

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO ESECUTIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:

MANDANTI:



sinergo

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IMPIANTI TECNOLOGICI:

Ing. Filippo Bittante – Sinergo SpA
Ordine Ingegneri Provincia di Venezia n. 3991

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica – Società Pro Iter Srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO:

DATA:



11 - IMPIANTI
11.02 - IM.01 -GALLERIA GUINZA

RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00IM01IMPRES04.pdf		
LO702M	E	2101	CODICE ELAB. T00IM01IMPRES04	A	--
D					
C					
B					
A	EMISSIONE		FEBBRAIO 2023	MARCHESINI	BITTANTE BITTANTE
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

INDICE

1. PREMESSE.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
3. SCELTA DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE.....	2
4. CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA GALLERIA	2
5. SCOPO DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE	3
5.1. Ventilazione sanitaria.....	3
5.2. Ventilazione di emergenza.....	3
6. RELAZIONE DI CALCOLO	4
6.1. CALCOLO DEL NUMERO DEI VEICOLI NEL TUNNEL	5
6.2. Numero di veicoli nella galleria.....	6
7. RIFERIMENTI PER IL CALCOLO DELLE EMISSIONI DEI VEICOLI	7
8. CALCOLO DELLE EMISSIONI NELLA GALLERIA	9
Sezione Tunnel	10
9. CALCOLO DEL FABBISOGNO D'ARIA IN CONDIZIONI DI EMERGENZA (INCENDIO).....	11
10. CALCOLO DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA A VALLE DELL'INCENDIO IN CONDIZIONI DI EMERGENZA.....	12
11. CALCOLO DEI REQUISITI DI PRESSIONE/SPINTA PER LA MASSIMA VELOCITÀ NEL TUNNEL.....	13
11.1. Perdite in Ingresso (Δp_{in}).....	13
11.2. Perdite in Uscita (Δp_{out}).....	13
11.3. Perdite Per Attrito con la Parete (Δp_{wall}).....	14
11.4. Perdite Per Vento Contrario (Δp_{wind}).....	14
11.5. Effetto Pistone/Resistenza del veicolo (Δp_{veh}) or Effetto di Blocco (Δp_{block}).....	15
11.6. Perdite Per Effetto Meteorologico (Δp_{met}).....	15
11.7. Perdite per Ostruzione Incendio (Δp_{fire}).....	16
11.8. Pressione Totale Del Sistema (Δp_T).....	17
12. Spinta nel Tunnel (FT).....	18
13. TIPOLOGIA DI VENTILATORI	19
14. CALCOLO DEL NUMERO DEI VENTILATORI.....	19
15. SCELTE OPERATE	19

1. PREMESSE

La presente relazione concerne il progetto esecutivo degli impianti di ventilazione da porre servizio della galleria Guinza sul nuovo tratto stradale della E78 S.G.C. Grosseto -Fano, tenuto conto delle prescrizioni di cui alla delibera di valutazione di conformità della Commissione Permanente per richiamano le Gallerie (Guinza NCPG 485) trasmessa in data 17/12/2020.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I riferimenti normativi e legislativi sono le linee guida Anas emanate in osservanza al DLGS 264/06 che recepisce la Direttiva Europea 2004/84/CE aggiornate al 2009.

Tali linee guida, all'articolo 3.4.2.2.1 fanno riferimento alle raccomandazioni del PIARC sia per quanto attiene la "ventilazione sanitaria" sia per quanto attiene la "ventilazione di emergenza" in caso di incendio.

Le singole raccomandazioni e/o normative adottate sono indicate ai punti successivi contestualmente alle sezioni di calcolo.

3. SCELTA DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE

In armonia con quanto concesso dalle linee guida si prevede un sistema di ventilazione longitudinale anche in presenza di una galleria di lunghezza > di 4.000 mt ma ≤ di 6.000 mt quando in presenza di sistemi di sicurezza compensativi suffragati dall'analisi dei rischi.

4. CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELLA GALLERIA

Le principali caratteristiche della galleria sono individuate nel prospetto inserito nella Delibera di approvazione di cui alle premesse e di seguito riportato:

NCPG	Nome	Fornice	N° corsie	Lunghezza (m)	Pendenza max (%)	TGM* (v/g/c)	Veicoli pesanti (%)
485	Guinza	SX	1+E	5.960	+0,4	1.031	0

* dato stimato per l'anno 2025

Dette caratteristiche sono assunte a base di calcolo contemporaneamente alle altre caratteristiche del manufatto.

5. SCOPO DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE

5.1. Ventilazione sanitaria

Lo scopo del sistema di ventilazione in condizioni di esercizio ordinario è quello di diluire gli inquinanti emessi dagli autoveicoli per qualsiasi condizione di traffico compreso l'arresto dello stesso conseguente all'accadimento di un incidente non rilevante.

Il fabbisogno d'aria per la diluizione degli inquinanti in galleria è calcolato secondo le linee PIARC dell'anno 2019.

5.2. Ventilazione di emergenza

Lo scopo del sistema della ventilazione in emergenza è sostanzialmente quello di garantire il salvataggio delle persone coinvolte nell'evento con il controllo (disperdimento) dell'energia termica generata dal focolaio di incendio, con il controllo e la gestione del moto dei fumi e con la diluizione delle sostanze tossiche.

L'incendio di riferimento, secondo il PIARC, è quello di un autocarro, che trasporta merci solide infiammabili con una potenza dell'incendio massima di 30 MW, per un tempo di $\approx 1 \div 1,5$ ore, con uno sviluppo di fumi di $\approx 80 \text{ m}^3/\text{s}$ e con una temperatura massima dell'ordine di 1000 °C. Questo parametro di valutazione è adottato per la galleria Guinza anche se alla stessa è interdetto il transito di mezzi pesanti.

6. RELAZIONE DI CALCOLO

DATI GENERALI ASSUNTI A BASE DEI CALCOLI	
Nazione	Italia
Anno di apertura	2025
Lunghezza (m)	5960
Area sezione (m ²)	57
Perimetro (m)	30
Diametro idraulico (m)	7,60
Coefficiente di attrito	0,024
Altezza slm (m)	580
Temperatura media (°C)	20
Densità dell'aria (kg/m ³)	1,2
Velocità del vento (m/s)	10
Pendenza (gradi)	0,4
Locazione galleria	Rurale
N° di corsie	1
Direzione del traffico	Unidirezionale

CONCENTRAZIONE INQUINANTI	ammisibile
CO (ppm)	70
NO ₂ (ppm)	--
Opacità- coefficiente di estinzione (PM) - (K=10-3m-1)	9

ALTRI DATI DI INGRESSO (PIARC 05.02 B 1994)	
Effetto blocco autovetture	0,4
Effetto blocco autocarri	1
Coefficiente di resistenza aerodinamica autovettura	0,35
Coefficiente di resistenza aerodinamica autocarro	0,8
Area frontale autovettura (m ²)	2
Area frontale autocarro (m ²)	7

COMPOSIZIONE DEL TRAFFICO	Auto (%)	Leggeri (3.5t max) (%)	Pesanti (%)
Benzina	40,0%	0,0%	-
Diesel	60,0%	0,0%	-
15t	-	-	0,0%
23t	-	-	0,0%
32t	-	-	0,0%
Totale	100%	0%	0%

6.1. CALCOLO DEL NUMERO DEI VEICOLI NEL TUNNEL

DATI SUI VEICOLI			
N° dei veicoli	Traffico fluido	1031	giorno
	Traffico congestionato	0	
	Traffico bloccato	0	
Velocità del traffico scorrevole(km/h)		50	

Il volume del traffico di punta è generalmente pari al 10% del TGM come indicato dal PIARC (2012), pertanto si assumerà il 10%

	TGM	Punta %	N° veicoli
Traffico Fluido	1031(*)	10%	104

(*) dati indicati nel verbale della Commissione Permanente per le Gallerie che approva il progetto definitivo

La conversione del numero di veicoli da traffico fluido e della densità del traffico congestionato per corsia "D" si basa sulla velocità del traffico "S", ed è calcolata come segue:

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

	N _{veh}	S (km/h)	a	veh/km (corsia)		
				D _{car}	D _{hgv}	D _{veh}
Traffico fluido	104	50	0%	3	0	3

La stima della densità di traffico per corsia "D" quando il traffico è congestionato o fermo si basa sullo spazio traffico medio "TS" occupato dalle autovetture e dai mezzi pesanti secondo PIARC 05.14B (2012),

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

	TS _{car} (m)	D _{pcu}	a	veh/km (corsia)		
				D _{car}	D _{hgv}	D _{veh}
Congestionato	14,29	70	0%	70	0	70
Bloccato	6,67	150	0%	150	0	150

6.2. Numero di veicoli nella galleria

Il numero di veicoli in galleria è determinato dalla densità di traffico "D" per corsia (veh/km) moltiplicata per il numero di corsie "N" e la lunghezza della galleria "L":

		Traffico fluido	Traffico congestionato	Traffico bloccato
	L _{tun} (m)	5960		
	N _{lane}	1		
Totale - N _{veh}	D _{veh}	3	70	150
	N _{veh}	18	418	894
Auto / Veicoli leggeri -N _{car} / N _{ldv}	D _{car}	3	70	150
	% Cars	100%		
	% LDV's	0%		
	% benzina Car	40%	40%	40%
	% diesel Car	60%	60%	60%
	% benzina LDV	0%	0%	0%
	% diesel LDV	0%	0%	0%
	N _{car benzina}	8	167	358
	N _{car diesel}	11	251	537
	N _{ldv benzinal}	0	0	0
N _{ldv diesel}	0	0	0	
Camion - N _{hgv}	D _{hgv}	0	0	0
	% 15t	0%	0%	0%
	% 23t	0%	0%	0%
	% 32t	0%	0%	0%
	N _{hgv 15t}	0	0	0
	N _{hgv 23t}	0	0	0
	N _{hgv 32t}	0	0	0

7. RIFERIMENTI PER IL CALCOLO DELLE EMISSIONI DEI VEICOLI

I dati di emissione sono basati sulla pubblicazione del Piarc (2012) per I paesi Europei secondo le seguenti classi tecnologiche:

	Tabella di riferimento
Vetture benzina	Tecnologia Standard A
Vetture diesel	Tecnologia Standard A
Veicoli leggeri benzina	Tecnologia Standard A
Veicoli leggeri diesel	Tecnologia Standard A
Camion diesel	Tecnologia Standard A

Dalle citate tabelle Tecnologiche si ricavano i seguenti valori di emissione per veicolo (Emissioni dei veicoli del PIARCR e fabbisogno di aria per la ventilazione 2019R02)

	velocità	g/h		m ² /h	fattore (fm)
	km/h	CO	NO _x	Opacità	Massa
Vetture benzina	50	23,80	4,30	0,32	-
	10	12,00	2,10	0,15	-
	0	5,40	0,20	0,00	-
Vetture diesel	50	2,60	29,20	3,40	-
	10	1,50	14,50	1,60	-
	0	0,30	4,50	0,40	-
Veicoli leggeri benzina	50	90,00	9,90	0,40	-
	10	50,20	4,30	0,10	-
	0	4,80	0,40	0,00	-
Veicoli leggeri diesel	50	2,50	27,20	6,10	-
	10	1,60	11,30	2,90	-
	0	0,40	3,80	0,60	-
Camion 15T	50	43,20	129,80	11,90	0,90
	10	24,30	92,70	7,10	0,90
	0	3,80	14,40	1,80	0,90
Camion 23T	50	43,20	129,80	11,90	1,00
	10	24,30	92,70	7,10	1,00
	0	3,80	14,40	1,80	1,00
Camion 32T	50	43,20	129,80	11,90	1,20
	10	24,30	92,70	7,10	1,20
	0	3,80	14,40	1,80	1,20

I seguenti fattori correttivi devono essere applicati ai dati di cui sopra per la determinazione delle quantità di emissione:

	Fattore di tempo (ft)			Fattore di altitudine (fh)		
	CO	NO _x	Opacità	CO	NO _x	Opacità
Vetture benzina	0,69	0,46	0,92	1	1	1
Vetture diesel	0,72	0,26	0,31	1	1	1
Veicoli leggeri benzina	0,48	0,19	0,78	-	-	-
Veicoli leggeri diesel	0,25	0,29	0,17	-	-	-
Camion 15T	0,72	0,22	0,91	-	-	-
Camion 23T	0,72	0,22	0,91	-	-	-
Camion 32T	0,72	0,22	0,91	-	-	-

Anche le emissioni di particolato non di scarico devono essere considerate in conformità con PIARC 2019R02, Tabelle 16-29

	Velocità	m ² /h
	km/h	PM _{2.5}
Auto e veicoli leggeri	50	3,30
	10	0,70
	0	0,00
Camion	50	22,10
	10	4,40
	0	0,00

8. CALCOLO DELLE EMISSIONI NELLA GALLERIA

Dalle tabelle di cui sopra, i livelli di emissione totale "in galleria" sono calcolati per ogni scenario di traffico in base alla seguente formula (da PIARC 2019R02):

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

dove

Q = Emissioni di CO,NOx e PM

$q_{ex}(v,i)$ = fattore di emissione di base in funzione della velocità e della pendenza

$q_{ns}(v)$ = fattore di emissione del particolato non dovuto agli scarichi

Traffico fluido	Emissione per veicolo * Numero dei veicoli (Q*N _{veh})			
	g/h		m ² /h	
	CO	NO _x	Opacità	PM _{2.5}
50 km/h				
Autovetture benzina	148,51	21,33	-	26,40
Autovetture diesel	22,88	163,81	16,46	36,30
Veicoli leggeri benzina	0,00	0,00	-	0,00
Veicoli leggeri diesel	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 23T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	171,39	185,14	16,46	62,70

Traffico congestionato	Emissione per veicolo * Numero dei veicoli (Q*N _{veh})			
	g/h		m ² /h	
	CO	NO _x	Opacità	PM _{2.5}
10 km/h				
Autovetture benzina	1563,12	217,43	-	116,90
Autovetture diesel	301,20	1856,15	176,70	175,70
Veicoli leggeri benzina	0,00	0,00	-	0,00
Veicoli leggeri diesel	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 23T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	1864,32	2073,58	176,70	292,60

Traffico Bloccato	Emissione per veicolo * Numero dei veicoli (Q*N _{veh})			
	g/h		m ² /h	
	CO	NO _x	Opacità	PM _{2.5}
at 0 km/h				
Autovetture benzina	1507,90	44,39	-	0,00
Autovetture diesel	128,88	1232,42	94,51	0,00
Veicoli leggeri benzina	0,00	0,00	-	0,00
Veicoli leggeri diesel	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 15T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 23T	0,00	0,00	0,00	0,00
Camion 32T	0,00	0,00	0,00	0,00
Totale	1636,78	1276,81	94,51	0,00

In base ai livelli di emissione calcolati "in galleria", la domanda di aria fresca può essere calcolata secondo PIARC 2019R02 con la seguente formula:

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

Dove:

V = Volume d'aria (m³/h)

n_{veh} = Numero dei veicoli nel tunnel

Q = Emissioni di CO,NOx (g/(h.veh) e PM (m²/(h.veh)

C_{adm} = Concentrazione ammissibile degli inquinanti (g/m³)

C_{amb} = Concentrazione degli inquinanti nell'aria esterna (g/m³)

	Nel tunnel	C _{amb}	C _{adm}	Volume d'aria (V)	Sezione Tunnel	Velocità dell'aria (v _t)
Livello di CO	g/(h.veh)	g/m ³	g/m ³	m ³ /s	m ²	m/s
Traffico fluido	171,39	0	0,00007	0,57	57	0,01
Traffico congestionato	1864,32			6,17		0,11
Traffico bloccato	1276,81			5,41		0,09

	Nel tunnel	C _{amb}	C _{adm}	Volume d'aria (V)	Sezione Tunnel	Velocità dell'aria (v _t)
Livello NO_x	g/(h.veh)	g/m ³	g/m ³	m ³ /s	m ²	m/s
Traffico fluido	185,14	0	N/A	N/A	57	N/A
Traffico congestionato	2073,58			N/A		N/A
Traffico bloccato	1276,81			N/A		N/A

Secondo PIARC 2019R02, i livelli di NO₂ nei paesi europei sono circa il 20-30% dei livelli di NO_x, quindi la concentrazione ammissibile di NO₂ viene moltiplicata per 100/30 per dare i livelli ammissibili di NO_x (C_{adm})

	Nel tunnel (Opacità +PM2,5)	K _{amb}	K _{adm}	Volume d'aria (V)	Sezione Tunnel	Velocità dell'aria (v _t)
Particolato (opacità)	m ² /(h.veh)	m ⁻¹	m ⁻¹	m ³ /s	m ²	m/s
Traffico fluido	76,16	0	0,009	2,44	57	0,04
Traffico congestionato	469,30			14,48		0,25
Traffico bloccato	94,51			2,92		0,05

In base ai calcoli riportati nelle tabelle di cui sopra, il flusso d'aria massimo durante il normale funzionamento del tunnel è richiesto nelle seguenti condizioni:

	Scenario del traffico	Volume da'aria (m ³ /s)	Velocità dell'aria (m/s)
Visibilità	Congestionato	14,48	0,25

9. CALCOLO DEL FABBISOGNO D'ARIA IN CONDIZIONI DI EMERGENZA (INCENDIO)

In conformità con il "Subway Environmental Design Handbook", Volume II, la velocità critica del tunnel in caso di incendio può essere determinata risolvendo le seguenti equazioni accoppiate:

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

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

Dove:

V_c = Velocità Critica (m/s)

g = Accelerazione di Gravità (m/s^2)

H = Altezza del Tunnel (m)

q = Calore Rilasciato nell'Incendio (MW)

ρ = Densità Aria Ambiente

(kg/m^3)

C_p = Calore Specifico Aria

($KJ/kg/^\circ K$)

A = Area della Sezione Trasversale del tunnel (m^2)

T_f = Temperatura

Fumi ($^\circ K$)

K_1 = Costante di

Froude (0,606)

K_g = Fattore di Correzione (non dimensionale)

T = Temperatura Ambiente ($^\circ K$)

In seguito a quanto sopra e sulla base dei seguenti dati/ipotesi di input, la temperatura del gas caldo (T_f) e la velocità critica (V_c) sono calcolate come segue:

Dati di ingresso				Temperatura fumi (T_f)	Velocità critica (V_c)
Tasso di rilascio	Q	20	MW	422,12 $^\circ K$	2,24 m/s
Sezione galleria	A	57	m^2		
Altezza galleria	H	6,8	m		
Temperatura	T	293	$^\circ K$		
Densità	ρ	1,2	kg/m^3		
Fattore di correzione	K_g	1,017969			
Calore specifico aria	C_p	1,009	$KJ/kg/^\circ K$		
Gravità	g	9,81	m/s^2		
Numero di Froude	Fr	0,606			

10. CALCOLO DELLA TEMPERATURA DELL'ARIA A VALLE DELL'INCENDIO IN CONDIZIONI DI EMERGENZA

In conformità al PIARC 05.16.B (Sistemi & Equipaggiamenti per il controllo dell'incendio e dei fumi), la temperatura dell'aria a valle dell'incendio si determina con la seguente equazione:

$$\delta T / \delta x = - \frac{P \cdot (hc + hr) \cdot (T - T_{wall})}{\lambda \cdot A}$$

Dove:

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

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

Dove:

P = Perimetro del

Tunnel (m)

T = Temperatura Aria (°K)

T_{wall} = Temperatura Parete (°K)

ρ = Densità dell'Aria Ambiente (kg/m³)

c_p = Calore Specifico dell'Aria (KJ/kg/°K)

A_T = Area della Sezione Trasversale del tunnel

(m²)

u = Velocità Ventilazione

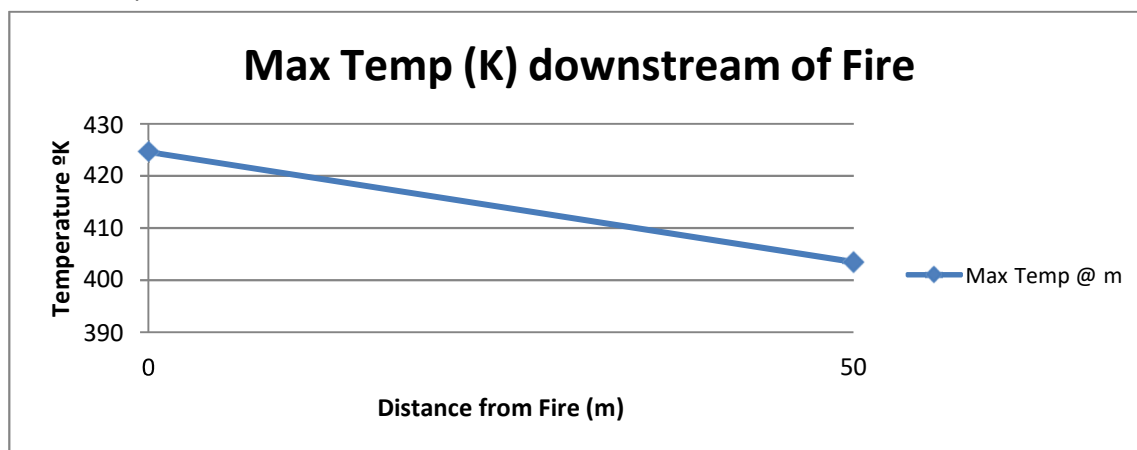
(m/s)

P_r = Costante di Prandtl

ε = Emissività Parete (assunta 0,7)

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

Sulla base del calcolo di cui sopra è possibile determinare la temperatura al varco (portale) e la temperatura media a valle dell'incendio; il grafico seguente mostra la temperatura calcolata ad intervalli di 50 m



Pertanto, le seguenti temperature saranno utilizzate per calcolare i requisiti di pressione nel tunnel:

Location	Temperatura		Densità Aria
	°K	°C	kg/m ³
Nell'incendio (vedi calcolo SES nella pagina precedente)	422	149	0,833
Varco (Portale)	385	112	0,913
Temperatura Media a Valle dell'Incendio	404	131	0,871

11. CALCOLO DEI REQUISITI DI PRESSIONE/SPINTA PER LA MASSIMA VELOCITÀ NEL TUNNEL

Sulla base dei calcoli precedenti, la massima velocità nel tunnel è come segue:

Tipo Di ventilazione	Scenario di Traffico	Portata D'Aria Richiesta (m3/s)	Velocità Aria Nel Tunnel (m/s)
Emergenza	Bloccato	127,92	2,24

Utilizzando la velocità di cui sopra, la Pressione Totale nel sistema può essere calcolata con la seguente formula:

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

Dove:

Δp_T = Pressione Totale (Pa)

Δp_{in} = Perdite in Ingresso (Pa)

Δp_{out} = Perdite All'Uscita (Pa)

Δp_{wall} = Perdite per attrito con la Parete (Pa)

Δp_{wind} = Perdite subite per superare il vento contrario al varco di uscita/entrata (Pa)

Δp_{veh} = Perdite per effetto Pistone o Perdite per Effetto di Trascinamento (Pa)

Δp_{met} = Perdite per effetto Meteorologico (Pa)

Δp_{fire} = Perdite per effetto di blocco causato dall'Incendio (Pa)

11.1. Perdite in Ingresso (Δp_{in})

Le perdite all'ingresso si calcolano con la seguente formula:

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

Il Fattore κ dipende dalla forma del varco di entrata; un'entrata a forma di bocca di campana ha $\kappa = 0.1$ mentre una normale forma ha $\kappa = 0.5$.

	κ	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Perdita di Pressione (Pa)
Δp_{in}	0,5	1,2	2,24	1,5

11.2. Perdite in Uscita (Δp_{out})

Le perdite in Uscita si calcolano con la seguente formula; va tuttavia notato che durante un'emergenza la velocità (V) aumenterà e la densità (ρ) si ridurrà a causa dell'aumento della temperatura del gas/fumo:

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

	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Perdita di Pressione (Pa)
Δp_{out}	0,913	2,95	4,0

11.3. Perdite Per Attrito con la Parete (Δp_{wall})

Le perdite per attrito con la parete di calcolano con la seguente formula:

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

Dove:

L = Lunghezza del Tunnel (m)

D = Diametro Idraulico (m)

Il fattore κ dipende dalla rugosità del muro, questo può variare da 0,015 per un muro di cemento molto liscio a 0,06 per strutture superficiali grezze e molto ruvide. Tuttavia, devono essere prese in considerazione anche luci, segnaletica, condotti per cavi e altre pertinenze del tunnel. Laddove si consideri uno scenario di incendio, l'attrito della parete verrà calcolato separatamente per le sezioni a monte e a valle dell'incendio a causa della variazione di densità causata dall'incendio.

	κ	L (m)	D (m)	ρ (kg/m ³)	V (m/s)	Perdita di Pressione (Pa)
Δp_{wall}	0,024	5900	7,6	1,2	2,24	56,3
Δp_{wall}^*		60		0,871	3,09	0,8

*= sezione a valle dell'incendio

11.4. Perdite Per Vento Contrario (Δp_{wind})

Le perdite per vento contrario al varco entrata/uscita si calcolano con la seguente formula:

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

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

11.5. Effetto Pistone/Resistenza del veicolo (Δp_{veh}) or Effetto di Blocco (Δp_{block})

A seconda dello scenario di traffico, vengono calcolati gli effetti pistone/resistenza del veicolo nel traffico in movimento o gli effetti di blocco nel traffico di arresto.

Gli effetti pistone/resistenza del veicolo si calcolano con la seguente formula:

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

Gli effetti di blocco si calcolano sempre con la stessa formula, ma il valore CW_{veh} deve essere aumentato al valore del coefficiente di blocco e si deve considerare un effetto ombra di 0,7 secondo la metodologia PIARC.

Anche il numero di veicoli è influenzato a seconda che il flusso di traffico sia unidirezionale o bidirezionale; si deve infatti considerare che tutti i veicoli a valle dell'incidente saranno in grado di lasciare la galleria, pertanto nel caso di un flusso di traffico bidirezionale sarà contabilizzato solo il 50% del totale dei veicoli; tuttavia se il flusso di traffico è unidirezionale il numero totale di veicoli dipende dalla lunghezza della sezione della galleria prima dell'incidente (distanza tra il varco di ingresso e l'incendio divisa per la lunghezza totale della galleria)

	n_{veh}	CW_{veh}	FA_{veh}	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	u (m/s)	Perdita di Pressione (Pa)
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (Car)	886	0,4	2	1,2	0,00	2,24	26,3
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (LDV)	0	0,4	2				0,0
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block}$ (HGV)	0	1	7				0,0

11.6. Perdite Per Effetto Meteorologico (Δp_{met})

Le perdite meteorologiche sono definite da eventuali differenze in altezza e/o temperatura tra i varchi ingresso/uscita o, in caso di incendio, tra l'incendio e il varco di uscita; queste, infatti danno luogo ad una pressione termostatica (effetto camino). Si utilizza la seguente formula:

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

Dove:-

ρ_0 = Densità Aria Ambiente o Densità Aria al Varco di Ingresso (kg/m³)

ρ_1 = Densità Aria al Varco di Uscita o nell'Incendio (kg/m³)

g = Gravità (9,81m/s²)

h_{diff} = Differenza in altezza tra varco di ingresso e uscita oppure tra il luogo dell'incendio e il varco di uscita (m)

	h_{diff*}	ρ_0 (kg/m ³)	ρ_1 (kg/m ³)	Perdite di Pressione (Pa)
Δp_{met}	0,24	1,2	0,87	0,8

11.7. Perdite per Ostruzione Incendio (Δp_{fire})

In uno scenario di emergenza gli effetti dell'incendio devono essere considerati; un effetto è il blocco causato dall'incendio, questo può essere calcolato con la seguente formula:

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

Dove ξ_{exp} viene calcolato dalla seguente formula ricavata dalla metodologia CETU:

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

Dove:
 ρ / ρ_0 = Densità dell'Aria ambiente
(kg/m³)
 V / V_c = Velocità Critica
(m/s)

	ξ_{exp}	ρ (kg/m ³)	v (m/s)	Perdita di Pressione (Pa)
Δp_{fire}	4,59	1,200	2,24	13,9

11.8. Pressione Totale Del Sistema (Δp_T)

	Perdita di Pressione Individuale (Pa)	Perdita di Pressione Totale (Pa)
Δp_{in}	1,5	109
Δp_{out}	4,0	
Δp_{wall}	56,3	
Δp_{wall}^*	0,8	
Δp_{wind}	5,4	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block (Car)}$	26,3	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block (LDV)}$	0,0	
$\Delta p_{veh} / \Delta p_{block (HGV)}$	0,0	
Δp_{met}	0,8	
Δp_{fire}	13,9	

12. Spinta nel Tunnel (FT)

Se si considera un sistema di ventilazione longitudinale che utilizza ventilatori a tunnel Jet, per il dimensionamento del sistema viene utilizzato il Tunnel Thrust (in Newton); questo viene calcolato con la seguente equazione:

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

Where:-

A_T = Area della Sezione Trasversale del tunnel (m²)

Δp_T = Pressione Totale del Sistema (Pa)

	A_T (m ²)	Δp_T (Pa)	F_T (N)
Tunnel Thrust (F_T)	57	109	6213

La formula di cui sopra è il requisito di spinta netta nel tunnel; al fine di selezionare i ventilatori a tunnel Jet per soddisfare questo requisito devono essere considerati anche eventuali effetti d'installazione tra i quali l'effetto co-anda dell'installazione vicino ai confini e l'effetto delle velocità di fondo.

13. TIPOLOGIA DI VENTILATORI

I ventilatori da utilizzare saranno di tipo ad induzione reversibili e dovranno presentare le seguenti principali caratteristiche:

- Diametro girante : 1000 mm
- Portata aria : 24.5 m³/s
- Spinta in aria ferma : 900 N
- Velocità in uscita aria : 31.2 m/s
- Velocità di rotazione : 1470 giri/min.
- Potenza motore : 27 kW (30 KW nominali)
- Livello di rumorosità : 71 dB(A) a 10 m a 45° in campo libero emissione emisferica
- Classe isolamento : H
- Alimentazione elettrica : 400V/50Hz/3f
- Temperatura max. : +40 °C oppure 400 °C per 90 minuti

14. CALCOLO DEL NUMERO DEI VENTILATORI

Premesso che la quantità d'aria richiesta in fase di ventilazione sanitaria (14,48 m³ /s con velocità molto bassa =0,25 m/s) non è significativa rispetto alle quantità richieste in fase di ventilazione di emergenza si procede per il solo calcolo del numero di ventilatori necessari in caso di incendio.

La forza totale calcolata al punto 12, pari a 6.213 N è riferita ad aria in movimento per cui, per poter scegliere la quantità di ventilatori del tipo ipotizzato, è necessario trasformare Ft in forza senza aria in movimento secondo la formula:

$$F_o = \frac{F_t}{K \left(1 - \frac{V_g}{V_v} \right)}$$

Dove:

k = coefficiente di posizionamento - Kempf (0,81)

Vg = velocità dell'aria in galleria (2,24 m/s)

Vv = velocità dell'aria in uscita dal ventilatore (31,2 m/s)

Da cui F0 = 6.209: 0.81 = 7.670 N

Ipotizzando l'installazione a coppie dei ventilatori, Il loro numero arrotondato alla coppia successiva risulta essere: nv = F0 /900 = 10 macchine.

15. SCELTE OPERATE

In considerazione della lunghezza della galleria, in relazione poi alla possibilità che il traffico sia aumentato in futuro con apertura anche al transito di mezzi pesanti e di conseguenza si modifichino alcuni parametri per il calcolo e, ancora considerando che in caso di incendio la coppia di ventilatori prossima al focolaio si renda inutilizzabile si adotta una disposizione dei ventilatori in tre gruppi posti rispettivamente all'ingresso lato Fano, all'uscita lato Grosseto e a metà della galleria.

Il numero totale di ventilatori sarà pari a 24 macchine suddivise in tre gruppi da quattro coppie ciascuna poste a circa 100 m dall'ingresso/uscita e ad una interdistanza di circa 12 diametri idraulici.