificando o integrando la strategia di base di attivazione delle camere di ventilazione di linea.

Per realizzare gli obiettivi indicati nel capitolo precedente, i criteri dimensionanti preliminari scelti per il prolungamento della Linea 5 a Monza sono:

- Scenario di treno incendiato fermo in stazione: l'obiettivo è dimensionare gli impianti di ventilazione di galleria e stazione in modo che le aree della stazione, e in particolare le vie d'esodo non siano sostanzialmente interessate da fumi anche alla massima potenza di incendio; in tale scenario le porte di banchina sono considerate aperte, in relazione alla presenza del treno fermo in stazione.
- Scenario di treno incendiato fermo in linea: l'obiettivo è dimensionare gli impianti di ventilazione di galleria in modo da superare la velocità critica in ciascuna tratta di linea alla massima potenza di incendio di progetto e poter così gestire i fumi prodotti dall'incendio indirizzandoli dal lato opposto all'esodo delle persone; in tale scenario tutte le porte di banchina sono considerate chiuse. Nelle tratte particolari della linea (si veda paragrafo 3.1) potrà essere valutato nelle successive fasi progettuali se limitarsi viceversa al superamento della velocità di confinamento (corrispondente alla velocità minima dell'aria in grado di limitare la propagazione dei fumi in direzione contraria per una distanza definita).

Alla luce di quanto appena esposto, si vuole sottolineare che il rispetto di tali criteri di dimensionamento garantisce con margini il rispetto delle prescrizioni della nuova Regola Tecnica citati al paragrafo 2.

Il dimensionamento preliminare del sistema di ventilazione implica la scelta della taglia delle camere di ventilazione di stazione e di galleria in termini di portata volumetrica elaborata. Il calcolo della prevalenza esatta e quindi della potenza dei singoli ventilatori con tutto ciò che concerne l'alimentazione, il controllo e i vari interfacciamenti con gli altri sistemi, fanno parte degli obiettivi delle fasi progettuali successive.

5.1. DATI DI BASE

I dati di base necessari per il dimensionamento preliminare del sistema di ventilazione possono essere riassunti nei seguenti punti:



5.1.1. DATI GEOMETRICI DELLA LINEA

I dati geometrici necessari sia per i calcoli analitici che per la costruzione del modello monodimensionale sono principalmente i seguenti:

- Profilo del tracciato (Figura 3) da cui è possibile ricavare le variazioni di inclinazione lungo la linea, verificare la profondità dei vari punti rispetto alla quota del terreno, ottenere le distanze parziali tra le stazioni/manufatti, determinare i punti di discontinuità dovuti a variazioni di sezione.
- Sezioni notevoli della tratta di cui si riportano le caratteristiche principali in Tabella 1 (la colonna "TAG" è utile per la consultazione del foglio di calcolo in APPENDICE A).
- Caratteristiche geometriche della stazione tipologica in termini di dimensione delle banchine, della galleria di stazione, della lunghezza delle scale, volumi dei piani intermedi, dimensioni delle porte di banchina, cambiamenti di sezione per la valutazione dei coefficienti di perdita di carico concentrata. In Tabella 2 è riportato, a titolo esemplificativo il foglio di calcolo per la stazione Rondinella-Crocetta. Per la costruzione del modello monodimensionale si sono ricalcolate le geometrie in base alla profondità delle stazioni in modo da simulare rigorosamente gli effetti di galleggiamento e considerare le perdite di carico in maniera coerente.

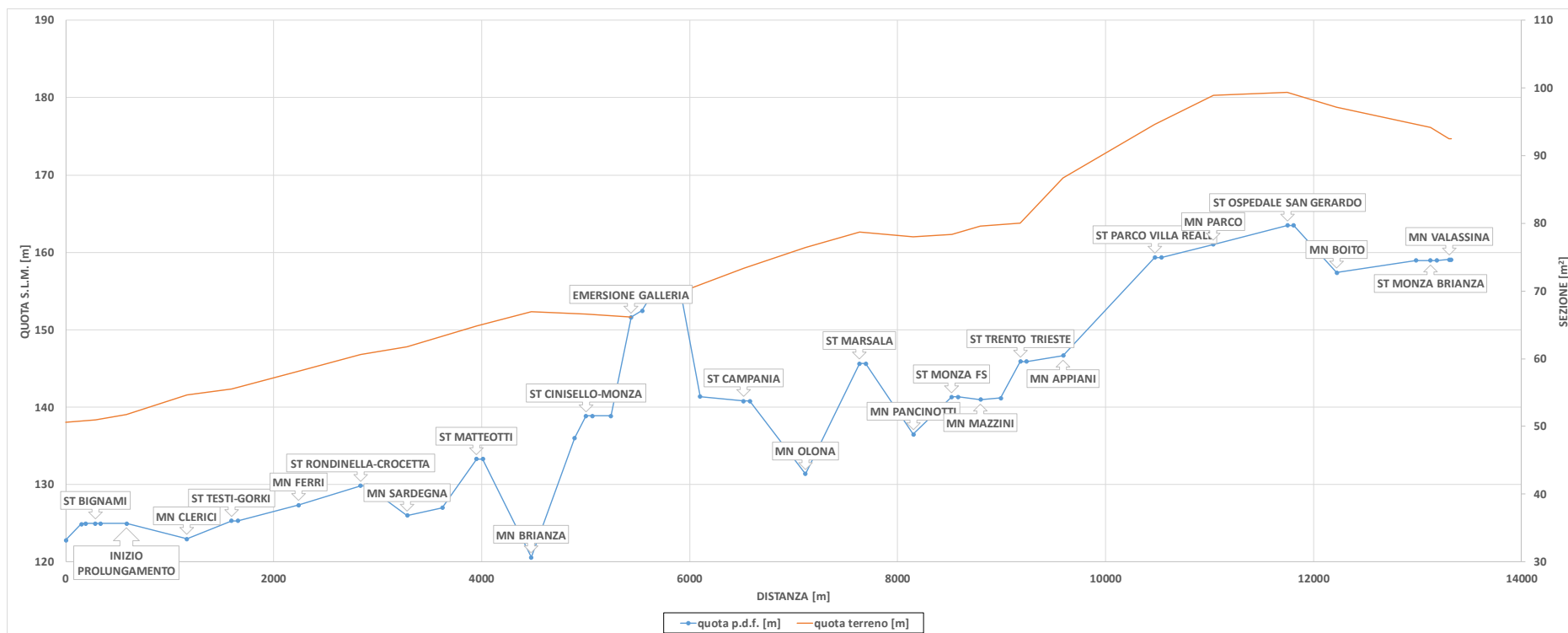


Figura 3 – Profilo del tracciato (in blu) e quota del terreno (in arancione)



Descrizione	TAG	Area [m ²]	Perimetro [m]	Altezza massima [m]
SEZIONE TIPO A CIELO APERTO	CA	37.5	26.8	4.5
SEZIONE TIPO TBM	TBM	42	26.1	6.0
SEZIONE A-A ASTA DI MANOVRA	A	65.9	41.9	4.5
SEZIONE B-B ASTA DI MANOVRA	B	72.4	42.9	5.7
SEZIONE C-C ASTA DI MANOVRA	C	87.3	49.6	9.1
SEZIONE D-D ASTA DI MANOVRA	D	52.8	52.2	4.5
SEZIONE E-E ASTA DI MANOVRA	E	56.3	35.4	4.5
SEZIONE F-F ASTA DI MANOVRA	F	59.2	36.2	4.5
SEZIONE G-G ASTA DI MANOVRA	G	108.7	70.7	9.0
SEZIONE H-H ASTA DI MANOVRA	H	89.2	60.7	7.3

Tabella 1 – Caratteristiche delle sezioni notevoli

Galleria di stazione		Banchina		Piano ammezzato		Piano mezzanino	
sezione	35.93 m2	sezione in pianta	178.00 m2	altezza	2.70 m	altezza	3.00 m
lunghezza	60.00 m	altezza	3.00 m	sezione in pianta	115.80 m2	sezione in pianta	369.00 m2
volume	1796.50 m3	volume	534.00 m3	volume	312.66 m3	volume	1107.00 m3
altezza	5.50 m	altezza da pdf	0.82 m	quota	135.98 m	quota	140.24 m
quota	129.82 m	quota	130.64 m	larghezza	20.00 m	larghezza	13.40 m
larghezza	6.53 m	larghezza eq.	3.56 m	lunghezza eq.	5.79 m	lunghezza eq.	27.54 m
		lunghezza eq.	50.00 m				
Porte di banchina		Scale fisse da banchina ad ammezzato		Scala mobile da banchina a mezzanino			
numero	8.00	dislivello	5.34 m	dislivello	9.60 m		
base	2.20 m	lunghezza	14.70 m	lunghezza	19.20 m		
altezza	2.40 m	altezza	2.40 m	altezza	2.40 m		
distanza treno ba	0.13 m	larghezza	2.40 m	larghezza	2.40 m		
area	9.57 m2	sezione	5.76 m2	sezione	5.76 m2		
leakage	0.03	diametro idraulico	2.40 m	diametro idraulico	2.40 m		
leak area	0.29 m2	quota iniziale	130.64 m	quota iniziale	130.64 m		
		quota finale	135.98 m	quota finale	140.24 m		
Scale fisse da ammezzato a mezzanino		Scala mobile da ammezzato a mezzanino					
dislivello	4.26 m	dislivello	4.26 m				
lunghezza	10.30 m	lunghezza	8.32 m				
altezza	2.70 m	altezza	2.70 m				
larghezza	1.80 m	sezione	9.99 m2				
sezione	4.86 m2	diametro idraulico	3.12 m				
diametro idraulico	2.16 m	larghezza	3.70 m				
quota iniziale	135.98 m	quota iniziale	135.98 m				
quota finale	140.24 m	quota finale	140.24 m				
Uscita da mezzanino a strada		Scale da uscita a strada					
tratta di lunghezza 9 m		sezione	12.60 m2				
larghezza	4.20 m	diametro idraulico	3.50 m				
altezza	3.00 m	angolo	30.00 °				
sezione	12.60 m2	altezza	3.00 m				
diametro idraulico	3.50 m	larghezza	4.20 m				
quota iniziale	140.24 m	sezione	12.60 m2				
quota finale	140.24 m	quota iniziale	140.24 m				
		quota finale	146.81 m				
		dislivello	6.57 m				
		lunghezza	13.14 m				

Tabella 2 – Esempio di foglio di calcolo relativo alle caratteristiche geometriche delle stazioni per la costruzione del modello monodimensionale



5.1.2. CURVA D'INCENDIO DI PROGETTO

La curva di rilascio termico considerata per il dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione è data dalla curva prescritta dalla nuova regola tecnica fino alla massima potenza di incendio. Tale curva di progetto è sempre conservativa rispetto a quella utilizzata nella progettazione della tratta già in opera rappresentativa di un incendio di un intero veicolo composto da 4 casse il cui picco è raggiunto approssimativamente dopo 45 minuti. In Figura 4 è rappresentato il confronto tra le due curve e, in giallo, è riportata la curva di rilascio termico implementata nel modello monodimensionale.

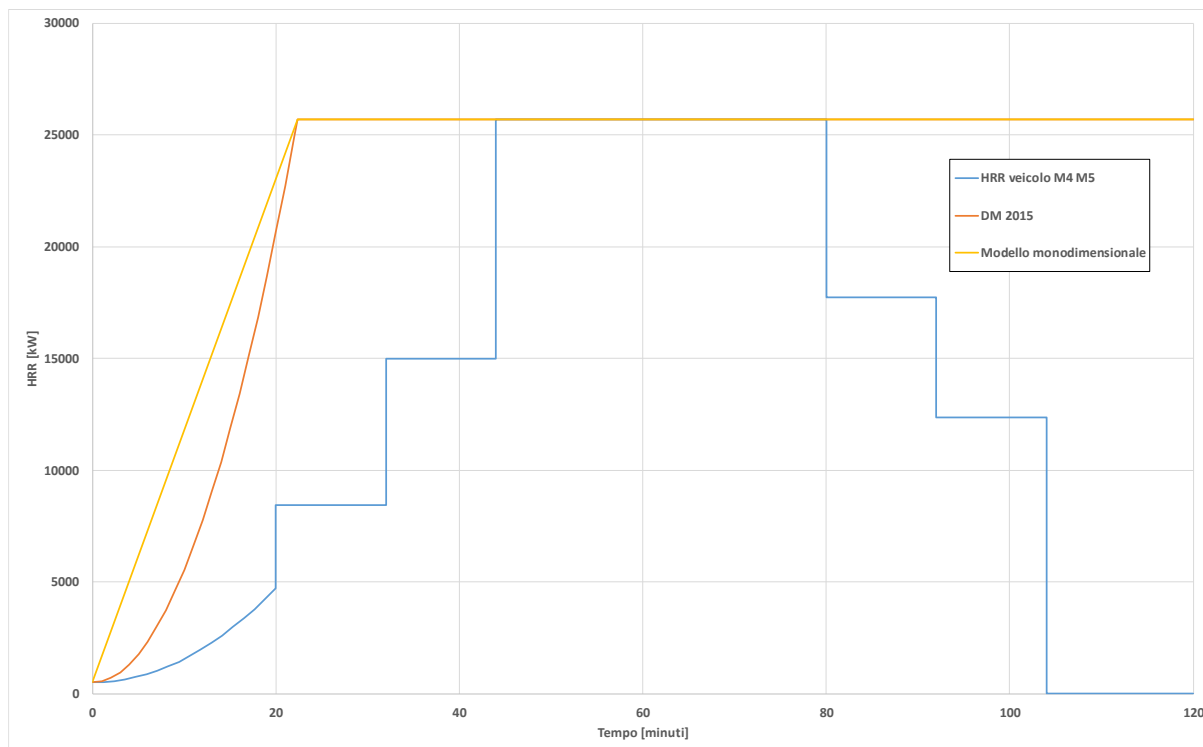


Figura 4 – Curve di rilascio termico

È importante sottolineare che, per lo scopo del presente documento, non è importante la definizione dell'intera curva ma solo della potenza di picco intesa come somma dei contributi convettivi e radiativi.

A livello operativo, è stato considerato un picco di potenza termica totale rilasciata di 26 MW di cui il 70% convettivi. La quota parte convettiva, pari a 18.2 MW, è stata quindi considerata per il calcolo della velocità critica in ogni sezione notevole della linea.



5.1.3. DATI AMBIENTALI

Figura 5 e Figura 6 si riportano i dati ricavati dal database ASHRAE IWECC 1.1 per Milano, stazione meteorologica di Linate. Tali informazioni sono fondamentali per la corretta esecuzione delle simulazioni monodimensionali in quanto la differenza di temperatura tra l'esterno e l'ambiente di stazione/galleria determina effetti di galleggiamento (effetto camino) non trascurabili e spesso determinanti per il dimensionamento del sistema. Come si vedrà in seguito, nella sezione relativa alle simulazioni monodimensionali, lo scenario dimensionante è infatti quello relativo alla stagione invernale in cui la differenza di temperatura tra fumi e esterno è massima.

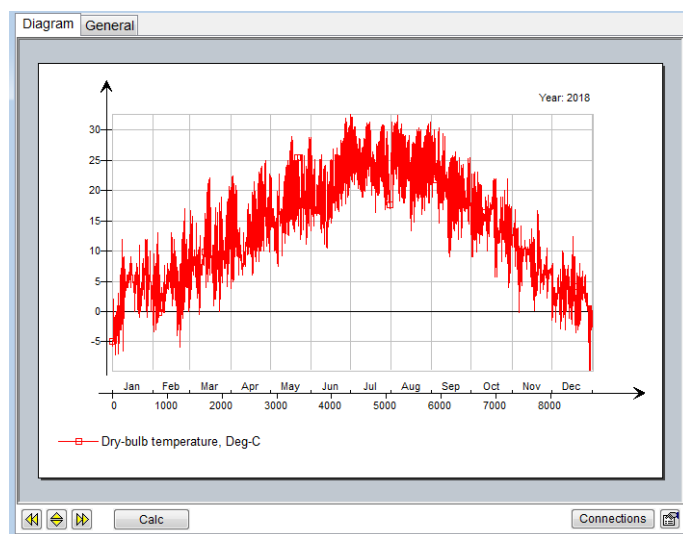


Figura 5 – Temperatura di bulbo secco a Milano (stazione meteorologica di Linate)

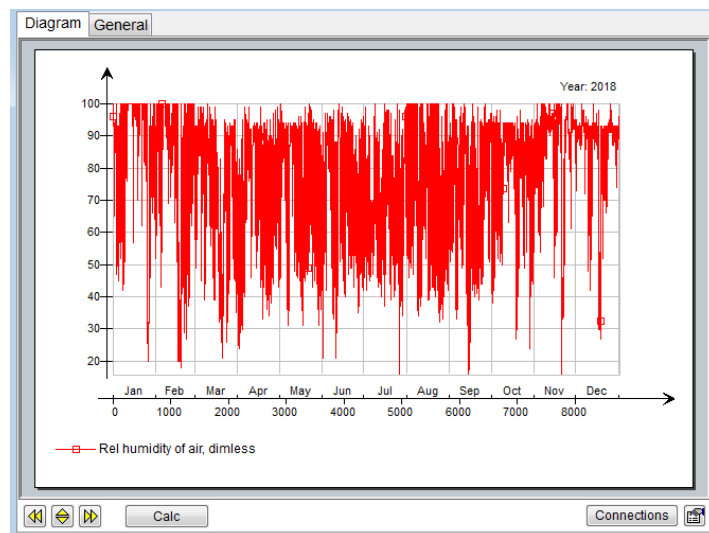


Figura 6 – Umidità relativa a Milano (stazione meteorologica di Linate)



5.1.4. CARATTERISTICHE DEL MATERIALE ROTABILE

Al fine di tenere conto nelle simulazioni monodimensionali del rapporto di bloccaggio dei treni in galleria e le perdite di carico aggiuntive che deve vincere il sistema di ventilazione in caso di emergenza, sono stati inseriti i dati salienti relativi alle caratteristiche del materiale rotabile presente in Linea 5.

Tali dati sono inoltre necessari per simulare in maniera verosimile l'andamento delle pressioni e delle velocità dell'aria nel sistema durante il normale esercizio prima che avvenga l'incendio. A tal proposito, in base agli orari della tratta già in esercizio, si è posto un cadenzamento dei treni pari a 4 minuti (dato necessario solo per la porzione di simulazione prima dell'innescio).

N. casse	4
Lunghezza	49 m
Area frontale	8.3 m ²
Capacità max	536 passeggeri
Velocità max	80 km/h
Accelerazione media da 0 km/h a 50 km/h	1.0 m/s ²
Decelerazione max	1.1 m/s ²
Peso	70t

5.1.5. SOFTWARE DI SIMULAZIONE MONODIMENSIONALE E MODELLO NUMERICO

Il software IDA Tunnel (riferimenti 1, 2, 3, 4) sviluppato della casa EQUA è l'applicativo di cui ci si è serviti in questo studio per l'analisi termofluidodinamica della porzione del prolungamento della Linea 5 che va dalla stazione Bignami all'emersione della galleria all'esterno a valle della stazione Cinisello-Monza (lungo il binario dispari).

Tale software è utilizzato con successo dalle principali società di ingegneria e di gestione di trasporto ferroviario in molte parti del mondo, tanto da essere considerato una valida alternativa al software SES anch'esso largamente utilizzato. In Figura 7 si riporta uno screenshot dell'interfaccia che mostra il modello costruito.

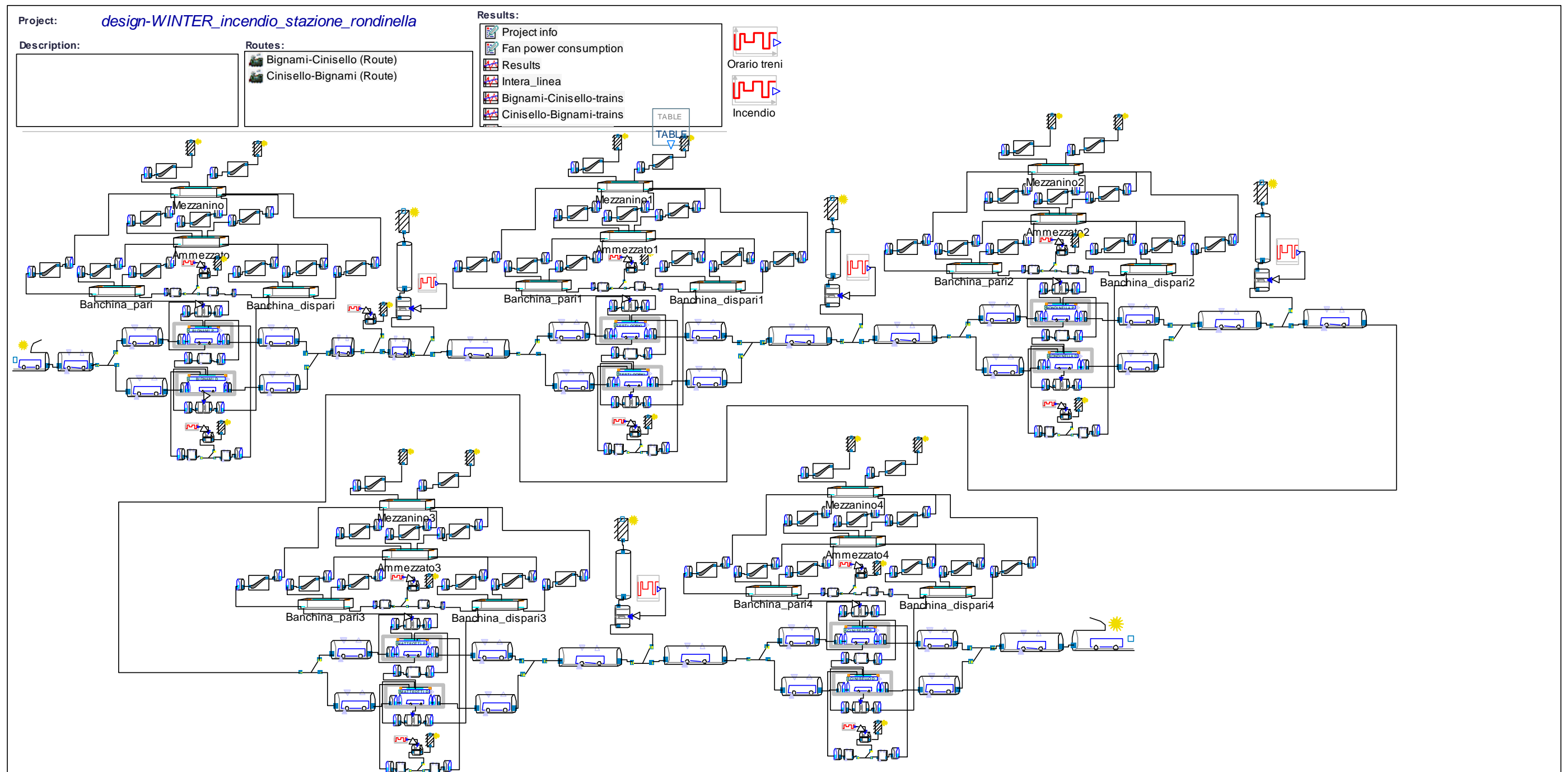


Figura 7 – Schema del modello monodimensionale



5.2. CALCOLO DELLA VELOCITÀ CRITICA

Il calcolo della velocità critica è stato eseguito in accordo con la metodologia indicata nello standard NFPA 502 il quale definisce la velocità critica come la minima velocità dell'aria all'interno della galleria, indotta verso l'incendio dal sistema di ventilazione, richiesta per prevenire il fenomeno del backlayering (movimento dei fumi in direzione opposta all'aria stessa) dal punto di incendio.

La metodologia implica l'uso di due equazioni che vanno risolte simultaneamente per iterazioni successive:

$$V_c = K_1 K_g \left(\frac{g H Q}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3}$$
$$T_f = \left(\frac{Q}{\rho C_p A V_c} \right) + T$$

Dove: V_c è la velocità critica [m/s], K_1 è il fattore relativo al numero di Froude (pari a 0.606), K_g è il fattore che tiene conto della pendenza della galleria (pari a 1 in assenza di pendenza), g è l'accelerazione di gravità [m/s²], H è l'altezza del tunnel [m], Q è la potenza termica convettiva rilasciata dall'incendio [kW], ρ è la densità dell'aria a monte dell'incendio [kg/m³], C_p è il calore specifico dell'aria [kJ/(kgK)], A è la sezione trasversale del tunnel [m²], T_f è la temperatura media dei prodotti di combustione in prossimità dell'incendio [K], T è la temperatura dell'aria che approssima l'incendio [K].

Partendo dai dati riportati nel capitolo 5.1 relativi alle sezioni e alle pendenze della linea e dalla potenza di incendio di progetto, sono state calcolate le velocità critiche in ogni sezione in cui i dati sopracitati sono considerabili come omogenei. Tali risultati sono consultabili nell'APPENDICE A del presente documento.

A titolo indicativo si riporta che la velocità critica media su tutta la linea è di circa 2.15 m/s.

5.3. DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE

In questo capitolo sono riportati le metodologie e i criteri progettuali relativi al dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione di stazione e di galleria per l'intero prolungamento mediante calcoli analitici e ragionamenti di buona tecnica dettati dall'esperienza sulla porzione di Linea 5 già attiva e altri progetti analoghi. Nel paragrafo 5.4, tali scelte verranno verificate tramite simulazioni fluidodinamiche monodimensionali.

5.3.1. CAMERA DI VENTILAZIONE DI STAZIONE

Il criterio per il dimensionamento delle camere di ventilazione di stazione è del tutto analogo a quello utilizzato per le stazioni della tratta precedente in quanto si è considerato, in questa fase progettuale, che i volumi che caratterizzano le nuove stazioni non si discostino molto da quelli relativi alla tratta Garibaldi - San Siro (in particolare si è presa a riferimento la stazione tipologica di Segesta).

Ciò premesso, la scelta è ricaduta sulla configurazione a due ventilatori da 27 m³/s (100'000 m³/h). Tale dimensionamento permette di ottenere una ridondanza totale dei ventilatori in quanto la camera di ventilazione può elaborare una portata totale doppia rispetto a quella necessaria per la singola banchina



in emergenza. La portata totale è interamente orientabile verso una delle due banchine attraverso un sistema di serrande che collegano alle condotte in lamiera zincata poste nel controsoffitto.

5.3.2. CAMERA DI VENTILAZIONE DI GALLERIA

Il dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione di galleria ha seguito i criteri progettuali indicati dal DM 21 ottobre 2015 già presentati al capitolo 4.2.3. Nella sezione successiva tali calcoli analitici sono verificati dalle simulazioni monodimensionali eseguiti su una porzione del prolungamento (tratta tra Bignami e l'emersione della galleria a valle della stazione Cinisello-Monza lungo il binario dispari).

Dopo aver calcolato la velocità critica come descritto nel capitolo 5.2, si è proceduto a calcolare, per ogni sezione, la portata volumetrica teorica Q_t necessaria al raggiungimento di tale velocità moltiplicando l'area di passaggio A [m²] per la velocità critica V_c [m/s] per l' i -esima porzione di linea caratterizzata da proprietà omogenee.

$$Q_{t,i} = A_i V_{c,i}$$

Per passare dalla portata teorica all'effettiva portata totale della camera di ventilazione, occorre tenere conto di due fenomeni i quali implicano un incremento della portata appena calcolata. Il primo fenomeno è legato alla ripartizione della portata aspirata dalla camera di ventilazione sui due rami di galleria afferenti alla camera stessa. Tale aspetto è stato tenuto in considerazione nei calcoli considerando una proporzione tale per cui il 70% della portata totale della camera di ventilazione proviene dal tratto di galleria affetto dall'incendio mentre il restante 30% proviene dall'altra direzione. La portata teorica va quindi moltiplicata per un fattore f_1 pari a:

$$f_1 = \frac{1}{1 - 0.3} = 1,43$$

L'altro fattore da tenere in considerazione nel dimensionamento della camera di ventilazione di galleria riguarda l'aspirazione dei fumi caldi (e quindi a bassa densità) da parte dei ventilatori. Ipotizzando la stessa ripartizione di portata del punto precedente e una temperatura dei fumi aspirati di 100 °C (la temperatura dell'aria pura è stata considerata pari a $T_f = 20^\circ\text{C}$) si ricava che la temperatura media della miscela aria-fumi aspirata T_c è circa 76 °C. Considerando quindi la miscela di gas aspirati e l'aria come gas perfetti (ipotesi ragionevole considerando i range di pressione e temperatura in gioco), il fattore moltiplicativo f_2 che tiene conto della variazione di densità tra monte e valle incendio è pari a:

$$f_2 = \frac{T_c}{T_f} = 1,19$$

Operativamente è quindi necessario incrementare la portata Q_t di un fattore pari a $f_1 \times f_2$ corrispondente a circa il 70% in più.

I calcoli riportati nell'APPENDICE A mostrano, per ogni tratto di linea considerato, quale dovrebbe essere la capacità in termini di portata volumetrica di progetto delle camere di ventilazione più vicine, nell'ipotesi di utilizzare una strategia push-pull, affinché si possa gestire l'incendio di un treno di potenza massima di 26 MW in quel tratto. Tale calcolo, come detto, tiene conto della geometria della sezione di galleria in questione e della pendenza della medesima.

Come meglio indicato in seguito, in base a queste valutazioni preliminari la camera di ventilazione tipologica di galleria avrà una portata nominale pari a 600'000 m³/h.

5.4. SIMULAZIONI FLUIDODINAMICHE MONODIMENSIONALI

In questa sezione sono presentate le simulazioni fluidodinamiche monodimensionali effettuate con il software IDA Tunnel 4.7.1 allo scopo di verificare il dimensionamento preliminare descritto al paragrafo



5.3. Il modello costruito è basato sui dati di input riportati al paragrafo 5.1 e comprende la tratta che si estende dalla stazione Bignami (già attiva) fino all'emersione della galleria a valle della stazione Cinisello-Monza, lungo il binario dispari (si veda Figura 8).

5.4.1. METODOLOGIA

L'analisi monodimensionale ha coinvolto sia lo scenario di treno incendiato in stazione che lo scenario di treno incendiato in galleria:

- nel primo caso ci si è concentrati sulla verifica che le condizioni sostenibili per la vita umana fossero garantite lungo le vie d'esodo dalla banchina identificate con le scale di risalita fino all'esterno (luogo sicuro);
- nel secondo scenario si è invece verificato che esista una strategia di ventilazione in grado di indirizzare i fumi provocati da un incendio in galleria in entrambe le direzioni superando quindi la velocità critica e dando la possibilità alle persone di evacuare nella direzione opposta.

Le simulazioni sono state tutte condotte per una durata complessiva di due ore costituite da trenta minuti di simulazione del normale esercizio con relativo traffico di treni in entrambe le direzioni e novanta minuti di emergenza incendio. Una volta raggiunto il picco massimo di potenza di rilascio termico, dopo circa 23 minuti dall'innesco (53 minuti di simulazione), esso è stato mantenuto costante per il resto della simulazione in modo tale da pervenire a condizioni a regime alla massima potenza d'incendio.

Tale assunzione è certamente conservativa poiché l'incendio, per sua natura, tenderà a decadere dopo un certo tempo per mancanza di combustibile (il comburente è presente in abbondanza), questa metodologia consente però di verificare che il sistema sia correttamente dimensionato per la gestione dei fumi alla potenza massima dell'incendio di progetto per un tempo potenzialmente molto lungo dando la possibilità di un intervento più agevole e in sicurezza da parte delle squadre di soccorso.

Nelle sezioni successive sono riportati i risultati principali per i due casi di incendio sopraccitati in paragrafi separati in cui sono indicati gli scenari simulati, uno schema illustrativo, i grafici con i relativi risultati salienti e uno quadro riassuntivo finale con le opportune considerazioni.

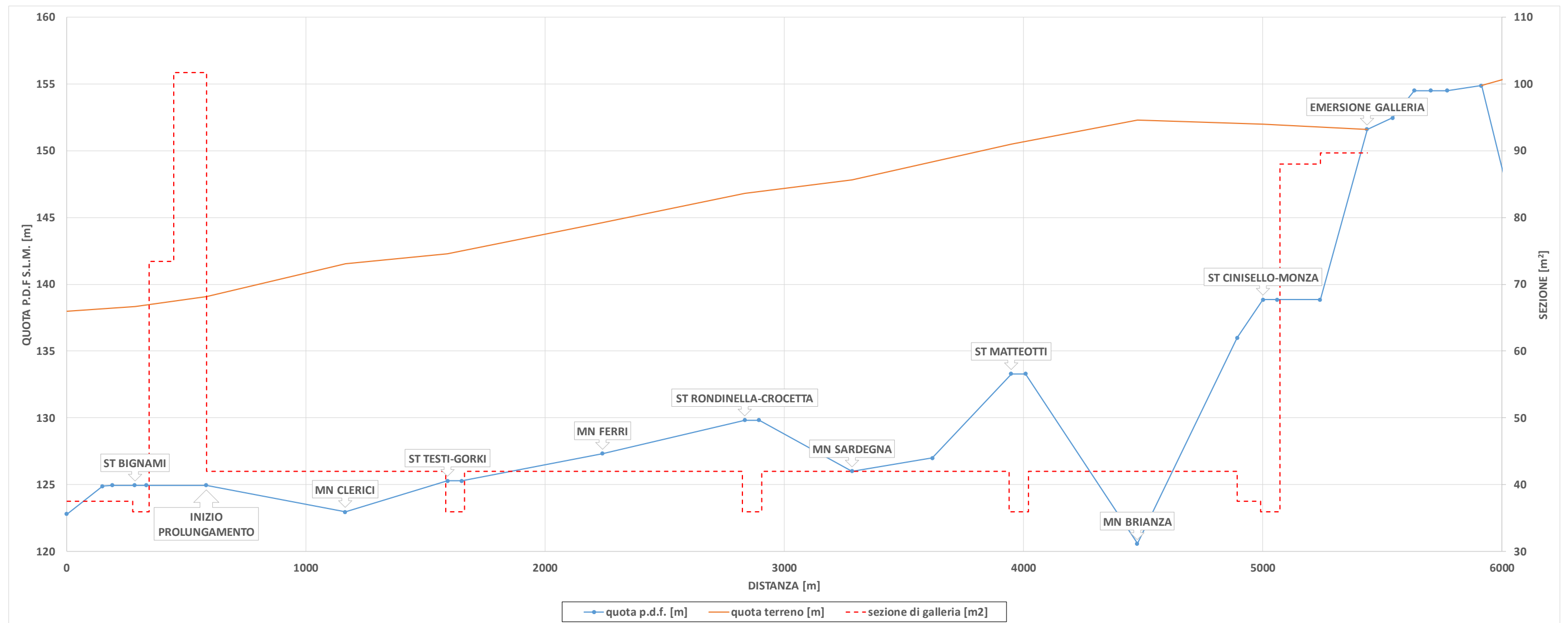


Figura 8 – Profilo altimetrico del modello monodimensionale con l'indicazione delle sezioni di galleria



5.4.2. SIMULAZIONI MONODIMENSIONALI DI TRENO INCENDIATO IN STAZIONE

Seguendo la metodologia riportata al paragrafo precedente e i dati di input consultabili al paragrafo 5.1, è stata eseguita la simulazione monodimensionale di una stazione rappresentativa del prolungamento della Linea 5 fino a Monza. In particolare, si è scelta la stazione Rondinella-Crocetta la quale presenta le caratteristiche della stazione tipologica della tratta in oggetto (Figura 9 e Figura 10). Tale stazione è del tipo a banchine laterali con porte di banchina che separano la via di corsa dei treni (galleria di stazione) dalla banchina di stazione vera e propria. Il piano banchina si estende per una lunghezza di circa 60 m e una larghezza complessiva di 14 m di cui circa 6,5 m destinati alla via di corsa dei treni. Da ciascuna banchina risalgono tre scale, due fisse di larghezza pari a 2,4 m fino al piano intermedio e una mobile fino al piano atrio/mezzanino da 1 m. Dal piano intermedio dipartono quattro scale fino al mezzanino, due fisse da 1,8 m e due mobili da 1 m. Il piano atrio/mezzanino ha una volumetria di circa 1100 m³ ed è collegato al piano strada tramite due uscite.

La ventilazione di emergenza, come descritto al paragrafo 5.3.1, è costituita dalla camera di ventilazione di linea in grado di elaborare una portata massima di 600'000 m³/h la quale comunica direttamente con la galleria di stazione e dalla ventilazione di emergenza di stazione con capacità pari a 200'000 m³/h ripartiti sulle due banchine tramite canalizzazioni in lamiera. In caso di emergenza si è supposto che solo le porte di banchina sul lato del treno in emergenza siano aperte mentre sull'altro lato sia solo consentito l'eventuale trafilamento dei fumi attraverso i giochi del sistema meccanico di scorrimento e lungo la cornice delle porte.

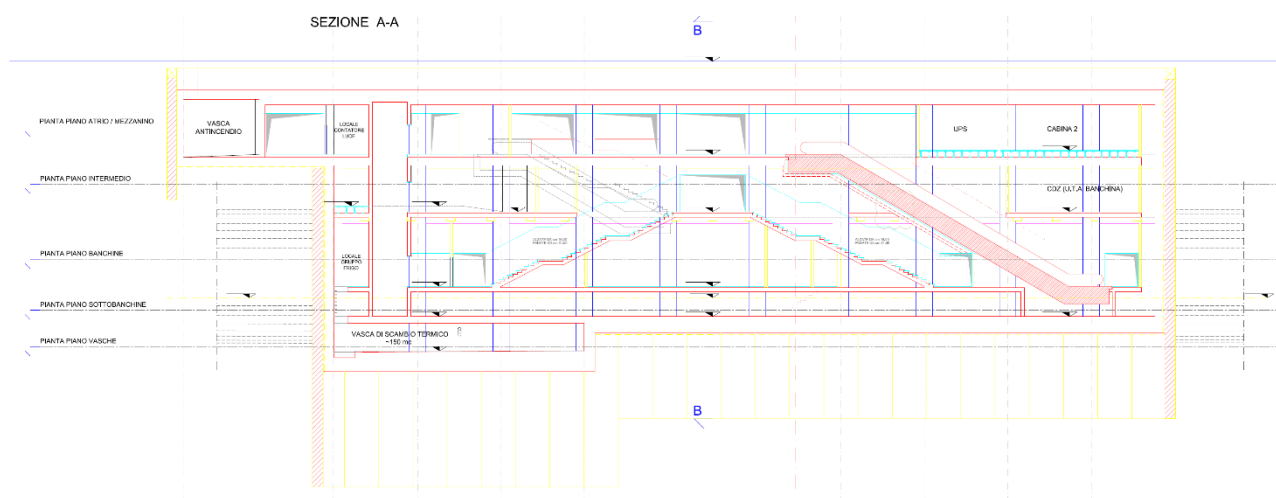


Figura 9 – Sezione longitudinale stazione tipologica

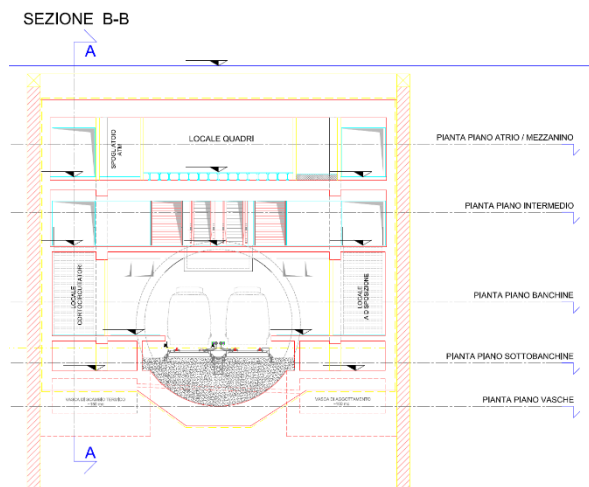


Figura 10 – Sezione trasversale stazione tipologica

5.4.2.1. SCENARI SIMULATI

Gli scenari selezionati per la simulazione di treno incendiato in stazione sono:

- **Scenario 1s:** Treno incendiato in stazione con la sola attivazione della camera di ventilazione di linea in aspirazione al 100% e il sistema di ventilazione di emergenza di stazione in aspirazione al 100% distribuito sulle due banchine.
- **Scenario 2s:** Come lo scenario precedente ma con l'aggiunta di una strategia push-pull mettendo rispettivamente in estrazione e in immissione al 100% le camere di ventilazione di linea della stazione precedente e successiva a quella in emergenza (in riferimento al binario dispari).



5.4.2.2. RISULTATI SCENARIO 1s

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo Scenario 1s descritto precedentemente. Per questo tipo di simulazione, al fine di verificare le condizioni di sostenibilità per la vita umana nei percorsi di esodo, è riportato Figura 11 il grafico di velocità dell'aria lungo le discenderie afferenti alla banchina (per convenzione, a valori negativi, corrisponde un flusso d'aria diretto dai piani superiori verso la banchina).

Il riassunto dei risultati è riportato nella tabella seguente:

	velocità effettiva	velocità minima	margin sulla velocità minima
	[m/s]	[m/s]	[%]
scale fisse banchina dispari (incendio)	-1.21	-1.00	21%
scala mobile banchina dispari (incendio)	-1.83	-1.00	83%
scale fisse banchina pari	-1.39	-1.00	39%
scala mobile banchina pari	-1.95	-1.00	95%

Si nota come la velocità dell'aria su tutte le discenderie di entrambe le banchine sia negativa e maggiore di 1 m/s e minore di 6 m/s per tutto il tempo della simulazione, in accordo con le prescrizioni della regola tecnica.

Per quanto riguarda la banchina di stazione, le simulazioni hanno mostrato come a circa 65 minuti (25 minuti dall'innesco, potenza di 25 MW) cominci a trafilare del fumo in banchina.

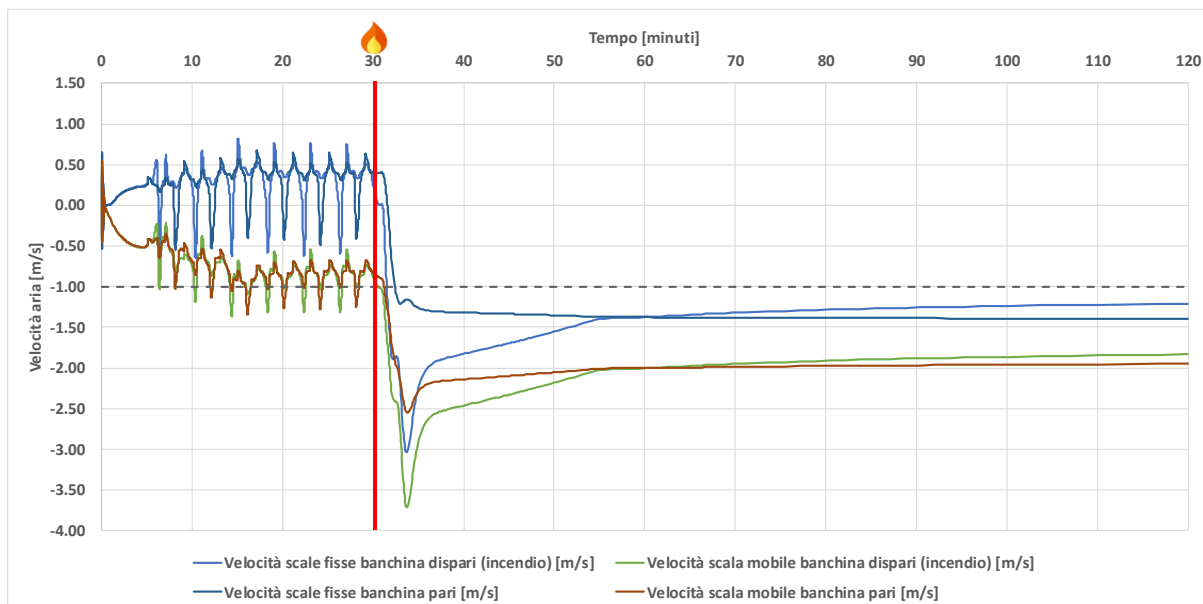


Figura 11 – Velocità dell'aria lungo le discenderie afferenti alle due banchine durante l'incendio, Scenario 1s



5.4.2.3. RISULTATI SCENARIO 2S

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo Scenario 2s, il quale è analogo allo Scenario 1s con l'aggiunta nella strategia di ventilazione delle camere di ventilazione di linea delle stazioni limitrofe (stazione Testi-Gorki e Matteotti) in modalità push-pull. Per questo tipo di simulazione, al fine di verificare le condizioni di sostenibilità per la vita umana lungo i percorsi di esodo, è riportato in Figura 12 il grafico della velocità dell'aria lungo le discenderie afferenti alla banchina (per convenzione, a valori negativi, corrisponde un flusso d'aria diretto dai piani superiori verso la banchina).

Il riassunto dei risultati è riportato nella tabella seguente:

	velocità effettiva	velocità minima	margin sulla velocità minima
	[m/s]	[m/s]	[%]
scale fisse banchina pari (incendio)	-1.94	-1.00	94%
scala mobile banchina pari (incendio)	-2.58	-1.00	158%
scale fisse banchina dispari	-1.31	-1.00	31%
scala mobile banchina dispari	-2.18	-1.00	118%

Si nota come la velocità dell'aria su tutte le discenderie di entrambe le banchine sia negativa e maggiore di 1 m/s e minore di 6 m/s per tutto il tempo della simulazione in accordo con le prescrizioni della regola tecnica.

I risultati indicano che, per quanto riguarda la banchina di stazione, a differenza dello Scenario 1s, la minima quantità di fumo che era in grado di trafilare in banchina dopo 25 minuti dall'innescio, non è più presente.

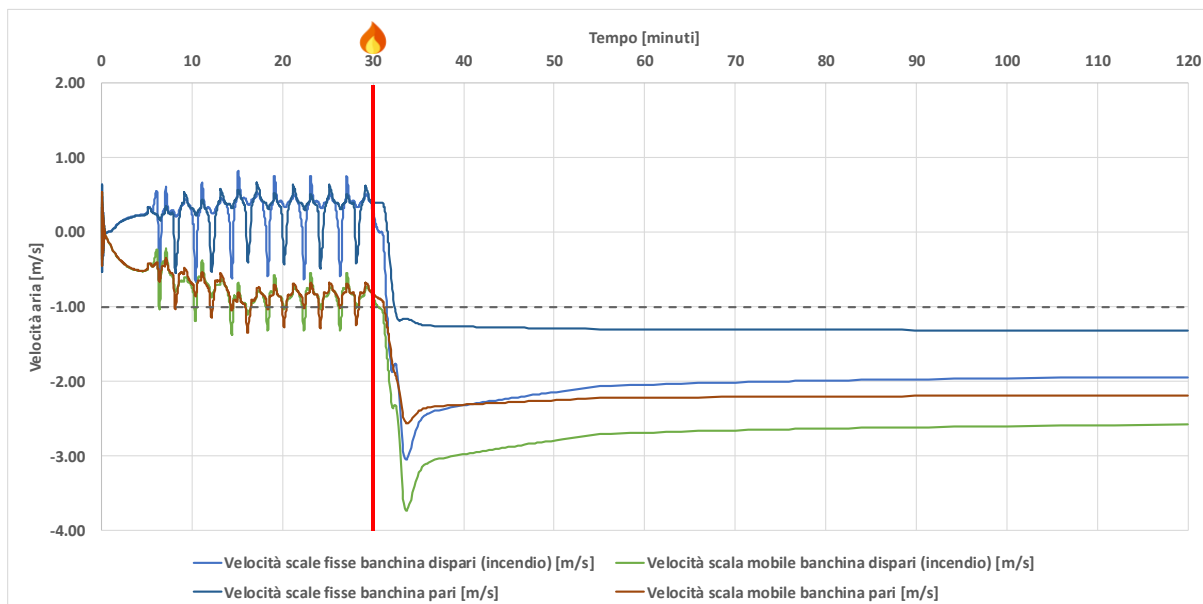


Figura 12 – Velocità dell'aria lungo le discenderie afferenti alle due banchine durante l'incendio, Scenario 2s



5.4.3. SIMULAZIONI MONODIMENSIONALI DI TRENO INCENDIATO IN LINEA

Seguendo la metodologia riportata al paragrafo precedente e i dati di input consultabili al paragrafo 5.1, sono state eseguite le simulazioni monodimensionali di treno incendiato in linea.

L'analisi si è focalizzata sulla verifica, per ogni intertratta tra due stazioni della porzione di prolungamento modellata (dalla stazione Bignami all'emersione all'esterno della galleria a valle della stazione Cinisello-Monza, lungo il binario dispari), del dimensionamento preliminare delle camere di ventilazione di linea riportata al paragrafo 5.3.2.

In particolare, si è accertato che il sistema di ventilazione di emergenza sia in grado di gestire i fumi prodotti da un treno incendiato in linea e di indirizzarli, con strategie ad hoc, indifferentemente in entrambe le direzioni consentendo l'evacuazione delle persone in direzione opposta. La strategia base è del tipo push-pull ossia tale per cui si impostano le due camere di ventilazione limitrofe alla tratta in emergenza una in modalità estrazione e una in modalità immissione al 100% della potenza nominale. La strategia base in alcuni casi verrà integrata da altre camere di ventilazione al fine di superare la velocità critica nel tratto in questione.

La ventilazione di emergenze interna di stazione non è stata considerata nelle simulazioni di treno incendiato in linea in quanto non influente sui risultati (a causa alla presenza delle porte di banchina).

Tutte le simulazioni sono state effettuate considerando la presenza di treni in linea coerente con il traffico impostato durante i primi trenta minuti di simulazione rappresentativi del normale esercizio.

Nelle fasi progettuali successive si provvederà a selezionare le strategie opportune per ogni scenario definendo una matrice di intervento da implementata a SCADA.



5.4.3.1. SCENARI SIMULATI

Di seguito sono riportati gli scenari selezionati:

- **Scenario 1I:** Treno incendiato in linea in prossimità del manufatto Clerici tra la stazione Bignami e la stazione Testi-Gorki. Per questo scenario vengono definiti due sotto casi relativi alle due strategie di ventilazione atte a spingere i fumi verso la stazione Testi-Gorki ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario dispari (*"Scenario 1I dispari"*) e verso la stazione Bignami ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario pari (*"Scenario 1I pari"*).
- **Scenario 2I:** Treno incendiato in linea in prossimità del manufatto Ferri tra la stazione Testi-Gorki e la stazione Rondinella-Crocetta. Per questo scenario vengono definiti due sotto casi relativi alle due strategie di ventilazione atte a spingere i fumi verso la stazione Rondinella-Crocetta ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario dispari (*"Scenario 2I dispari"*) e verso la stazione Testi-Gorki ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario pari (*"Scenario 2I pari"*).
- **Scenario 3I:** Treno incendiato in linea in prossimità del manufatto Sardegna tra la stazione Rondinella-Crocetta e la stazione Matteotti. Per questo scenario vengono definiti due sotto casi relativi alle due strategie di ventilazione atte a spingere i fumi verso la stazione Matteotti ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario dispari (*"Scenario 3I dispari"*) e verso la stazione Rondinella-Crocetta ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario pari (*"Scenario 3I pari"*).
- **Scenario 4I:** Treno incendiato in linea in prossimità del manufatto Brianza tra la stazione Matteotti e la stazione Cinisello-Monza. Per questo scenario vengono definiti due sotto casi relativi alle due strategie di ventilazione atte a spingere i fumi verso la stazione Cinisello-Monza ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario dispari (*"Scenario 4I dispari"*) e verso la stazione Matteotti ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario pari (*"Scenario 4I pari"*).
 - **Scenario 4I_wc (worst case):** Questo scenario, denominato nel seguito come *"Scenario 4I_wc pari"* prevede il posizionamento del treno incendiato nella semitratta tra il Manufatto Brianza e la stazione Cinisello-Monza, vicino alla stazione. Tale caso aggiuntivo è stato inserito per valutare se il sistema sia anche in grado di dirigere i fumi, superando la velocità critica, verso la stazione Matteotti in contrapposizione ad un forte effetto camino dovuto alla grossa differenza di temperatura e all'ingente inclinazione (circa 3.7°).
- **Scenario 5I:** Treno incendiato in linea tra la stazione Cinisello-Monza e l'emersione della galleria all'esterno. Per questo scenario vengono definiti due sotto casi relativi alle due strategie di ventilazione atte a spingere i fumi verso l'esterno ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario dispari (*"Scenario 5I dispari"*) e verso la stazione Cinisello-Monza ovvero in direzione di percorrenza della tratta sul binario pari (*"Scenario 5I pari"*).



5.4.3.2. SCENARIO 1L DISPARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 1l dispari” descritto nel paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 13, Figura 14 e Tabella 3 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Clerici e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,52 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

Non è stata considerata nella strategia la camera di ventilazione dell’asta di manovra adiacente alla stazione Bignami facente parte della tratta già attiva. Tale camera è stata dimensionata per una portata identica alla portata della camera di ventilazione di linea della stazione Bignami, pari a 350'000 m³/h. Il fatto di considerare nello scenario in oggetto la sola camera di ventilazione di linea della stazione Bignami porta ad ottenere risultati conservativi in quanto a seconda dello scenario e della posizione del treno è sempre possibile integrare la strategia con una coppia di ventilatori aggiuntiva.

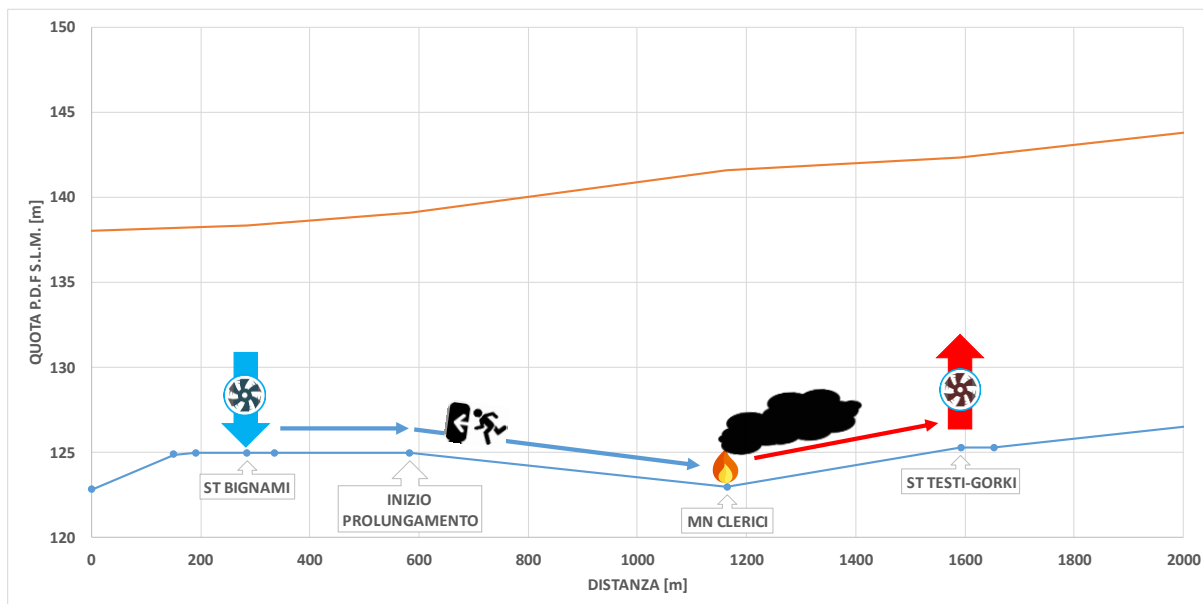


Figura 13 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 1l dispari

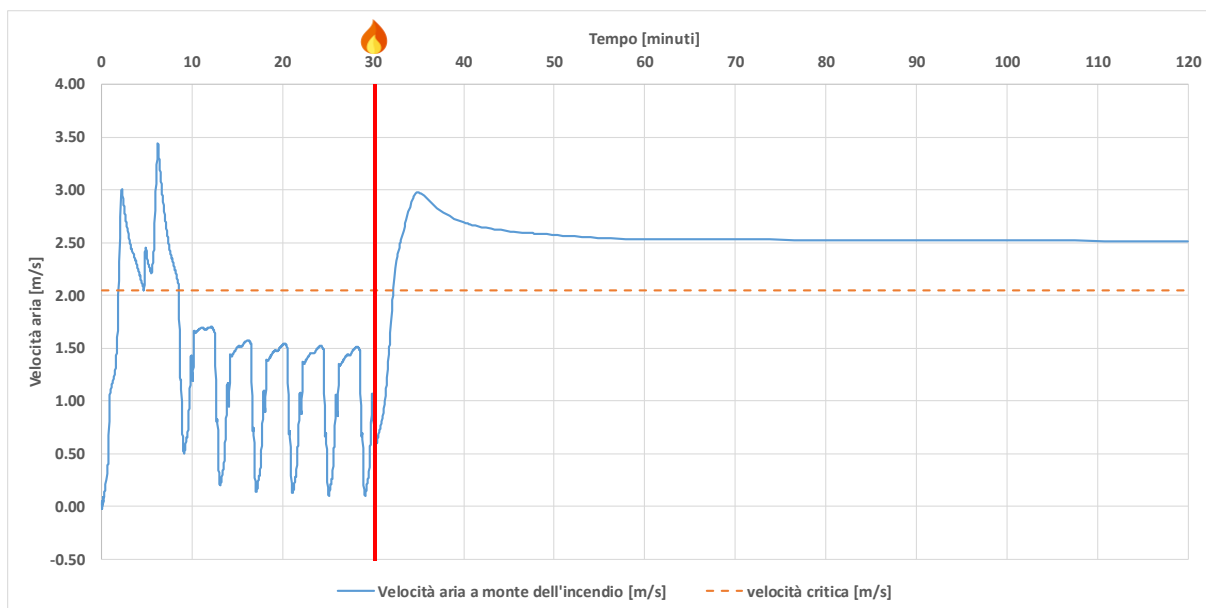


Figura 14 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 11 dispari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginе sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	2.05	2.52	380'359	23%

Tabella 3 – Risultati Scenario 11 dispari



5.4.3.3. SCENARIO 1L PARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 1l pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 15, Figura 16 e Tabella 4 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Clerici e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,06 m/s, valore leggermente superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

Non è stata considerata nella strategia la camera di ventilazione dell’asta di manovra adiacente alla stazione Bignami facente parte della tratta già attiva. Tale camera è stata dimensionata per una portata identica alla portata della camera di ventilazione di linea della stazione Bignami, pari a 350’000 m³/h. Il fatto di considerare nello scenario in oggetto la sola camera di ventilazione di linea della stazione Bignami porta ad ottenere risultati conservativi in quanto a seconda dello scenario e della posizione del treno è sempre possibile integrare la strategia con una coppia di ventilatori aggiuntiva.

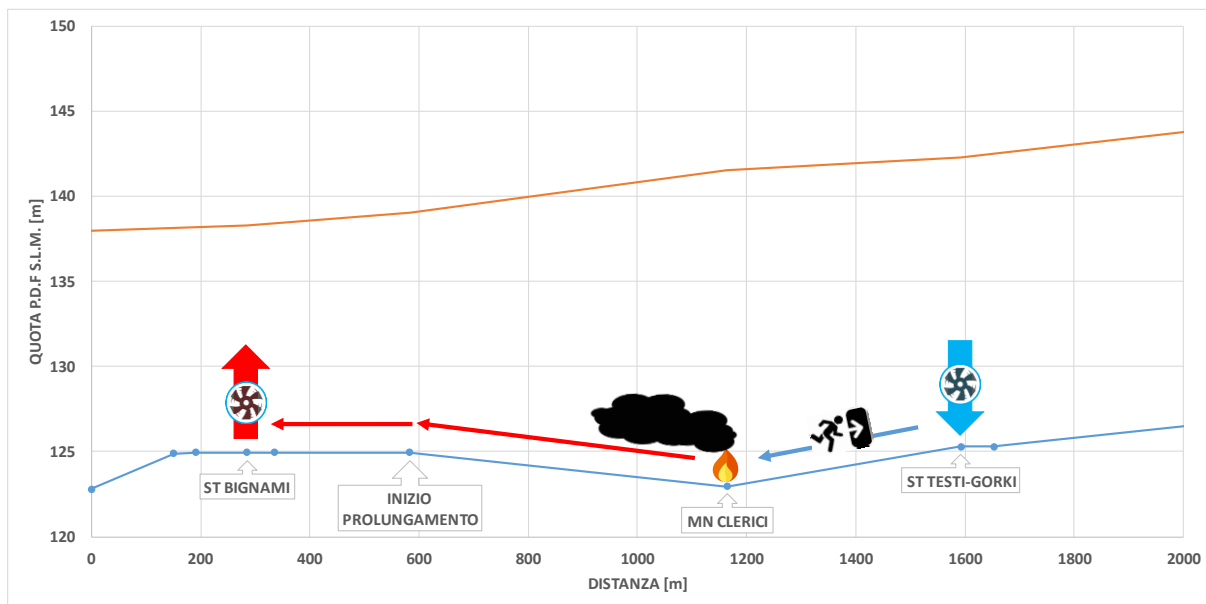


Figura 15 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 1l pari

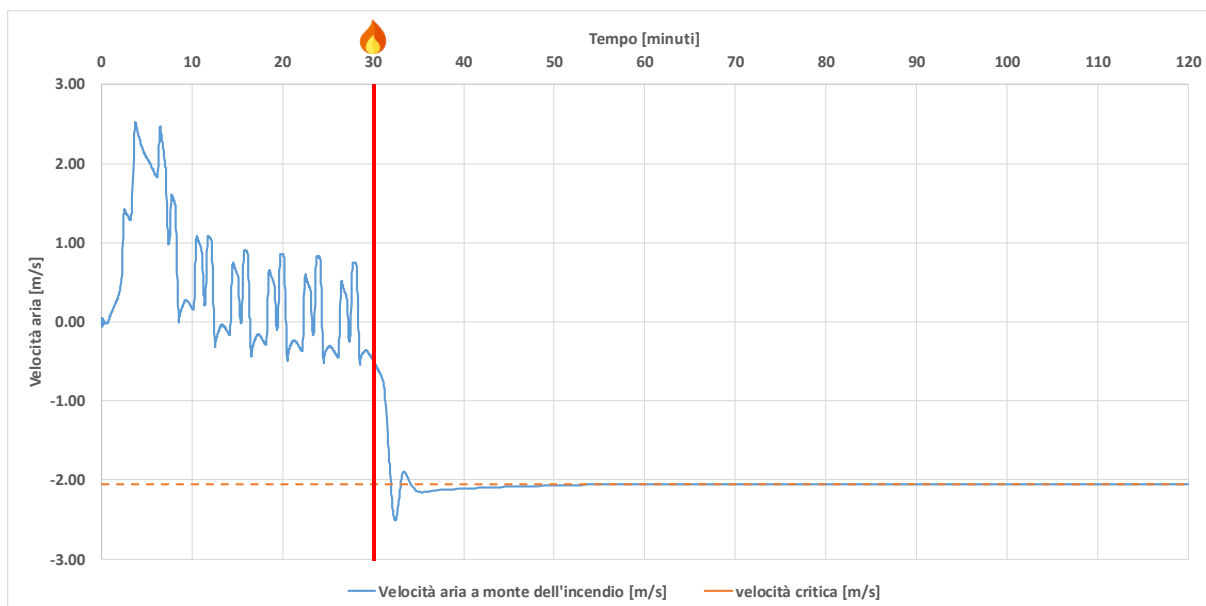


Figura 16 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 1l pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginale sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.05	-2.06	-311'064	0%

Tabella 4 – Risultati Scenario 1l pari



5.4.3.4. SCENARIO 2L DISPARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 2l dispari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 17, Figura 18 e Tabella 5 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Ferro e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,53 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

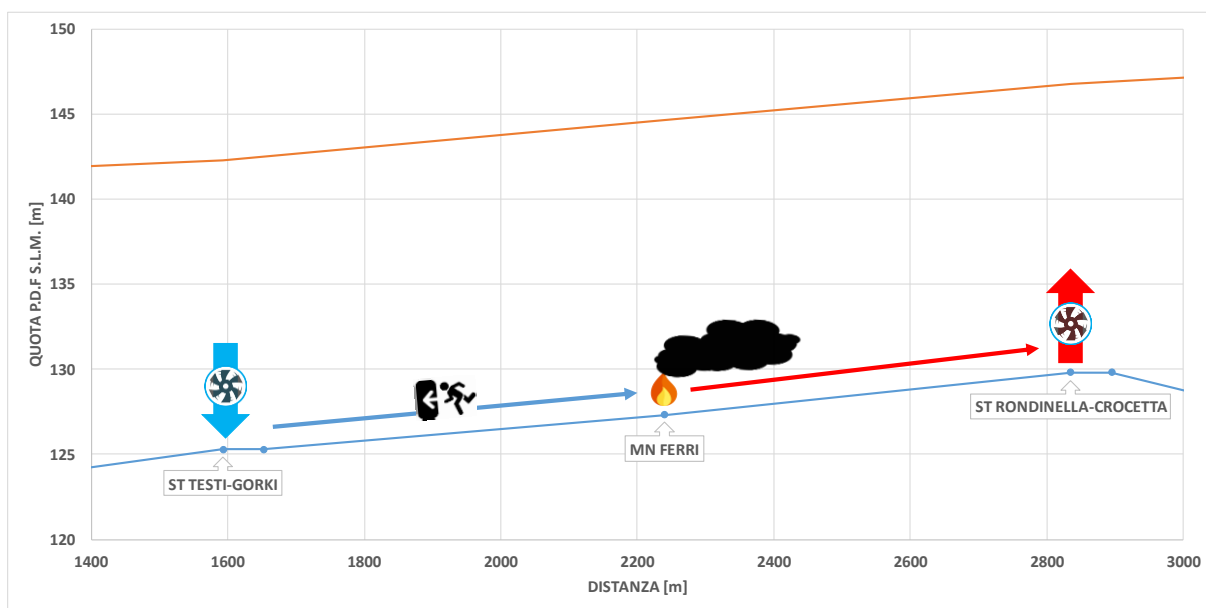


Figura 17 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 2l dispari

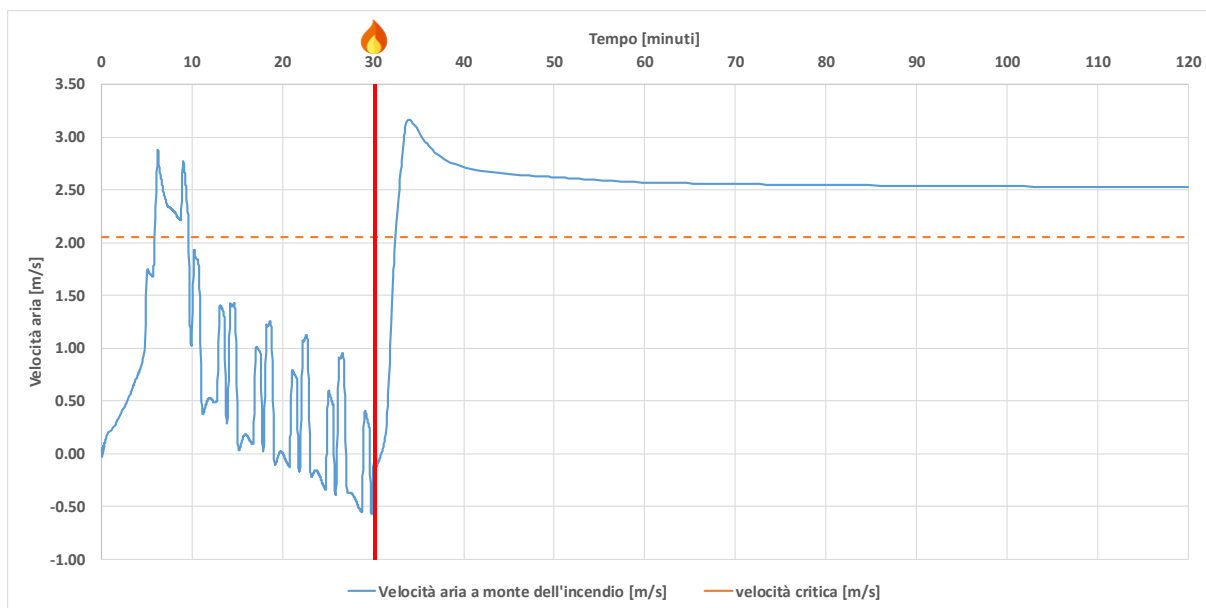


Figura 18 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 2I dispari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginе sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	2.05	2.53	381'840	23%

Tabella 5 – Risultati Scenario 2I dispari



5.4.3.5. SCENARIO 2L PARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 2l pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 19, Figura 20 e Tabella 6 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Ferri e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,16 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata ha richiesto l’integrazione di una camera di ventilazione in più rispetto alla strategia push-pull base. L’aggiunta della camera di ventilazione di linea della stazione Bignami in modalità estrazione, è stata necessaria in quanto la tratta in questione è caratterizzata da un’inclinazione fissa e costante per tutta la sua lunghezza senza “saliscendi” in prossimità del manufatto. Tale conformazione svantaggia lo scenario in oggetto in quanto richiede di compensare l’effetto camino. Con la strategia base la velocità raggiunta è comunque ingente (superiore alla velocità di confinamento) e pari a circa 1,9 m/s.

Non è stata considerata nella strategia la camera di ventilazione dell’asta di manovra adiacente alla stazione Bignami facente parte della tratta già attiva. Tale camera è stata dimensionata per una portata identica alla portata della camera di ventilazione di linea della stazione Bignami, pari a 350'000 m³/h. Il fatto di considerare nello scenario in oggetto la sola camera di ventilazione di linea della stazione Bignami porta ad ottenere risultati conservativi in quanto a seconda dello scenario e della posizione del treno è sempre possibile integrare la strategia con una coppia di ventilatori aggiuntiva.

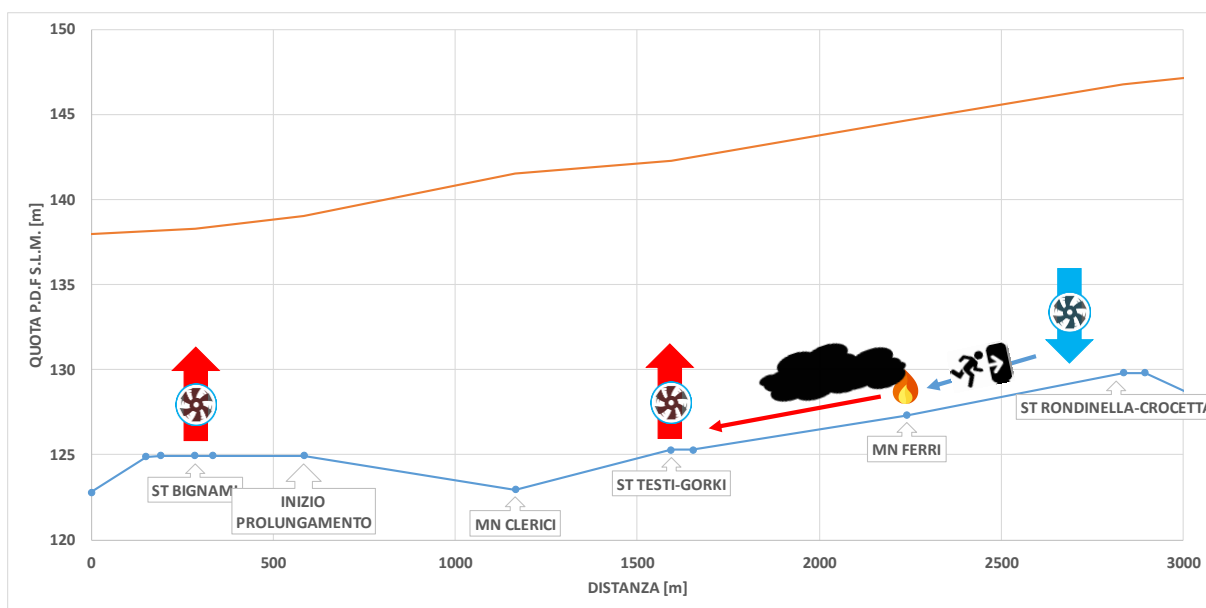


Figura 19 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 2l pari

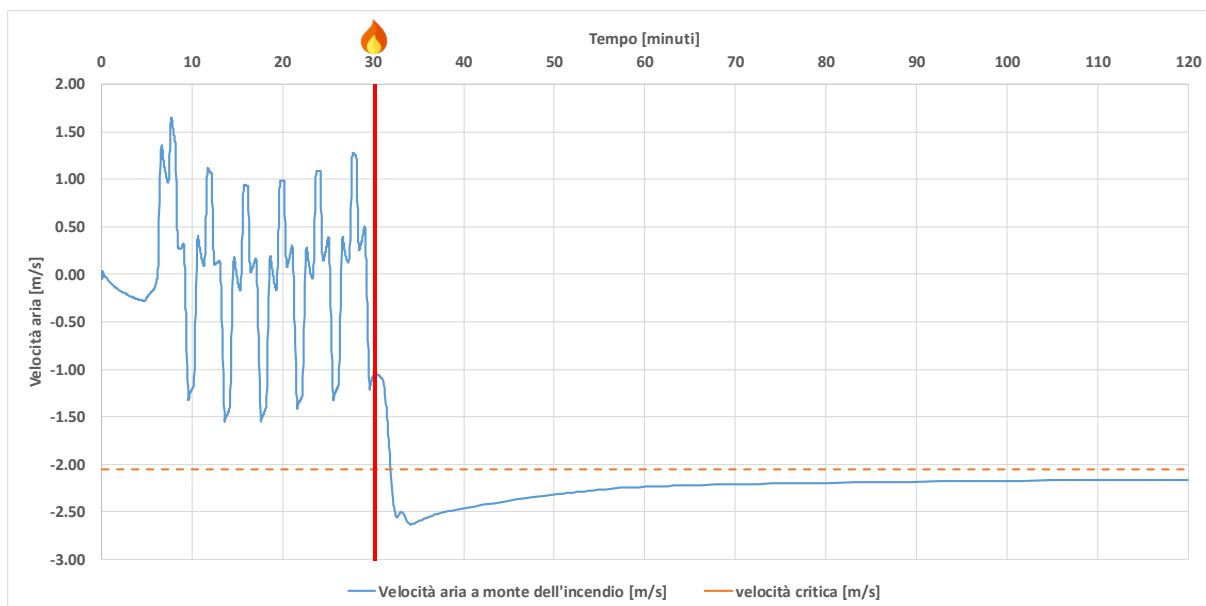


Figura 20 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 2I pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginale sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.05	-2.16	-326'864	5%

Tabella 6 – Risultati Scenario 2I pari



5.4.3.6. SCENARIO 3L DISPARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 3l dispari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 21, Figura 22 e Tabella 7 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Sardegna e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,9 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

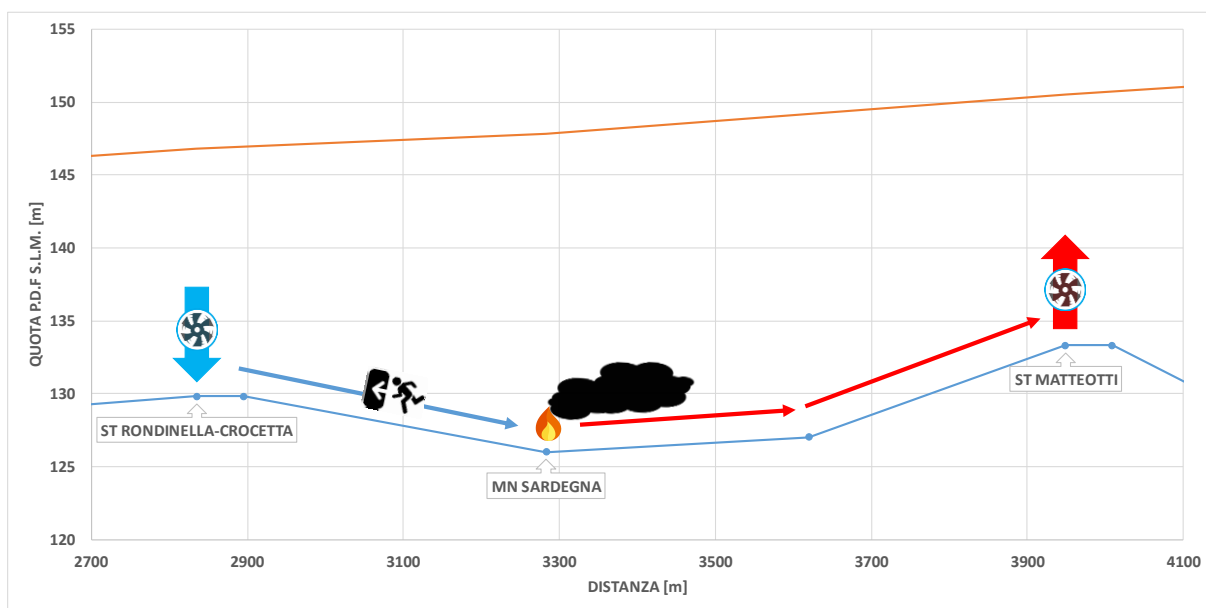


Figura 21 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 3l dispari

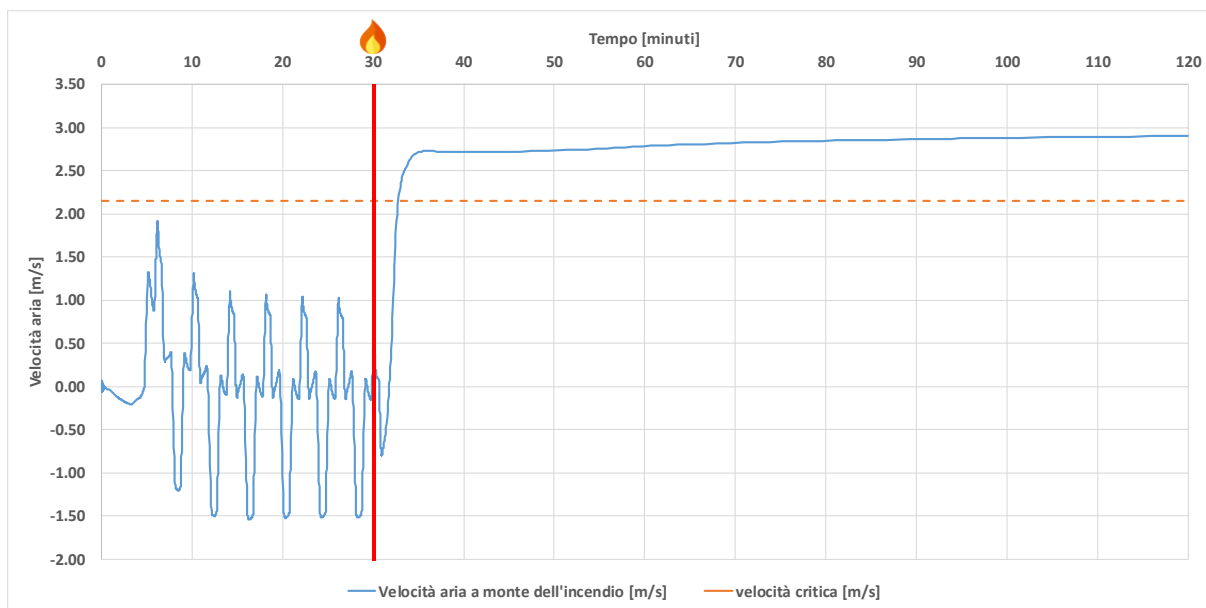


Figura 22 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 3I dispari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	margin e sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	2.15	2.90	439'115	35%

Tabella 7 – Risultati Scenario 3I dispari



5.4.3.7. SCENARIO 3L PARI

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 3l pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 23, Figura 24 e Tabella 8 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Sardegna e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 2,37 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

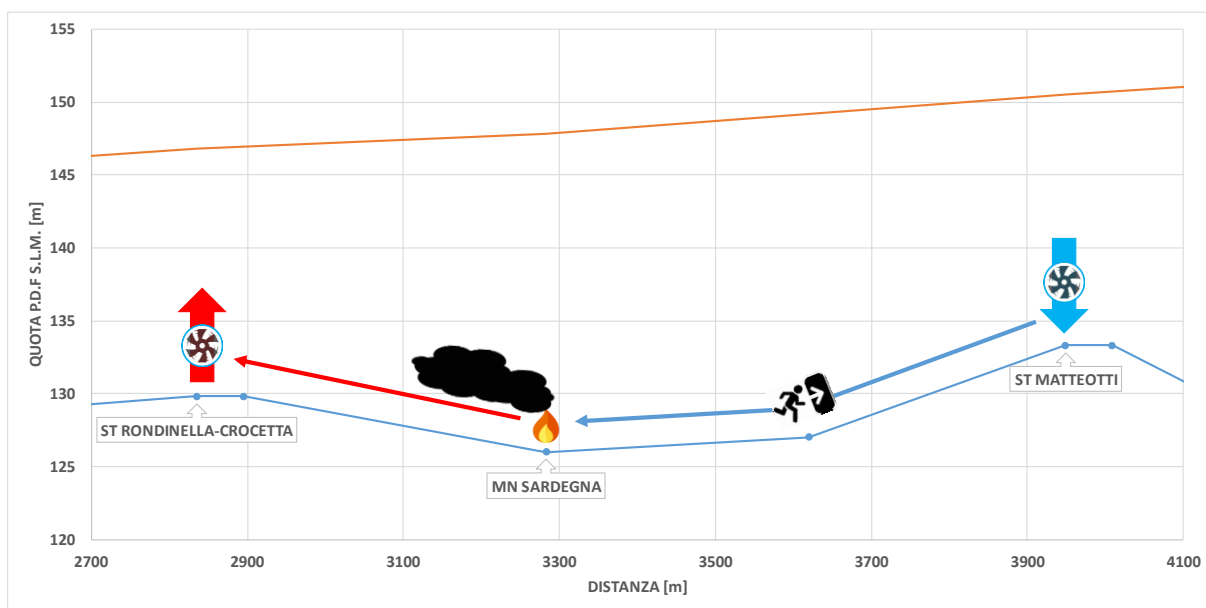


Figura 23 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 3l pari

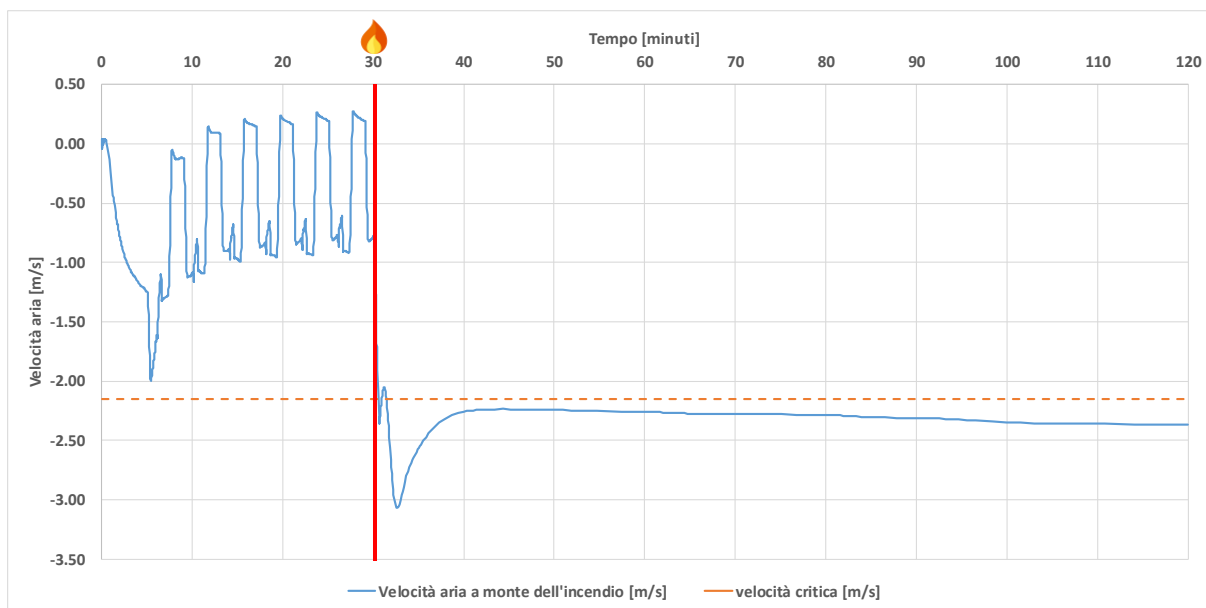


Figura 24 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 3I pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginale sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.15	-2.37	-357'860	10%

Tabella 8 – Risultati Scenario 3I pari



5.4.3.8. SCENARIO 4L DISPARI

Lo “Scenario 4l” in generale va visto anche rispetto al profilo dell’intera tratta modellata in quanto il punto in cui si ferma il treno in emergenza rappresenta il punto di minimo (121 m s.l.m.) oltre che a profondità massima (circa 30 m dalla quota del terreno). Tale configurazione rende il tratto di galleria in questione particolarmente sensibile alla posizione del treno e alla strategia di ventilazione scelta poiché il marcato effetto camino può contribuire positivamente o negativamente al raggiungimento della velocità critica (effetto comunque presente in maniera minore anche negli altri tratti).

La considerazione appena esposta ha portato a voler considerare nella presente analisi il caso aggiuntivo denominato “Scenario 4l_wc pari” (paragrafo 5.4.3.10) in cui si è testato il sistema di ventilazione di emergenza in uno degli scenari più stressanti poiché si è posizionato il treno nel punto più alto della tratta (vicino alla stazione Cinisello-Monza) e si è cercato di convogliare i fumi verso la stazione Matteotti.

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 4l dispari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 25, Figura 26 e Tabella 9 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Brianza e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 40 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 4,09 m/s, valore molto superiore alla velocità critica in quel tratto. Questo scenario è molto favorito dall’effetto camino tanto che, anche senza ventilazione meccanica, il flusso d’aria in direzione della tratta dispari è comunque ingente. Ciò porta ad avere una portata totale superiore al valore nominale delle camere di ventilazione di linea.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

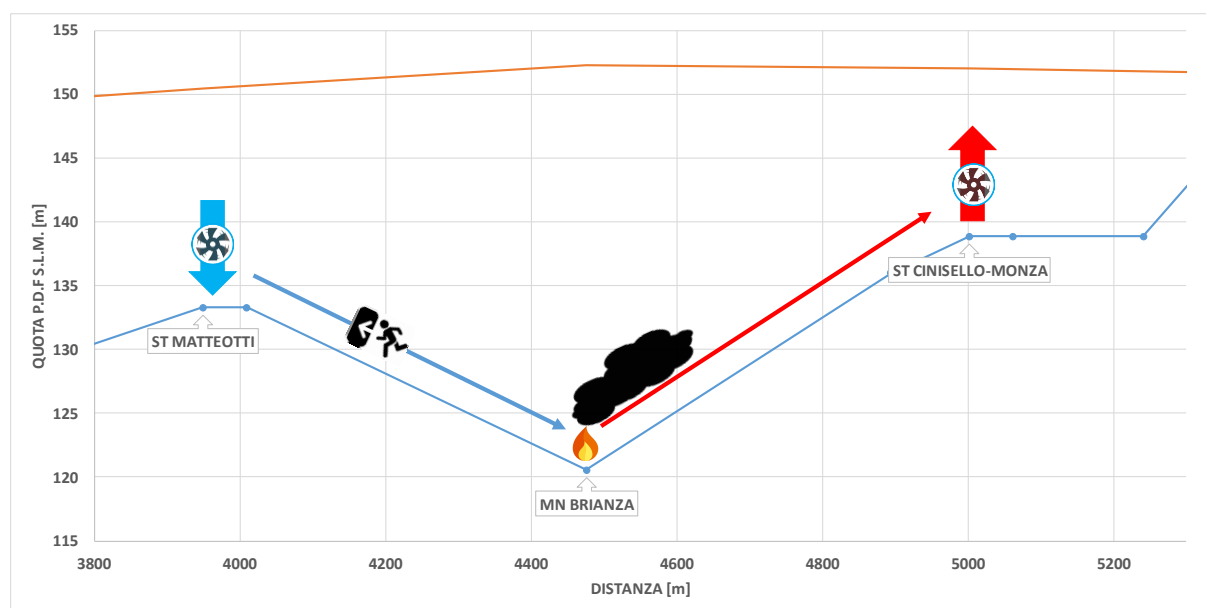


Figura 25 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 4l dispari

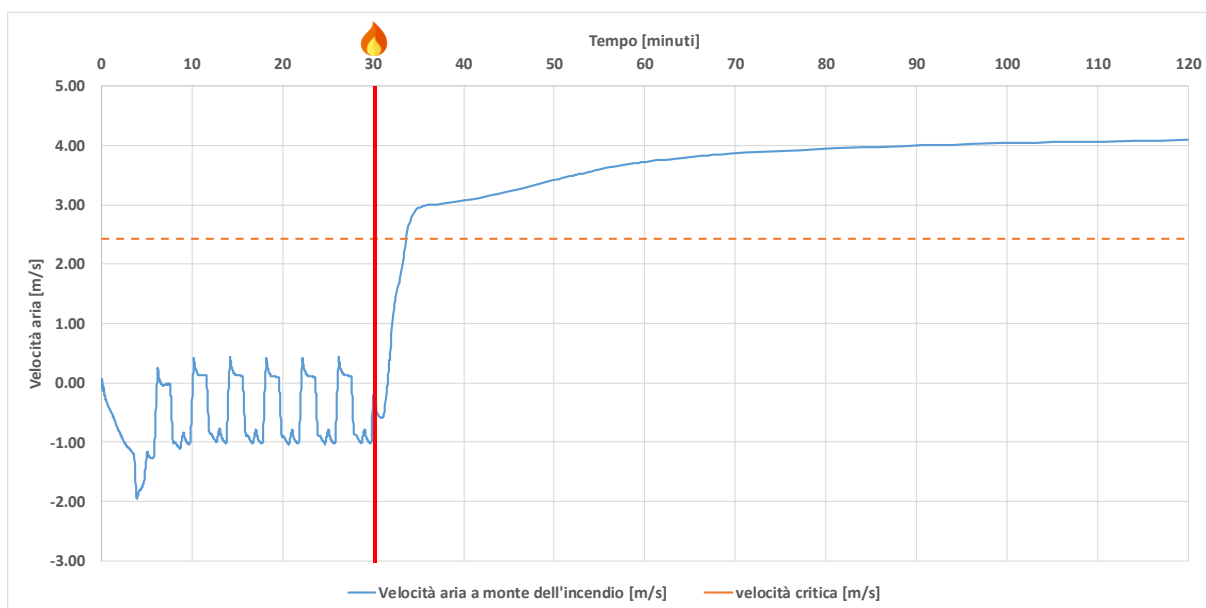


Figura 26 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 4I dispari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginale sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	2.43	4.09	618'983	68%

Tabella 9 – Risultati Scenario 4I dispari



5.4.3.9. SCENARIO 4L PARI

Lo “Scenario 4l” in generale va visto anche rispetto al profilo dell’intera tratta modellata in quanto il punto in cui si ferma il treno in emergenza rappresenta il punto di minimo (121 m s.l.m.) oltre che a profondità massima (circa 30 m dalla quota del terreno). Tale configurazione rende il tratto di galleria in questione particolarmente sensibile alla posizione del treno e alla strategia di ventilazione scelta poiché il marcato effetto camino può contribuire positivamente o negativamente al raggiungimento della velocità critica (effetto comunque presente in maniera minore anche negli altri tratti).

La considerazione appena esposta ha portato a voler considerare nella presente analisi il caso aggiuntivo denominato “Scenario 4l_wc pari” (paragrafo 5.4.3.10) in cui si è testato il sistema di ventilazione di emergenza in uno degli scenari più stressanti poiché si è posizionato il treno nel punto più alto della tratta (vicino alla stazione Cinisello-Monza) e si è cercato di convogliare i fumi verso la stazione Matteotti.

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 4l pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 27, Figura 28 e Tabella 10 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità del manufatto Brianza e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 40 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 3,00 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata è quella definita in precedenza come strategia base ossia di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione di linea coinvolte.

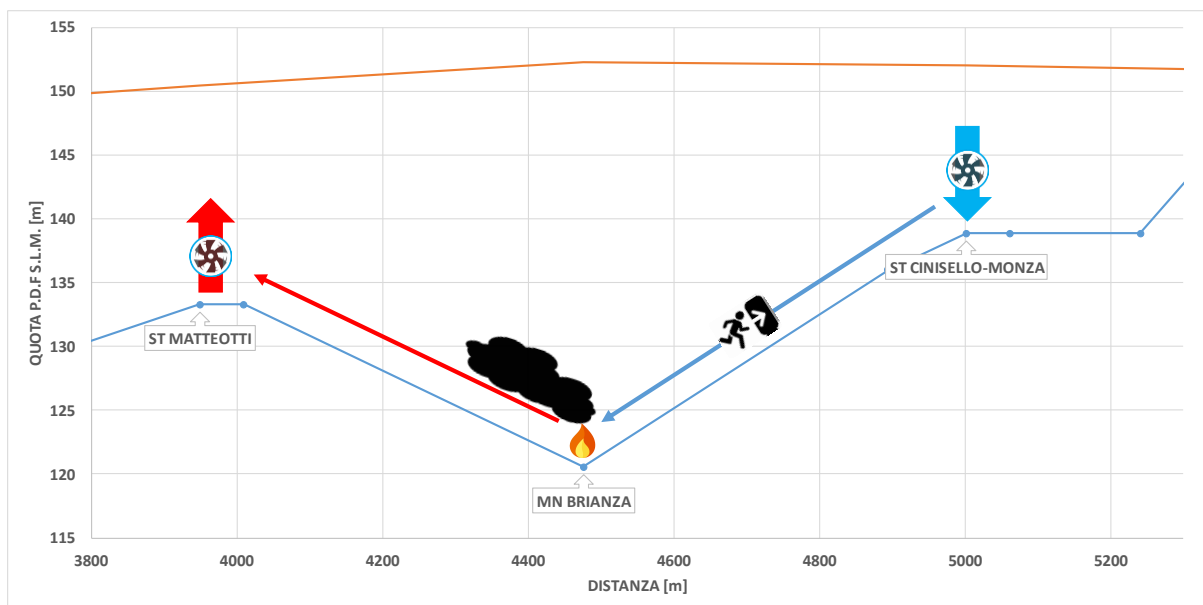


Figura 27 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 4l pari

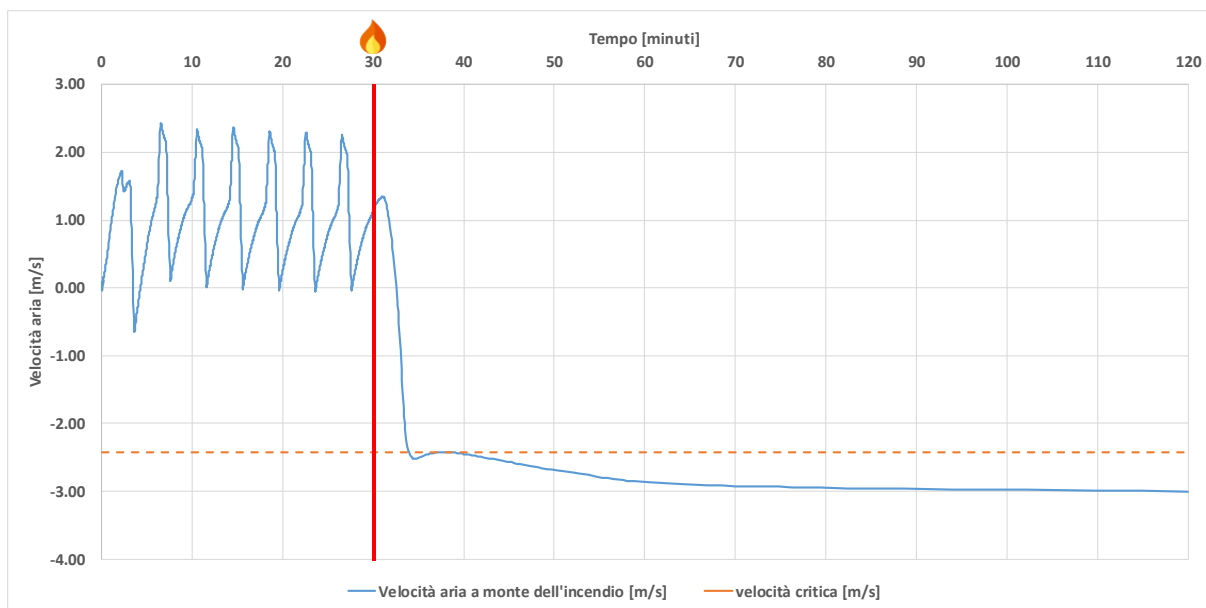


Figura 28 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 4I pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginе sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.43	-3.00	-453'812	24%

Tabella 10 – Risultati Scenario 4I pari



5.4.3.10. SCENARIO 4L WC PARI

Lo “Scenario 4l” in generale va visto anche rispetto al profilo dell’intera tratta modellata in quanto il punto in cui si ferma il treno in emergenza rappresenta il punto di minimo (121 m s.l.m.) oltre che a profondità massima (circa 30 m dalla quota del terreno). Tale configurazione rende il tratto di galleria in questione particolarmente sensibile alla posizione del treno e alla strategia di ventilazione scelta poiché il marcato effetto camino può contribuire positivamente o negativamente al raggiungimento della velocità critica (effetto comunque presente in maniera minore anche negli altri tratti).

La considerazione appena esposta ha portato a voler considerare nella presente analisi il caso in oggetto in cui si è testato il sistema di ventilazione di emergenza in uno degli scenari più stressanti poiché si è posizionato il treno nel punto più alto della tratta (vicino alla stazione Cinisello-Monza) e si è cercato di convogliare i fumi verso la stazione Matteotti.

Nel seguito sono riportati i risultati relativi allo “Scenario 4l wc pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1. Per questo tipo di simulazione occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d’aria fresca in direzione dell’incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d’esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d’aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 29, Figura 30 e Tabella 11 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell’aria (fresca) registrata a monte dell’incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l’andamento della velocità dell’aria a monte dell’incendio prima dell’innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall’incendio si arresta in prossimità della stazione Cinisello-Monza e l’intero traffico in linea viene fermato, l’andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall’innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 3,66 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

La strategia di ventilazione utilizzata ha richiesto l’integrazione di una camera di ventilazione in più rispetto alla strategia push-pull base. L’aggiunta della camera di ventilazione di linea della stazione Rondinella-Crocetta in modalità estrazione, è stata necessaria in quanto, per le considerazioni sopra spiegate, questo scenario risulta fortemente svantaggiato. Infatti si riporta che, attuando la sola strategia di ventilazione base di tipo push-pull con solo due camere di ventilazione attive, si raggiungerebbe una velocità dell’aria a monte dell’incendio di soli 1,02 m/s.

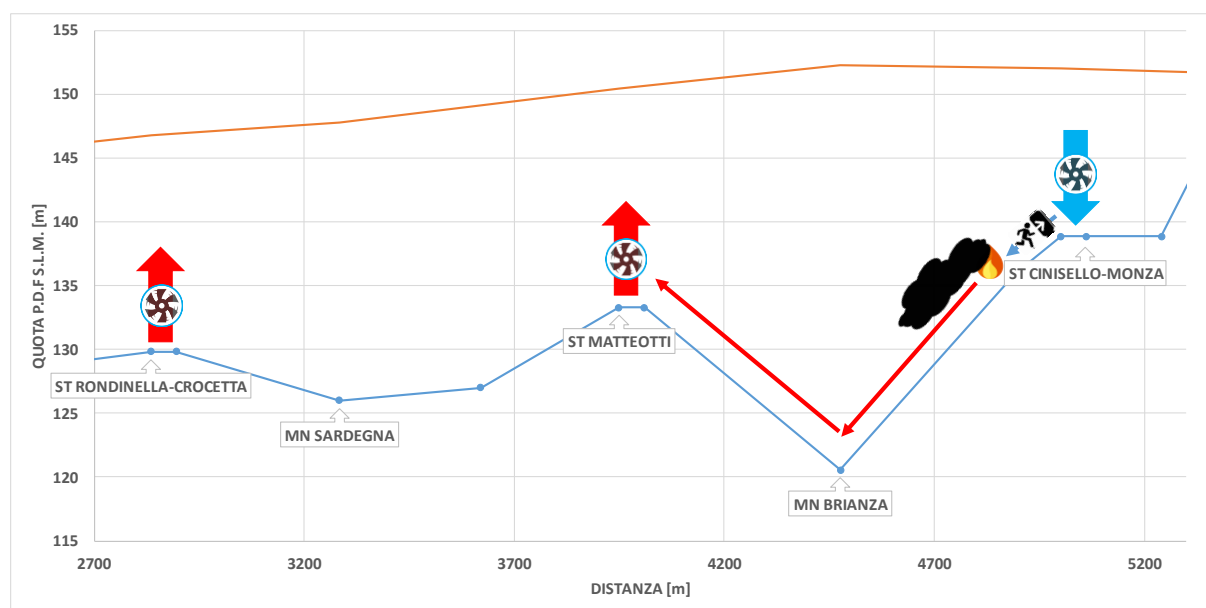


Figura 29 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 4l_wc pari

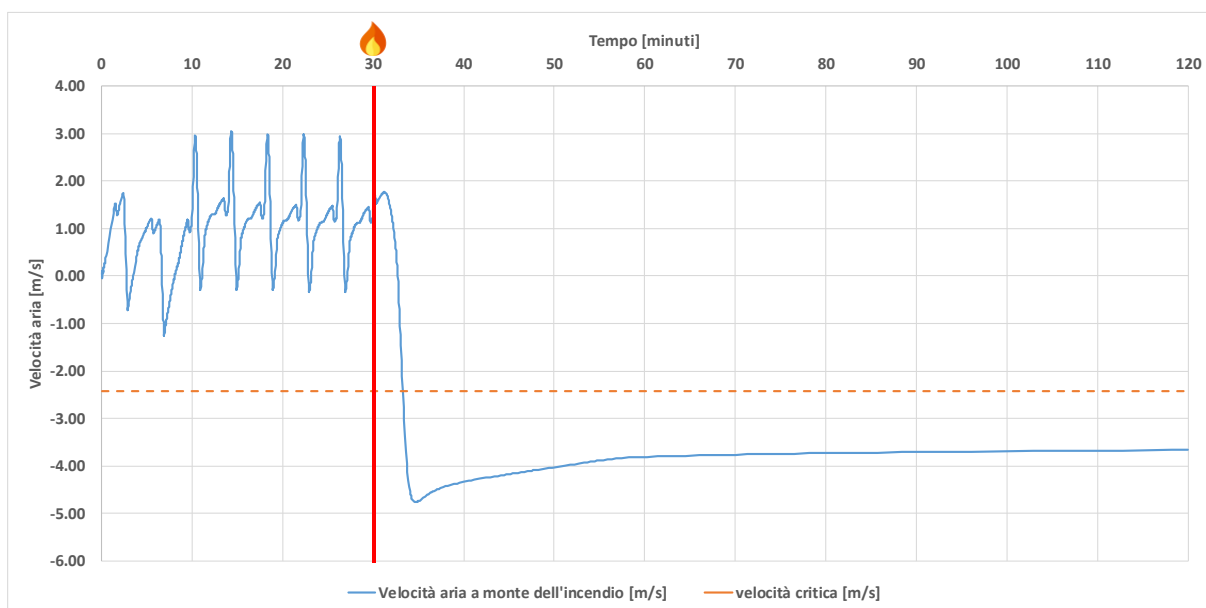


Figura 30 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 4I_wc pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginale sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.43	-3.66	-554'012	51%

Tabella 11 – Risultati Scenario 4I_wc pari



5.4.3.11. SCENARIO 5L DISPARI

Lo scenario “Scenario 5l dispari” descritto al paragrafo 5.4.3.1 merita particolare attenzione poiché caratterizzato da due principali singolarità:

1. Non è possibile attuare una strategia push-pull in quanto il treno incendiato si trova tra la stazione Cinisello-Monza e l'emersione della galleria verso l'esterno.
2. La sezione di galleria è del tipo a “cielo aperto” e di dimensioni e proporzioni variabili lungo il tratto verso l'uscita all'esterno per la presenza di un binario di stazionamento/rimessaggio rotabili che non segue la risalita della linea principale ma rimane circa alla stessa quota della stazione Cinisello-Monza.

Quest'ultimo punto rende necessaria un'analisi più approfondita delle tematiche antincendio per il tratto di galleria in questione. Tale analisi farà parte delle fasi progettuali successive ma si è già in grado con simulazioni monodimensionali di capire che, per la gestione dei fumi generati da un incendio di un treno nella tratta in questione, è molto più agevole adottare una strategia che spinga i fumi verso l'esterno e permetta l'esodo delle persone verso la stazione Cinisello-Monza. I fumi infatti verrebbero convogliati a favore dell'effetto camino e in più non si correrebbe il rischio di introdurre i prodotti della combustione all'interno della stazione.

I risultati dello scenario in oggetto supportano il ragionamento sopraesposto in quanto per convogliare i fumi verso l'esterno, è stato sufficiente impostare una strategia di ventilazione che coinvolge la sola camera di ventilazione di linea della stazione Cinisello-Monza in immissione al 100%.

Per questo tipo di simulazioni occorre verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d'aria fresca in direzione dell'incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d'esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d'aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 31, Figura 32 e Tabella 12 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell'aria (fresca) registrata a monte dell'incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l'andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio prima dell'innesco, abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall'incendio si arresta in prossimità del manufatto Sardegna e l'intero traffico in linea viene fermato, l'andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall'innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 3,32 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

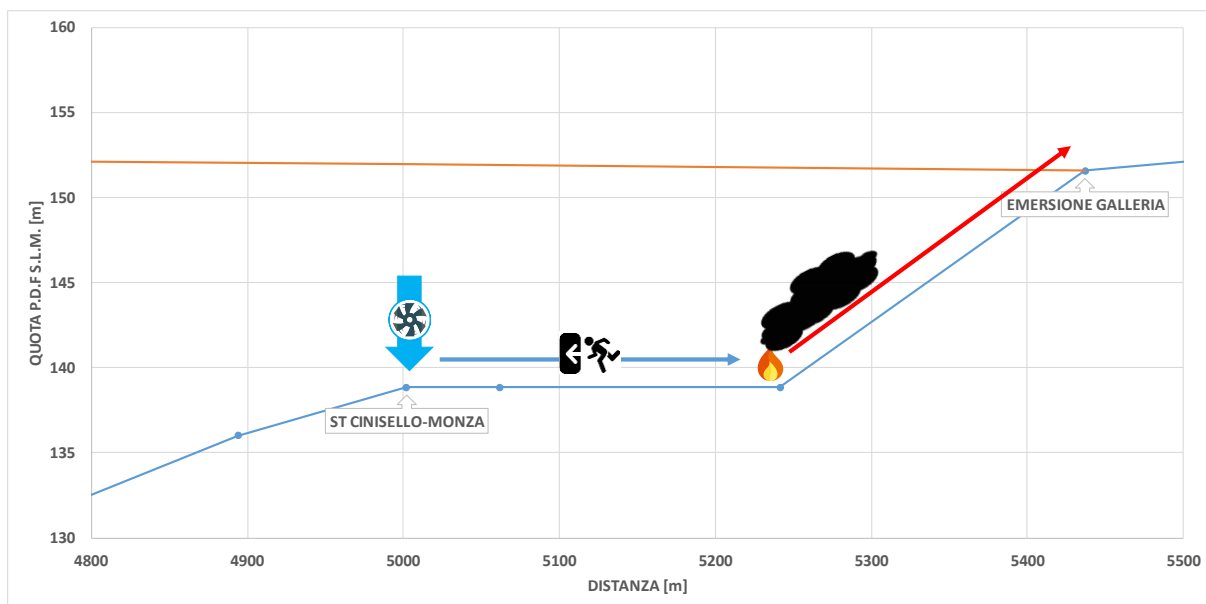


Figura 31 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 5I disparti

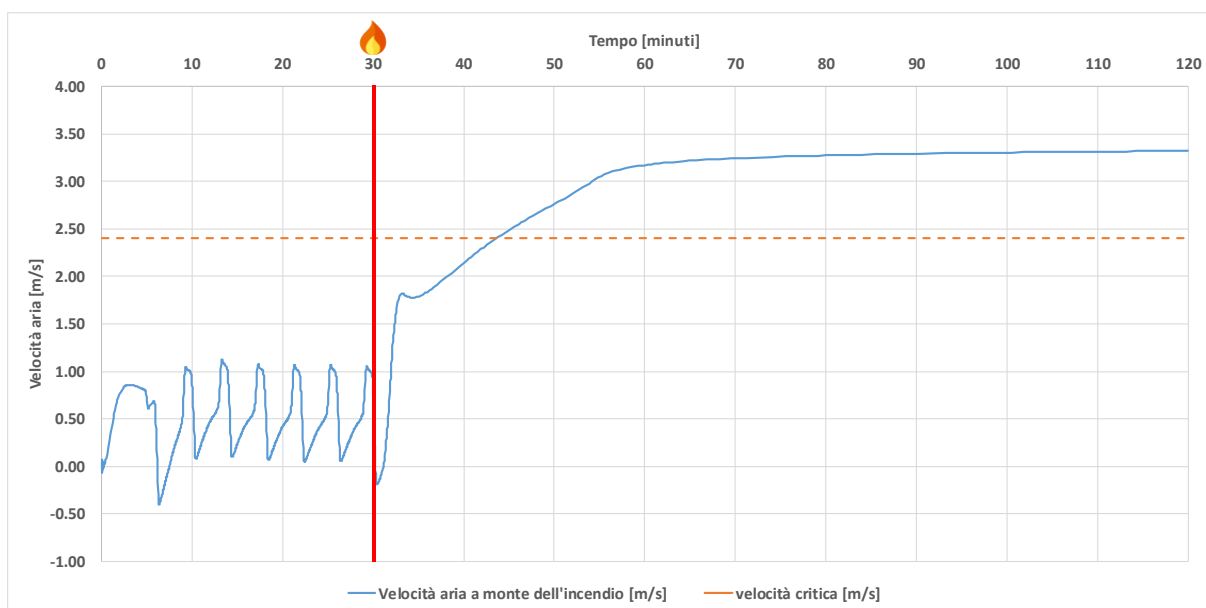


Figura 32 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 5I disparti

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginè sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	2.40	3.32	502'649	39%

Tabella 12 – Risultati Scenario 5I disparti



5.4.3.12. SCENARIO 5L PARI

Lo scenario “Scenario 5l pari” descritto al paragrafo 5.4.3.1 merita particolare attenzione poiché caratterizzato da due principali singolarità:

1. Non è possibile attuare una strategia push-pull in quanto il treno incendiato si trova tra la stazione Cinisello-Monza e l'emersione della galleria verso l'esterno.
2. La sezione di galleria è del tipo a “cielo aperto” e di dimensioni e proporzioni variabili lungo il tratto verso l'uscita all'esterno per la presenza di un binario di stazionamento/rimessaggio rotabili che non segue la risalita della linea principale ma rimane circa alla stessa quota della stazione Cinisello-Monza.

Quest'ultimo punto rende necessaria un'analisi più approfondita delle tematiche antincendio per il tratto di galleria in questione. Tale analisi farà parte delle fasi progettuali successive ma si è già in grado con simulazioni monodimensionali di capire che, per la gestione dei fumi generati da un incendio di un treno nella tratta in questione, è molto più agevole adottare una strategia che spinga i fumi verso l'esterno e permetta l'esodo delle persone verso la stazione Cinisello-Monza. I fumi infatti verrebbero convogliati a favore dell'effetto camino e in più non si correrebbe il rischio di introdurre i prodotti della combustione all'interno della stazione.

I risultati dello scenario in oggetto supportano il ragionamento sopraesposto in quanto, per riuscire a convogliare i fumi e i prodotti della combustione verso la stazione Cinisello-Monza e quindi creare una via di esodo sicura per le persone verso l'esterno, occorre implementare una strategia comprendente ben tre camere di ventilazione in estrazione al 100% come rappresentato nello schema. Si è notato inoltre che i fumi non vengono tutti aspirati in corrispondenza della camera di ventilazione di linea della stazione Cinisello-Monza ma in parte proseguono verso la tratta successiva fino alla stazione Matteotti.

In ogni caso per questo tipo di simulazioni si è voluto comunque verificare il superamento della velocità critica da parte del flusso d'aria fresca in direzione dell'incendio e quindi di garantire le condizioni sostenibili per la vita umana lungo la via d'esodo rappresentata dalla galleria dalla quale proviene il flusso d'aria. Per visualizzare i risultati salienti, si sono riportati in Figura 33, Figura 34 e Tabella 13 rispettivamente uno schema raffigurante la strategia di ventilazione e di esodo ipotizzata, il grafico di velocità dell'aria (fresca) registrata a monte dell'incendio e una tabella riassuntiva dei risultati più importanti.

Si noti come l'andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio prima dell'innesco abbia carattere oscillatorio a causa del movimento dei treni nel sistema. Una volta che il treno affetto dall'incendio si arresta in prossimità del manufatto Sardegna e l'intero traffico in linea viene fermato, l'andamento del grafico si stabilizza e raggiunge il valore di regime dopo circa 30 minuti dall'innesco, quando la curva di rilascio termico ha raggiunto il picco di potenza di 26 MW, e tende alla velocità di regime di 3,21 m/s, valore superiore alla velocità critica in quel tratto.

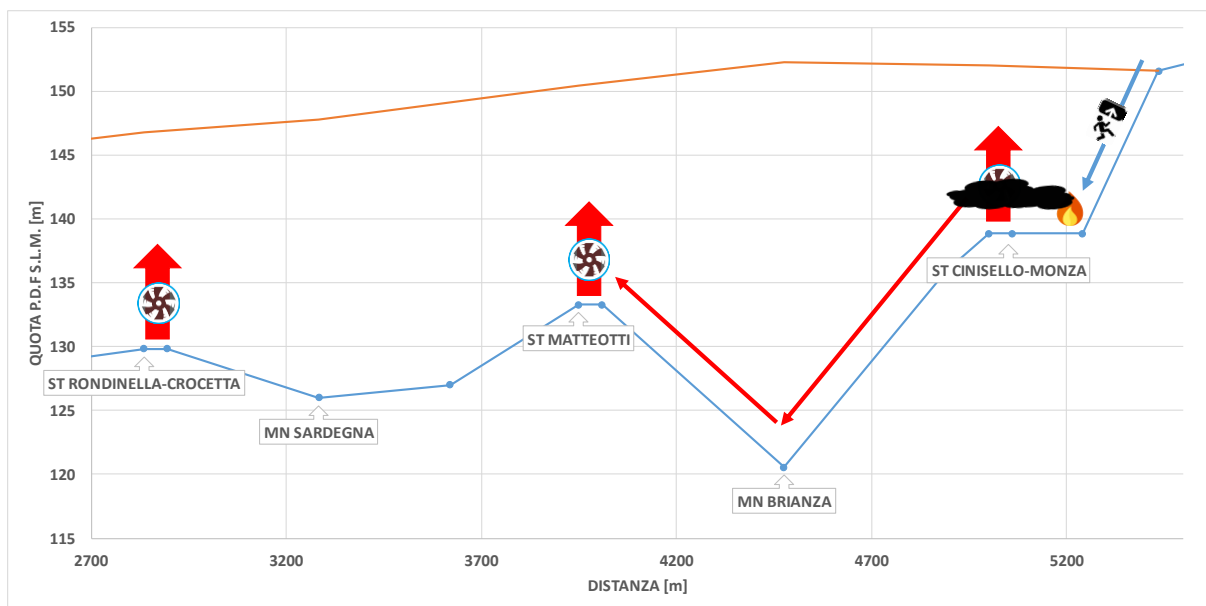


Figura 33 – Schema della strategia di ventilazione, Scenario 5I pari

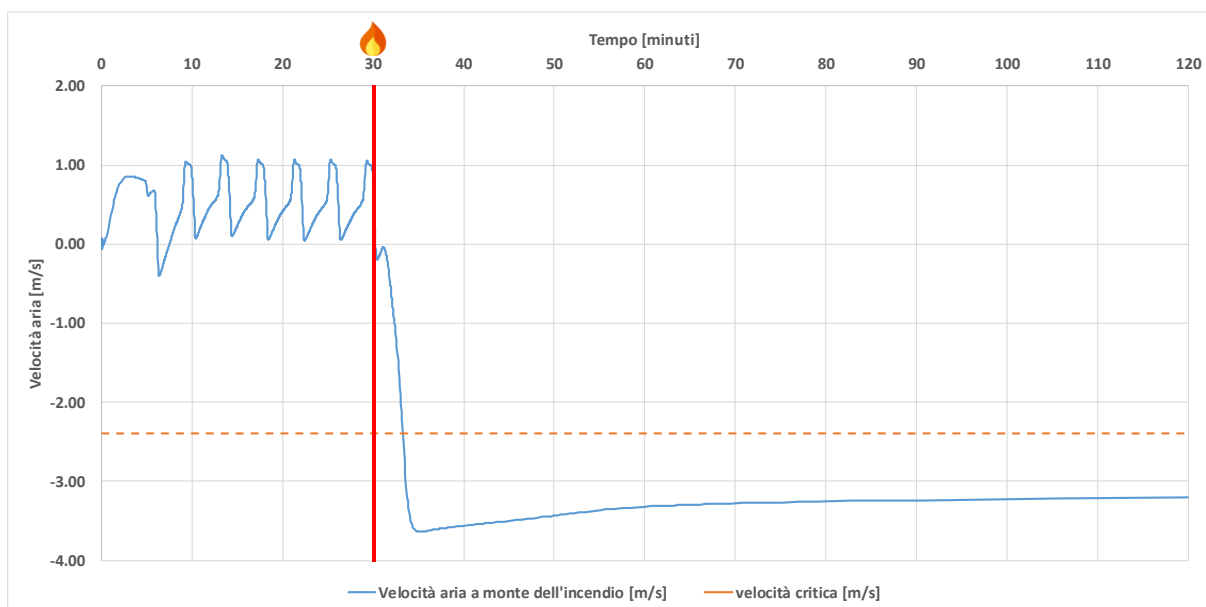


Figura 34 – Andamento della velocità dell'aria a monte dell'incendio, Scenario 5I pari

sezione	velocità critica	velocità effettiva	portata aria	marginе sulla velocità critica
[m ²]	[m/s]	[m/s]	[m ³ /h]	[%]
42	-2.40	-3.21	-485'186	34%

Tabella 13 – Risultati Scenario 5I pari



5.4.3.13. TABELLA RIASSUNTIVA DEGLI SCENARI DI INCENDIO IN LINEA

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva di tutti gli scenari di incendio treno in linea simulati con il modello monodimensionale. Rispetto agli scenari riportati dal paragrafo 5.4.3.1 al paragrafo 5.4.3.11 saranno elencati altri scenari non riportati per non appesantire il documento e rendere più lineare la trattazione del tema. Le celle evidenziate in rosso si riferiscono sostanzialmente ai casi in cui la strategia base non è sufficiente e occorre integrare la procedura con un'altra camera di ventilazione in aspirazione. Si noti come, in generale, gli scenari "pari", ossia quelli per cui si dirigono i fumi nella stessa direzione del binario pari, siano più svantaggiati degli scenari dispari. Ciò è dovuto al profilo della linea nella tratta studiata con simulazioni, che tende ad aumentare di quota avvicinandosi verso la stazione Cinisello-Monza. La stessa variazione di quota

Scenario	TAG	Strategia camere di ventilazione di galleria						Inclinazione massima tratta	Portata aria	Velocità critica	Velocità effettiva	Margine sulla velocità critica
		Bignami	Asta di manovra Bignami	Testi-Gorki	Rondinella- Crocetta	Matteotti	Cinisello-Monza	[%]	[m³/h]	[m/s]	[m/s]	[%]
Incendio treno in galleria tra Bignami e Testi- Gorki	Scenario 1l dispari	immissione (CDV di galleria)	off	estrazione (CDV di galleria)	off	off	off	5.5	380'359	2.05	2.52	22.7%
	Scenario 1l pari	estrazione (CDV di galleria)	off	immissione (CDV di galleria)	off	off	off	5.5	-311'064	-2.05	-2.06	0.4%
Incendio treno in galleria tra Testi-Gorki e Rondinella- Crocetta	Scenario 2l dispari	off	off	immissione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	off	off	4.3	381'840	2.05	2.53	23.2%
	Scenario 2l pari (2 CDV)	off	off	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	off	off	4.3	-284'407	-2.05	-1.88	-8.2%
	Scenario 2l pari (3 CDV)	estrazione (CDV di galleria)	off	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	off	off	4.3	-326'864	-2.05	-2.16	5.5%
Incendio treno in galleria tra Rondinella- Crocetta e Matteotti	Scenario 3l dispari	off	off	off	immissione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	off	20	439'115	2.15	2.90	35.1%
	Scenario 3l pari	off	off	off	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	off	20	-357'860	-2.15	-2.37	10.1%



Scenario	TAG	Strategia camere di ventilazione di galleria						Inclinazione massima tratta	Portata aria	Velocità critica	Velocità effettiva	Margine sulla velocità critica
		Bignami	Asta di manovra Bignami	Testi-Gorki	Rondinella-Crocetta	Matteotti	Cinisello-Monza	[%]	[m³/h]	[m/s]	[m/s]	[%]
Incendio treno in galleria tra Matteotti e Cinisello-Monza	Scenario 4l dispari	off	off	off	off	immissione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	37	618'983	2.43	4.09	68.5%
	Scenario 4l pari	off	off	off	off	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	37	-453'812	-2.43	-3.00	23.5%
Incendio treno in galleria tra Matteotti e Cinisello-Monza vicino a Cinisello-Monza	Scenario 4l wc pari (2 CDV)	off	off	off	off	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	37	-154'315	-2.43	-1.02	-58.0%
	Scenario 4l wc pari (3 CDV)	off	off	off	estrazione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	immissione (CDV di galleria)	37	-554'012	-2.43	-3.66	50.8%
Incendio treno in galleria tra Cinisello-Monza e risalita all'esterno	Scenario 5l dispari	off	off	off	off	off	immissione (CDV di galleria)	66	502'649	2.4	3.32	38.5%
	Scenario 5l pari	off	off	off	estrazione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	estrazione (CDV di galleria)	66	-485'186	-2.4	-3.21	33.7%



6. CONCLUSIONI

La tratta da Bignami a Monza Brianza si configura come il prolungamento della precedente tratta da Bignami a San Siro Harar-Dessié della linea M5.

Il prolungamento consta di undici stazioni per una lunghezza di circa 12'700 m, la distanza tra due stazioni adiacenti varia tra i 600 m e i 1'300 m con una media di circa 1'100 m. Il binario pari corre dalla stazione Monza Brianza verso la stazione Bignami e viceversa per il binario dispari.

I punti singolari dal punto di vista della gestione dell'incendio sono essenzialmente i tratti costruiti con galleria a cielo aperto adiacenti al tratto in trincea all'aperto, il collegamento con il deposito rotabili e il tronchino di fine linea.

La scelta degli standard impiantistici e delle strategie di gestione dell'incendio ha necessariamente dovuto tener conto delle prescrizioni contenute nella nuova Regola Tecnica di Prevenzione incendi nelle metropolitane allegata al Decreto del Ministero dell'Interno del 21 ottobre 2015 oltre che di quanto già previsto nella tratta già in opera in termini di funzionalità generali dei vari sistemi, comprese alcune soluzioni differenti fra i due lotti principali di costruzione dell'attuale porzione di linea in servizio (primo lotto, da Bignami a Garibaldi e secondo lotto, da Garibaldi a San Siro Harar).

In riferimento allo scenario caratterizzato da treno fermo in galleria, in generale l'impianto di ventilazione sarà attivato secondo la logica push-pull. In particolare, è prevista l'attivazione di una o più camere di ventilazione limitrofe alla tratta interessata in estrazione e, della parte opposta, una camera di ventilazione in immissione. In accordo con la nuova regola tecnica emessa con il D.M. 21 ottobre 2015, gli impianti di ventilazione di galleria sono stati dimensionati sia con calcoli analitici e ragionamenti di buona tecnica sia con simulazioni fluidodinamiche in modo tale da superare la velocità critica in ciascuna tratta di linea alla massima potenza di incendio di progetto in entrambe le direzioni in cui è possibile indirizzare l'aria (con le strategie che saranno definite nelle future fasi progettuali).

Nello scenario in cui il treno incendiato fosse fermo in stazione i passeggeri, una volta sbarcati dal treno, saliranno lungo le scale e si porteranno all'esterno della stazione. Considerato il funzionamento combinato dell'impianto di ventilazione di galleria e dell'impianto di ventilazione di stazione, dopo aver superato i varchi al piano banchine, i passeggeri saranno in una zona protetta (priva di prodotti della combustione) e investiti da aria fresca richiamata dalle discenderie dall'effetto degli impianti di ventilazione. Per questo scenario, il criterio di dimensionamento verificato nella presente relazione, nel rispetto del D.M. 21 ottobre 2015, è quello secondo il quale fino alla massima potenza di incendio non vi deve essere un sostanziale ingresso di fumi in stazione (considerando le porte di banchina aperte, data la presenza del treno). Il raggiungimento di tale obiettivo è supportato, nel presente documento, con simulazioni monodimensionali eseguite su una stazione rappresentativa del prolungamento.

Osservando i risultati riportati nel Capitolo 5, si conclude che la portata media nominale pari a 600'000 m³/h per le camere di ventilazione di galleria risulta idonea al raggiungimento degli obiettivi sopra elencati. Lo studio è stato effettuato specificatamente per la semitratta Bignami-Cinisello ed i risultati sono estendibili anche alla semitratta Campania-Monza Brianza

La configurazione delle camere di ventilazione sarà quindi a due ventilatori con portata nominale di 83 m³/s ciascuno (300'000 m³/h), funzionanti al 100% della potenza nominale negli scenari di emergenza. In questo caso la ridondanza del sistema, nell'eventualità di avaria di uno dei due ventilatori o di entrambi, sarà data dall'attivazione (tramite SCADA) della/e camera/e di ventilazione adiacenti a quella che presenta il malfunzionamento.

Fanno eccezione i tratti di galleria confinanti con la tratta a cielo aperto tra le stazioni Cinisello e Campania, il raccordo in galleria con il Deposito e la parte finale della linea dal camerone scambi in ingresso alla stazione Monza-Brianza all'asta di manovra.

Per le tratte confinanti con la tratta a cielo aperto e per il raccordo con il deposito è prevista l'integrazione delle camere di ventilazione di galleria con jet fan posizionati sulla volta della galleria stessa. Per la parte terminale del prolungamento è previsto un camino di aerazione naturale al termine dell'asta di



manovra, che permetterà la gestione dei fumi con le camere di ventilazione di galleria anche in questa porzione particolare di linea.

Le camere di ventilazione di stazione saranno invece equipaggiate con due ventilatori da 100'000 m³/h funzionanti, in caso di emergenza, in modalità estrazione al 100% della potenza nominale con portata ripartita sulle due banchine oppure, in caso di avaria di un ventilatore, con l'intera portata di un ventilatore indirizzata solo sulla banchina affetta dall'incendio. Le simulazioni monodimensionali, effettuate su una stazione rappresentativa del prolungamento, hanno dimostrato l'efficacia del sistema, il quale garantisce l'aspirazione di aria/fumi sulla banchina attraverso i canali di ventilazione e la gestione dell'incendio secondo i criteri sopracitati.



7. APPENDICE A

Semitratta Bignami-Cinisello Monza

STAZIONE	LUNGHEZZA	PENDENZA	TIPO DI SEZIONE	VEL. CRITICA	PORTATA DI DIMENSIONAMENTO CDV	
	[m]	[‰]		[m/s]	[m³/h]	
BIGNAMI	49	0 ST				
TRATTA BIGNAMI ↔ TESTI-GORKY	257	0 TBM		2.15	573216	
	967	-2 TBM		2.17	577116	
	10	0 TBM		2.15	573216	
TESTI-GORKY	60	0 ST				
TRATTA TESTI-GORKY ↔ RONDINELLA-CROCETTA	24	0 TBM		2.15	573216	
	523	7 TBM		2.20	586869	
	85	0 TBM		2.15	573216	
	19	0 TBM		2.15	573216	
	750	3 TBM		2.18	579066	
	48	0 TBM		2.15	573216	
RONDINELLA-CROCETTA	60	0 ST				
TRATTA RONDINELLA- CROCETTA ↔ MATTEOTTI	10	0 TBM		2.15	573216	
	727	-2 TBM		2.17	577116	
	218	20 TBM		2.30	612249	
	30	0 TBM		2.15	573216	
MATTEOTTI	60	0 ST				
TRATTA MATTEOTTI ↔ CINISELLO-MONZA	30	0 TBM		2.15	573216	
	203	-20 TBM		2.30	612249	
	402	23 TBM		2.32	618110	
	63	23 CA		2.16	495255	
	45	0 CA		2.00	458595	
CINISELLO-MONZA	65	0 ST				
TRATTA CINISELLO-MONZA ↔ ESTERNO	120	0 CA		2.00	458595	
	50	0 A		1.74	702572	
	21	50 A		2.03	820259	
	74	50 B		2.16	957813	
	40	50 C		2.43	1296710	



Semitratta Campania-Monza Brianza (fine linea)

STAZIONE	LUNGHEZZA [m]	PENDENZA [‰]	TIPO DI SEZIONE	VEL. CRITICA [m/s]	PORTATA DI DIMENSIONAMENTO CDV [m³/h]
TRATTA ESTERNO <-> CAMPANIA	36	-40	D	2.09	676083
	188	-25	E	1.97	677430
	63	-25	F	2.50	907548
	23	-25	G	2.11	1404815
	23	-2	G	1.97	1308826
	58	-1	H	1.92	1050263
	159	-2	CA	2.01	461778
	44	0	CA	2.00	458595
CAMPANIA	60	0	ST		
TRATTA CAMPANIA <-> MARSALA	30	0	TBM	2.15	573216
	251	-20	TBM	2.30	612249
	812	10	TBM	2.23	592723
	15	0	TBM	2.15	573216
MARSALA	60	0	ST		
TRATTA MARSALA <-> MONZA FS	30	0	TBM	2.15	573216
	359	-20	TBM	2.30	612249
	379	20	TBM	2.30	612249
	30	0	TBM	2.15	573216
MONZA FS	60	0	ST		
TRATTA MONZA FS <-> TRENTO E TRIESTE	35	0	TBM	2.15	573216
	190	-35	TBM	2.41	641571
	377	20	TBM	2.30	612249
	30	0	TBM	2.15	573216
TRENTO E TRIESTE	60	0	ST		
TRATTA TRENTO E TRIESTE <-> PARCO-VILLA REALE	46	0	TBM	2.15	573216
	1042	12	TBM	2.24	596626
	46	0	TBM	2.15	573216



STAZIONE	LUNGHEZZA	PENDENZA	TIPO DI SEZIONE	VEL. CRITICA	PORTATA DI DIMENSIONAMENTO CDV
	[m]	[%]		[m/s]	[m ³ /h]
PARCO-VILLA REALE	60	0 ST			
TRATTA PARCO-VILLA REALE <-> OSPEDALE SAN GERARDO	54	0 TBM		2.15	573216
	1100	4 TBM		2.18	581016
	64	0 TBM		2.15	573216
OSPEDALE SAN GERARDO	60	0 ST			
TRATTA OSPEDALE SAN GERARDO <-> MONZA-BRIANZA	25	0 TBM		2.15	573216
	1257	-3 TBM		2.18	579066
	26	0 TBM		2.15	573216
MONZA BRIANZA	60	0 ST			
TRATTA MONZA- BRIANZA <-> FINE LINEA	10	0 TBM		2.15	573216
	160	-2 TBM		2.17	577116



8. BIBLIOGRAFIA

-
- 1 SES to IDA Tunnel Migration & Results Comparison, SMH Adil, Per Sahlin, Lars Eriksson, Hans Johnsson, October 2014
 - 2 Validation of piston effect with respect to Thermotun, Citybanan i Stockholm, November 2005
 - 3 Validation of fire model with respect to the Runehamar experiments, Citybanan i Stockholm, November 2005
 - 4 IDATunnel, Theoretical reference, EQUA Simulation AB, Stockholm, Sweden, July 2014