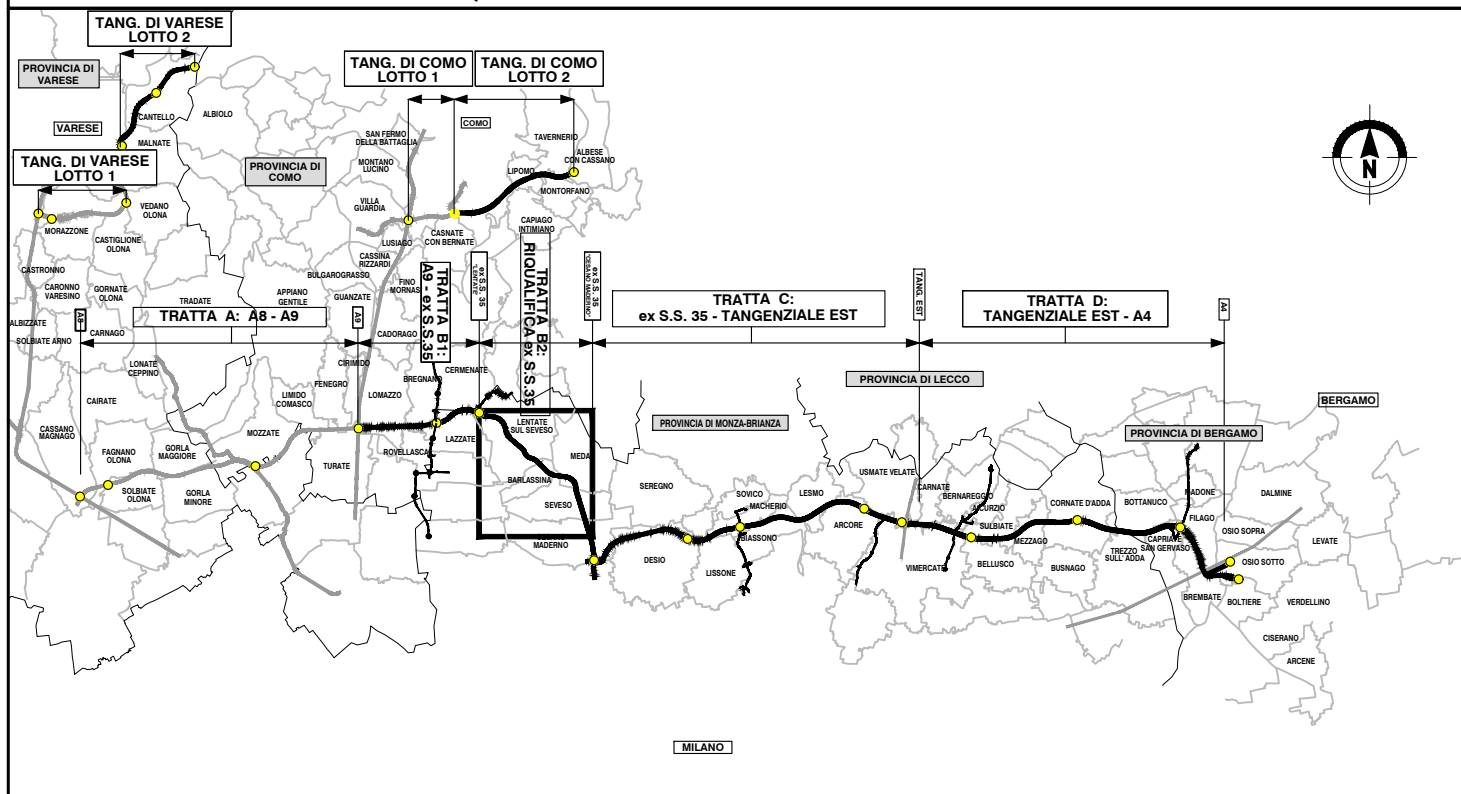


# QUADRO DI UNIONE GENERALE



## COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

### PROGETTO ESECUTIVO TRATTA B2

#### IMPIANTI RELAZIONI RELAZIONE IMPIANTI DI VENTILAZIONE GALLERIA CESANO MADERBO CONNESSE, VIABILITA' INTERFERITE E GALLERIE

#### IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
E	IM	B2	000	GE00	090	TI	001	A

DATA APRILE 2023

SCALA

#### CONCEDENTE



#### CONTRAENTE GENERALE

PEDELOMBARDA NUOVA S.c.p.A.

#### DATA

#### REVISIONE

06 Aprile 2023      Emissione      A01

#### ELABORAZIONE PROGETTUALE

#### PROGETTISTI



Redatto  
G. Brambilla

RESPONSABILE  
INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE

Ing. Carlo Listorti

Viso

S. Di Bitetto

Approvato

E. D'Argenzio

#### CONCESSIONARIO



#### PROGETTISTA



Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto di Autostrada Pedemontana Lombarda S.p.A. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.  
This document may not be copied, reproduced or published either in part or entirely without the written permission of Autostrada Pedemontana Lombarda S.p.A. Unauthorized use will be persecuted by law.



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE  
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO  
E OPERE CONNESSE

## **PROGETTO DEFINITIVO**

TRATTE B1, B2, C, D  
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI COMO  
2° LOTTO DELLA TANGENZIALE DI VARESE

### **TRATTA B2**

**EIMB2000GE00090TI001A01**

### **IMPIANTI – RELAZIONI**

RELAZIONE IMPIANTI VENTILAZIONE  
GALLERIA CESANO MADERNO

## Sommario

<b>1. Premessa</b> .....	4
1.1 Riferimenti .....	4
1.2 Aspetti generali degli impianti di ventilazione in galleria.....	4
<b>2. Caratteristiche dei ventilatori di galleria</b> .....	5
2.1 Componenti .....	5
2.2 Caratteristiche aerauliche .....	6
<b>3. Criteri di regolazione dell'impianto di ventilazione</b> .....	7
3.1 Criteri generali di regolazione .....	7
3.2 Rilevazione agenti inquinanti .....	7
3.3 Rilevazione direzione e velocità dell'aria .....	8
3.4 Logica di regolazione.....	8
<b>4. Obiettivi Di Progetto</b> .....	10
4.1 Obiettivi Di Sicurezza .....	10
<b>5. Descrizione Galleria</b> .....	10
5.1 Geometria .....	10
5.2 Vie Di Esodo .....	12
5.3 Traffico.....	13
<b>6. Concept Di Ventilazione</b> .....	13
<b>7. Metodologia Di Dimensionamento Ventilazione</b> .....	14
7.1 Dimensionamento In Condizioni Di Emergenza.....	14
7.2 Dimensionamento In Regime Sanitario.....	15
<b>8. Descrizione Software</b> .....	15
8.1 Ida Tunnel .....	15
<b>9. Prestazioni Monitorate E Valori Soglia</b> .....	15
<b>10. Ipotesi Di Lavoro</b> .....	18
10.1 Perdite Di Carico Fluidodinamiche .....	18
ATTRITO CON LE PARETI DEL TUNNEL .....	18
PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE .....	18
10.2 Caratteristiche Dei Veicoli.....	18
CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE .....	18
EMISSIONI INQUINANTI .....	19

10.3	Caratterizzazione Dell'incendio.....	19
10.4	Sistema Di Ventilazione.....	20
	JET-FANS .....	20
	POSIZIONE BATTERIE.....	20
	RIDONDANZA .....	20
10.5	Condizioni Ambientali .....	21
	TEMPERATURE .....	21
	VENTO INCIDENTE AI PORTALI .....	21
	SALTO BAROMETRICO AI PORTALI .....	22
10.6	Periodo Di Osservazione .....	22
11.	Analisi Quantitativa: Scenari Analizzati .....	22
11.1	Funzionamento Ordinario.....	22
11.2	Emergenza Incendio.....	23
12.	Presentazione Dei Risultati .....	24
13.	Risultati .....	24
13.1	Funzionamento Ordinario.....	24
13.2	Emergenza Incendio.....	26
14.	Criteri Di Funzionamento Dell'impianto Di Ventilazione.....	28
14.1	Generalita' .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
14.2	Funzionamento ordinario – presenza rete ordinaria .....	28
14.3	Funzionamento ordinario – assenza rete ordinaria .....	28
14.4	Funzionamento in emergenza – presenza rete ordinaria .....	29
14.5	Funzionamento in emergenza – assenza rete ordinaria .....	29
15.	Conclusioni.....	30

## 1. Premessa

Il Presente Documento, Che Si Riferisce Alla Galleria Cesano Maderno Facente Parte Del Collegamento Autostradale Dalmine-Como-Varese, Tratta B Contiene I Risultati Delle Analisi Relative Al Dimensionamento Dell'impianto Di Ventilazione In Regime Sanitario E In Emergenza.

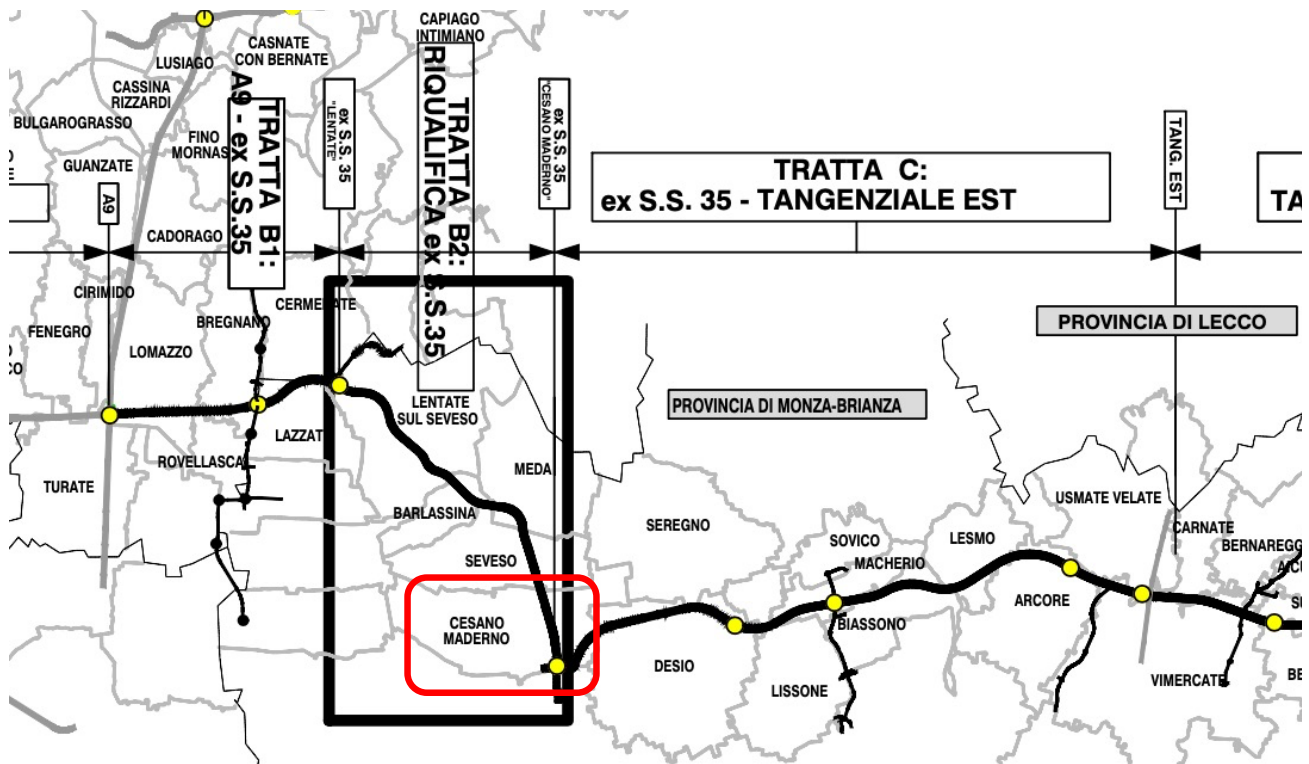


Figura 1: Tratte Autostradali In Oggetto

### 1.1 Riferimenti

- [1] NFPA 502
- [2] PIARC, Road Tunnels: Vehicle Emissions And Air Demand For Ventilation, 2019
- [3] Guide To Road Tunnel Safety Documentation – Booklet 4. CETU 2003
- [4] CETU, “Les Dossiers Pilotes – Ventilation”, 2003
- [5] CD 352 (Formerly BD 78/99), British Standard For Design Of Road Tunnel

### 1.2 Aspetti generali degli impianti di ventilazione in galleria

La moderna concezione di un'arteria stradale prevede di dotare le gallerie naturali ed artificiali di adeguate

componenti impiantistiche ai fini di garantire a tutti gli utenti il massimo della sicurezza nelle normali condizioni di esercizio ed in caso di emergenza.

In tal senso, infatti, le vigenti disposizioni normative di cui alle recenti disposizioni contenute nelle Direttiva Comunitaria 2004/54/CE (recepita in Italia con Decreto Legislativo 5 ottobre 2006 n.264), prevedono una serie di requisiti minimi per tutte le gallerie di lunghezza superiore ai 500 m con l'installazione di impianti con caratteristiche funzionali e strutturali ritenute essenziali per la sicurezza della circolazione stradale. L'impianto di ventilazione, secondo la norma, è previsto per le gallerie con lunghezza superiore ai 1.000m, pertanto, nel caso specifico, è da considerarsi come misura integrativa a favore di sicurezza.

In tal senso va rilevato come la moderna concezione di un'arteria stradale tende a prevedere oggi una particolare cura delle dotazioni impiantistiche di cui deve essere corredata al fine di assicurare all'utenza il massimo della sicurezza, di prevenire situazioni potenzialmente pericolose, di fornire il comfort necessario agli utenti in condizioni di auto evacuazione.

## **2. Caratteristiche dei ventilatori di galleria**

### **2.1 Componenti**

Cassa di alloggiamento del gruppo motore-girante in acciaio con spessore di 5 mm. Al termine della lavorazione la cassa è sottoposta ad un processo di passivazione per evitare fenomeni corrosivi dovuti a eventuali residui ferrosi e contaminazione del materiale. La cassa è dotata di flange forate per l'accoppiamento con i silenziatori.

Telaio di sostegno composto da due sezioni ed adatto per il collegamento con i piedi di supporto dell'acceleratore. Il telaio è realizzato in acciaio con spessore di 4 mm ed è adeguatamente rinforzato per garantire l'opportuna installazione.

I piedi di supporto sono realizzati in acciaio ed idonei per il collegamento alla cassa del ventilatore tramite bulloni. L'accoppiamento al ventilatore è adatto a garantire non solo il carico statico, ma anche i carichi dinamici generati dal funzionamento del ventilatore stesso e da sollecitazioni esterne dovuto al traffico in galleria.

Girante assiale idonea per funzionamento ad alte temperature. Il profilo simmetrico delle pale garantisce la totale reversibilità del flusso dell'aria. Le pale sono realizzate in lega di alluminio così come il mozzo. Per l'accoppiamento dell'albero motore al mozzo vengono utilizzati inserti in acciaio. La girante è bilanciata staticamente per ottenere un livello di vibrazione alla velocità nominale di grado G6.3. Il ventilatore completo ha una bilanciatura secondo ISO 13350:1999 per ottenere un livello di vibrazione di 2.8 mm/s r.m.s.

Motore elettrico, asincrono, trifase ad induzione con rotore a gabbia di scoiattolo, adatto per avviamento diretto e per funzionamento continuo a 40 °C secondo I.E.C. 34-1 ed in emergenza a 400 °C per 120 minuti, classe di isolamento H con materiali isolanti, avvolgimenti impregnati nel silicone, guaina isolanti cavi con materiali in fibra o simili. Protezione motore IP 55 secondo I.E.C. 34-5. Morsettiera esterna fissata sulla cassa con grado di

protezione IP 55. Cuscinetti di tipo prelubrificato, dimensionati secondo ISO 281-L10 per una vita media del cuscinetto 100.000 ore. Motore protetto con vernice monocomponente a base siliconica contro i fenomeni corrosivi.

Silenziatori di forma cilindrica, realizzati in acciaio, spessore 0,8 mm ed internamente isolato con materiale fonoassorbente ad alto coefficiente di assorbimento acustico, imputrescibile, antimuffa e ininfiammabile. Lamierino forato di protezione interna in acciaio, spessore 0,7 mm.

## 2.2 Caratteristiche aerauliche

### Caratteristiche generali:

- Diametro girante 1000 mm
- Spinta in aria ferma 900 N
- Portata 24 m<sup>3</sup>/s
- Tipo completamente reversibile
- Classificazione F400 – 400 °C / 2h
- Velocità minima in uscita aria 30.5 m/s
- Potenza sonora 103 dBW
- Velocità massima di vibrazione 4,5 mm/s
- Livello di bilanciatura 2.8 mm/s secondo ISO 13350
- Densità dell'aria 1,2 kg/m<sup>3</sup>
- Tipo di installazione rigida

### Caratteristiche elettriche:

- Potenza elettrica 27 kW AOM
- Alimentazione 3 ph; 400V; 50 Hz; Volt ± 10%
- Velocità di rotazione 4 poli
- Classe di isolamento H
- Protezione morsettiera IP55
- Avviamento con avviatore soft-start
- Avvii consecutivi 4 per ora
- Tipo di motore asincrono a induzione a gabbia di scoiattolo

### Caratteristiche della cassa:

- Materiale Acciaio AISI316
- Spessore 5 mm

### Caratteristiche dei silenziatori:

- Materiale esterno Acciaio AISI316
- Spessore esterno 0,8 mm
- Materiale interno Acciaio AISI316 forato
- Spessore interno 0,7 mm

### Caratteristiche della girante:

- Tipo reversibile

- Materiale pala lega di alluminio SILUMIN
- Bilanciatura G6.3

### **3. Criteri di regolazione dell'impianto di ventilazione**

#### **3.1 Criteri generali di regolazione**

L'operatività del sistema di ventilazione è previsto in:

- Regime automatico, con comando programmato in base ai parametri di inquinamento ed alla densità di traffico in transito all'interno della galleria;
- Regime manuale, con comando diretto da fronte quadro;
- Regime manutentivo, con esercizio programmato delle singole unità secondo una sequenza periodica giornaliera definita dal piano di manutenzione, in modo da assicurare la verifica del grado di efficienza delle singole unità attraverso un funzionamento programmato a tempo definito.

Per ottenere un ottimale funzionamento dei ventilatori, oltre che per l'attivazione eventuale dei sistemi di emergenza, è essenziale pertanto la rilevazione in automatico dei fumi opachi (OP), dell'ossido di carbonio (CO) e del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) in quanto solo superando valori prefissati di uno dei tre livelli, i ventilatori entreranno progressivamente in funzione ed altrettanto progressivamente verranno spenti al diminuire di tali livelli.

E' pertanto indispensabile il controllo in continuo ed in automatico del tasso di CO, di NO<sub>2</sub> e dei fumi opachi, attraverso appositi rilevatori ambientali in grado di trasmettere specifici segnali al centro di controllo locale, che li elabora provvedendo all'avviamento del numero di ventilatori necessari alla pulizia dell'aria in galleria, o attivando i segnali di emergenza nel caso di superamento di prefissate soglie.

A tal fine le necessita di diluizione degli agenti inquinanti all'interno dell'ambiente di galleria, saranno rilevate mediante misuratori di CO, NO<sub>2</sub>, opacimetri ed anemometri installati in galleria su postazioni interne, come indicato nelle tavole di disegno.

Il sistema di controllo permuterà ciclicamente i ventilatori da avviare, in modo che ciascuna unità funzioni per lo stesso numero di ore delle altre. L'avviamento dei motori è previsto attraverso sistemi con soft-starter, che garantiscono una partenza più "dolce" evitando gli spunti di corrente iniziali, a vantaggio sia della durata dei motori che dell'impianto; non sono stati previsti sistemi con inverter in quanto non se ne ravvede la necessita a livello operativo e perché, da esperienza gestionale pregressa, incidono notevolmente a livello di costi di manutenzione, essendo più delicati e complessi rispetto ai soft-starter.

#### **3.2 Rilevazione agenti inquinanti**

Il sistema di rivelazione dovrà essere realizzato con uno strumento senza parti in movimento per la misura del grado di opacità (OP), della concentrazione del monossido di carbonio (CO) e della concentrazione del monossido di azoto (NO<sub>2</sub>) costituito da un unico dispositivo compatto contenente il gruppo ottico per la misura di OP e due celle elettrochimiche per la misura di CO e NO<sub>2</sub>, alloggiati entro contenitore in acciaio inox AISI316Ti verniciato con polvere epossidica, con grado di protezione IP69K.

Le modalità di misura previste sono le seguenti:



- OP: un fascio laser attraversa l'area di misura, il raggio viene riflesso dalle particelle (gocce di nebbia o polvere), la quantità di luce diffusa è misurata e serve per determinare la densità di particelle nel volume di misura. Un ciclo di controllo viene svolto regolarmente per la misura automatica della contaminazione o ostruzioni. Il rapporto tra l'intensità della radiazione che raggiunge il ricevitore, ottenuta dalla riflessione dalle particelle di polvere presenti nell'atmosfera della galleria, e l'intensità della sorgente fornisce un valore del grado di OP. Campo di misura: 0 - 15 Km<sup>-1</sup>, risoluzione 0,001 Km<sup>-1</sup>;
- Modalità di misura della concentrazione del CO: cella elettrochimica campo di misura: 0 - 300 ppm, accuratezza ≤ 3% in accordo con EN 50545, precisione  $\pm$  0,5 ppm;
- Modalità di misura della concentrazione del NO<sub>2</sub>: cella elettrochimica campo di misura: 0 - 5 ppm, accuratezza ≤ 2% in accordo con EN 50545, precisione  $\pm$  0,5 ppm.

Gli allarmi del sistema di rilevazione vengono inviati, unitamente a quelli del sensore di temperatura e dell'anemometro, al box di alimentazione ed interfaccia su Modbus TC/IP allo switch ubicato entro la colonnina SOS più vicina in campo, e da qui al centro locale di controllo, che li elabora provvedendo all'avviamento del numero di ventilatori necessari alla pulizia dell'aria in galleria. Il PLC provvederà infatti, attraverso alcune soglie tarabili dal sistema di supervisione locale e/o remoto, ad avviare un numero di ventilatori necessari alla pulizia dell'aria nel tunnel e, nel caso in cui il valore continuasse ad essere elevato, ad attivare i necessari allarmi ed eventuali procedure di emergenza definite dalla logica di funzionamento, in accordo con il Piano di Emergenza.

### 3.3 Rilevazione direzione e velocità dell'aria

Gli anemometri presenti in galleria fungeranno da feedback dell'azione e verranno visualizzati sul sistema di supervisione per monitorare, in continuo, la direzione e la velocità dell'aria presente in galleria. La stazione anemometrica, sarà composta da anemometro ad ultrasuoni per la misura diretta ed automatica della velocità e della direzione dell'aria nelle gallerie.

Gli impulsi ultrasonici sono emessi angolati rispetto alla direzione del flusso dell'aria di un angolo alfa (tipicamente 45°) da due trasduttori che operano alternativamente da trasmettitore e da ricevitore. Attraverso i due percorsi di transito in equiflusso e controflusso si ottengono tempi di transito diversi. La velocità è determinata tramite la differenza dei tempi di transito. Campo di misura: -10+10 m/s o -20+20 m/s o 0+20 m/s, accuratezza ≤ 5 m/s  $\pm$  0,1 m/s,  $\geq$  5 m/s 2%.

Il compito della stazione anemometrica, e quello di segnalare oltre alla velocità anche la direzione del vento, informazione quest'ultima di grande utilità per ottimizzare la ventilazione, in quanto permette ai ventilatori reversibili, di invertire la spinta, adeguandola alla direzione del vento, automaticamente attraverso comando dal Centro di Controllo.

### 3.4 Logica di regolazione

A completamento degli automatismi a servizio dell'impianto di ventilazione, si prevede l'installazione dei seguenti apparati di controllo aggiuntivi, tutti collegati con il centro locale di controllo:

- Sistema di controllo delle vibrazioni degli acceleratori ancorati alla volta;
- Sistema di controllo orizzontalità e cedimento degli acceleratori ancorati alla volta;

- Sistema di rilevamento incendio in galleria con cavo fibrolaser;

In tutti i casi, la regolazione dei regimi di portata dei ventilatori verrà fatta automaticamente in funzione dei valori registrati dagli apparati di gestione e controllo dei parametri ambientali in galleria, fermo restando comunque la possibilità di comandi manuali da parte del personale autorizzato, in funzione delle specifiche esigenze.

In pratica, i segnali di misura delle apparecchiature di CO, NO<sub>2</sub> e di OP, così come quelli dell'eventuale sistema di rilevamento traffico, vengono tradotti in segnali di comando di marcia/arresto dei ventilatori in galleria e sono idonei ad una possibile inserzione di un segnale ottico/acustico di informazione sul sinottico del PLC e di allarme in un locale presidiato.

In linea generale, l'impianto dovrà essere operativo con:

- Funzionamento manuale;
- Funzionamento in "polling test" automatico;
- Funzionamento in automatico per movimentazione e diluizione delle concentrazioni tossiche in galleria;
- Funzionamento in automatico con inserzione a pacchetto dei ventilatori per lavaggio dei fornicci;
- Funzionamento in automatico con inserzione a pacchetto dei ventilatori per condizioni di emergenza incendio.

Il primo stadio viene attivato se la misura di uno o più analizzatori supera la prima soglia massima, per un tempo almeno eguale al ritardo impostato.

Al superamento della seconda soglia parte il secondo stadio e poi il terzo. Il distacco di uno stadio avviene, solo a tempo minimo di ventilazione scaduto, se nessuna nuova misura supera la relativa soglia di distacco. In tutti i casi i ventilatori, quando avviati, debbono restare in funzionamento per almeno 15 minuti; quando essi vengono fermati, possono essere rimessi in funzione dopo 15 minuti, al fine di evitare una eccessiva usura dei componenti dinamici. Solo in caso di emergenza le macchine debbono poter essere forzati in marcia o arresto in modo istantaneo e reversibile agendo sul sistema di controllo.

Se uno o più ventilatori non partono perché sono esclusi o sono in manuale fermi oppure sono in blocco per intervento delle protezioni, il sistema chiama i primi ventilatori successivi disponibili fino a completare il numero richiesto.

Lo stesso meccanismo di sostituzione interviene durante la marcia normale in caso di scatto automatico o arresto manuale di un ventilatore. Se invece uno o più ventilatori esclusi vengono reinseriti, il sistema arresta i ventilatori che vengono a trovarsi in eccesso. Se all'atto della chiamata vi sono dei ventilatori in marcia in manuale, il sistema avvia solo quelli necessari per completare il numero. Analogamente al momento del distacco degli stadi, i ventilatori relativi vengono arrestati in modo regressivo ad intervalli di 10 secondi.

La frequenza di intervento degli stadi decresce, di norma rapidamente dal primo al terzo. Per ottenere un consumo il più possibile uniforme delle macchine, ogni cento ore di funzionamento del primo stadio deve essere cambiato automaticamente l'abbinamento fra stadi e ventilatori. Se allo scadere delle ore, vi sono degli stadi in marcia, la rotazione attende il primo momento di fermata totale.

I misuratori di CO, NO2 e di OP misurano con continuità il livello degli inquinanti, che viene acquisito ad intervalli di due minuti, mediato su due minuti, sulla memoria del PLC. I valori dei livelli di CO, NO2 e di OP riportati precedentemente, vanno intesi come la media dei valori dati per la galleria dai misuratori di CO, NO2 e di OP su 2 minuti primi. I valori ed i versi della velocità dell'aria, dati dall'anemometro, sono misurati con continuità e tali valori sono acquisiti sulla memoria del PLC ad intervalli di due minuti, mediando i valori su due minuti e segnando il verso prevalente su due minuti.

## 4. Obiettivi Di Progetto

Dimensionare il sistema di ventilazione della galleria sulla base della configurazione di progetto esecutivo. È determinato il numero di jet-fans e la loro configurazione in modo che gli obiettivi di sicurezza siano verificati.

### 4.1 Obiettivi Di Sicurezza

Il dimensionamento del sistema di ventilazione è sviluppato passando attraverso la verifica degli obiettivi di sicurezza riportati in Tabella 1.

Tabella 1: Obiettivi Di Sicurezza

Configurazione Operativa	Obiettivo Di Sicurezza
Funzionamento Ordinario	Mantenere le concentrazioni di inquinanti al di sotto dei limiti in tutta la galleria
Emergenza Incendio	Garantire la velocità critica a monte dell'incendio e pertanto il rispetto delle condizioni di vivibilità lungo i percorsi di esodo

## 5. Descrizione Galleria

### 5.1 Geometria

La Galleria Cesano Maderno È Composta Da Due Fornici Paralleli A Singolo Senso Di Marcia E Stesso Profilo Altimetrico. Ciascun Fornice Presenta Una Transizione Tra 3 E 4 Corsie. La Sezione A 4 Corsie È Funzionale Agli Svincoli Presenti Vicino Il Portale Est, All'esterno Della Galleria.

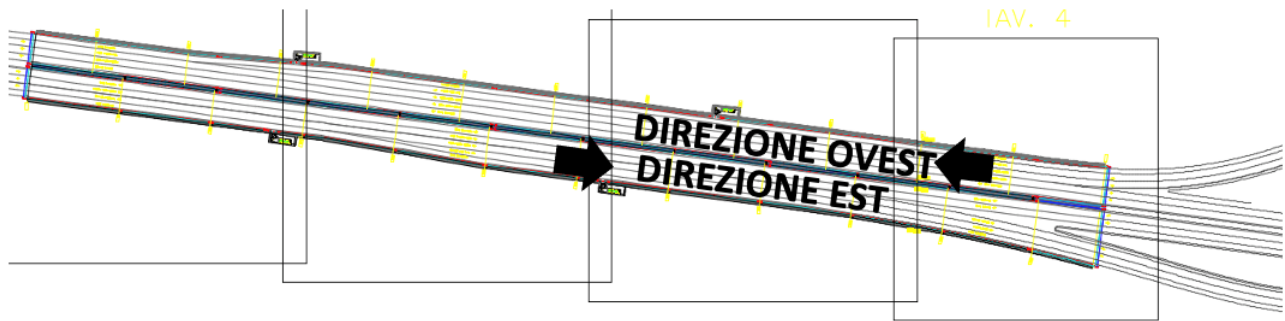


Figura 2: Profilo Planimetrico

La pendenza è positiva in direzione Ovest.

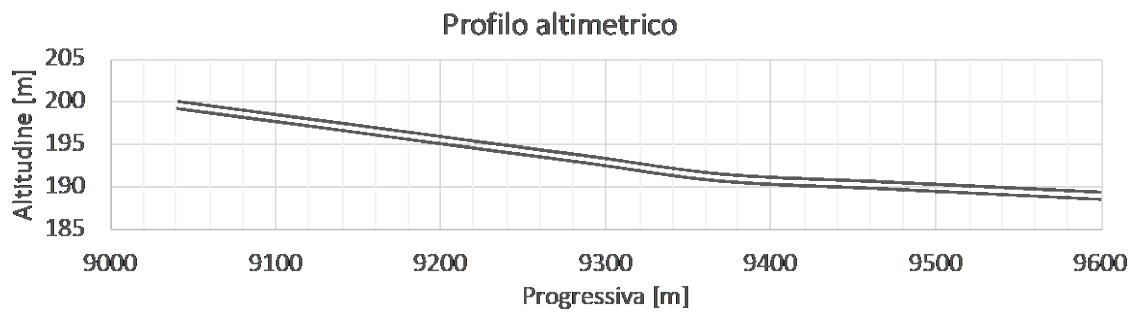


Figura 3: Profilo altimetrico

La sezione trasversale di entrambi i fornic è variabile lungo la direzione longitudinale della galleria. In Figura 4 e Figura 5 sono riportate alcune sezioni trasversali tipologiche.

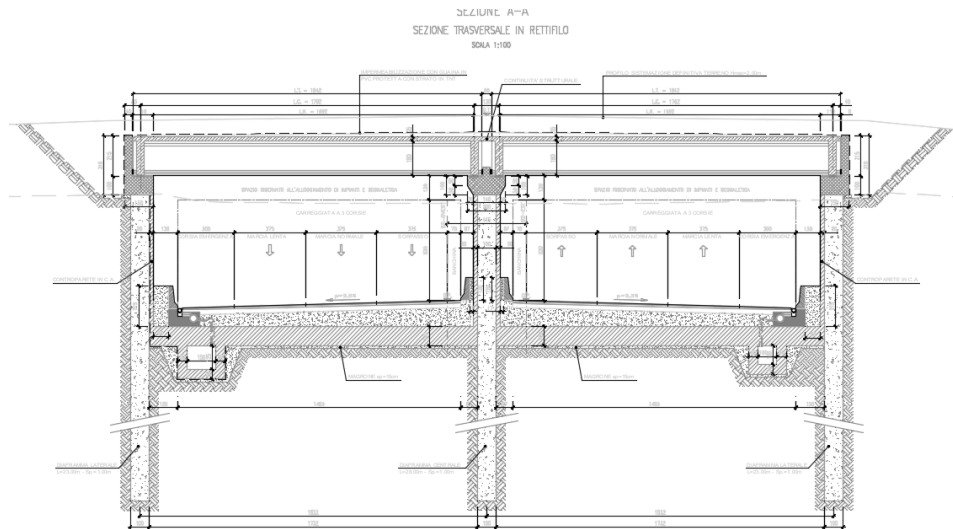


Figura 4: Sezione tipologica 3 corsie

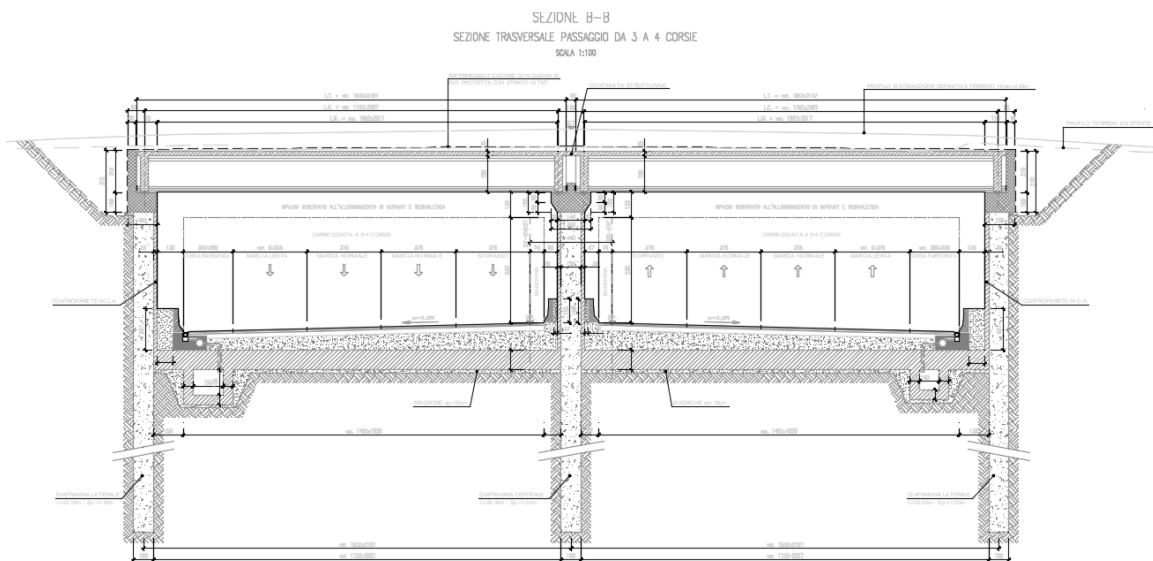


Figura 5: Sezione tipologica 4 corsie

In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche geometriche principali della galleria. Le aree sono approssimate alla sezione maggiore del tratto trascurando le transizioni.

Tabella 2: Geometria direzione EST

Progressiva 1	Progressiva 2	Lunghezza [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Dh [m]	Pendenza
9040	9200	160	113	9,62	-2,59%
9200	9370	170	136	10,15	
9370	9465	95	136	10,15	-0,94%
9465	9500	35	144	10,29	
9500	9600	100	191	10,98	

Tabella 3: Geometria direzione OVEST

Progressiva 1	Progressiva 2	Lunghezza [m]	Area [m <sup>2</sup> ]	Dh [m]	Pendenza
9040	9130	90	113	9,62	-2,59%
9130	9370	240	136	10,15	
9370	9600	230	136	10,15	-0,94%

## 5.2 Vie Di Esodo

In caso di emergenza, l'esodo degli utenti avviene mediante i portali della galleria e attraverso le due uscite di sicurezza lungo la galleria. Di seguito è riportata la posizione delle uscite.

Tabella 4: Uscite di sicurezza

	Progressiva direzione EST	Progressiva direzione OVEST
Uscita 1	9174	9390
Uscita 2	9348	9159

### 5.3 Traffico

Le analisi sono state svolte considerando i dati di Tabella 5.

Tabella 5: traffico



Parametro	Valore	Origine dato
Traffico di punta	4000 veh/h	E' stato mantenuto il valore usato nel PD. Il traffico di punta stimato è inferiore 4000 veh/h (3466 veh/h).
Limite di velocità massima	80 km/h	Da committenza
Limite di velocità veicoli pesanti	80 km/h	Da committenza
Probabilità di traffico congestionato	0%	Ipotesi da AdR di PD
Percentuale di veicoli leggeri su totale	80 % 3200 veh/h	Ipotesi cautelativa e conforme al PD. Dato effettivo 81.26%
Percentuale di veicoli pesanti su totale	20% 800 veh/h	Ipotesi cautelativa e conforme al PD. Dato effettivo 18,74%
Densità di veicoli fermi in coda	165 pcu/km/corsia	Valore massimo stimato dal PIARC. Pcu: "passenger car units". Si stima che un veicolo pesante in coda sia equivalente a 3 veicoli leggeri.

## 6. Concept Di Ventilazione

La ventilazione è di tipo longitudinale ed è realizzata mediante batterie di jet-fans collocate in volta. I jet-fans imprimono una spinta all'aria circostante generando una portata nel verso desiderato.

Questo tipo di ventilazione è particolarmente indicata per gallerie di tipo monodirezionale con bassa probabilità di congestione.

Tabella 6: logiche di gestione del sistema di ventilazione

Configurazione operativa	Gestione del sistema di ventilazione
<p><b>Funzionamento ordinario</b></p>	<p>Il lavaggio degli inquinanti è operato principalmente dall'effetto pistone dei veicoli che favorisce l'ingresso di aria fresca dal portale di entrata e l'espulsione della miscela aria + inquinanti dal portale di uscita.</p> <p>In caso di traffico congestionato, l'effetto di pistone potrebbe non essere sufficiente e i jet-fans sono attivati al fine di garantire la portata minima di aria nel verso di percorrenza del traffico.</p>
<p><b>Emergenza incendio, traffico fluido</b></p>	<p>I jet-fans sono attivati nel verso di percorrenza del traffico con l'obiettivo di raggiungere la velocità critica. Questo permette la creazione di un percorso di esodo libero da fumi a monte dell'incendio.</p> 
<p><b>Emergenza incendio, traffico congestionato</b></p>	<p>I jet-fans sono mantenuti spenti per tutta la durata dell'esodo, con l'obiettivo di promuovere la stratificazione naturale dei fumi. Questo permette la creazione di un corridoio di aria fresca nella parte bassa della galleria.</p> 

## 7. Metodologia Di Dimensionamento Ventilazione

La posizione, il numero e le caratteristiche dei jet-fans sono determinati passando attraverso un approccio performance-based eseguendo opportune simulazioni fluidodinamiche monodimensionali.

Le simulazioni 1D permettono di valutare l'efficacia del sistema di ventilazione nelle configurazioni d'uso attraverso il monitoraggio delle prestazioni inerenti alla sicurezza degli utenti in relazione ai valori soglia secondo i criteri di accettazione.

### 7.1 Dimensionamento In Condizioni Di Emergenza

Si verifica se il sistema di ventilazione sia in grado di raggiungere la velocità critica a monte dell'incendio.

La condizione dimensionante per l'impianto di ventilazione è quella relativa all'incendio in condizioni di traffico fluido. Per il valore di velocità critica ci si riferisce alla definizione della NFPA 502:2017.

## 7.2 Dimensionamento In Regime Sanitario

Il dimensionamento è sviluppato secondo il metodo PIARC [2] determinando la portata minima di aria necessaria a diluire gli inquinanti.

Attraverso opportune simulazioni 1D si verifica il numero minimo di jet-fans da attivare per realizzare la portata minima necessaria. In Tabella 7, sono riportate le metodologie di calcolo.

Tabella 7: Metodi di calcolo.

Modalità operativa	Regime di traffico	Metodologia di calcolo
Funzionamento ordinario	Congestionato	Metodo PIARC-> Calcolo delle portate necessarie alla diluzione degli inquinanti Simulazioni 1D-> Calcolo della configurazione di ventilazione necessaria a raggiungere la portata necessaria
Emergenza incendio	Fluido	Simulazione 1D -> determinare la configurazione di ventilazione necessaria a raggiungere la velocità critica

## 8. Descrizione Software

### 8.1 Ida Tunnel

**IDA Tunnel (Equa Simulation AB).** IDA Tunnel permette di rappresentare singoli tunnel o reti di cunicoli attraverso uno schema unifilare (rami e nodi). Le porzioni di tunnel sono collegate tra loro tramite una serie di rami e con l'ambiente esterno tramite nodi. A ogni ramo sono attribuite delle caratteristiche geometriche e fluidodinamiche. Sui nodi di collegamento tra il tunnel e l'ambiente esterno sono applicate le condizioni al contorno. IDA Tunnel permette di valutare l'interazione dinamica tra il tunnel, il sistema di ventilazione, i veicoli con le loro emissioni e i prodotti di combustione di un eventuale incendio.

## 9. Prestazioni Monitorate E Valori Soglia

Le prestazioni monitorate sono riportate in Tabella 8.

Tabella 8: obiettivi di sicurezza e prestazioni monitorate



Configurazione operativa	Obiettivo di sicurezza	Prestazioni monitorate
Funzionamento ordinario	Mantenere le concentrazioni di inquinanti al di sotto dei limiti in tutta la galleria	<b>Traffico fluido e congestionato:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ concentrazione di CO</li> <li>▪ concentrazione di NO<sub>2</sub></li> <li>▪ visibilità</li> </ul>
Emergenza incendio	Velocità critica	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ velocità critica a monte dell'incendio, condizione sufficiente perché il percorso di esodo degli utenti sia libero da fumi.</li> </ul>

Al fine di garantire gli obiettivi di sicurezza, le prestazioni monitorate sono confrontate con i valori soglia di accettabilità riportati in Tabella 9 e Tabella 10.

Tabella 9: soglie di accettabilità per il funzionamento ordinario

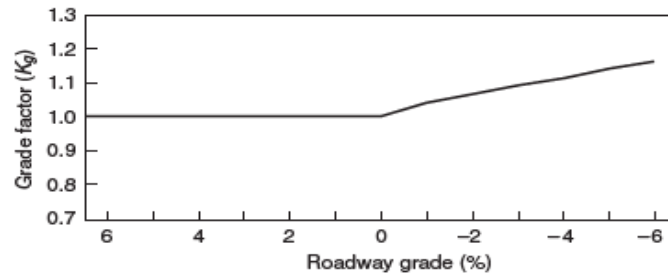
Traffico	Concentrazione di CO [ppm]	Coefficiente di estinzione [m <sup>-1</sup> ]	Concentrazione di NO <sub>2</sub> [ppm]
Fluido	70	0.005	1
Congestionato	90 [traffico fermo] 70 [v ≥ 10km/h]	0,009 [traffico fermo] 0,007 [v ≥ 10km/h]	
Fonti: PIARC, Road Tunnels: Vehicle Emissions And Air Demand For Ventilation, 2019			

Tabella 10: soglia di accettabilità per emergenza incendio. Traffico fluido

velocità critica calcolata con la formulazione NFPA 502:2017<sup>1</sup>

Table D.1 A Range of  $K_1$  Values That Apply for Various HRRs

Q (MW)	$K_1$
>100	0.606
90	0.62
70	0.64
50	0.68
30	0.74
<10	0.87



[D.1]

$$V_c = K_1 K_g \left( \frac{gHQ}{\rho C_p A T_f} \right)^{1/3}$$

$$T_f = \left( \frac{Q}{\rho C_p A V_c} \right) + T$$

where:

$V_c$  = critical velocity [m/sec (fpm)]

$K_1$  = Froude number factor,  $Fr^{-1/4}$  (see Table D.1)

$K_g$  = grade factor (see Figure D.1)

$g$  = acceleration caused by gravity [m/sec<sup>2</sup> (ft/sec<sup>2</sup>)]

$H$  = height of duct or tunnel at the fire site [m (ft)]

$Q$  = heat fire is adding directly to air at the fire site [kW (Btu/sec)]

$\rho$  = average density of the approach (upstream) air [kg/m<sup>3</sup> (lb/ft<sup>3</sup>)]

$C_p$  = specific heat of air [kJ/kg K (Btu/lb °R)]

$A$  = area perpendicular to the flow [m<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>)]

$T_f$  = average temperature of the fire site gases [K (°R)]

$T$  = temperature of the approach air [K (°R)]

Figure D.1 provides the grade factor for ( $K_g$ ) in equation D.1.

<sup>1</sup> Critical Velocity, Ref: NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2017 Edition, Annex D Critical Velocity Calculations

## 10. Ipotesi Di Lavoro

### 10.1 Perdite Di Carico Fluidodinamiche

#### ATTRITO CON LE PARETI DEL TUNNEL

Le perdite di carico distribuite per attrito tra l'aria e le pareti del tunnel sono modellate tramite la definizione di un coefficiente di attrito distribuito. **Per la galleria in esame si assume il valore di 0.026 derivato da letteratura<sup>2</sup>.** Questo valore include le perdite di carico dovute alla segnaletica del tunnel.

#### PERDITE DI CARICO LOCALIZZATE

Le perdite localizzate maggiori sono concentrate ai portali, definite come perdite di imbocco e sbocco. Si assumono i valori riportati in Tabella 11.

Tabella 11: perdite di carico localizzate

Tipo di veicolo	ASHRAE
Imbocco: Da esterno a tunnel	0,5
Sbocco: da tunnel verso esterno	1

## 10.2 Caratteristiche Dei Veicoli

#### CARATTERISTICHE FLUIDODINAMICHE

Il moto relativo tra l'aria e i veicoli influenza la fluidodinamica all'interno del tunnel:

- i veicoli in movimento spingono l'aria nella direzione del traffico trascinandola dal portale di ingresso al portale di uscita: "effetto pistone";
- i veicoli fermi in galleria costituiscono una resistenza fluidodinamica per la ventilazione meccanica.

I veicoli sono caratterizzati fluidodinamicamente da una sezione frontale ( $A_{front}$ ) e un coefficiente di drag ( $c_w$ ). I valori di riferimento sono ottenuti dalla normativa ASTRA 13001<sup>3</sup>.

Tabella 12: caratteristiche fluidodinamiche dei veicoli

Tipo di veicolo	( $C_w * A_{front}$ ) ASTRA 13001
Pesanti	5,2
leggeri	0,9

<sup>2</sup> Hong-Ming Janga, Falin Chen, On the determination of the aerodynamic coefficients of highway tunnels, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 90 (2002) 869–896

<sup>3</sup> ASTRA 13001, *Ventilation des tunnels routiers, Choix du système, dimensionnement et équipement*

## EMISSIONI INQUINANTI

Si fa riferimento alle tabelle del PIARC 2019 [2] che riportano i dati di emissione durante la marcia dei veicoli appartenenti allo standard tecnologico A (rappresentativo del parco veicoli di Europa occidentale e nord America), con riferimento all'anno di progetto 2025.

Per quanto riguarda l'alimentazione dei veicoli si assumono i valori riportati in Tabella 13. Si assume una percentuale di NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> media pari al 25%.

Tabella 13: alimentazione dei veicoli

Tipo di veicolo	Alimentazione
Pesanti	100% gasolio equamente ripartiti nelle categorie di 15, 23 e 32 tonnellate
leggeri	50% benzina 50% gasolio

### 10.3 Caratterizzazione Dell'incendio

L'incendio è descritto per mezzo di una curva HRR (andamento della potenza termica sviluppata nel tempo).

Il CETU [3] (Centre d'Études des Tunnels) propone una serie di curve HRR che descrivono l'incendio di diversi tipi di veicoli.

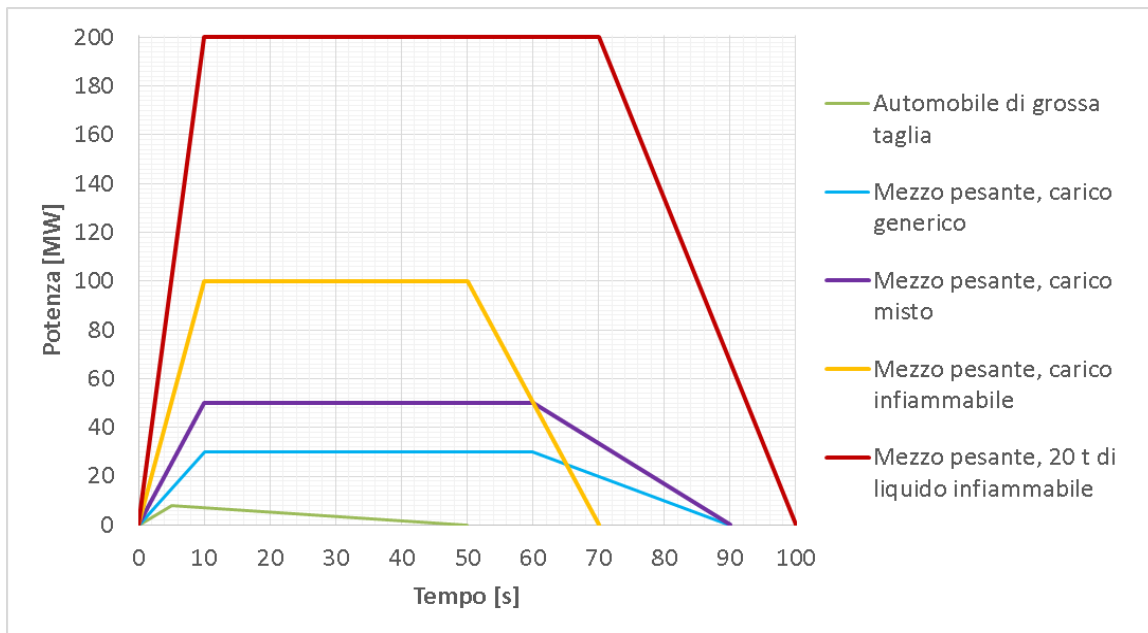


Figura 6: curve HRR per diversi tipi di veicolo (fonte CETU)

La curva dimensionante per il sistema di ventilazione della galleria Cesano Maderno corrisponde all'incendio di un mezzo pesante con carico generico ( $HRR_{max} = 30MW$ ).

## 10.4 Sistema Di Ventilazione

### JET-FANS

Il dimensionamento è sviluppato a partire da un tipo di jet-fan con le caratteristiche riportate nel paragrafo 2.2 .

Tabella 14: caratteristiche jetfans

Parametro	Valore
Diametro interno	1m
Spinta nominale	900N
Velocità dell'aria	30,5 m/s
Coefficiente di installazione	0,80 <sup>4</sup>
N° jet-fans batteria	4 direzione EST 2 direzione OVEST

### POSIZIONE BATTERIE

Le batterie di jet-fans sono posizionate ad una distanza minima pari a 100m (circa 10 diametri idraulici). Questa distanza garantisce una buona efficienza di spinta dei ventilatori. La distanza minima dal portale di ingresso è pari a 60m.

### RIDONDANZA

Si assume:

- 1 batteria non disponibile perché in manutenzione. Nelle simulazioni si assume, cautelativamente, che la batteria indisponibile sia la più efficiente;
- 1 batteria non disponibile per ragioni di contingenza (soggetta agli effetti termici dei prodotti di combustione o per ragioni non preventivabili).

L'ipotesi di ridondanza per effetti termici è supportata da quanto riportato nella "British standard for Design of Road Tunnel" [5] (capitolo 5.56). Lo standard definisce una distanza a monte ed una a valle dell'incendio in cui i jet-fan sono da considerarsi non funzionanti. Le distanze X, espresse in metri, sono calcolate in base a M, la magnitudo dell'incendio espressa in MW:

- A monte:  $X = (-0,0017 M^2) + (0,45 M) + 1,667$
- A valle:  $X = (-0,0067 M^2) + (1,8 M) + 6,667$

<sup>4</sup> Ipotesi basata su calcolo tramite formula Kempf

Per un incendio da 30MW le distanze sono:

- A monte: X = 14m
- A valle: X = 55m

Significa una distanza totale di 69 m. Applicando questa distanza alla galleria in esame, si può assumere che massimo 1 batteria è fuori servizio per effetti termici dell'incendio.

## 10.5 Condizioni Ambientali

### TEMPERATURE

Ci si riferisce alle temperature rilevate nella stazione meteorologica del vicino aeroporto di Milano-Linate<sup>5</sup>. Le statistiche riportano valori medi diurni compresi tra 5 e 27°C, rispettivamente per la stagione invernale ed estiva.

Le simulazioni 1D sono fatte scegliendo la temperatura che massimizza l'effetto di galleggiamento in direzione opposta alla ventilazione meccanica.

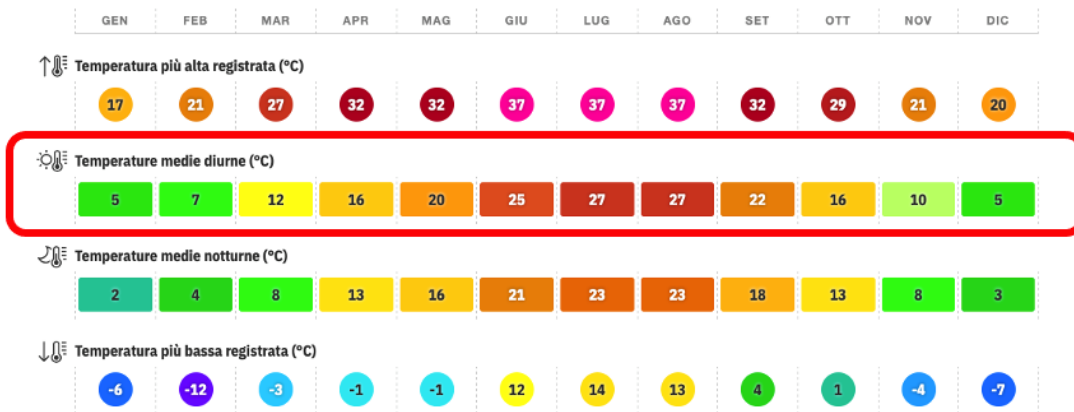


Figura 7: Statistica di temperatura

### VENTO INCIDENTE AI PORTALI

Le statistiche relative al vento riportano valori medi del vento fino a 4 m/s<sup>6</sup>. Conservativamente si assume che la pressione esercitata ai portali corrisponda a tutta l'energia cinetica del vento [4]. Il valore di pressione relativo ad una velocità pari a 4m/s corrisponde a 10Pa. Questo valore è applicato in tutte le simulazioni sul portale di uscita.

$$\Delta P_a^{\text{aero}} = \frac{1}{2} \rho_0 V_{//}^2$$

<sup>5</sup> <https://www.windfinder.com/windstatistics/milano-linate>

<sup>6</sup> <https://www.windfinder.com/windstatistics/milano-linate>

## Distribuzione mensile della direzione e della forza del vento

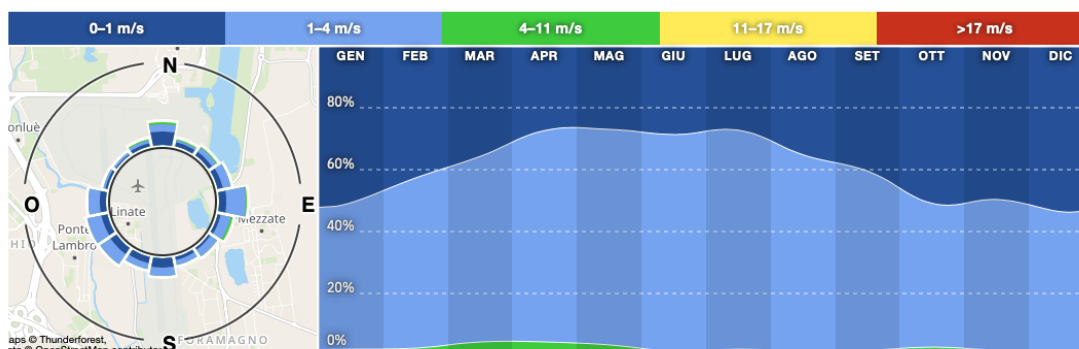


Figura 8: Statistica velocità del vento

## SALTO BAROMETRICO AI PORTALI

La galleria non attraversa catene montuose, pertanto non si ritiene realistico ipotizzare condizioni barometriche diverse tra i portali.

### 10.6 Periodo Di Osservazione

Il periodo di osservazione è fissato come il tempo necessario al raggiungimento:

- di condizioni stazionarie di velocità dell'aria nel tunnel;
- valore di picco dell'HRR.

Nel caso non si raggiungano condizioni stazionarie si osservano i risultati in corrispondenza del valore minimo di portata in un periodo di 2 ore dopo l'innesco.

## 11. Analisi Quantitativa: Scenari Analizzati

### 11.1 Funzionamento Ordinario

Gli scenari di funzionamento ordinario (Tabella 15) sono analizzati per tutte le velocità di percorrenza

dei veicoli, con intervalli di 10km/h fino al limite di 80 km/h. Si analizzano gli scenari per la direzione OVEST in salita perché, a parità di velocità di percorrenza, i veicoli emettono una quantità maggiore di sostanze inquinanti in salita rispetto ai tratti in discesa.

Tabella 15: scenari di analisi (funzionamento ordinario)

Fornice analizzato	Condizioni di traffico	Metodologia di analisi	Obiettivo della simulazione
Direzione OVEST	Traffico fermo Traffico congestionato: 10 ÷ 30 km/h	Metodo PIARC + Simulazioni 1D	Determinare la portata minima.

Fornice analizzato	Condizioni di traffico	Metodologia di analisi	Obiettivo della simulazione
Salita	Traffico fluido: 40 ÷ 80 km/h		Determinare la configurazione di ventilazione per ottenere la portata minima

## 11.2 Emergenza Incendio

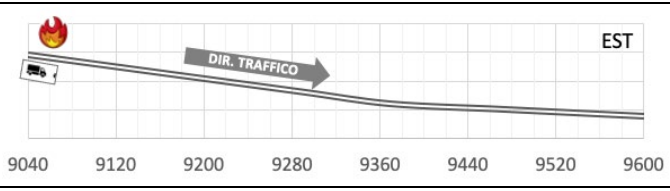
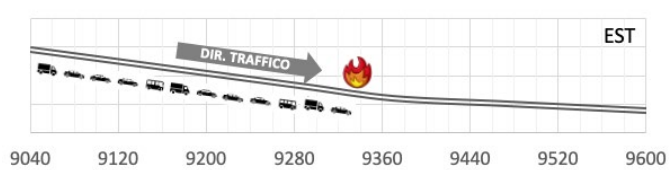
Gli scenari di incendio sono scelti in modo da essere rappresentativi delle condizioni più sfavorevoli per il sistema di ventilazione. Al variare della posizione dell'incendio varia:

- l'effetto camino dei fumi:
  - aiuta la ventilazione se i fumi sono spinti verso la parte alta del tunnel;
  - contrasta la ventilazione se i fumi sono spinti verso la parte bassa;
- la lunghezza della coda dei veicoli a monte dell'incendio e la proporzionale resistenza fluidodinamica che ne deriva che contrasta sempre l'effetto della ventilazione;

La combinazione di questi due effetti influenza il numero necessario di jet-fans necessari perché si raggiunga la velocità critica a monte dell'incendio.

I due fattori non sono direttamente proporzionali tra loro e per questo sono analizzate delle posizioni rappresentative di incendio lungo tutto il tunnel in modo da valutarne l'effetto combinato (Tabella 16).

Tabella 16: Scenari traffico fluido. Simulazioni 1D

Traffico Curva HRR Metodologia Obiettivo		Fluido 30MW Simulazione 1D Velocità critica
Scenario	Fornice	Posizione innesco
EST_1	fornice in direzione EST (in discesa)	
EST_2		



Traffico Curva HRR Metodologia Obiettivo		<i>Fluido</i> <i>30MW</i> <i>Simulazione 1D</i> <i>Velocità critica</i>
EST_3		
OVEST_1	fornice in direzione OVEST (in salita)	
OVEST_2		
OVEST_3		

## 12. Presentazione Dei Risultati

I risultati delle simulazioni 1D in funzionamento ordinario sono forniti sotto forma di tabelle che riportano:

- il valore minimo di portata da garantire per ciascun inquinante;
- la configurazione di jet-fans attivi che realizzano la portata minima.

I risultati delle simulazioni 1D in emergenza incendio sono forniti sotto forma di:

- numero minimo di jet-fans attivi per raggiungere la velocità critica;
- schema della configurazione utilizzata per valutare lo scenario.

## 13. Risultati

### 13.1 Funzionamento Ordinario

Di seguito le portate necessarie a diluire gli inquinanti.

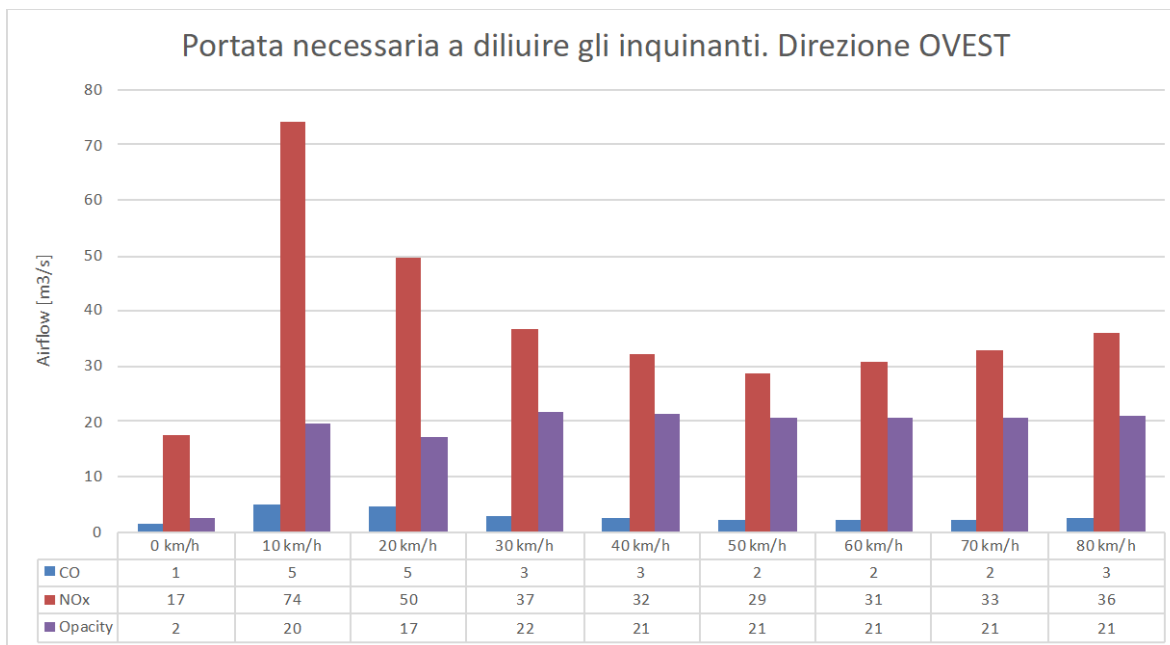


Figura 9: Portate necessarie a diluire gli inquinanti. Direzione OVEST

Tabella 17: Ventilazione richiesta in funzionamento ordinario

Regime di traffico	Velocità km/h	Portata minima necessaria a diluire gli inquinanti [m³/s]	Ventilazione attiva necessaria a realizzare la portata minima
		Direzione OVEST (salita)	
Congestionato	0 Traffico fermo	17	2x2 jet-fans
	10	74	1x2 jet-fans
	20	50	L'effetto pistone è sufficiente a realizzare la portata d'aria minima richiesta
30	37		
Fluidico	40	32	
	50	29	
	60	31	
	70	33	
	80	36	

## 13.2 Emergenza Incendio

Tabella 18: velocità critica

Direzione	Sezione [m <sup>2</sup> ]	Pendenza	NFPA 502:2017
EST	113	-2.59 %	2,6 m/s
	136	-2.59 %	2,5 m/s
	136 / 144	-0.93 %	2.4 m/s
	191	-0.93 %	2,2 m/s
OVEST	113	2.59 %	2,4 m/s
	136	0.93 % ÷ 2.59 %	2,3 m/s

Di seguito le configurazioni individuate che consentono di raggiungere la velocità critica a monte dell'incendio.

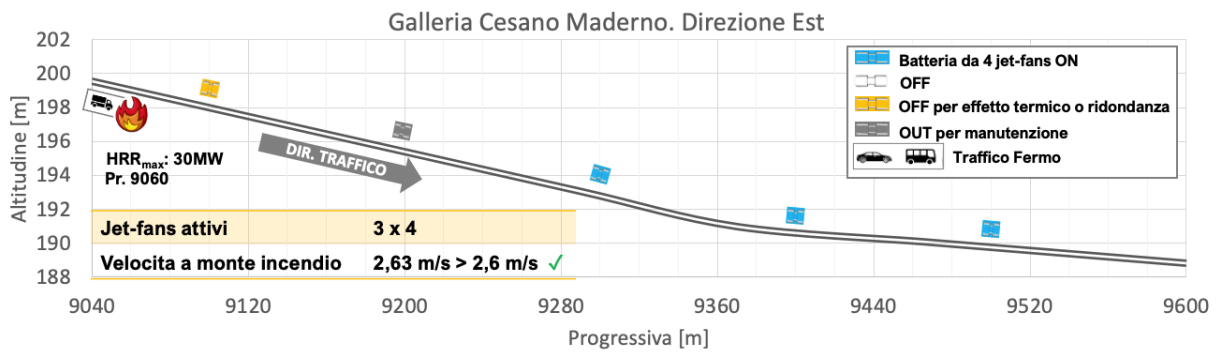


Figura 10: Scenario EST\_1

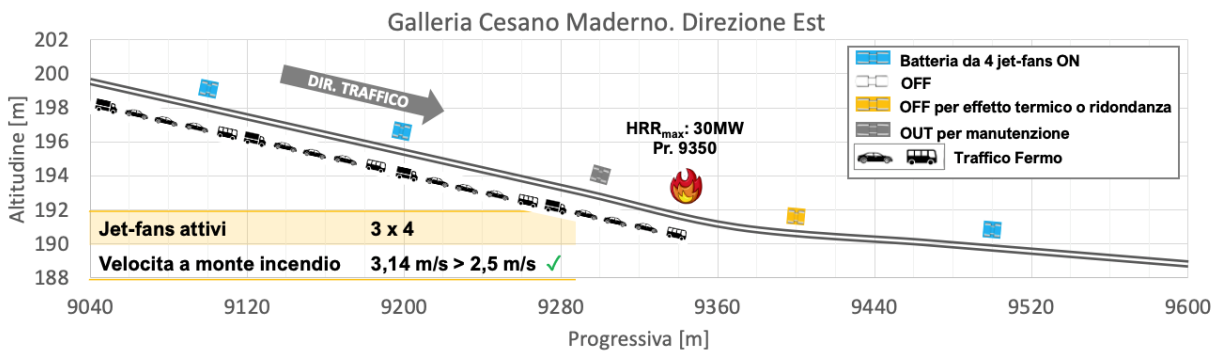


Figura 11: Scenario EST\_2

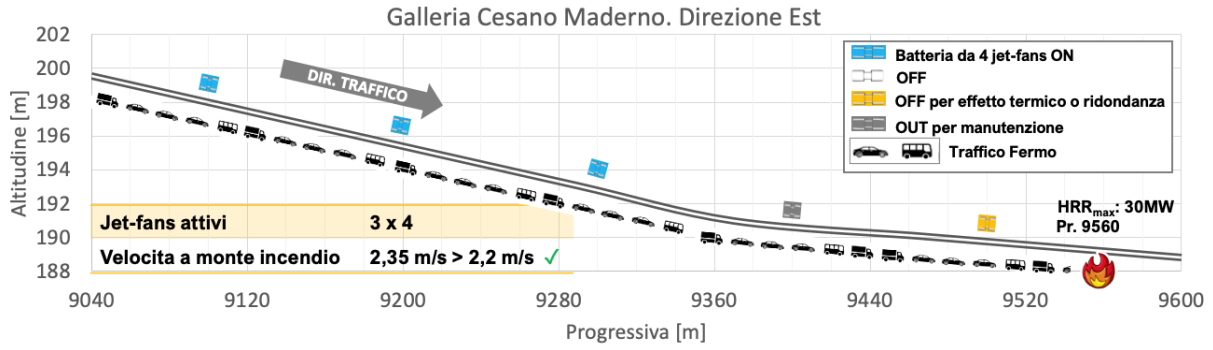


Figura 12: Scenario EST\_3

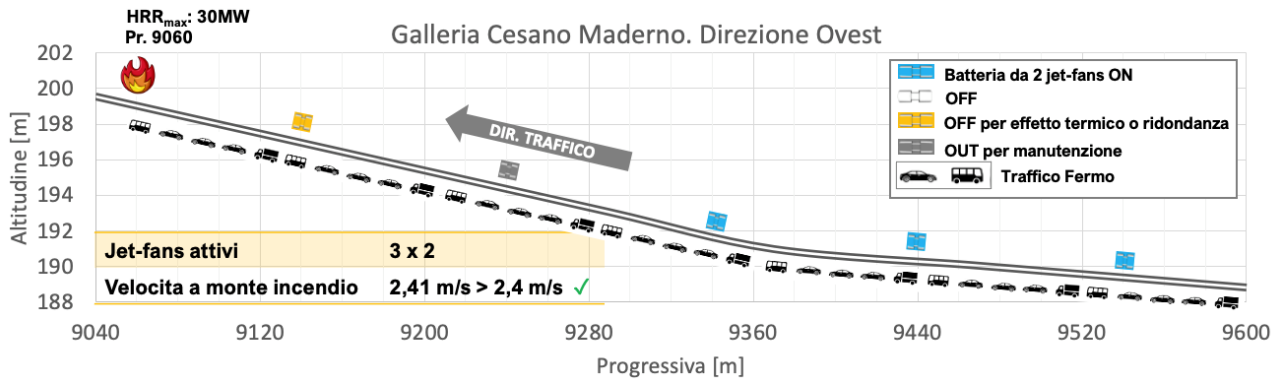


Figura 13: Scenario OVEST\_1

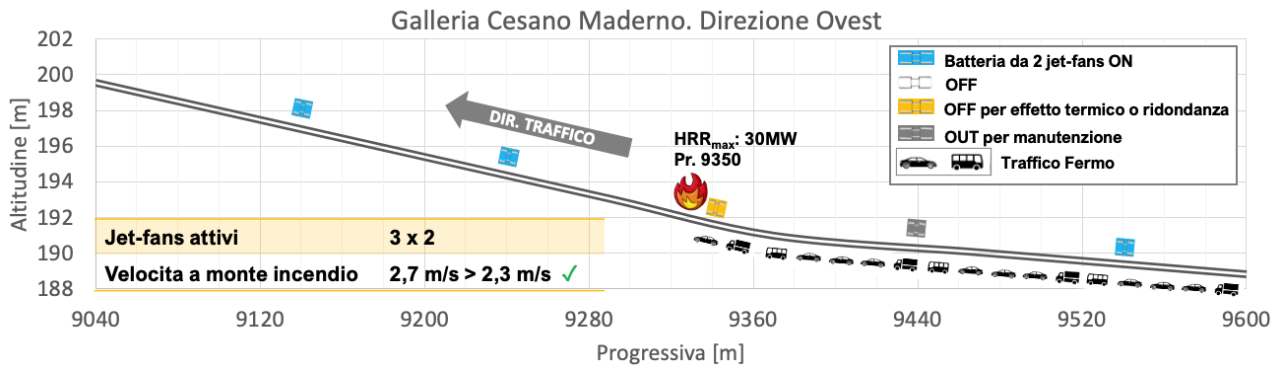


Figura 14: Scenario OVEST\_2

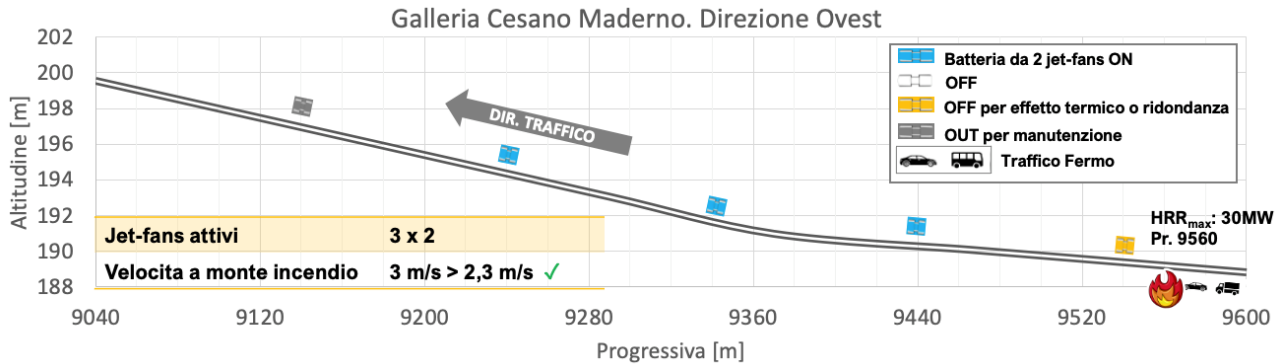


Figura 15: Scenario OVEST\_2

## 14. Criteri Di Funzionamento Dell'impianto Di Ventilazione

### 14.1 Generalità

L'alimentazione elettrica dell'impianto di ventilazione di galleria viene derivata dai quadri elettrici generali di ventilazione di cabina ovvero:

- QGVE\_EST per la canna direzione EST con comando dei ventilatori di seguito riportati
- QGVE\_OVEST per la canna direzione OVEST con comando dei ventilatori di seguito riportati

I due quadri sono distinti e ciascuno viene alimentato dal quadro generale QGBT di cabina, sezione privilegiata. Di conseguenza tutta la ventilazione di galleria è sottesa alla rete supportata da GE, come richiesto dalla norma CEI 64-20 "Impianti elettrici nelle gallerie stradali", in quanto potrà essere utilizzata per la gestione degli eventuali incendi all'interno di ogni canna di galleria.

### 14.2 Funzionamento ordinario – presenza rete ordinaria

In condizioni di funzionamento ordinario (nessuna emergenza in galleria) e con regolare presenza della rete elettrica ordinaria, viene previsto il funzionamento dei soli ventilatori necessari ai fini della ventilazione "sanitaria" di galleria.

Il sistema di supervisione provvede ad avviare le coppie di ventilatori strettamente necessarie a tale operazione, secondo un ciclo di funzionamento impostato che permette di far lavorare a turno tutti i ventilatori per lo stesso periodo di tempo.

In tali condizioni l'alimentazione elettrica viene garantita dalla rete "normale", allacciata al trasformatore attivo (TR1 o TR2) di cabina.

### 14.3 Funzionamento ordinario – assenza rete ordinaria

In condizioni di funzionamento ordinario (nessuna emergenza in galleria) ma con assenza della rete elettrica ordinaria, viene previsto il funzionamento dei soli ventilatori necessari ai fini della ventilazione "sanitaria" di

galleria.

Il sistema di supervisione, oltre a segnalare la mancanza della rete normale, provvede ad avviare le coppie di ventilatori strettamente necessarie a tale operazione, secondo un ciclo di funzionamento impostato che permette di far lavorare a turno tutti i ventilatori per lo stesso periodo di tempo.

In tali condizioni l'alimentazione elettrica viene garantita dalla rete "privilegiata", allacciata al gruppo elettrogeno GE di cabina (con un'autonomia a pieno carico di almeno 24 ore).

Al ripristino delle condizioni ordinarie, ritorno della rete elettrica ordinaria, il sistema di supervisione provvede all'arresto del GE e alla commutazione del carico sulla rete ordinaria.

#### **14.4 Funzionamento in emergenza – presenza rete ordinaria**

In condizioni di funzionamento di emergenza (incendio in una canna di galleria o altra situazione di pericolo) e con regolare presenza della rete elettrica ordinaria, il sistema di supervisione gestisce il funzionamento di un numero di ventilatori variabile in funzione delle condizioni rilevate all'interno del fornice; tale evento può portare al funzionamento simultaneo di tutti i ventilatori presenti nella canna interessata dall'emergenza. Al fine di evitare il sovraccarico elettrico dei trasformatori l'avviamento dei ventilatori avverrà per step successivi.

In tali condizioni l'alimentazione elettrica viene garantita dalla rete "normale", allacciata al trasformatore attivo (TR1 o TR2) di cabina.

#### **14.5 Funzionamento in emergenza – assenza rete ordinaria**

In condizioni di funzionamento di emergenza (incendio in una canna di galleria o altra situazione di pericolo) ma con assenza della rete elettrica ordinaria il sistema di supervisione, oltre a segnalare la mancanza della rete normale, gestisce il funzionamento di un numero di ventilatori variabile in funzione delle condizioni rilevate all'interno del fornice; tale evento può portare al funzionamento simultaneo di tutti i ventilatori presenti nella canna interessata dall'emergenza. Al fine di evitare il sovraccarico elettrico del GE l'avviamento dei ventilatori avverrà per step successivi.

In tali condizioni l'alimentazione elettrica viene garantita dalla rete "privilegiata", allacciata al gruppo elettrogeno GE di cabina (con un'autonomia a pieno carico di almeno 24 ore).

Poiché il gruppo è dimensionato sulla potenza complessiva dei ventilatori, sarà in grado di garantire il funzionamento al 100% degli stessi.

Al ripristino delle condizioni ordinarie, ritorno della rete elettrica ordinaria, il sistema di supervisione provvede all'arresto del GE e alla commutazione del carico sulla rete ordinaria.

N.B: la condizione di emergenza contemporanea in entrambe le canne di galleria è una situazione alquanto improbabile. In ogni caso la rete di alimentazione in emergenza è dimensionata per poter sopperire a tale situazione, garantendo l'autonomia dell'alimentazione elettrica non inferiore a 24 ore.

## 15. Conclusioni

Tabella 19: caratteristiche jetfans

Parametro	Valore
Diametro interno	1m
Spinta nominale	900N
Coefficiente di installazione	0,80
N° jet-fans batteria	4 direzione EST 2 direzione OVEST

Tabella 20: Numero di jet-fans (DESIGN)

Fornice	Numero minimo di jetfans attivi	Jetfans necessari compresa ridondanza
Direzione EST	3 x 4	5 x 4
Direzione OVEST	3 x 2	5 x 2

Il sistema di ventilazione risultante è in grado di realizzare gli obiettivi di sicurezza sia in funzionamento ordinario che in emergenza. Il numero di jet-fans necessari è riportato in Tabella 20.

- Canna direzione EST: 5 batterie da 4 jet-fans
- Canna direzione OVEST: 5 batterie da 2 jet-fans

Il sistema richiede l'attivazione di un certo numero di jet-fans in regime di funzionamento normale solo in condizioni di traffico congestionato (10km/h o traffico fermo) (vedi Tabella 17).

*Il dimensionamento del sistema di ventilazione è stato sviluppato verificando le condizioni peggiori al fine del raggiungimento della velocità critica, anche in termini di indisponibilità di jet-fans.*