

S.S. "Tosco Romagnola"
Lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la
Località S.Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di
Dicomano
Variante di Rufina (FI) – LOTTI 2A e 2B

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI462

PROGETTAZIONE:
REGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:

MANDANTI



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.



sinergo



**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:**

*ing. Riccardo Formichi- soc. Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri provincia di Milano n. 18045*

IL GEOLOGO:

*geol. Massimo Mezzanzanica- soc. Pro Iter Srl
Ordine Geologi della Lombardia n. 762*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

*ing. Massimo Mangini- soc. Erre Vi A Srl
Ordine Ingegneri provincia di Varese n. 1502*

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesco Pisani

PROTOCOLLO:

DATA:

ASSE PRINCIPALE
IMPIANTI MECCANICI IN GALLERIA
IMPIANTI MECCANICI IN GALLERIA: VENTILAZIONE
Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA
PROGETTO ACNO00113		P01-IM21-IMP-RE01A.DOCX				
LIV.PROG D 20		CODICE ELAB. P01 IM21 IMP RE01			A	-
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		Ott 23	TUROLLA	LAURENTI	FORMICHI
REV	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI   		REV. A	FOGLIO 2 di 21
					Data Ott '23	

INDICE

1	PREMESSA AL CALCOLO	3
2	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	4
2.1	SCOPO	4
2.2	VENTILAZIONE SANITARIA.....	5
2.3	IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE IN CASO D'INCENDIO	12
2.4	RISULTATI.....	17
3	IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE FILTRI	18
3.1	FILTRO A PORTE CHIUSE	19
3.2	FILTRO A PORTE APERTE.....	20
3.3	CONCLUSIONI	21

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 3 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

1 PREMESSA AL CALCOLO

Il presente elaborato ha lo scopo di illustrare le modalità con cui sono stati effettuati i calcoli per il dimensionamento della e ventilazione in galleria.

Eventuali marche e/o modelli utilizzati sono stati impiegati per il solo fine di effettuare i dimensionamenti e non sono vincolanti per la fornitura di apparecchiature e materiali.

Per i dimensionamenti sono stati impiegati software per la progettazione computerizzata, tali software in alcuni casi risultano essere forniti dal costruttore delle apparecchiature utilizzate in altri casi risultano essere software proprietari della società di progettazione.

Tutti i software utilizzati sono stati comunque sottoposti ad una certificazione interna alla società di progettazione effettuata con verifiche dell'esatta corrispondenza dei calcoli effettuate col primo utilizzo di tali software e successivamente verificando periodicamente tale attendibilità.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	4 di 21
			Data Ott '23	

2 IMPIANTO DI VENTILAZIONE

La presente relazione illustra i criteri adottati per il dimensionamento del nuovo impianto di ventilazione della galleria nell'ambito dei lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la località S. Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di Dicomano, Variante di Rufina (FI).

Ai fini normativi l'ambiente di galleria è considerata "luogo a maggiore rischio in caso di incendio" e con il D.P.R. n. 151/2011 è inserito nelle attività soggette alle visite ed ai controlli di prevenzione incendi al "n. 80 Gallerie Stradali di lunghezza superiore a 500m e ferroviarie superiori a 2000m".

2.1 SCOPO

La ventilazione forzata è prevista per tutte le canne di galleria di lunghezza superiore a 1000m, tuttavia per la Galleria 1 avente lunghezza pari a circa 960 è prevista un sistema di ventilazione forzata di tipo "longitudinale", adeguato in termini di potenzialità e di prestazione per sopperire a:

- Condizioni ordinarie di esercizio che richiedono un rinnovo dell'atmosfera di galleria attraverso la ventilazione naturale integrata dalla ventilazione meccanica (ventilazione sanitaria) in presenza di:
 - Regime di traffico regolare unidirezionale;
 - Condizioni metereologiche avverse sui portali con direzione di vento in opposizione al senso di marcia;
 - Condizioni transitorie che comportano rallentamenti e conseguentemente ad una maggiore densità di mezzi in galleria;
- Condizione di emergenza causata dal verificarsi di un incidente con aggravio dello sviluppo di fiamme libere e di fumo;

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	5 di 21
			Data Ott '23	

2.2 VENTILAZIONE SANITARIA

2.2.1 Generalità

L'impianto di ventilazione sanitaria della galleria viene dimensionato per diluire, nella peggiore condizione di traffico stimata, le concentrazioni di inquinanti che possano creare pericolo per le persone o ridurre in misura eccessiva la visibilità. Il dimensionamento dell'impianto, anche tenuto conto di quanto indicato nelle linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente, emesse dall'ANAS nell'ottobre 2009, all'art. 3.4.2.2.1 e cioè che "Il livello massimo degli inquinanti deve essere conforme alle indicazioni riportate nelle guide PIARC (World Road Association) vigenti al momento della progettazione dell'impianto di ventilazione", è stato eseguito con riferimento alle raccomandazioni PIARC del 2019.

2.2.2 Dati e ipotesi di calcolo

Dati della galleria

Tipo galleria	Bidirezionale
Lunghezza [m]	960
Corsie	2
Pendenza	-0.9 %
Area [m ²]	~82 m ²
Diametro id. [m]	~9 m

Dati e condizioni di traffico ipotizzate

Per definire la portata di inquinanti emessa in galleria dalla totalità dei veicoli, è necessario prevedere le diverse condizioni di traffico che attraversano il fornice, in quanto la portata di inquinanti dipende da:

- velocità di percorrenza;
- il numero di veicoli in galleria;
- composizione del traffico (VL, VP, % diesel, % benzina, massa VP).

Non essendo disponibili dati rilevati di traffico puntuali e specifici per la suddetta galleria, è stato ipotizzato un TGM di 5500 veicoli, con traffico fluido.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. A	FOGLIO 6 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	Data Ott '23		

Valori limite di concentrazione degli inquinanti

I valori limite per la concentrazione di monossido di carbonio e per il valore del coefficiente di estinzione ottica adottati sono stati ricavati dalle raccomandazioni fornite dal PIARC 2019; i valori limite per la concentrazione di ossidi di azoto sono stati ricavati a partire dalla dose di biossido di azoto calcolata sulla base dei limiti proposti dal WHO e dei valori di qualità dell'aria fissati dalla normativa italiana sull'inquinamento atmosferico.

Valori limite di concentrazione degli inquinanti				
Condizioni di traffico	Velocità Traffico	CO [ppm]	Opacità: coefficiente di estinzione [m ⁻¹]	NO2
Traffico Fluido	60km/h	70	0.005	25 ppm
Traffico cong.	10km/h	70	0.007	Dose equivalente a 200 g/ m ³ per 1 ora
Traffico bloccato	0km/h	90	0.009	1 ppm

2.2.3 Dimensionamento dell'impianto di ventilazione sanitaria

Le portate di inquinanti emesse dai veicoli (CO e Particolato), sono calcolate in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, secondo le tabelle riportate nel documento del PIARC 2019; l'applicazione di questi dati, in virtù della progressiva applicazione delle nuove norme CEE, che prevedono una costante riduzione dei valori limite delle emissioni dei veicoli, rende la scelta estremamente cautelativa nel confronto dei risultati ottenuti.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 7 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per CO

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire il CO, si è usata la seguente formula:

$$V_{CO} = \frac{q_{CO(v,i)} * f_h * f_a}{3600} * n_{veh} * \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} * L$$

Dove:

- V_{CO} è la portata di aria fresca per diluire il CO [m^3/s];
- $q_{CO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo [$m^3/(h \text{ veicolo})$], in funzione della velocità v e della pendenza i ;
- f_h è il coefficiente di altitudine;
- f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche;
- n_{veh} è il numero di veicoli in galleria [veh/km];
- CO_{lim} è la concentrazione ammissibile di CO [ppm];
- CO_{amb} è la concentrazione ambiente di CO;
- L è la lunghezza della galleria [km].

Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per gli Nox

$$V_{NO} = \frac{q_{NO(v,i)} * f_h * f_a}{3600} * n_{veh} * \frac{10^6}{CO_{lim}} * L$$

Dove:

- V_{NO} è la portata di aria fresca per diluire il NO [m^3/s];
- $q_{NO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo [$m^3/(h \text{ veicolo})$], in funzione della velocità v e della pendenza i ;
- f_h è il coefficiente di altitudine;

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 8 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

- f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche;
- n_{veh} è il numero di veicoli in galleria [veh/km];
- CO_{lim} è la concentrazione ammissibile di NO [ppm];
- L è la lunghezza della galleria [km].

Determinazione della quantità d'aria di rinnovo per i fumi

$$V_F = \frac{q_{F(v,i)} * f_h * f_m * q_{ne}(v)}{3600} * n_{veh} * \frac{L}{K_{lim}}$$

Dove:

- V_F è la portata di aria fresca per diluire i fumi [m³/s];
- $q_{F(v,i)}$ è l'emissione base di fumi [m²/(h t)], in funzione della velocità v e della pendenza i;
- f_h è il coefficiente di altitudine;
- f_m è il coefficiente di massa;
- $q_{ne}(v)$ è il fattore di emissione di particolato non originato dallo scappamento [m²/h];
- n_{veh} è il numero di veicoli in galleria [veh/km];
- K_{lim} è il coefficiente di estinzione fumi [m⁻¹];
- L è la lunghezza della galleria [km].

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	9 di 21
			Data Ott '23	

Risultati

Introducendo gli opportuni valori all'interno delle formule succitate si ha che per controllare le concentrazioni d'inquinanti emesse dai veicoli presenti in galleria è necessario immettere le seguenti portate d'aria. Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione si prende quindi in considerazione la portata d'aria maggiore tra quelle elaborate con le formule sopradescritte.

	Fluido	Congest.	Bloccato
V_{CO} [m ³ /s]	0,56	3,54	2,06
V_{NO} [m ³ /s]	N/A	N/A	N/A
V_F [m ³ /s]	2,45	8,39	2,81

Si raccomanda che il sistema di ventilazione sia in grado di garantire almeno quattro ricambi orari d'aria nel volume della galleria. In questo caso la portata d'aria risultante è:

	Quattro Volumi ora
Portata d'aria [m ³ /s]	8,39
Velocità aria [m/s]	0,10

Il valore più vincolante sarà quello considerato per il dimensionamento degli acceleratori. Nel caso in esame risultano essere i 4 volumi ora.

2.2.4 Perdite di carico

Per indurre a trasportare lungo la galleria la portata d'aria fresca determinata, occorre vincere le perdite di carico generate dall'attrito della galleria, dall'effetto pistone degli autoveicoli (positivo e negativo) e dall'effetto meteorologico.

2.2.5 Resistenza della galleria

Per calcolare la resistenza della galleria si è usata la seguente formula:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda * \frac{L}{D_h} \right) * \frac{\rho * V_g^2}{2}$$

Dove:

- R_g è la resistenza della galleria [Pa];
- α è il coefficiente di perdita all'entrata;

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	10 di 21
			Data Ott '23	

- β è il coefficiente di perdita all'uscita;
- λ è il coefficiente d'attrito delle pareti della galleria;
- L è la lunghezza della galleria [m];
- D_h è il diametro idraulico [m];
- ρ è la massa volumica [kg/m³];
- V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s].

2.2.6 Effetto pistone

L'effetto pistone può essere una resistenza negativa o positiva, in funzione della concordanza o meno tra la direzione del flusso veicolare e quello dell'aria in galleria, oppure se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria in galleria.

Quanto sopra può essere espresso mediante la seguente formula:

$$R_p = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_i * n_i * \frac{(C_x * \Omega)_i}{A_t} * \frac{\delta * (V_i * \mu * V_g)^2}{2}$$

Dove:

- R_p è la resistenza per effetto pistone [Pa];
- $i = 1$ sono valori riferiti ad autoveicoli leggeri (benzina e diesel);
- $i = 2$ sono valori riferiti ad autoveicoli pesanti (autocarri);
- ε_i è un coefficiente pari +1 o -1 in funzione alla direzione del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione) oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$;
- n_i è il numero dei veicoli presenti in galleria;
- $(C_x * \Omega)_i$ è l'area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione) [m²];
- A_t è l'area del tunnel [m²];
- δ è la densità dell'aria [m³/kg];
- $\mu=+1$ per veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione;
- $\mu=-1$ per veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione;
- V_i è la velocità dei veicoli [m/s];

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	11 di 21
			Data Ott '23	

- V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s];

2.2.7 Effetto meteorologico

L'effetto meteorologico è la contropressione naturale che si instaura tra i due imbocchi e che si oppone alla spinta dei ventilatori

Si stima un effetto meteorologico pari ad un vento in direzione contraria a quella della ventilazione di velocità pari a 3 m/s. Per cui si ha $R_m = 13.8 Pa$ di effetto negativo sulla ventilazione.

2.2.8 Resistenza totale

$$R_t = R_g - R_p + R_m$$

Per cui si ha $R_t = 47.3 Pa$

A cui corrisponde una forza totale di $F_t = 3880,7 N$

Prima di proseguire nel calcolo si ipotizza di poter usare un ventilatore con una spinta unitaria di 926 N in aria ferma che garantirà il miglior coefficiente di installazione possibile.

Ipotizzando l'installazione a coppie dei ventilatori, il loro numero risulta essere:

$$n_v = F_t / 929 = 4,19$$

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 12 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

2.3 IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE IN CASO D'INCENDIO

2.3.1 Ipotesi d'incendio

S'ipotizza che possa prendere fuoco un camion o comunque un mezzo pesante (condizione più sfavorevole). Dagli atti del PIARC, si evince che la velocità minima dell'aria da tenere in galleria per controllare i fumi è di 2–3 m/s. La ventilazione ha lo scopo di mantenere la zona di galleria prima dell'incendio libera dai fumi.

Si è utilizzata la metodologia di calcolo suggerita dal PIARC nel 2019.

Considerazioni sull'influenza del posizionamento dell'incendio

La posizione dell'incendio ha influenza sullo studio della ventilazione e pertanto si effettua il calcolo considerando diversi scenari. Infatti si ha che:

- se l'incendio è situato vicino al portale d'ingresso l'influenza del traffico sarà minima;
- se l'incendio è situato vicino al portale d'uscita non si avrà quasi influenza sulle condizioni a valle dell'incendio.
- l'effetto camino sarà positivo nel caso di tunnel a pendenza positiva e negativo nel caso di pendenza negativa.
- per tunnel corti l'effetto meteorologico sarà importante mentre per tunnel lunghi sarà più determinante l'attrito delle pareti.

L'incendio inoltre ha influenza diretta sull'efficienza degli acceleratori e sulle perdite di carico nel tunnel per via delle alte temperature raggiunte. In particolare:

- la spinta degli acceleratori diminuisce all'aumentare della temperatura;
- nel caso in cui la temperatura sviluppata dall'incendio sia ben oltre quella massima sostenibile dai ventilatori questi potrebbero non funzionare;
- il fumo in uscita dal tunnel avrà una velocità maggiore rispetto all'aria fresca in ingresso e le perdite di carico associate saranno più elevate.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 13 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

2.3.2 Dati iniziali

- Potenza Termica Incendio : 30MW
- Installazione degli acceleratori : a coppie
- Distanza dal portale d'ingresso del primo gruppo di acceleratori : 100 m
- Distanza tra gruppi successivi di acceleratori : 100 m
- Spinta in aria ferma degli acceleratori : 929 N

2.3.3 Temperatura media aria/fumo

La temperatura media dell'aria/fumo nella sezione trasversale immediatamente a valle dell'incendio può essere determinata con la seguente equazione:

$$T_f = \frac{\frac{2}{3}Q}{\rho_0 * c_p * A_t * u_0^*} + T_0 \quad [K]$$

Dove:

- Q è la potenza termica dell'incendio 30 MW W
- ρ_0 è la massa volumica dell'aria kg/m³
- c_p è il calore specifico dell'aria J/kg per K
- T_0 è la temperatura aria ingresso K
- u_0^* è la velocità dell'aria nel tunnel (oppure la velocità dei fumi) m/s

Introducendo i dati avremo:

	Galleria 1
T_f	391K/118°C

A valle dell'incendio la temperatura diminuirà per via degli scambi termici (per convezione e radiazione) con le pareti del tunnel.

Per analizzare l'andamento delle temperature a valle dell'incendio si sono utilizzati i flussi di scambio termico convettivo e radiativo Φ_c e Φ_{rad} espressi all'interno del manuale PIARC 2019.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	14 di 21
			Data Ott '23	

2.3.4 Effetto della temperatura sulle perdite di carico

Le perdite di carico della galleria dipendono linearmente con la velocità di transito dell'aria (fumi) e quindi dalla temperatura. Infatti la pressione dinamica dell'aria è pari a:

$$\frac{1}{2} * \rho * u^2 = \frac{1}{2} * \frac{M^*}{A_t} * u \quad \text{con } M^* = \rho * u * A_t$$

Si considera costante la portata massica M in condizioni di calcolo statico.

2.3.5 Resistenza della galleria

Per calcolare la resistenza della galleria si devono sommare le perdite di carico risultanti dalla seguente formula:

$$\Delta P_g = \left(\lambda * \frac{l}{D_h} \right) * \frac{\rho_0 * u_0^2}{2} * \frac{T}{T_0}$$

Dove:

- ΔP_g è la perdita di carico in un tratto l di galleria Pa
- λ è il coefficiente d'attrito 'corretto' delle pareti della galleria (-)
- l è il tratto di lunghezza l di galleria m
- D_h è il diametro idraulico m

2.3.6 Perdita di carico d'ingresso aria nel tunnel

Per calcolare la resistenza d'ingresso al tunnel si è utilizzata la seguente formula:

$$\Delta P_i = \alpha * \frac{\rho_0 * u_0^2}{2} \quad [Pa]$$

Dove:

- α è il coefficiente di perdita localizzata (-)

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. A	FOGLIO 15 di 21
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	Data Ott '23	

2.3.7 Perdita di carico d'uscita aria dal tunnel

Per calcolare la resistenza d'uscita dal tunnel si è utilizzata la seguente formula:

$$\Delta P_g = \frac{\rho_0 * u_0^2}{2} * \frac{T}{T_0} \quad [Pa]$$

2.3.8 Perdita di carico dovuto all'incendio

Il fuoco stesso, per via dei fenomeni di turbolenza e di accelerazione della miscela aria/fumo è fonte di resistenza per l'aria in transito. E' meglio utilizzare sistemi numerici per il calcolo di questa resistenza e studi effettuati hanno evidenziato valori compresi tra 20 Pa – 30 Pa per potenze pari a 30MW e tra 40 Pa-100 Pa per potenze pari a 200MW.

2.3.9 Effetto camino

L'effetto camino per un tratto di lunghezza l di galleria è pari a:

$$\Delta P_{e.c.} = -(\rho_0 - \rho) * g * d * l \quad [Pa]$$

Dove:

- g è l'accelerazione della gravità 9,81 m/s²
- d è la pendenza della galleria (+ se positiva; - se negativa)

2.3.10 Effetto meteorologico

In mancanza di dati ufficiali riguardanti la presenza di venti preponderanti si considera un ulteriore resistenza pari ad un vento contrario di velocità pari a 3m/s.

2.3.11 Perdita di carico dovuto ai veicoli

In caso d'incendio è verosimile che i veicoli a monte dell'incendio si blocchino mentre quelli a valle dell'incendio abbiano via libera per evacuare il tunnel in sicurezza. Il numero di veicoli bloccati è dato dalla somma dei veicoli presenti a monte dell'incendio al momento dell'evento e dei veicoli in ingresso al tunnel. Il numero totale dei veicoli dipende, comunque, dalla capienza del tunnel. E', inoltre, verosimile che i veicoli in ingresso vista la coda presente si fermino prima dell'ingresso del tunnel.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	16 di 21
			Data Ott '23	

La resistenza dei veicoli fermi può essere data dalla seguente relazione:

$$\Delta P_{veh} = n * \frac{(c_w * A)_{veh}}{A_t} * \frac{\rho_0 * u_0^2}{2} \quad [Pa]$$

Con n numero di veicoli fermi e $(c_w * A)_{veh}$ area resistente dei veicoli.

2.3.12 Effetto della temperatura sugli acceleratori

E' importante conoscere le condizioni operative dei vari gruppi di acceleratori installati nel tunnel così da poter determinare la spinta esercitata sull'aria in transito.

Gli acceleratori sono influenzati dalla temperatura in due modi:

- riducendosi la densità dell'aria elaborata si riduce in ugual misura la spinta esercitata;
- per via delle temperature raggiunte dall'incendio gli acceleratori a valle dell'incendio potrebbero rompersi.

In considerazione di quanto esposto, la spinta degli acceleratori in galleria può essere scritta come

$$F_j = k * F_0 * \frac{T_0}{T} * \left(1 - \frac{u_0 * \frac{T}{T_0}}{u_j} \right) \quad [N]$$

Dove:

- k è il coefficiente globale d'installazione pari a 0.86 per il ventilatore considerato
- F_0 è la spinta acceleratore in aria ferma
- u_j è la velocità d'uscita al ventilatore

2.3.13 Equazione di bilancio delle differenze di pressione

E' necessario che la pressione data dagli acceleratori sia uguale alle resistenze presenti in galleria così che si ottengano le condizioni fluidodinamiche volute:

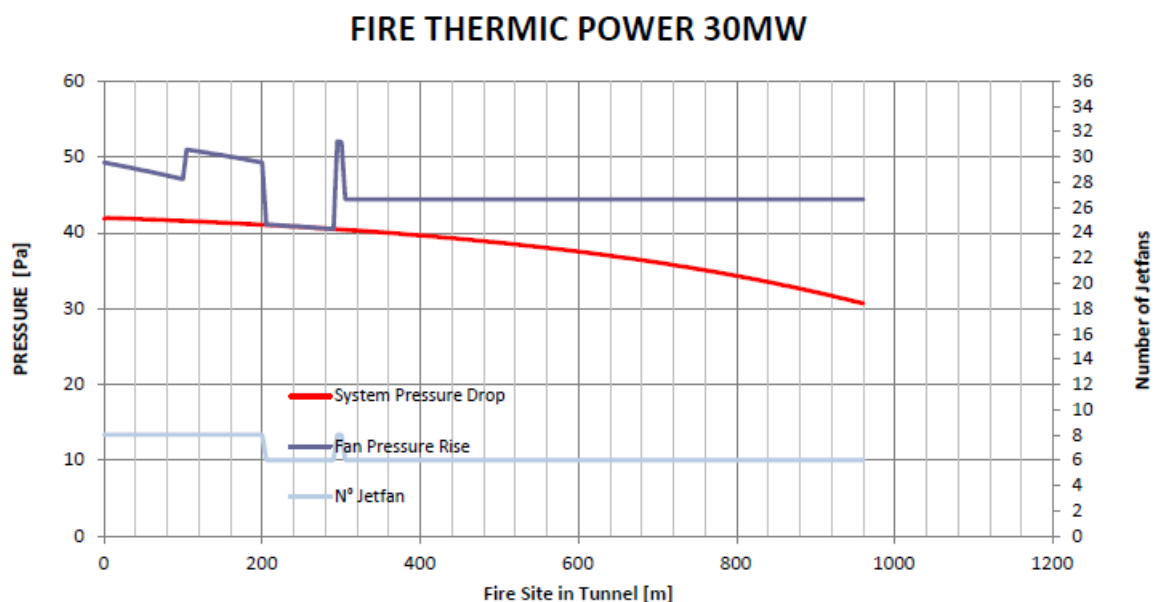
$$n_j * \Delta P_j = \Delta P_{veh} + \Delta P_{e.c.} + \Delta P_e + \Delta P_i + \Delta P_g + \Delta P_{meteo} + \Delta P_{incendio}$$

Questi i risultati:

Perdite ingresso	Perdite sbocco	Perdite incendio	Perdite distribuite	Effetto camino	Effetto veicoli bloccati	Effetto atmosferico	Totale resistenza
[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
1,69	2,98	11,10	8,20	10,31	1,27	5,40	40,95

2.4 RISULTATI

I grafici seguenti mostrano i valori di perdite di carico totali al variare del sito d'incendio all'interno della galleria, ed il numero di ventilatori necessari per vincere tali perdite.



Il numero di acceleratori necessari risulta essere pari a:

Scenario Incendio	Galleria
N° Ventilatori	8

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	18 di 21
			Data Ott '23	

3 IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE FILTRI

L'impianto di ventilazione nei filtri è dimensionato per mantenere la via di fuga libera dai fumi e garantire un livello accettabile della qualità dell'aria.

Il sistema di ventilazione dovrà mantenere in sovrappressione l'intero volume dei filtri con un differenziale di pressione positivo rispetto alla galleria interessata dalla presenza di fumi a causa di un incidente o altro evento, compreso tra 30 Pa ed 80 Pa e la forza applicata ai sistemi di apertura delle porte non deve essere superiore a 220 N.

L'impianto dovrà garantire una velocità minima del flusso d'aria nella direzione della canna incidentata pari a 2m/s.

Per il dimensionamento del sistema di pressurizzazione vengono considerati due scenari il primo dei quali considera i filtri con le porte tagliafuoco chiuse ed un secondo scenario con le porte tagliafuoco aperte, essendo queste ultime le uniche aperture verso cui l'aria all'interno dei filtri può essere spinta. Si è ipotizzato di mantenere una sovrappressione all'interno dei filtri pedonali pari a 50 Pa.

Il filtro è dotato di porte taglia fuoco, aventi luce netta 0,9m x 2,15m.

Grandezze dimensionali delle porte REI per transito pedonale

Numero porte REI 120	Altezza	Larghezza	Perimetro	Perimetro totale
	(m)	(m)	(m)	(m)
2	2,15	0,9	6,1	12,2

Valori tabellari

Denominazione		Valore
Superficie di fuga per metro lineare di perimetro di porta	S_f	0,0036 m ³ /m
Coefficiente di flusso del trafilamento porta	C_{FP}	0,675
Coefficiente di flusso attraverso la porta aperta	C_{PA}	0,470
Coefficiente di sicurezza generale	k	1,0
Δp da mantenere nel filtro a porte chiuse	Δp_p	50 Pa
Δp da mantenere nel filtro con una o più porte aperte	Δp_{PA}	11 Pa
Costante gravitazionale	g	9.81 m/s ²
Massa volumi dell'aria	ρ	1,068 kg/ m ³

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	A	19 di 21
			Data Ott '23	

Nella galleria sono presenti i seguenti filtri:

Denominazione	Tipo	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Altezza (m)
Filtro 1	Pedonale	15	4	3
Filtro 2	Pedonale	15	4	3
Filtro 3	Pedonale	15	4	3

3.1 FILTRO A PORTE CHIUSE

Calcolo della portata d'aria di mantenimento della sovra pressione interna di 50 Pa:

$$Q_p = 3600 * p_{tot} * S_f * C_{FP} * \sqrt{\frac{2 * g * \Delta P}{\rho}}$$

Dove:

- p_{tot} è il perimetro totale della porta [m]
- Q_p è la portata d'aria necessaria [m³/s]
- S_f è la superficie di fuga per metro lineare di perimetro porta [m²/m]
- C_{FP} è il coefficiente di flusso del trafilemento porta chiusa [-]
- g è la costante gravitazionale [m/s²]
- ΔP è la pressione da mantenere nel filtro (50 Pa = 5,1 mm c.a.) [mm.c.a.]
- ρ è la densità dell'aria [kg/m³]

Da cui:

$$Q_p = 3600 * 12.2 * 0.0036 * 0.675 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 5.1}{1.068}} = 1033 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Il valore calcolato si estende anche ai restanti filtri.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	20 di 21
			Data Ott '23	

3.2 FILTRO A PORTE APERTE

Calcolo della portata d'aria con un'anta aperta ed un valore di sovra pressione interna compatibile con una velocità dell'aria in attraversamento della luce della porta prossimo a 2 m/s:

$$Q_{PA} = 3600 * S_P * C_{PA} * \sqrt{\frac{2 * g * \Delta P}{\rho}}$$

Dove:

- Q_{PA} e la portata d'aria necessaria [m³/s]
- S_P è la superficie apertura porta [m²]
- C_{PA} è il coefficiente di flusso attraverso la porta aperta [-]
- g è la costante gravitazionale [m/s²]
- ΔP è la pressione da mantenere nel filtro con n°1 porta aperta = 10,86 Pa = 1,1 mm c.a. [mm.c.a.]
- ρ è la densità dell'aria [kg/m³]

Da cui:

$$Q_{PA} = 3600 * 1.94 * 0.47 * \sqrt{\frac{2 * 9.81 * 1.1}{1.068}} = 14756 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Il valore calcolato si estende anche ai restanti filtri.

CODIFICA DOCUMENTO P 01-IM 21-IMP-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VA D_VisionArchitecture	A	21 di 21
			Data Ott '23	

Inoltre ogni zona filtro in situazione di emergenza deve poter soddisfare la richiesta di aria di rinnovo pari a 20 m³/h per ogni persona presente, se ipotizziamo che tra una via di fuga e l'altra la distanza è pari a 250 metri, considerando che nella situazione peggiore la galleria sia completamente intasata ed il sito dell'incendio occupi una lunghezza di 400 metri, per un ingombro standard di 5 metri a veicolo su entrambi le direzioni, si hanno 160 autoveicoli presenti, nell'ipotesi di una media di 4 persone a veicolo, le persone presenti potrebbero arrivare a 640 e quindi la portata di aria di rinnovo richiesta arriverà a 12800 m³/h (20 m³/h a persona) come previsto al punto 3.3.2.2.4 delle linee guida Anas del 2009, quindi anche questa condizione risulta ampiamente soddisfatta

3.3 CONCLUSIONI

I ventilatori posizionati tra cunicolo di sicurezza e zona filtro avranno portata nominale pari a circa 15000 m³/h, con prevalenza utile di 50 Pa, e saranno di tipo EC (Electronic Controlled) dotati di sistema di controllo automatico della pressione, saranno dotati di un controller con 2 punti di lavoro tarabili: il primo punto sarà fissato per ottenere 50 Pa all'interno dell'area filtri, il secondo punto sarà tarato in modo da raggiungere 2 m/s sulla sezione delle porte, in caso di apertura delle stesse.

La commutazione tra i due punti di settaggio sarà comandata dai contatti presenti sulle porte poste alle estremità del filtro. I ventilatori dovranno lavorare sempre per mantenere la pressione minima richiesta nella zona filtro pari a 50 Pa.

Il ventilatore da installare dovrà avere i seguenti requisiti:

- Ventilatore a pale rovesce bidirezionale
- Portata nominale: 15000 m³/h
- Prevalenza minima : 30 Pa
- Prevalenza massima: 80 Pa.

Le portate elaborate verranno, poi, prelevate da un ventilatore posto a monte del cunicolo di emergenza.

Un pressostato differenziale, posto in tale zona, consente poi di modulare la potenza di tale ventilatore a seconda della differenza di pressione tra zona filtro e zona di uscita.

Project:- Galleria Rufina SS 67

Enquiry Date:- 26 September 2023

TUNNEL DATA	
Country	Italy
Design Year	2024
Length (m)	960
Cross Sectional Area (m ²)	82
Perimeter (m)	37
Hydraulic Diameter (m)	8,86
Wall Construction	Smooth
Altitude (m)	140
Average Temperature (°C)	20
Air density (kg/m ³)	1,2
Outside Wind Speed (m/s)	3
Tunnel Gradient (slope)	-0,9
Tunnel Location	Rural
No. of Lanes	2
Direction of Traffic Flow	Bi-directional

EMISSIONS DATA	Admissible	Background
CO (ppm)	70	0
NO2 (ppm)		0
Extinction Co-efficient (PM) - (K=10-3m-1)	9	0

OTHER ASSUMPTIONS MADE (based on PIARC 05.02 B 1994)	
Blockage effect cars	0,4
Blockage effect HGV's	1
Coefficient of resistance	0,35
Coefficient of resistance	0,8
Frontal Area of Cars (m ²)	2
Frontal Area of HGV's (m ²)	7
Car weight (tonnes)	1,1
HGV Weight(tonnes)	16
Density Carbon Monoxide (g/m ³)	1200
Density Nitrogen Dioxide (g/m ³)	1900

FLEET COMPOSITION	Cars (%)	LDV's (3.5t max) (%)	HGV's (%)
Petrol	30,0%	19,2%	-
Diesel	30,0%	0,8%	-
15t	-	-	0,0%
23t	-	-	20,0%
32t	-	-	0,0%
Total	60%	20%	20%
100%			

CALCULATION OF NUMBER OF VEHICLES IN TUNNEL

VEHICLE DATA			
No. of vehicles using tunnel	Fluid traffic	5500	Daily
	Congested traffic	0	
	Standstill	0	
Speed of free flowing traffic (km/h)	70		
Speed of HGV's (km/h)	70		

Convert from vehicles per day:-

As noted in PIARC 05.14B (2012), the hourly free flowing daily peak traffic volume is generally 10% of the daily average traffic volume, therefore 10% will be assumed.

	Daily	Hourly %	Hourly
Fluid traffic	5500	10%	550

Conversion of Fluid traffic and Congested traffic density per lane "D" is based on traffic speed "S", as follows:-

$$N_{veh} [veh/h] = D_{veh} [veh/km] \times S_{veh} [km/h]$$

	N _{veh}	S (km/h)	a	veh/km (lane)		
				D _{car}	D _{hgv}	D _{veh}
Fluid traffic	550	70	20%	4	0	4

Estimation of traffic density per lane "D" when traffic is congested or at a standstill is based on the average traffic space "TS" taken up by passenger cars and HGV's given by PIARC 05.14B (2012), traffic space is also dependent on tunnel location:-

$$\frac{1000[m]}{TS_{car} [m]} = D_{pcu} [pcu/km] = D_{veh} [veh/km] \times \left[\left(1 - \frac{a}{100}\right) + \frac{a}{100} (3) \right]$$

	TS _{car} (m)	D _{pcu}	a	veh/km (lane)		
				D _{car}	D _{hgv}	D _{veh}
Congested	16,67	60	20%	35	8	43
Standstill	6,67	150	20%	87	21	108

Number of vehicles in the tunnel:-

The number of vehicles in the tunnel is determined by the traffic density "D" per lane (veh/km) multiplied by the number of lanes "N" and the tunnel length "L":-

		Fluid traffic	Congested	Standstill
	L_{tun} (m)	960		
	N_{lane}	2		
Total - N_{veh}	D_{veh}	4	43	108
	N_{veh}	8	83	208
Cars / LDV's - N_{car} / N_{ldv}	D_{car}	4	35	87
	% Cars	75%		
	% LDV's	25%		
	% Petrol Car	50%	50%	50%
	% Diesel Car	50%	50%	50%
	% Petrol LDV	96%	96%	96%
	% Diesel LDV	4%	4%	4%
	N_{car} petrol	3	26	63
	N_{car} diesel	3	26	63
	N_{ldv} petrol	2	17	41
N_{ldv} diesel	1	1	2	
HGV's - N_{hgv}	D_{hgv}	0	8	21
	% 15t	0%	0%	0%
	% 23t	100%	100%	100%
	% 32t	0%	0%	0%
	N_{hgv} 15t	0	0	0
	N_{hgv} 23t	0	16	41
	N_{hgv} 32t	0	0	0

CALCULATION OF VEHICLE EMISSIONS

Based on the Country and/or fleet data (if necessary), the following Technology or Country tables from PIARC 05.14B (2012) have been used:-

	Table reference
Petrol Car	Technology Standard A
Diesel Car	Technology Standard A
Petrol LDV	Technology Standard A
Diesel LDV	Technology Standard A
Diesel HGV	Technology Standard A

From the above Technology or Country tables the following per vehicle emission values are found (PIARC Vehicle emissions and air demand for ventilation 2019R02) :-

	Speed	g/h		m ² /h	Factor (fm)
	km/h	CO	NO _x	Opacity	Mass
Petrol Car	70	17,90	2,70	0,25	-
	10	9,70	1,60	0,13	-
	0	5,40	0,20	0,00	-
Diesel Car	70	1,20	18,70	2,50	-
	10	1,10	10,30	1,30	-
	0	0,30	4,50	0,40	-
Petrol LDV	70	71,90	4,70	0,30	-
	10	41,70	2,70	0,10	-
	0	4,80	0,40	0,00	-
Diesel LDV	70	1,80	16,60	4,60	-
	10	1,20	7,30	2,20	-
	0	0,40	3,80	0,60	-
HGV 15T	70	20,30	57,50	6,30	0,90
	10	17,30	77,20	5,60	0,90
	0	3,80	14,40	1,80	0,90
HGV 23T	70	20,30	57,50	6,30	1,00
	10	17,30	77,20	5,60	1,00
	0	3,80	14,40	1,80	1,00
HGV 32T	70	20,30	57,50	6,30	1,20
	10	17,30	77,20	5,60	1,20
	0	3,80	14,40	1,80	1,20

The following corrective factors must also be applied to the above data when determining emission quantities :-

	Time Factor (ft)			Altitude Factor (fh)		
	CO	NO _x	Opacity	CO	NO _x	Opacity
Petrol Car	0,91	0,85	0,98	1	1	1
Diesel Car	0,92	0,87	0,76	1	1	1
Petrol LDV	0,8	0,7	0,92	-	-	-
Diesel LDV	0,77	0,82	0,75	-	-	-
HGV 15T	0,89	0,71	0,96	-	-	-
HGV 23T	0,89	0,71	0,96	-	-	-
HGV 32T	0,89	0,71	0,96	-	-	-

Non exhaust particulate emissions must also be considered in accordance with PIARC 2019R02EN, Table 28 :-

	Speed	m ² /h
	km/h	PM _{2.5}
Passenger Cars & LDV's	70	7,80
	10	1,10
	0	0,00
HGV's	70	35,40
	10	5,10
	0	0,00

CALCULATION OF TUNNEL EMISSION LEVELS

From the above tables, the total "in tunnel" emission levels can be calculated for each traffic scenario based on the following formula (from PIARC 2019R02EN):-

$$Q = q_{ex}(v,i) \times fh \times ft \times fe \times fm + q_{ne}(v)$$

Where:-

Q = Emission for CO,NOx and PM

$q_{ex}(v,i)$ = Base emission factor depending on speed and gradient

$q_{ne}(v)$ = Non Exhaust particulate emissions

	Emission per vehicle * Number of vehicles (Q*N _{veh})			
Fluid traffic	g/h		m2/h	
at 70 km/h	CO	NO _x	Opacity	PM _{2.5}
Petrol Car	48,87	6,89	-	23,40
Diesel Car	3,31	48,81	5,70	23,40
Petrol LDV	115,04	6,58	-	15,60
Diesel LDV	1,39	13,61	3,45	7,80
HGV 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 23T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	168,61	75,88	9,15	70,20

	Emission per vehicle * Number of vehicles (Q*N _{veh})			
Congested	g/h		m2/h	
at 10 km/h	CO	NO _x	Opacity	PM _{2.5}
Petrol Car	229,50	35,36	-	28,60
Diesel Car	26,31	232,99	25,69	28,60
Petrol LDV	567,12	32,13	-	18,70
Diesel LDV	0,92	5,99	1,65	1,10
HGV 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 23T	246,35	876,99	86,02	81,60
HGV 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1070,21	1183,45	113,35	158,60

	Emission per vehicle * Number of vehicles (Q*N _{veh})			
Standstill	g/h		m2/h	
at 0 km/h	CO	NO _x	Opacity	PM _{2.5}
Petrol Car	309,58	10,71	-	0,00
Diesel Car	17,39	246,65	19,15	0,00
Petrol LDV	157,44	11,48	-	0,00
Diesel LDV	0,62	6,23	0,90	0,00
HGV 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 23T	138,66	419,18	70,85	0,00
HGV 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	623,69	694,25	90,90	0,00

From the calculated "in tunnel" emission levels, the fresh air demand can be calculated according to PIARC 2019R02EN by the following formula:-

$$\dot{V} = \sum (n_{veh} \times Q) \times \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}}$$

Where:-

V = Air volume flow (m³/h)

n_{veh} = Number of vehicles in tunnel

Q = Emission for CO,NOx (g/(h.veh)) and PM (m²/(h.veh))

C_{adm} = Admissible concentration of pollutant (g/m³)

C_{amb} = Ambient concentration of pollutant (g/m³)

	In tunnel	C _{amb}	C _{adm}	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v _t)
CO Levels	g/(h.veh)	g/m ³	g/m ³	m ³ /s	m ²	m/s
Fluid traffic	168,61	0	0,00007	0,56	82	0,01
Congested	1070,21			3,54		0,04
Standstill	623,69			2,06		0,03

	In tunnel	C _{amb}	C _{adm}	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v _t)
NO _x Levels	g/(h.veh)	g/m ³	g/m ³	m ³ /s	m ²	m/s
Fluid traffic	75,88	0	N/A	N/A	82	N/A
Congested	1183,45			N/A		N/A
Standstill	694,25			N/A		N/A

According to PIARC 2019R02EN, NO₂ levels in European countries are approximately 20-30% of the NO_x levels, therefore the admissible NO₂ concentration is multiplied by 100/30 to give the admissible NO_x levels (C_{adm}).

	In tunnel (Opacity + PM2,5)	K _{amb}	K _{adm}	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v _t)
Visibility	m ² /(h.veh)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ³ /s	m ²	m/s
Fluid traffic	79,35	0	0,009	2,45	82	0,03
Congested	271,95			8,39		0,10
Standstill	90,90			2,81		0,03

According to the above tables the maximum airflow during normal tunnel operation is required under the following conditions:-

Emission type	Traffic scenario	Required airflow (m ³ /s)	Tunnel velocity (m/s)
Visibility	Congested	8,39	0,10

CALCULATION OF AIRFLOW REQUIREMENT DURING TUNNEL EMERGENCY

In accordance with Subway Environmental Design Handbook, Volume II, the critical tunnel velocity in case of fire can be determined by solving the following coupled equations:-

$$V_c = K_1 \times Kg \times \left(\frac{g \times H \times q}{\rho \times C_p \times A \times T_f} \right)^{(1/3)}$$

$$T_f = \frac{q}{\rho \times C_p \times A \times V_c} + T$$

Where:-

V_c = Critical velocity (m/s)

g = Acceleration of Gravity (m/s^2)

H = Tunnel height (m)

q = Fire heat release rate (MW)

ρ = Ambient air density (kg/m^3)

C_p = Specific heat of air ($KJ/kg/^\circ K$)

A = Cross sectional area of tunnel (m^2)

T_f = Hot gas temperature ($^\circ K$)

Fr_c = Froude number (0,606)

Kg = Grade correction factor (dimensionless)

T = Ambient temperature ($^\circ K$)

Following the above and based on the following input data / assumptions, the hot gas temperature (T_f) and critical velocity (V_c) are calculated as:-

Input / assumption data				Gas temperature (T_f)	Critical velocity (V_c)
Heat release rate	Q	20	MW	387,13 $^\circ K$	2,14 m/s
Tunnel Area	A	82	m^2		
Tunnel height	H	7,8	m		
Temperature	T	293	$^\circ K$		
Density	ρ	1,2	kg/m^3		
Grade factor	Kg	1,034377			
Heat of air	C_p	1,009	$KJ/kg/^\circ K$		
Gravity	g	9,81	m/s^2		
Froude Number	Fr	0,606			

CALCULATION OF DOWNSTREAM AIR TEMPERATURE DURING TUNNEL EMERGENCY

In accordance with PIARC 05.16.B (Systems & Equipment for fire and smoke control), the air temperature downstream of the fire is calculated using the following equation:-

$$\delta T / \delta x = - \frac{P \cdot (hc + hr) \cdot (T - T_{wall})}{\rho_0 \cdot c_p \cdot A_T \cdot u_0}$$

Where:-

$$hc = \frac{\frac{\lambda}{8} \cdot c_p \cdot \rho \cdot u}{1.07 + 12.7 \cdot (Pr^{2/3} - 1) \sqrt{\frac{\lambda}{8}}}$$

$$hr = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot (T + T_0) \cdot (T^2 + T_0^2)$$

Where:-

P = Perimeter of tunnel (m)

T = Air temperature (°K)

T_{wall} = Wall temperature (°K)

ρ = Ambient air density (kg/m³)

C_p = Specific heat of air (KJ/kg/°K)

A_T = Cross sectional area of tunnel (m²)

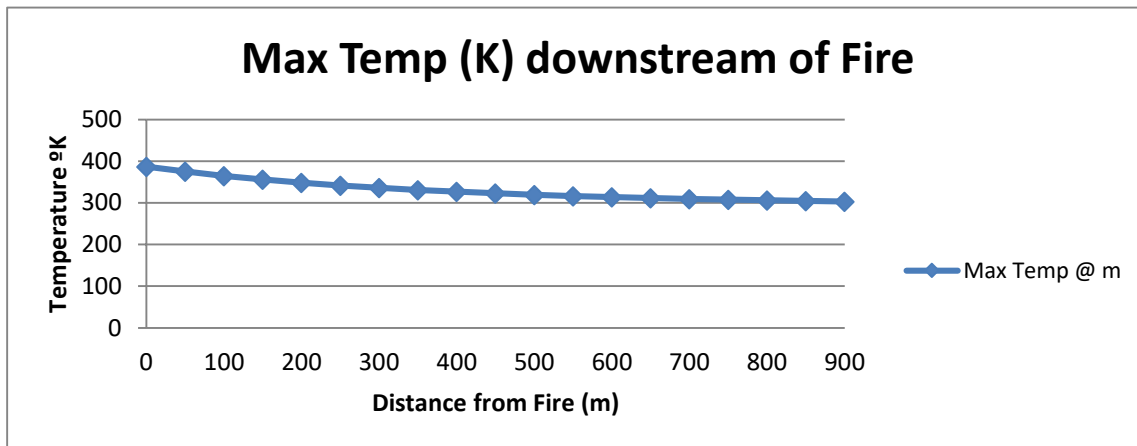
u = Ventilation velocity (m/s)

P_r = Prandtl Number (constant)

ε = Wall emissivity (assume 0,7)

σ₀ = Stefan Boltzmann constant (5,68*10⁻⁸ W/m²K⁴)

Based on the above calculation the temperature at the portal and the mean temperature downstream of the fire can be ascertained, the following graph shows the calculated temperature at 50m intervals:-



Therefore the following temperatures will be used in order to calculate the pressure requirements in the tunnel:-

Location	Temperature		Air Density kg/m ³
	°K	°C	
At Fire (see SES calculation on previous page)	387	114	0,908
At Outlet Portal	303	30	1,160
Mean temperature downstream of fire	345	72	1,019

CALCULATION OF PRESSURE/THRUST REQUIREMENTS FOR HIGHEST TUNNEL VELOCITY

Based on the previous calculations the highest tunnel velocity is as follows:-

Ventilation Type	Traffic scenario	Required airflow (m ³ /s)	Tunnel velocity (m/s)
Emergency	Standstill	175,48	2,14

Based on the above velocity the Total system pressure can be calculated using the following formula:-

$$\Delta p_T = \Delta p_{in} + \Delta p_{out} + \Delta p_{wall} + \Delta p_{wind} + \Delta p_{veh} + \Delta p_{met} [+ \Delta p_{fire} + \Delta p_{buoy}]$$

Where:-

Δp_T = Total system pressure (Pa)

Δp_{in} = Inlet losses (Pa)

Δp_{out} = Outlet losses (Pa)

Δp_{wall} = Wall friction losses (Pa)

Δp_{wind} = Losses incurred to overcome headwind at portal (Pa)

Δp_{veh} = Vehicle piston (-) or drag effect (Pa)

Δp_{met} = Meteorological losses (Pa)

Δp_{fire} = Blockage effect caused by fire (Pa)

Inlet Losses (Δp_{in})

Inlet losses are calculated by the following formula:-

$$\Delta p_{in} = \kappa \times \frac{\rho V^2}{2}$$

The κ factor is dependent on the shape of the portal, a bellmouth entrance has $\kappa = 0.1$ and a normal sharp edged entrance has $\kappa = 0.5$.

	κ	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
Δp_{in}	0,5	1,2	2,14	1,4

Outlet Losses (Δp_{out})

Outlet losses are calculated by the following formula, however it must be noted that during an emergency the velocity (V) will be increased and the density (ρ) will be reduced due to the increased gas/smoke temperature:-

$$\Delta p_{out} = \frac{\rho V^2}{2}$$

	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
Δp_{out}	1,160	2,21	2,8

Wall friction Losses (Δp_{wall})

Wall friction losses are calculated by the following formula:-

$$\Delta p_{wall} = \kappa \times \frac{\rho V^2}{2} \times \frac{L}{D}$$

Where:-

L = Tunnel length (m)

D = Hydraulic diameter (m)

The κ factor is dependent on the roughness of the wall, this can range from 0,015 for a very smooth concrete wall to 0,06 for unlined and very rough surface structures. However, lights, signage, cable ducts and other tunnel appurtenances must also be considered. Where a fire scenario is considered the wall friction will be calculated for the sections upstream and downstream of the fire separately due to the change in density caused by the fire.

	κ	L (m)	D (m)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
Δp_{wall}	0,024	100	8,864865	1,2	2,14	0,7
Δp_{wall}^*		860		1,019	2,52	7,5

*= section downstream of fire

Portal headwind Losses (Δp_{wind})

Portal headwind losses are calculated by the following formula:-

$$\Delta p_{wind} = \frac{\rho V^2}{2} \times V_{wind}$$

	ρ (kg/m ³)	V_{wind} (m/s)	Pressure drop (Pa)
Δp_{wind}	1,2	3,00	5,4

Vehicle Piston/Drag effect (Δp_{veh}) or Blockage effect (Δp_{block})

Depending on the traffic scenario vehicle piston/drag effects in moving traffic or blockage effects in standstill traffic are calculated.

Vehicle piston/drag effects are calculated by the following formula:-

$$\Delta p_{veh} = \frac{n_{veh} \times (CW_{veh} \times FA_{veh}) \times \frac{\rho \times (v \pm u)^2}{2}}{CSA}$$

Blockage effects are calculated using the same formula, however the value of CW_{veh} is increased to the blockage co-efficient and a shadow effect of 0,7 is considered in accordance with PIARC methodology.

The number of vehicles are also affected depending on whether the traffic flow is unidirectional or bi-directional, it is considered that all of the vehicles downstream of the incident will be able to leave the tunnel, therefore in the case of bi-directional traffic flow only 50% of the total vehicles will be accounted for, however if the traffic flow is unidirectional the total number of vehicles is dependent on the length of tunnel section before the incident (distance between entry portal and fire divided by the total tunnel length)

	n_{veh}	CW_{veh}	FA_{veh}	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	u (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (Car)	63	0,4	2	1,2	0,00	2,14	1,2
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (LDV)	22	0,4	2				0,4
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (HGV)	21	1	7				3,4

Meteorological Losses (Δp_{met})

Meteorological losses are defined by any differences in height and/or temperature between portals or in the case of fire, between the fire and outlet portal, which would give rise to a thermostatic pressure (chimney effect). The following formula is used:-

$$\Delta p_{met} = (\rho_0 - \rho_1) \times g \times h_{diff*}$$

Where:-

ρ_0 = Ambient air density or density at inlet portal (kg/m³)

ρ_1 = Air density at outlet portal or fire (kg/m³)

g = Gravity (9,81m/s²)

h_{diff} = difference in height between inlet and outlet portals or fire location and outlet portal (m)

	h_{diff*}	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_1 (kg/m ³)	Pressure drop (Pa)
Δp_{met}	7,74	1,2	1,02	13,8

Fire Obstruction Losses (Δp_{fire})

In an emergency scenario the effects of the fire must be accounted for, one effect is the blockage caused by the fire, this can be calculated by the following formula:-

$$\Delta p_{fire} = \xi_{exp} \times \frac{\rho V^2}{2}$$

Where the following formula from CETU methodology is used to calculate ξ_{exp} :-

$$\xi_{exp} = 1.8 \times 10^{-4} \times \frac{Q}{\rho_0 \times V_c^3 \times D^2}$$

Where:-

ρ / ρ_0 = Ambient air density (kg/m³)

V / V_c = Critical velocity (m/s)

	ξ_{exp}	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	Pressure drop (Pa)
Δp_{fire}	3,90	1,200	2,14	10,7

Total System Pressure (Δp_T)

	Individual Pressure drop (Pa)	Total Pressure drop (Pa)
Δp_{in}	1,4	47,3
Δp_{out}	2,8	
Δp_{wall}	0,7	
Δp_{wall}^*	7,5	
Δp_{wind}	5,4	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (Car)$	1,2	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (LDV)$	0,4	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (HGV)$	3,4	
Δp_{met}	13,8	
Δp_{fire}	10,7	

Tunnel Thrust Requirement (F_T)

If a longitudinal ventilation system using Jet tunnel fans is considered the Tunnel Thrust (in Newton's) is used for sizing of the system, this is calculated by the following equation:-

$$F_T = A_T \times \Delta p_T$$

Where:-

A_T = Tunnel cross sectional area (m²)

Δp_T = Total system pressure (Pa)

	A_T (m ²)	Δp_T (Pa)	F_T (N)
Tunnel Thrust (F_T)	82	47,33	3880,7

The above figure is the net thrust requirement in the tunnel, in order to select Jet tunnel fans to meet this requirement any installation effects must also be considered, these include the co-anda effect of installation close to boundaries and the effect of background velocities.

DISCLAIMER

The above calculation should be used for guidance ONLY, although PIARC methodology has been used extensively throughout this calculation, the methodology is not mandatory.

The results should be implemented at the users own risk, Systemair takes no responsibility for the input data therefore cannot be held responsible for the results given.

A detailed analysis is recommended, this should be carried out by a qualified consultant.

CFD analysis can be carried out by systemair, please contact us for further details and a quotation.

Lunghezza	L	960	m
sito incendio	x	100	m
Sezione	S	82	m2
perimetro	p	37	m
diametro idraul	did	8,86	m
pendenza	i	-0,90%	
tratto elementare	l	5	m
Dquota elementare	Dh	-0,045	m
Velocità media aria	W0	2,167	m/s
densità aria	rho0	1,2	kg/m3
coeff. Attrito	lambda0	0,024	
perdita imbocco	alfa	0,6	
N. di Prandtl	Pr	0,7	
accelerazione g	g	9,81	m/s2
Traffico Bloccato	T bloccato	214	v/km
velocità traffico	vh	0	km/h
n° Veicoli leggeri	VI	17	veicoli
n° Veicoli pesanti	Vp	4	veicoli
s. resistente, leggeri	(CxA)leg	0,9	m2
s. resistente, pesante	(CxA)pes	5	
proporzione leggeri	%leggeri	80,0%	
proporzione pesanti	%pesanti	20,0%	
Potenza termica totale	30 MW	3,00E+07	W
potenza termica	Qc	2,10E+07	W
calore specifico	cp0	1009	J/kgK
emissività	epsilon	0,7	
c. stefan-boltzmann	sigma0	5,67E-08	W/m2K4
fattore di vista	F	1	
T aria	T	293	K
T parete	Tp	293	K
galleggiabilità fumi?	No		

RISULTATI

Perdite Ingresso [Pa]	Perdite sbocco [Pa]	Perdite incendio [Pa]	Perdite Distribuite [Pa]	Effetto Camino [Pa]	Effetto Veicoli Bloccati [Pa]	Effetto Atmosferico [Pa]	Totale Resistenza [Pa]
1,69	2,98	11,10	8,20	10,31	1,27	5,40	40,95

sito incendio x 220 m

Galleria Rufina SS 67		Discesa	
Temp Fumi a incendio	Tf	391	K
c. di scambio convettivo	hc	8,52	W/mK
N° jetfan installati insieme		2	OK
Distanza portale primi jetfan		100	m
Distanza tra jetfan		100	m
Distanza tra coppie		2	m
Ventilatore Jetfoil	AJ1000-10/44°-4	30kW	L180L
Qv		24,62	m3/s
Vv		31,35	m/s
F0		926,00	N
k		0,70	totale
kW		26,00	
Tmax		400	°C
Distanza media dalla volta		400	mm
Distanza dal muro			mm
numero corsie	TRAFFICO BLOCCATO AL KM	2	107

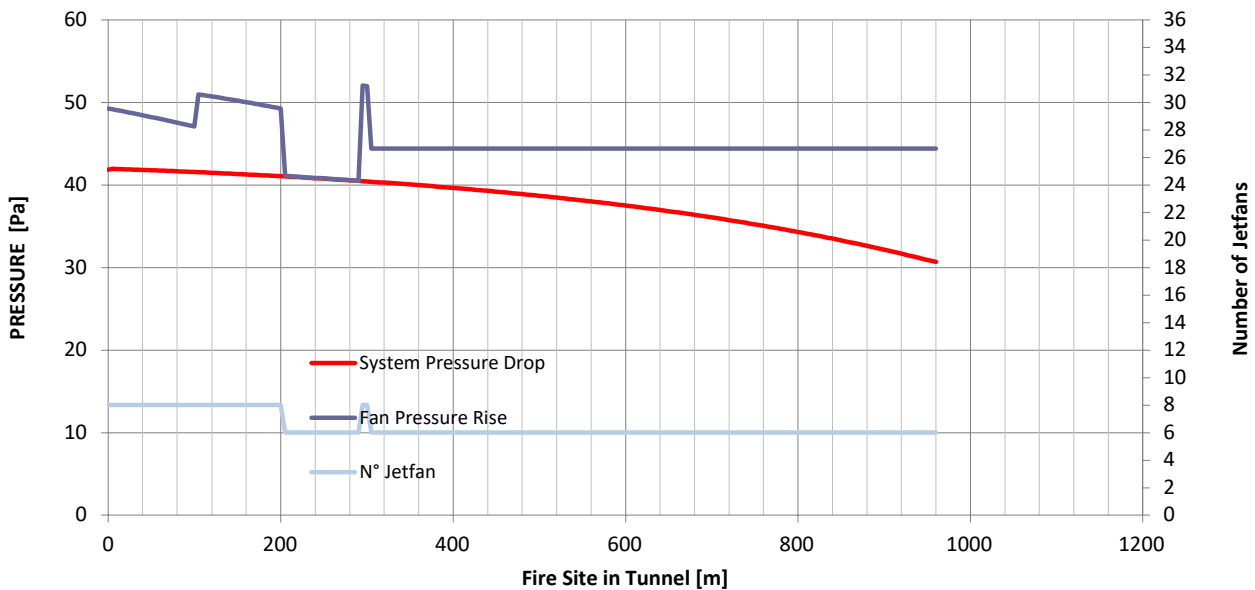
Massima lunghezza	metri
colonna veicoli fermi	960

Velocità Vento	10,8 km/h
	3 m/s

Altezza tunnel	8,1
-----------------------	------------

N°Ventilatori	Totale Ventilazione [Pa]
-	41,00
6,00	41,00

FIRE THERMIC POWER 30MW



controllo	4,00	29,60
------------------	-------------	--------------