

**E45 - SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA  
Tratto Madonna del Piano - Collestrada**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PG 372**

*ANAS - DIREZIONE TECNICA*

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine Geologi Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p><b>GP INGENGNERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</i></p> <p>(Mandante)</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Sezione A Ordine Ingegneri N° A2657 Provincia di Perugia n. A2602</p> <p><b>INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PERUGIA</b> <b>SEZIONE A</b> <b>N° A2657</b> <b>MORENO PANFILI</b> SETTORE CIVILE E AMBIENTALE SETTORE INDUSTRIALE SETTORE DELL'INFORMAZIONE</p> <p><i>Ing. Giovanni C. Affredo</i> <i>Dalenz C. Affredo</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14069</p>	<p>(Mandante)</p> <p><b>cooprogetti</b></p> <p><b>engeko</b></p> <p><b>AIM</b> <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p> <p>(Mandante)</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Alessandro Micheli</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		<p><b>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</b> <b>ORDINE INGEGNERI</b> <b>ROMA</b> <b>N° 14035</b></p>

**IMPIANTI TECNOLOGICI**

Galleria Naturale

Relazione esplicativa e di calcolo della ventilazione in galleria

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00IM03IMPRE07_A		
<b>DTPG372</b>	<b>D</b>	<b>22</b>	<b>CODICE ELAB. T00IM03IMPRE07</b>	<b>A</b>	-
D					
C					
B					
A	Emissione		Ottobre '22	Salvi	Panfili
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

## INDICE

<b>1</b>	<b><u>INTRODUZIONE</u></b> .....	<b>2</b>
1.1.	DESCRIZIONE GENERALE.....	2
<b>2</b>	<b><u>IMPIANTO DI VENTILAZIONE DEI BY-PASS</u></b> .....	<b>3</b>
2.1	CONSIDERAZIONI GENERALI .....	3
2.2	LA LOGICA DEL SISTEMA.....	4
2.3	CALCOLO PORTATA VENTILATORE.....	6
2.4	DIMENSIONAMENTO .....	7
2.4.1	<i>Modalità e limiti di funzionamento</i> .....	10
2.5	L'IMPIANTO ELETTRICO DEI BY-PASS.....	11
2.6	OPERE CIVILI - INTERVENTI SUI BY-PASS .....	11
2.7	IMPIANTO AREAZIONE BY-PASS .....	11
<b>3</b>	<b><u>IMPIANTO DI VENTILAZIONE GALLERIA</u></b> .....	<b>12</b>
3.1	PREMESSA.....	12
3.2	RIFERIMENTI NORMATIVI E LINEE GUIDA .....	12
3.3	DIMENSIONAMENTO .....	12
3.4	CALCOLI .....	13
3.5	CONCLUSIONI.....	13

## **1 \_ INTRODUZIONE**

La presente relazione ha come oggetto la descrizione degli impianti di ventilazione relativi all'intervento per i lavori di manutenzione straordinaria delle strutture e adeguamento degli impianti tecnologici alla vigente normativa per il miglioramento delle condizioni di sicurezza della galleria naturale del nodo di Perugia

In particolare il presente elaborato ha lo scopo di descrivere le modalità di calcolo utilizzate per il dimensionamento degli impianti previsti.

### **1.1. DESCRIZIONE GENERALE**

Si tratta di una galleria a due fornici monodirezionali a due corsie per ogni senso di marcia. Gli impianti di che trattasi possono sommariamente essere individuati in:

- Allestimento degli impianti di ventilazione di by-pass per la creazione di luoghi classificabili come “rifugi”;
- Allestimento impianti ventilazione interni alla galleria

## 2 IMPIANTO DI VENTILAZIONE DEI BY-PASS

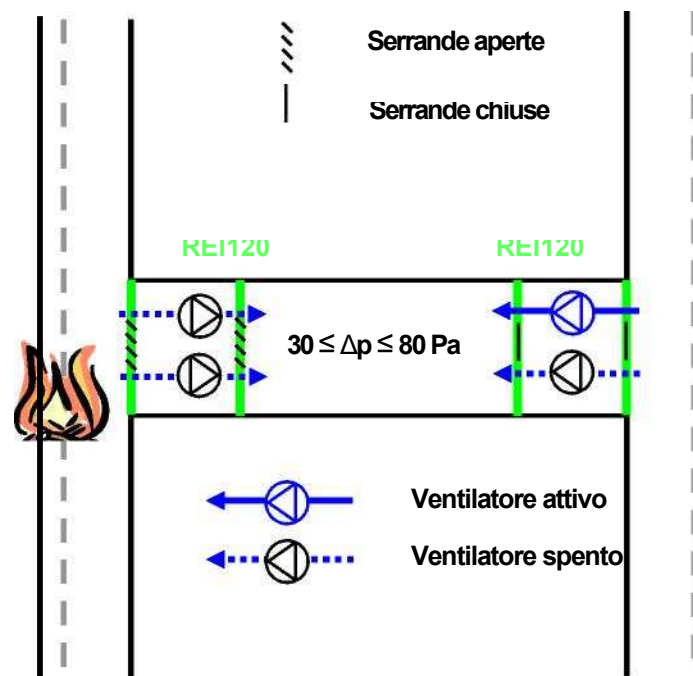
### 2.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

In corrispondenza dei by-pass di collegamento tra i due fornici, con interdistanza di circa 300m, verranno creati dei luoghi classificati come "rifugi"; è importante sottolineare che gli ambienti risultano accessibili esclusivamente attraverso porte tagliafuoco REI 120.

Tali luoghi dovranno essere dotati di un impianto di ventilazione e pressurizzazione in grado di prelevare aria dal fornice non interessato dall'incendio allo scopo di evitare che vi sia apporto di sostanze tossiche in tali ambienti.

Ogni impianto di pressurizzazione By-pass pedonale prevede l'installazione di n°4 elettroventilatori, due su ogni parete di separazione con i fornici, a monte dei quali viene interposta una idonea serranda tagliafuoco del medesimo diametro. Tale struttura deve essere integrata dall'installazione di n°2 serrande di sovrappressione, n°1 per ogni fornice, interfacciate con l'area esterna alla zona protetta da n° 2 serrande tagliafuoco delle medesime dimensioni. Tutte le serrande utilizzate dovranno essere dotate di un idoneo meccanismo di ritorno a molla.

Per limitare la pressione sonora prodotta dai ventilatori, ciascuno di essi sarà dotato di appositi silenziatori.



Per la pressurizzazione delle zone filtro nei by-pass abbiamo scelto un sistema di pressurizzazione per filtri a prova di fumo, in conformità ai disposti del D.M. 30.11.83 certificato C/O l'Istituto GIORDANO SpA di Bellaria (RN) ed alle norme UNI EN 12101:6, Laboratorio autorizzato dal M.I. in data 10 luglio 1986.

L'esigenza è nata dalle crescenti richieste finalizzate all'acquisto di apparecchi e sistemi garantiti, provati ed affidabili al fine di evitare assemblaggi che, senza adeguata esperienza, possono riservare spiacevoli sorprese per apparecchiature in stand-by proprio nel momento in cui viene richiesto il loro funzionamento.

Inoltre i più recenti orientamenti normativi impongono anche l'osservanza della direttiva macchine, rendendo ulteriormente problematici gli assemblaggi di apparecchiature, con il rischio di rendere inattuabile una adeguata realizzazione in cantiere.

Il D.M. 4 maggio 1998 impone d'altra parte di allegare alle istanze di sopralluogo per l'ottenimento del Certificato di Prevenzione Incendi anche la documentazione comprovante la conformità o la corretta installazione dei sistemi di protezione antincendio, per la cui produzione sono quindi necessari riferimenti certi.

Tenuto conto di quanto sopra premesso, da tempo sono stati avviati attenti studi mirati a garantire sotto ogni profilo funzionale e normativo la realizzazione di un sistema per la pressurizzazione dei filtri a prova di fumo denominato Master Black.

L'aspirazione dell'aria verrà effettuata mediante appositi ventilatori in numero necessario (n°4 per by-pass, due per ogni lato) a garantire una pressurizzazione  $> 0,3$  mbar, ma  $< 0,8$  mbar che aspirano aria metà nella canna Nord e metà nella canna Sud; fra la bocca di aspirazione e la zona esterna ai filtri vengono interposte reti antianimale e serrande tagliafuoco REI 120 del tipo ON-OFF che hanno il compito di chiudere o aprire in funzione del lato da cui si sviluppa l'incendio.

La bontà del sistema è stata testata ottenendo un tempo di pressurizzazione inferiore ai 9" presso l'istituto Giordano spa di Bellaria (RN) Cert. I.G 148370 del 25/05/2001.

## **2.2 LA LOGICA DEL SISTEMA**

### **Attivazione su comando manuale:**

Il sistema viene alimentato da tensione elettrica normale e il filtro normalmente viene mantenuto in sovrappressione  $\geq 0,30$  mbar.

**Attivazione su comando automatico:**

Il sistema è in stand-by, Il filtro normalmente non è pressurizzato, l'attivazione del sistema avviene in uno o più modi sotto elencati:

- Istantaneo tramite:
  - consenso ricevuto dai rilevatori di fumo installati in prossimità ed a protezione degli accessi;
  - pulsante a sgancio manuale;
  - Segnalazione remota da centrale rivelazione fumi;
- Temporizzato:
  - attivazione del sistema mediante l'utilizzo di barriere o sensori INFRAROSSI O RADAR (aventi la funzione di rilevare l'avvicinamento di una persona ad una distanza prestabilita in modo da attivare i ventilatori e quindi pressurizzare il filtro prima dell'apertura della porta), installati in adiacenza alle porte di accesso in modo da pressurizzare il filtro prima dell'apertura delle porte di accesso.
  - Tramite rilevazione dei sensori di stato proximity installati tra battente e telaio della porta i quali rilevano un'anomala chiusura della medesima oltre un tempo prefissabile e tarabile da 0 a 120 secondi, taratura da effettuarsi direttamente in cantiere in funzione delle specifiche esigenze (passaggio persone, barelle, carrelli, ecc.).

### 2.3 CALCOLO PORTATA VENTILATORE

Facendo seguito a quanto fin qui esposto, nella seguente tabella sono riportati i calcoli effettuati ai fini della definizione della portata occorrente per il dimensionamento dei ventilatori:

#### Locali filtro in sovrappressione

DATI DIMENSIONALI	
Dimensione zona filtro	
Larghezza	2,66 m
Lunghezza	14,00 m
Altezza	3,06 m
Porta tagliafuoco modello 1	
Larghezza	1,20 m
Altezza	2,10 m
no. di porte	2
no. porte aperte	1
Spinta sulla porta	126 N
Porta tagliafuoco modello 2	
Larghezza	1,20 m
Altezza	2,15 m
no. di porte	0
no. porte aperte	0
Porta tagliafuoco modello 3	
Larghezza	1,80 m
Altezza	2,15 m
no. di porte	0
no. porte aperte	0

PORTATA NECESSARIA A PORTE CHIUSE	
Q =	1.210 m <sup>3</sup> /h
	0,34 m <sup>3</sup> /s

PORTATA CON 1 PORTA APERTA	
Q =	11.186 m <sup>3</sup> /h
	3,11 m <sup>3</sup> /s

*I.R.: I dati riportati nel presente documento sono da intendersi come un supporto agli uffici tecnici e non sostituiscono la progettazione necessaria.*

SCELTA COEFFICIENTI	
Superficie di fuga per metro lineare di perimetro porta	S <sub>F</sub> = 0,0036 m <sup>2</sup> /m
Superficie di passaggio attraverso le pareti	S <sub>M</sub> = 0,000010 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
Coefficiente di flusso del trafilemento porta	C <sub>FP</sub> = 0,675
Coefficiente di flusso attraverso la muratura	C <sub>FM</sub> = 0,675
Coefficiente di flusso attraverso la porta aperta	C <sub>PA</sub> = 0,47
Coefficiente di sicurezza generale	K = 1,10

ΔP da mantenere nel filtro a porte chiuse	ΔP = 50,00 Pa
ΔP da mantenere nel filtro con una o più porte aperte	ΔP = 2,72 Pa
Velocità dell'aria attraverso la porta con i Pa impostati	V <sub>a</sub> = 1,00 m/s

$$Q_{PA} \left[ \frac{m^3}{h} \right] = 3.600 \left[ \frac{s}{h} \right] \times S_P \left[ m^2 \right] \times C_{PA} \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta P [mmc.a.]}{\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}}$$

$$Q_P \left[ \frac{m^3}{h \times m} \right] = 3.600 \left[ \frac{s}{h} \right] \times S_F \left[ \frac{m^2}{m} \right] \times C_{FP} \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta P [mmc.a.]}{\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}}$$

$$Q_M \left[ \frac{m^3}{h \times m^2} \right] = 3.600 \left[ \frac{s}{h} \right] \times S_M \left[ \frac{m^2}{m^2} \right] \times C_{FM} \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta P [mmc.a.]}{\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}}$$

In base, inoltre, alla conformazione architettonica dei by-pass e dei relativi infissi, sono state altresì calcolate le perdite di carico che si riportano nel seguito:

**CALCOLO PERDITE DI CARICO PORTE CHIUSE – LUOGO SICURO**

Nome progetto: Porte chiuse - luogo sicuro  
Riferimento: Portata del ventilatore [m³/s]: 2.55  
Portata per sovrappressione [m³/s]: 0.34

elemento dell'impianto o tratta	Dati dell'impianto										concentrate		distribuite			
	D [m]	a [m]	b [m]	L [m]	q <sub>v</sub> [m³/s]	D <sub>0</sub> [m]	S [m²]	v [m/s]	P <sub>0</sub> [Pa]	k	P <sub>con</sub> [Pa]	v * D <sub>0</sub>	ε [μm]	Re	f	P <sub>dis</sub> [Pa]
Ingresso con serranda tagliafuoco	0.560				2.55	0.560	0.25	10.35	64.3		26.3					
Ventilatore, uscita con griglia	0.560				2.55	0.560	0.246	10.35	64.3	1.20	77.2					
Sovrappressione locale					2.21						50.0					
Serranda sovrappressione		0.500	0.750		2.21	0.600	0.375	5.89	20.8		48.3					
Serranda tagliafuoco		0.500	0.750		2.21	0.600	0.38	5.89	20.8	1.00	20.8					
<b>caduta di pressione totale impianto:</b>	<b>220.7</b>										<b>totale cadute di pressione parziali:</b>		<b>220.7</b>			

**Legenda:**  
D: diametro condotto  
a: altezza condotto rettangolare  
b: larghezza condotto rettangolare  
L: lunghezza tratto dritto  
q<sub>v</sub>: portata d'aria nel tratto o nell'elemento  
D<sub>0</sub>: diametro idraulico (D<sub>0</sub> = 4 Superficie / Perimetro)  
S: superficie trasversale condotto  
v: velocità dell'aria nel tratto dritto o nell'elemento (v = q<sub>v</sub> / S)  
P<sub>0</sub>: pressione dinamica nel tratto o nell'elemento (P<sub>0</sub> = 1/2 ρ v², ρ = 1,2 kg/m³ a 20 °C e 100 kPa)  
k: fattore funzione della geometria dell'elemento localizzato  
P<sub>con</sub>: caduta di pressione dovuta ad un elemento localizzato (P<sub>con</sub> = k P<sub>0</sub>)  
g: gradiente di pressione  
v \* D<sub>0</sub>: prodotto tra la velocità e il diametro equivalente in un tratto a rugosità equivalente  
ε: rugosità equivalente  
ε / D<sub>0</sub>: rapporto tra la rugosità equivalente e il diametro idraulico  
f: coefficiente di attrito  
P<sub>dis</sub>: caduta di pressione in tratti dritti di canale (P<sub>dis</sub> = (f \* L) / D<sub>0</sub> \* P<sub>0</sub>)

coefficiente di sicurezza: 1,1  
Caduta pressione totale impianto con coefficiente di sicurezza: 243

**CALCOLO PERDITE DI CARICO PORTE APERTE – LUOGO SICURO**

Nome progetto: Galleria Francotorre  
Riferimento: Portata ventilatore porte aperte [m³/s]: 3.11

elemento dell'impianto o tratta	Dati dell'impianto										concentrate		distribuite			
	D [m]	a [m]	b [m]	L [m]	q <sub>v</sub> [m³/s]	D <sub>0</sub> [m]	S [m²]	v [m/s]	P <sub>0</sub> [Pa]	k	P <sub>con</sub> [Pa]	v * D <sub>0</sub>	ε [μm]	Re	f	P <sub>dis</sub> [Pa]
Ingresso ventilatore boccaglio + rete	0.560				3.11	0.560	0.25	12.63	95.7	0.30	39.6					
Serranda tagliafuoco	0.560				3.11	0.560	0.246	12.63	95.7	1.00	95.7					
perdita porta		1.200	2.100		3.11	1.527	2.520	1.23	0.9		3.0					
<b>caduta di pressione totale impianto:</b>	<b>138.2</b>										<b>totale cadute di pressione parziali:</b>		<b>138.2</b>			

**Legenda:**  
D: diametro condotto  
a: altezza condotto rettangolare  
b: larghezza condotto rettangolare  
L: lunghezza tratto dritto  
q<sub>v</sub>: portata d'aria nel tratto o nell'elemento  
D<sub>0</sub>: diametro idraulico (D<sub>0</sub> = 4 Superficie / Perimetro)  
S: superficie trasversale condotto  
v: velocità dell'aria nel tratto dritto o nell'elemento (v = q<sub>v</sub> / S)  
P<sub>0</sub>: pressione dinamica nel tratto o nell'elemento (P<sub>0</sub> = 1/2 ρ v², ρ = 1,2 kg/m³ a 20 °C e 100 kPa)  
k: fattore funzione della geometria dell'elemento localizzato  
P<sub>con</sub>: caduta di pressione dovuta ad un elemento localizzato (P<sub>con</sub> = k P<sub>0</sub>)  
g: gradiente di pressione  
v \* D<sub>0</sub>: prodotto tra la velocità e il diametro equivalente in un tratto a rugosità equivalente  
ε: rugosità equivalente  
ε / D<sub>0</sub>: rapporto tra la rugosità equivalente e il diametro idraulico  
f: coefficiente di attrito  
P<sub>dis</sub>: caduta di pressione in tratti dritti di canale (P<sub>dis</sub> = (f \* L) / D<sub>0</sub> \* P<sub>0</sub>)

coefficiente di sicurezza: 1,1  
Caduta pressione totale impianto con coefficiente di sicurezza: 152

**2.4 DIMENSIONAMENTO**

La soluzione adottata si basa sui seguenti principi:

- Ventilatore funzionante a regime costante (cioè numero fisso di giri), con caratteristica scelta in funzione delle esigenze specifiche.
- Regolazione della pressione all'interno del bypass per mezzo di aperture di scarico di sezione adeguata.

L'apporto di aria al bypass diminuisce dunque solo leggermente in caso di porte chiuse e le aperture di scarico garantiscono che la pressione all'interno del bypass non superi i valori consentiti. Si tratta di una soluzione molto robusta e funzionale, che minimizza le esigenze di manutenzione.

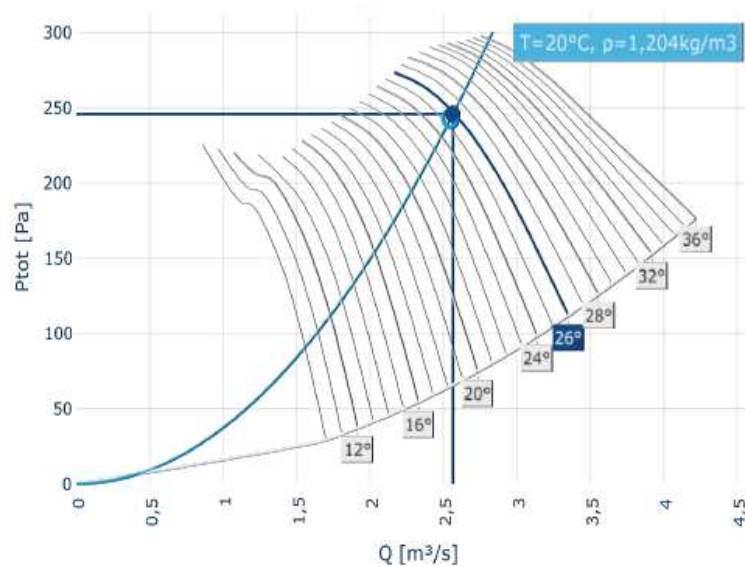
Per il dimensionamento si assume:

- Velocità pari a 1 m/s in caso di porte aperte, alla quale si aggiunge un margine di sicurezza del 10% per compensare eventuali perdite.
- Velocità pari a 2 m/s in caso di "effetto bolla", con un margine del 10%.



Il funzionamento del ventilatore si adegua alle condizioni di esercizio come indicato schematicamente nella Fig.3:

- In caso di porte aperte e differenza di pressione trascurabile tra le due canne, il flusso di aria raggiunge il valore massimo, corrispondente a 1-1.1 m/s.
- In caso di porte chiuse e differenza di pressione trascurabile tra le due canne, la pressione all'interno del bypass aumenta fino a 80 Pa e il flusso di aria diminuisce leggermente.
- In caso di contropressioni importanti il flusso di aria diminuisce ulteriormente. Ne consegue una riduzione della pressione all'interno del bypass in caso di porte chiuse ed una riduzione del flusso di aria in caso di porte aperte.
- La contropressione massima consentita corrisponde al flusso minimo consentito, 0.75 m/s attraverso la porta. Anche in queste condizioni la sovrappressione minima di 30 Pa all'interno del bypass è rispettata.



**Fig.3: Esempio di ventilatore per i bypass con indicazione di alcuni punti di funzionamento.**

Il dimensionamento deve tenere in considerazione la differenza di pressione tra i portali della galleria e il funzionamento della ventilazione primaria, che può generare variazioni importanti di pressione.

Per fare fronte in modo ottimale alle esigenze di sicurezza della galleria si adottano le misure seguenti:

- Inversione della corrente nella canna parallela a quella interessata dall'incendio. Questa misura presenta diversi vantaggi, tra cui:
  - Essa permette di ridurre notevolmente il differenziale di pressione tra le due canne in caso di incendio, anche in presenza di differenziali di pressione molto importanti tra i portali.
  - Essa elimina il rischio di ricircolo di fumo agli imbocchi, tra l'uscita della canna incendio e l'entrata della canna opposta.
- Dimensionamento in pressione "generoso" dei ventilatori, con i seguenti benefici:
  - Riserve importanti di pressione anche in caso di differenziali residui di pressione importanti tra le due canne (particolarmente nella fase iniziale dell'incendio, in cui l'equilibratura delle pressioni è ancora in corso).
  - Possibilità di utilizzare la stessa tipologia di ventilatore sia per i bypass convenzionali che per tutte le altre tipologie di collegamenti trasversali considerate nel presente rapporto.
  - Ottima stabilità dei ventilatori anche nelle condizioni più sfavorevoli di esercizio ipotizzabili.
  - Possibilità di fare fronte alle perdite aerodinamiche generate dai bypass più lunghi e configurati nel modo aerodinamicamente meno favorevole. Queste riserve consentono
  - una progettazione affidabile anche in assenza dei dettagli costruttivi dei bypass.

Per gli impianti in oggetto verranno impiegati ventilatori di tipo assiale intubato la cui serie è caratterizzata dall'estrema robustezza della costruzione essenzialmente dovuta alle flange ricavate direttamente dalla viola (e non riportate), e dallo spessore dei materiali utilizzati

All'interno del contenitore sono installati:

- La Girante prevede un robusto mozzo a morsa, in fusione d'alluminio per il fissaggio delle pale;
- Pale realizzate mediante stampaggio di diversi materiali aventi sempre l'obiettivo di sopportare elevati carichi di lavoro;
- Convogliatore in lamiera d'acciaio protetto con verniciatura epossipoliestirica;
- Flange dimensionate a norma UNI ISO 6580 / EUROVENT 1-2;
- Girante ad alto rendimento con pale a profilo alare, ad angolo di calettamento variabile da fermo, in tecnopolimero oppure in fusione d'alluminio, mozzo in fusione d'alluminio;
- Equilibratura secondo norme UNI ISO 1940;

- Motore elettrico asincrono a corrente alternata, protezione IP 55, isolamento CI F, servizio S1, forma B3, costruzione conforme alle specifiche norme IEC / EEC (UNEL-MEC);

I dati tecnici del motore sono così riassumibili:

- Portata aria= 3,11 m<sup>3</sup>/s
- Potenza= 1,5 kW
- Temperatura aria convogliata: -20°C / +50°C
- Tensione d'alimentazione: 400V trifase,
- Frequenza: 50 Hz
- Aria convogliata: pulita o leggermente polverosa, non abrasiva
- Flusso dell'aria da motore a girante

#### **2.4.1 MODALITÀ E LIMITI DI FUNZIONAMENTO**

Le modalità di funzionamento previste sono:

- In condizioni normali di funzionamento la ventilazione viene attivata solo sporadicamente
- per mezzo di un apposito temporizzatore, per prevenire la formazione di muffe. Le serrande tagliafuoco sono normalmente in posizione chiusa.
- In caso di incendio viene azionato uno dei ventilatori in corrispondenza della canna non interessata dall'incendio (luogo sicuro dinamico). Le serrande tagliafuoco delle aperture di scarico vengono aperte lato incendio e chiuse sul lato opposto, per prevenire perdite inutili di aria.
- In caso di necessità, l'attivazione manuale del secondo ventilatore permette la realizzazione dell'"effetto bolla" per consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale.

La ridondanza del sistema di ventilazione è dunque completa per quanto riguarda la prevenzione della penetrazione dei fumi, ma non per quanto riguarda l'"effetto bolla".

I ventilatori funzionano a regime costante, senza regolazioni che complicherebbero inutilmente il sistema, ricucendone l'affidabilità e aumentandone le esigenze manutentive.

Questo impianto è in grado di prevenire la penetrazione di fumo nel bypass in tutte le condizioni più probabili di utilizzo. La ventilazione non è efficace unicamente in caso di apertura contemporanea delle due porte oppure di perdita di entrambi i ventilatori in corrispondenza della canna non interessata dall'incendio. Le zone filtro costituiscono in ogni caso una barriera molto efficace anche in caso di perdita del sistema di ventilazione.

La forza consentita per l'apertura delle porte viene superata unicamente in caso di attivazione contemporanea di due ventilatori, per generare l'"effetto bolla", con porte chiuse, oppure in caso di apertura di entrambe le porte di una chiusa in presenza di forti differenze di pressione tra le due gallerie. Le forze di apertura risultanti non sono in alcun caso problematiche per i Vigili del Fuoco.

## **2.5 L'IMPIANTO ELETTRICO DEI BY-PASS**

I by-pass verranno chiusi in modo da realizzare dei luoghi classificabili come “rifugi”.

All'interno di ogni bypass, dentro una delle due zone filtro, sarà installato un quadro di alimentazione denominato QBPx, che andrà ad alimentare tutte le utenze di propria pertinenza.

Tali quadri saranno tutti alimentati mediante linee in partenza dal quadro QGBT di cabine, ciascuna posata entro tubazioni interrato.

L'illuminazione verrà realizzata con lampade della stessa tipologia di quelle impiegate per l'illuminazione permanente in galleria in esecuzione stagna IP 66 con corpo in acciaio inox e schermo in policarbonato o in vetro temperato. Le lampade saranno in configurazione normalmente spente e verranno accese in presenza dell'apertura porte o di allarmi rilevati dal sistema.

La ventilazione forzata dei locali sarà realizzata in modo che, in caso di emergenza, il sistema di sicurezza metterà in funzione i ventilatori dal lato fornice non interessato da eventuale incendio o da altro evento.

Tutti i ventilatori sono dotati di serranda tagliafuoco, che si aprirà solo nel momento in cui il ventilatore parte. Il sistema di ventilazione è stato progettato per mettere il locale in sovrappressione, ed è per questo che si installerà un ulteriore serranda dotata di dispositivo automatico di regolazione della pressione interna dell'aria.

## **2.6 OPERE CIVILI - INTERVENTI SUI BY-PASS**

I by-pass pedonali dovranno assolvere al compito di rifugi in caso di incendio, dovranno consentire un agevole transito per gli automezzi dei Vigili del Fuoco e/o per il personale addetto. Le opere previste nel progetto hanno lo scopo di garantire una classe di resistenza al fuoco non inferiore a REI 120 dei nuovi ambienti.

Al fine di uniformare le strutture, i bypass pedonali saranno chiusi agli estremi mediante strutture in grado di realizzare le zone “filtro” che consentiranno l'accesso degli utenti evitando l'ingresso dei fumi nel rifugio.

Questo effetto sarà garantito mediante appositi sistemi di pressurizzazione costituiti da ventilatori assiali in grado di prelevare aria “pulita” dal fornice non interessato da incendi ed inserirla nel rifugio: la sovrappressione all'interno sarà regolata mediante serrande appositamente tarate.

## **2.7 IMPIANTO AREAZIONE BY-PASS**

L'areazione dei by-pass, necessaria al fine di evitare il surriscaldamento delle apparecchiature, viene garantita dalle serrande di sovrappressione.

### **3 IMPIANTO DI VENTILAZIONE GALLERIA**

#### **3.1 PREMESSA**

La galleria oggetto di studio è del tipo stradale, a doppio fornice con traffico unidirezionale. Ogni fornice ha due corsie di marcia per singolo senso di percorrenza. Il presente studio rappresenta una verifica di calcolo per il dimensionamento del sistema di ventilazione longitudinale.

Ipotizzando le condizioni al contorno previste in gallerie di simili caratteristiche geometriche già in opera, si è analizzato il sistema di ventilazione Longitudinale sia in condizione di normale esercizio (ventilazione sanitaria) sia in condizioni di emergenza (evento incidentale con sviluppo di incendio).

#### **3.2 RIFERIMENTI NORMATIVI E LINEE GUIDA**

Le verifiche di calcolo sono state effettuate, seguendo le più recenti raccomandazioni tecniche in materia di progettazione degli impianti di ventilazione delle gallerie stradali.

- D.Lgs 264 / 2006 Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
- PAIRC - Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation – 2012 e successive pubblicazioni aggiornate a data odierna per parco veicolare ed emissioni
- PIARC - “Pollution by NO2 in road Tunnels” - 2000
- PIARC - “Fire and Smoke control in road tunnels – 1999”
- PIARC - “Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels – 2007”

#### **3.3 DIMENSIONAMENTO**

Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione sarà verificato per il normale esercizio del tunnel, in cui il target dell'impianto è quello di abbattere le soglie di inquinanti prodotti dalla circolazione dei mezzi in galleria e riportare l'aria a livelli non tossici di respirabilità. Verranno quindi esaminati tutti gli scenari che possano verificarsi nelle diverse condizioni di traffico, valutando la densità di veicoli in galleria, la loro velocità ed in generale le caratteristiche fisiche del veicolo transitante (dimensioni, peso, tipologica di carburante e classe di inquinamento corrispondente). La verifica di dimensionamento terrà conto di almeno 20 anni di esercizio e la proiezione si spingerà fino al 2042.

La seconda verifica di dimensionamento verterà sulla condizione di emergenza, in cui l'impianto longitudinale attiverà gli acceleratori assiali per farli funzionare a temperature elevate con lo scopo di spingere i fumi caldi di combustione fuori dal tunnel. Lo studio prenderà in esame le condizioni più critiche e valuterà tutti gli effetti contingenti (effetto camino, effetto meteorologico etc..). Target di tale verifica è considerare il corretto numero di ventilatori tali per cui la spinta totale in galleria, produca una velocità uguale o poco superiore alla velocità critica oggetto di tale calcolo.

La velocità critica è il target da raggiungere per evitare il fenomeno di Backlayering dei fumi (arretramento per effetto camino, con invasione degli spazi vitali di fuga degli utenti) e per evitare che una troppo elevata velocità dell'aria possa soffiare i fumi ad altezza uomo senza permetterne quindi la stratificazione in volta.

### **3.4 CALCOLI**

Dopo quanto premesso, di seguito, si riportano nel seguito i calcoli per il dimensionamento di suddetto impianto

### **3.5 CONCLUSIONI**

Il risultato è che sono necessari n. 8 acceleratori +2 di scorta per un totale di 10, installati a coppie per la discesa, e 6+2=8 per la salita.

All'interno dei calcoli di seguito esposto sono riportate anche le caratteristiche dei ventilatori.

**PROJECT DATA**

Customer Name	TECNOENGINEERING	
Project Name	GALLERIA NODO PERUGIA	
Design Year	2035	
Country	Italy	
Enquiry Date	17 October 2022	

**TUNNEL DATA**

Length (m)	2250	
Cross Sectional Area (m <sup>2</sup> )	107	
Perimeter (m)	43,54	
Hydraulic Diameter (m)	9,83	
Wall Construction	Smooth	0,024
Altitude (m)	200	
Average Temperature (°C)	20	
Air Density (kg/m <sup>3</sup> )	1,2	
Outside Wind Speed (m/s)	3	
Tunnel Gradient % (slope)	-0,9	
Tunnel Location	Rural	
No. of Lanes	2	
Direction of Traffic Flow	Unidirectional	

Technology Standard Category	
If you are outside of Western Europe/USA, Australia, Algeria or China, please advise percentage of pre-EU1 vehicles in fleet as of year 2010	
	% of fleet
Petrol Car	
Diesel Car	
Petrol LDV	
Diesel LDV	
Diesel HGV	

**VEHICLE DATA**

No. of vehicles using tunnel	Fluid traffic	4424	Daily
	Congested traffic		
	Standstill		
Speed of free flowing traffic (km/h)	110		
Speed of HGV's (km/h)	80		

1. If hourly traffic data is given enter as Fluid & Congested traffic
2. If daily traffic data is given enter as Fluid traffic
3. Leave quantities blank if PIARC table 2 is to be used

**Fleet segmentation**

	Total	Cars (%)	LDV's (3.5t max) (%)	HGV's (%)
Total	100%	92%	5%	3%

**Breakdown fuel/weight**

Petrol		50%	4%	
Diesel		50%	96%	
15t				0%
23t				100%
32t				0%
Total		100%	100%	100%

**EMISSIONS DATA**

	Maximum Admissible Levels	Ambient Levels
CO (ppm)	70	0
NO <sub>2</sub> (ppm)		0
Extinction Co-efficient (PM) - (K=10 <sup>-3</sup> m <sup>-1</sup> )	9	0

**FIRE DATA**

Smoke calculation required?	Yes	
Fire Size (MW)	30	
Fire Position in tunnel (m)	2000	
Tunnel ceiling height (m)	7,5	
Velocity required (m/s)	0	(leave blank if not specified)

**Project:- GALLERIA NODO PERUGIA**

TUNNEL DATA	
Country	Italy
Design Year	2035
Length (m)	2250
Cross Sectional Area (m <sup>2</sup> )	107
Perimeter (m)	43,54
Hydraulic Diameter (m)	9,83
Wall Construction	Smooth
Altitude (m)	200
Average Temperature (°C)	20
Air density (kg/m <sup>3</sup> )	1,2
Outside Wind Speed (m/s)	3
Tunnel Gradient (slope)	-0,9
Tunnel Location	Rural
No. of Lanes	2
Direction of Traffic Flow	Unidirectional

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 <sup>2</sup> )	2
Frontal Area of HGV's (m <sup>2</sup> )	7
Car weight (tonnes)	1,1
HGV Weight(tonnes)	16
Density Carbon Monoxide (g/m <sup>3</sup> )	1200
Density Nitrogen Dioxide (g/m <sup>3</sup> )	1900

FLEET COMPOSITION	Cars (%)	LDV's (3.5t max) (%)	HGV's (%)
Petrol	46,1%	0,2%	-
Diesel	46,1%	4,8%	-
15t	-	-	0,0%
23t	-	-	2,9%
32t	-	-	0,0%
Total	92%	5%	3%
100%			



**CALCULATION OF NUMBER OF VEHICLES IN TUNNEL**

VEHICLE DATA			
No. of vehicles using tunnel	Fluid traffic	4424	Daily
	Congested traffic	0	
	Standstill	0	
Speed of free flowing traffic (km/h)	110		
Speed of HGV's (km/h)	80		

**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	4424	10%	443

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 <sub>veh</sub>	S (km/h)	a	veh/km (lane)		
				D <sub>car</sub>	D <sub>hgv</sub>	D <sub>veh</sub>
Fluid traffic	443	110	3%	3	0	3

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 <sub>car</sub> (m)	D <sub>pcu</sub>	a	veh/km (lane)		
				D <sub>car</sub>	D <sub>hgv</sub>	D <sub>veh</sub>
Congested	14,29	70	3%	66	1	67
Standstill	6,67	150	3%	138	4	142

**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)	2250		
	$N_{lane}$	2		
Total - $N_{veh}$	$D_{veh}$	3	67	142
	$N_{veh}$	<b>14</b>	<b>302</b>	<b>639</b>
Cars / LDV's - $N_{car} / N_{ldv}$	$D_{car}$	3	66	138
	% Cars	95%		
	% LDV's	5%		
	% Petrol Car	50%	50%	50%
	% Diesel Car	50%	50%	50%
	% Petrol LDV	4%	4%	4%
	% Diesel LDV	96%	96%	96%
	$N_{car}$ petrol	<b>7</b>	<b>141</b>	<b>295</b>
	$N_{car}$ diesel	<b>7</b>	<b>141</b>	<b>295</b>
	$N_{ldv}$ petrol	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
$N_{ldv}$ diesel	<b>1</b>	<b>15</b>	<b>31</b>	
HGV's - $N_{hgv}$	$D_{hgv}$	0	1	4
	% 15t	0%	0%	0%
	% 23t	100%	100%	100%
	% 32t	0%	0%	0%
	$N_{hgv}$ 15t	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	$N_{hgv}$ 23t	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>18</b>
	$N_{hgv}$ 32t	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

## 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 <sup>2</sup> /h	Factor (fm)
	km/h	CO	NO <sub>x</sub>	Opacity	Mass
Petrol Car	110	47,40	6,00	0,71	-
	10	9,70	1,60	0,13	-
	0	5,40	0,20	0,00	-
Diesel Car	110	1,20	37,90	4,70	-
	10	1,10	10,30	1,30	-
	0	0,30	4,50	0,40	-
Petrol LDV	110	203,10	15,20	2,20	-
	10	41,70	2,70	0,10	-
	0	4,80	0,40	0,00	-
Diesel LDV	110	2,50	68,90	13,20	-
	10	1,20	7,30	2,20	-
	0	0,40	3,80	0,60	-
HGV 15T	80	20,70	57,50	6,60	0,90
	10	17,30	77,20	5,60	0,90
	0	3,80	14,40	1,80	0,90
HGV 23T	80	20,70	57,50	6,60	1,00
	10	17,30	77,20	5,60	1,00
	0	3,80	14,40	1,80	1,00
HGV 32T	80	20,70	57,50	6,60	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 <sub>x</sub>	Opacity	CO	NO <sub>x</sub>	Opacity
Petrol Car	0,69	0,46	0,92	1	1	1
Diesel Car	0,72	0,26	0,31	1	1	1
Petrol LDV	0,48	0,19	0,78	-	-	-
Diesel LDV	0,25	0,29	0,17	-	-	-
HGV 15T	0,72	0,22	0,91	-	-	-
HGV 23T	0,72	0,22	0,91	-	-	-
HGV 32T	0,72	0,22	0,91	-	-	-

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

	Speed	m <sup>2</sup> /h
	km/h	PM <sub>2.5</sub>
Passenger Cars & LDV's	110	7,20
	10	0,70
	0	0,00
HGV's	80	35,30
	10	4,40
	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 <sub>veh</sub> )			
Fluid traffic	g/h		m2/h	
at 110 km/h	CO	NO <sub>x</sub>	Opacity	PM <sub>2.5</sub>
Petrol Car	228,94	19,32	-	50,40
Diesel Car	6,05	68,98	10,20	50,40
Petrol LDV	97,49	2,89	-	7,20
Diesel LDV	0,63	19,98	2,24	7,20
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
<b>Total</b>	<b>333,10</b>	<b>111,17</b>	<b>12,44</b>	<b>115,20</b>

	Emission per vehicle * Number of vehicles (Q*N <sub>veh</sub> )			
Congested	g/h		m2/h	
at 10 km/h	CO	NO <sub>x</sub>	Opacity	PM <sub>2.5</sub>
Petrol Car	943,71	103,78	-	98,70
Diesel Car	111,67	377,60	56,82	98,70
Petrol LDV	20,02	0,51	-	0,70
Diesel LDV	4,50	31,76	5,61	10,50
HGV 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 23T	62,28	84,92	25,48	22,00
HGV 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>1142,18</b>	<b>598,56</b>	<b>87,91</b>	<b>230,60</b>

	Emission per vehicle * Number of vehicles (Q*N <sub>veh</sub> )			
Standstill	g/h		m2/h	
at 0 km/h	CO	NO <sub>x</sub>	Opacity	PM <sub>2.5</sub>
Petrol Car	1099,17	27,14	-	0,00
Diesel Car	63,72	345,15	36,58	0,00
Petrol LDV	4,61	0,15	-	0,00
Diesel LDV	3,10	34,16	3,16	0,00
HGV 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
HGV 23T	49,25	57,02	29,48	0,00
HGV 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total</b>	<b>1219,85</b>	<b>463,63</b>	<b>69,23</b>	<b>0,00</b>

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 (m<sup>3</sup>/h)

n<sub>veh</sub> = Number of vehicles in tunnel

Q = Emission for CO,NO<sub>x</sub> (g/(h.veh)) and PM (m<sup>2</sup>/(h.veh))

C<sub>adm</sub> = Admissible concentration of pollutant (g/m<sup>3</sup>)

C<sub>amb</sub> = Ambient concentration of pollutant (g/m<sup>3</sup>)

	In tunnel	C <sub>amb</sub>	C <sub>adm</sub>	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v <sub>t</sub> )
CO Levels	g/(h.veh)	g/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m/s
Fluid traffic	333,10	0	0,00007	1,10	107	0,01
Congested	1142,18			3,78		0,04
Standstill	1219,85			4,03		0,04

	In tunnel	C <sub>amb</sub>	C <sub>adm</sub>	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v <sub>t</sub> )
NO <sub>x</sub> Levels	g/(h.veh)	g/m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m/s
Fluid traffic	111,17	0	N/A	N/A	107	N/A
Congested	598,56			N/A		N/A
Standstill	463,63			N/A		N/A

According to PIARC 2019R02EN, NO<sub>2</sub> levels in European countries are approximately 20-30% of the NO<sub>x</sub> levels, therefore the admissible NO<sub>2</sub> concentration is multiplied by 100/30 to give the admissible NO<sub>x</sub> levels (C<sub>adm</sub>).

	In tunnel (Opacity + PM2,5)	K <sub>amb</sub>	K <sub>adm</sub>	Required Airflow (V)	Tunnel CSA	Required Velocity (v <sub>t</sub> )
Visibility	m <sup>2</sup> /(h.veh)	m <sup>-1</sup>	m <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /s	m <sup>2</sup>	m/s
Fluid traffic	127,64	0	0,009	3,94	107	0,04
Congested	318,51			9,83		0,09
Standstill	69,23			2,14		0,02

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 <sup>3</sup> /s)	Tunnel velocity (m/s)
<b>Visibility</b>	<b>Congested</b>	<b>9,83</b>	<b>0,09</b>

**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)

$\rho$  = 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	<b>371,78 <math>^\circ K</math></b>	<b>1,96 m/s</b>
Tunnel Area	A	107	$m^2$		
Tunnel height	H	7,5	m		
Temperature	T	293	$^\circ K$		
Density	$\rho$	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<sub>wall</sub> = Wall temperature (°K)

ρ = Ambient air density (kg/m<sup>3</sup>)

C<sub>p</sub> = Specific heat of air (KJ/kg/°K)

A<sub>T</sub> = Cross sectional area of tunnel (m<sup>2</sup>)

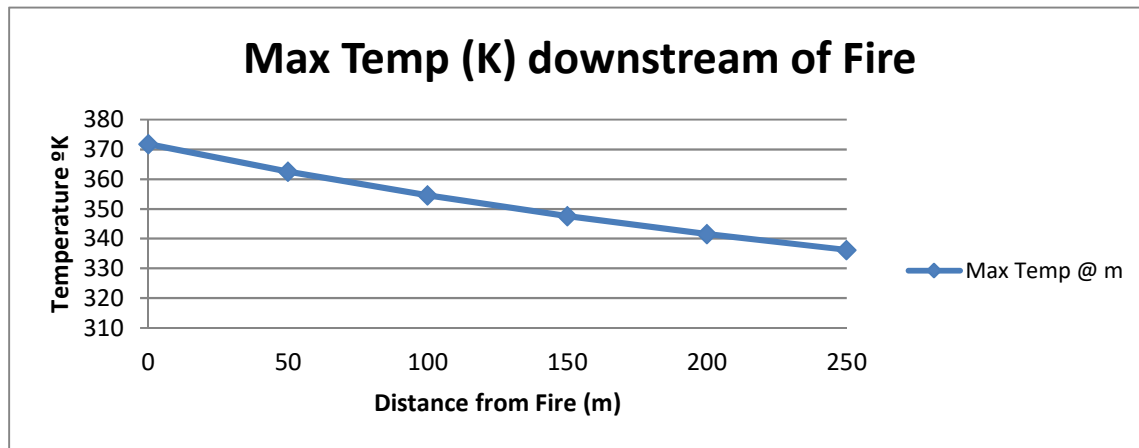
u = Ventilation velocity (m/s)

P<sub>r</sub> = Prandtl Number (constant)

ε = Wall emissivity (assume 0,7)

σ<sub>0</sub> = Stefan Boltzmann constant (5,68\*10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>)

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
	°K	°C	kg/m <sup>3</sup>
At Fire (see SES calculation on previous page)	372	99	0,946
At Outlet Portal	336	63	1,046
Mean temperature downstream of fire	354	81	0,993



## 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 <sup>3</sup> /s)	Tunnel velocity (m/s)
<b>Emergency</b>	<b>Standstill</b>	<b>209,66</b>	<b>1,96</b>

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:-

$\Delta p_T$  = Total system pressure (Pa)

$\Delta p_{in}$  = Inlet losses (Pa)

$\Delta p_{out}$  = Outlet losses (Pa)

$\Delta p_{wall}$  = Wall friction losses (Pa)

$\Delta p_{wind}$  = Losses incurred to overcome headwind at portal (Pa)

$\Delta p_{veh}$  = Vehicle piston (-) or drag effect (Pa)

$\Delta p_{met}$  = Meteorological losses (Pa)

$\Delta p_{fire}$  = Blockage effect caused by fire (Pa)

### Inlet Losses ( $\Delta p_{in}$ )

Inlet losses are calculated by the following formula:-

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

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

	$\kappa$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{in}$	0,5	1,2	1,96	1,2

### Outlet Losses ( $\Delta p_{out}$ )

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 ( $\rho$ ) will be reduced due to the increased gas/smoke temperature:-

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

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{out}$	1,046	2,25	2,6

### Wall friction Losses ( $\Delta p_{wall}$ )

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  $\kappa$  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.

	$\kappa$	L (m)	D (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	V (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{wall}$	0,024	2000	9,830041	1,2	1,96	11,2
$\Delta p_{wall}^*$		250		0,993	2,37	1,7

\*= section downstream of fire

### Portal headwind Losses ( $\Delta p_{wind}$ )

Portal headwind losses are calculated by the following formula:-

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

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$V_{wind}$ (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{wind}$	1,2	3,00	5,4

### Vehicle Piston/Drag effect ( $\Delta p_{veh}$ ) or Blockage effect ( $\Delta p_{block}$ )

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)

	$n_{veh}$	$CW_{veh}$	$FA_{veh}$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m/s)	$u$ (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (Car)	524	0,4	2	1,2	0,00	1,96	6,3
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (LDV)	29	0,4	2				0,4
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (HGV)	16	1	7				1,7

### Meteorological Losses ( $\Delta p_{met}$ )

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:-

$\rho_0$  = Ambient air density or density at inlet portal (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_1$  = Air density at outlet portal or fire (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Gravity (9,81m/s<sup>2</sup>)

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

	$h_{diff*}$	$\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_1$ (kg/m <sup>3</sup> )	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{met}$	2,25	1,2	0,99	4,6

### Fire Obstruction Losses ( $\Delta p_{fire}$ )

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  $\xi_{exp}$ :-

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

Where:-

$\rho / \rho_0$  = Ambient air density (kg/m<sup>3</sup>)

$V / V_c$  = Critical velocity (m/s)

	$\xi_{exp}$	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m/s)	Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{fire}$	4,13	1,200	1,96	9,5

### Total System Pressure ( $\Delta p_T$ )

	Individual Pressure drop (Pa)	Total Pressure drop (Pa)
$\Delta p_{in}$	1,2	44,6
$\Delta p_{out}$	2,6	
$\Delta p_{wall}$	11,2	
$\Delta p_{wall}^*$	1,7	
$\Delta p_{wind}$	5,4	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (Car)$	6,3	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (LDV)$	0,4	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block} (HGV)$	1,7	
$\Delta p_{met}$	4,6	
$\Delta p_{fire}$	9,5	

### 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 (m<sup>2</sup>)

$\Delta p_T$  = Total system pressure (Pa)

	$A_T$ (m <sup>2</sup> )	$\Delta p_T$ (Pa)	$F_T$ (N)
Tunnel Thrust ( $F_T$ )	107	44,58	4769,9

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	2250	m
sito incendio	x	2000	m
Sezione	S	107	m <sup>2</sup>
perimetro	p	43,54	m
diametro idraul	did	9,83	m
pendenza	i	-0,90%	
tratto elementare	l	25	m
Dquota elementare	Dh	-0,225	m
Velocità media aria	W0	1,890	m/s
densità aria	rho0	1,2	kg/m <sup>3</sup>
coeff. Attrito	lambda0	0,024	
perdita imbocco	alfa	0,6	
N. di Prandtl	Pr	0,7	
accelerazione g	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Traffico Bloccato	T bloccato	217	v/km
velocità traffico	vh	0	km/h
n° Veicoli leggeri	VI	352	veicoli
n° Veicoli pesanti	Vp	83	veicoli
s. resistente, leggeri	(CxA)leg	0,9	m <sup>2</sup>
s. resistente, pesante	(CxA)pes	5	
proporzione leggeri	%leggeri	81,0%	
proporzione pesanti	%pesanti	19,0%	
Potenza termica totale	30 MW	3,00E+07	W
potenza termica	Qc	2,00E+07	W
calore specifico	cp0	1009	J/kgK
emissività	epsilon	0,7	
c. stefan-boltzmann	sigma0	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
fattore di vista	F	1	
T aria	T	293	K
T parete	Tp	293	K

### GALLERIA NODO PERUGI Discesa

Temp Fumi a incendio Tf 375 K 102 °C  
c. di scambio convettivo hc 7,43 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	AJ9 1000-10/37°-4	27,0 kW (AOM) IP (160)
Qv	24,50	m <sup>3</sup> /s
Vv	31,19	m/s
F0	917	N
k	0,87	totale
kW	25,10	
Tmax	400	°C
Distanza media dalla volta	400	mm
Distanza dal muro		mm
numero corsie	TRAFFICO BLOCCATO AL KM	
	2	109

**Massima lunghezza** metri  
**colonna veicoli fermi** 2250

**Velocità Vento** 10,8 km/h  
3 m/s

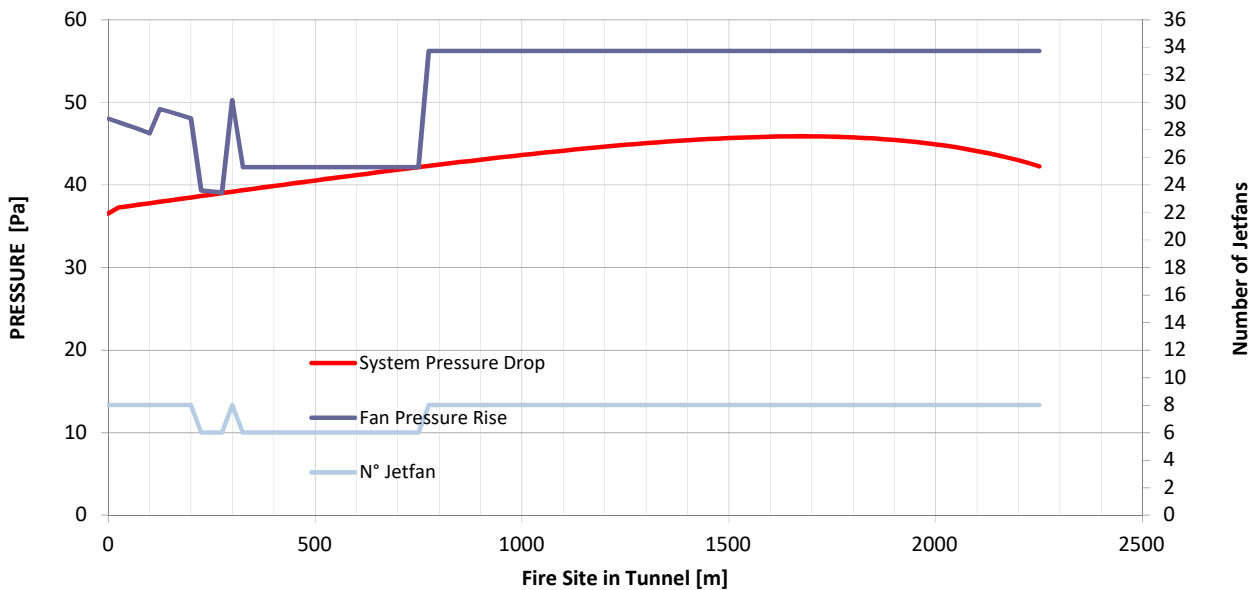
### RISULTATI

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]
1,29	2,48	4,04	12,06	5,05	14,62	5,40	44,93

N°Ventilatori	Totale Ventilazione [Pa]
-	56,24
8,00	56,24

sito incendio x 2000 m

### FIRE THERMIC POWER 30MW



Lunghezza	L	2250	m
sito incendio	x	2000	m
Sezione	S	107	m <sup>2</sup>
perimetro	p	43,54	m
diametro idraul	did	9,83	m
pendenza	i	0,90%	
tratto elementare	l	25	m
Dquota elementare	Dh	0,225	m
Velocità media aria	W0	1,824	m/s
densità aria	rho0	1,2	kg/m <sup>3</sup>
coeff. Attrito	lambda0	0,024	
perdita imbocco	alfa	0,6	
N. di Prandtl	Pr	0,7	
accelerazione g	g	9,81	m/s <sup>2</sup>
Traffico Bloccato	T bloccato	217	v/km
velocità traffico	vh	0	km/h
n° Veicoli leggeri	VI	352	veicoli
n° Veicoli pesanti	Vp	83	veicoli
s. resistente, leggeri	(CxA)leg	0,9	m <sup>2</sup>
s. resistente, pesante	(CxA)pes	5	
proporzione leggeri	%leggeri	81,0%	
proporzione pesanti	%pesanti	19,0%	
Potenza termica totale	30 MW	3,00E+07	W
potenza termica	Qc	2,00E+07	W
calore specifico	cp0	1009	J/kgK
emissività	epsilon	0,7	
c. stefan-boltzmann	sigma0	5,67E-08	W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
fattore di vista	F	1	
T aria	T	293	K
T parete	Tp	293	K

### GALLERIA NODO PERUGI Salita

Temp Fumi a incendio Tf 378 K 105 °C  
c. di scambio convettivo hc 7,17 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 AJ9 1000-10/37°-4 27,0 kW (AOM) IP (160)

Qv 24,50 m<sup>3</sup>/s

Vv 31,19 m/s

F0 917 N

k 0,87 totale

kW 25,10

Tmax 400 °C

Distanza media dalla volta 400 mm

Distanza dal muro mm

numero corsie TRAFFICO BLOCCATO AL KM

2 109

Massima lunghezza metri 2250  
colonna veicoli fermi

Velocità Vento 10,8 km/h  
3 m/s

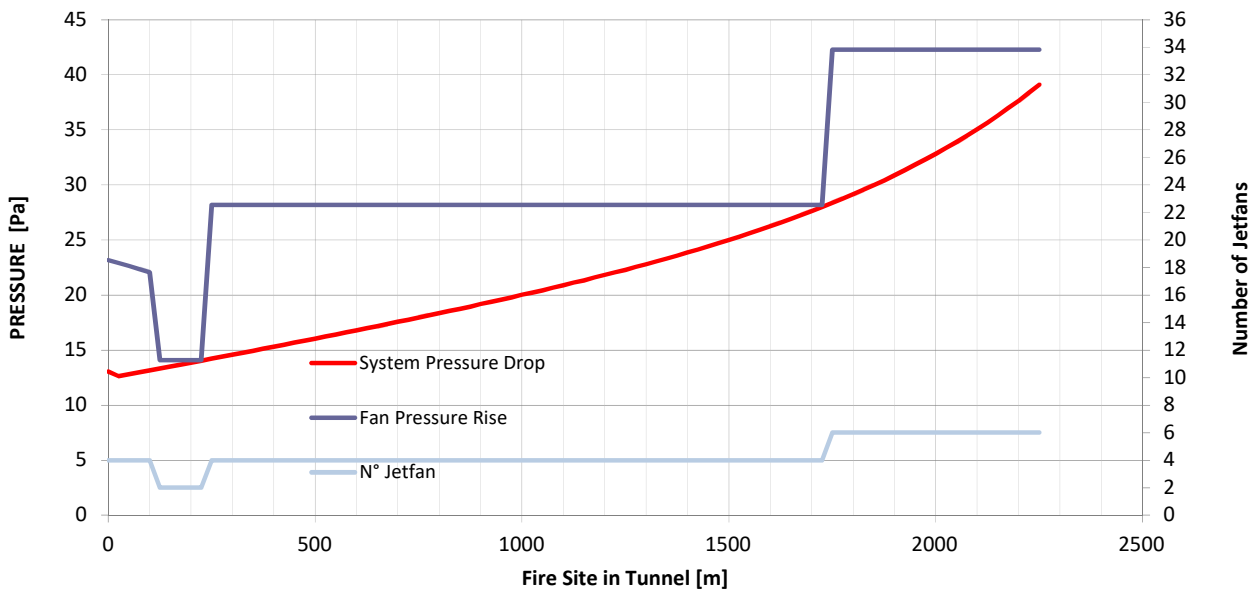
### RISULTATI

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]
1,20	2,31	4,23	11,24	-5,17	13,62	5,40	32,83

N°Ventilatori	Totale Ventilazione [Pa]
-	42,28
6,00	42,28

sito incendio x 2000 m

### FIRE THERMIC POWER 30MW





## SPECIFICHE TECNICHE

### INFORMAZIONI GENERALI

L'acceleratore è specificamente progettato per resistere alle severe condizioni d'esercizio dei tunnel stradali; I materiali e la costruzione sono ingegnerizzati per garantire una durabilità ed affidabilità delle prestazioni durante l'intera vita dell'infrastruttura.

Il buon LCC (Life Cycle Cost) come definito dal PIARC Report 2102R14EN e ISO 15686-5:2008, la resistenza alla corrosione secondo EN 12944-2:1998 (assimilabile ad una galleria stradale), con un tasso di disponibilità superiore al 99.9 % contribuiscono a valutare questo acceleratore come il più adatto per l'applicazione richiesta.

<b>Codice prodotto</b>	AJ TR F400
<b>Tipo prodotto</b>	Acceleratori per galleria
<b>Modello</b>	AJ 1000-10/42°-4 30,0 kW (AOM) IP (180)

### Dati Funzionali

Spinta	917 N (ISO13350)
Portata	24,5 m <sup>3</sup> /s
Velocità uscita	31,2 m/s
Potenza meccanica assorbita	27,3 kW
Efficienza meccanica	33,6 N/kW
Funzionamento continuo	-20°C a +40 °C
Funzionamento emergenza	F400 (400°C/2h) EN12101-3:2015
Livello Potenza sonora	104 ±3 dBW(A)
Pressione sonora (10m,45°)	73 ±3 dB(A)

### Girante

Diametro nominale	1000 mm
Profilo	Profilo alare reversibile
Angolo pale	Regolabile da fermo
Materiale pale	Lega di alluminio Grado LM13 BS EN 1676:2010
Materiale mozzo	Lega di alluminio Grado LM13 BS EN 1676:2010
Finitura girante	Standard
Accoppiamento motore	Diretto con chiavetta in acciaio DIN 6885-1
Controllo Radiografico	Si
Bilanciatura	Statica e dinamica ISO 21940-11:2016
Grado di bilanciatura	G 6.3 ISO 14694:2003

### Cassa

Spessore	5
Materiale	AISI316L (EN 1.4404)
Verniciatura	No
Foratura flange	ISO 13351:2009
Supporti motore	AISI316L (EN 1.4404)
Staffe di supporto	AISI316L (EN 1.4404) imbullonate

### Silenziatori

Materiale	AISI316L (EN 1.4404)
Lunghezza	1D
Accoppiamento alla cassa	Diretto, imbullonato
Boccaglio	Integrato
Tipo materiale fonoassorbente	Class A1 EN 13162:2015
Reti di protezione	No (disponibile su richiesta)
Deflettori	No (disponibile su richiesta)

### Motore elettrico

Tipo	Elettrico trifase a gabbia di scoiattolo IEC 60034-1:2017; IEC 60072-1:1991
Potenza nominale motore	30,0 kW
Velocità di rotazione	1485 RPM
Alimentazione	400/50/3 V/Hz/ph
Corrente nominale	to be advise at order
Corrente di spunto	to be advise at order
Cos φ	to be advise at order
Forma motore	IMB30 (PAD) IEC 60034-7:1992
Classe isolamento	H IEC 60085:2007
Classe di protezione	IP55 IEC 60034-5:2000
Classe di efficienza	IE3
Efficienza elettrica	93,6 %
Raffreddamento	TEAOM IEC 60034-6:1991 Codice IC418
Funzionamento continuo	-20°C a +40 °C
Funzionamento emergenza	F400 (400°C/2h) EN12101-3:2015

Cuscinetti	20.000h L10 ISO281:2007
Lubrificazione	Lubrificati a vita
Finitura motore	Standard
Tipo avvio	Avvio diretto (DOL)
	Sofstarter
	Inverter
<b>Sensori Motori</b>	
Cuscinetti	non presente (disponibili su richiesta)
Avvolgimenti	non presente (disponibili su richiesta)
Scaldiglie anti condensa	non presente (disponibili su richiesta)

#### Morsettiera esterna

Materiale	AISI316L (EN 1.4404)
Grado di protezione	IP55
Pressacavo dimensione/materiale	Da confermare Ottone nichelato (da confermare)
Collegamento al motore	Mediate cavi antifiamma privi di alogeni

#### ACCESSORI

##### Sensore di Vibrazione

Incluso

Norma di riferimento	ISO 10816
Materiale	AISI 316L (EN 1.4404)
Segnale di uscita	4-20mA
Campo di misura	0 ÷ 25 mm/s RMS
Campo di frequenza	10 ÷ 1000 Hz
Alimentazione	9,6 ÷ 32 V DC
Installazione	Sulla cassa

##### Telaio di Sostegno

Incluso

Tipo	ACF (Adaptive Ceiling Frame)
Materiale	AISI316L (EN 1.4404)
Tipo installazione	Con antivibranti

##### Antivibranti

Incluso

Tipologia	Set Sylodyn
Materiale	Elastometer complete with steel plate
Isolamento	>80%

##### Sistema anticaduta

Incluso

Tipologia	Catene
Materiale	A4

##### Sensore orizzontalità

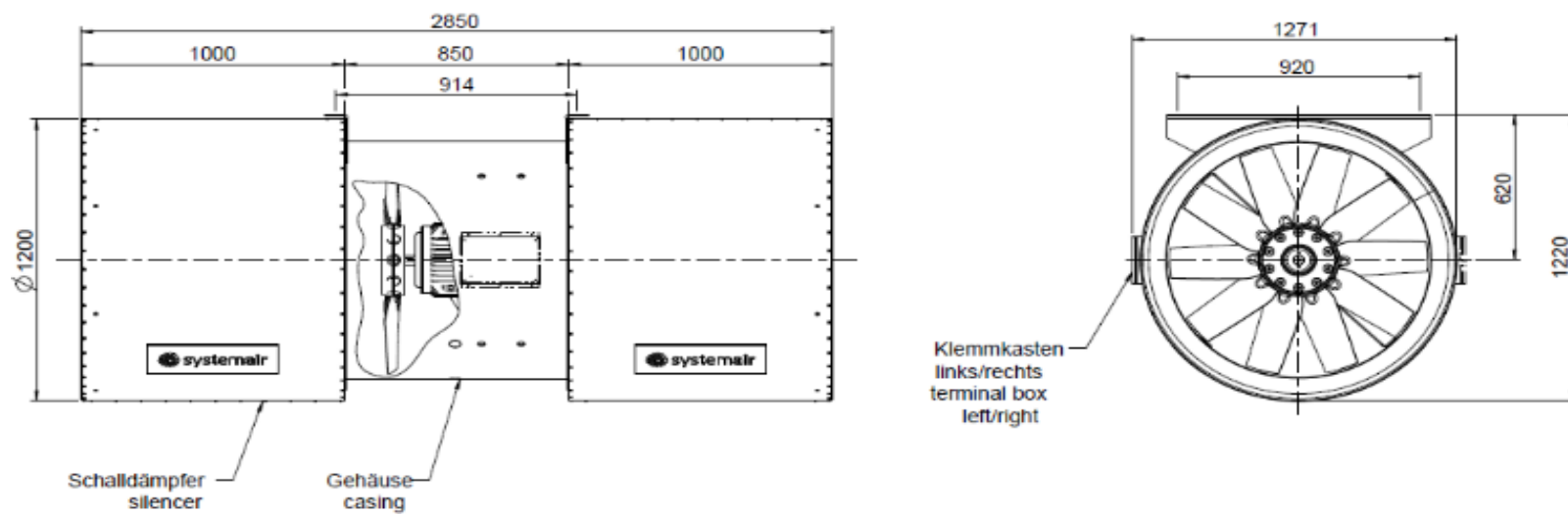
Incluso

Norma di riferimento	ISO60947-5-1:2003
Materiale	Tecnopolimer
Segnale di uscita	Clean contact (NC/NA)
Grado di protezione	IP65

### Documentazione

Disegno dimensionale	incluso
Piano Controllo Qualità	incluso
Certificato Raggi X	incluso
Certificato d'Ispezione secondo	incluso
Certificato di Bilanciatura	incluso
Certificato resistenza al fuoco	incluso
Dichiarazione di Conformità CE	incluso
Certificato di Garanzia della Qualità	ISO 9001:2008
Certificato Gestione Ambientale	ISO 14001:2004
Foglio Ispezione Finale	incluso
Dichiarazione di Conformità dei materiali	incluso

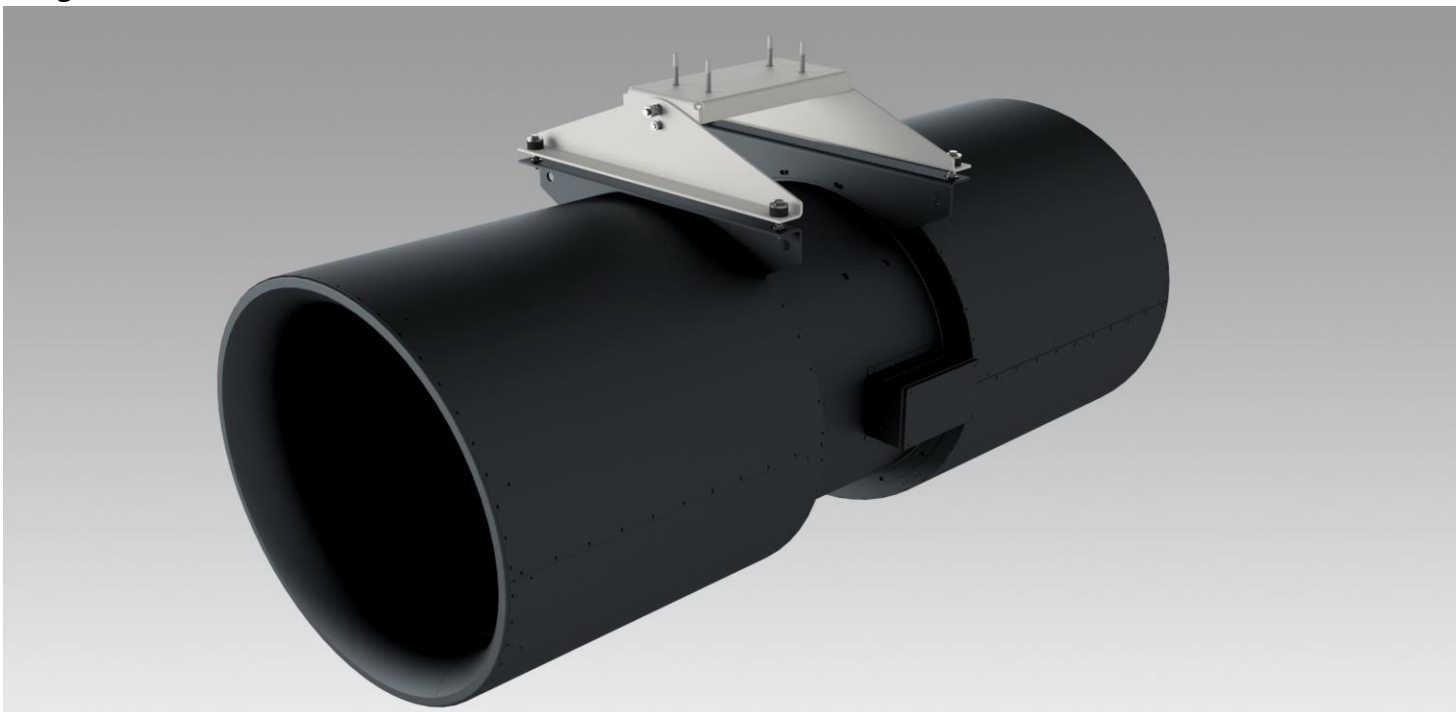
### Disegno Generale



Peso indicativo:

528 kg

Esempio di Rendering



NB: i dati qui presentati sono quelli attualmente disponibili, non sono vincolanti e saranno confermati in sede d'ordine.