

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

NUOVA VIABILITÀ TRATTA VIA ERZELLI - VIA BORZOLI Impianti Galleria Relazione di calcolo impianto di ventilazione

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 0 1 0 0	0 0 5	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	SINT 	25/06/2012	Ing. D. Re 	27/06/2012	E. Pagani 	29/06/2012	Ing. I. Barilli Dott. Ing. IVANO BARILLI ALBO DEGLI INGEGNERI Provincia V.C. 122

n. Elab.:

File: IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 12</p>

INDICE

INDICE.....	3
1. INTRODUZIONE.....	5
2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	5
3. DATI PER LA PROGETTAZIONE – PRESCRIZIONI E PRESTAZIONI PREVISTE PER L’IMPIANTO DI VENTILAZIONE	5
3.1. Dati geometrici.....	5
3.2. Condizioni di traffico.....	6
3.3. Determinazione del traffico di punta	6
3.4. Valori base e valori massimi ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato).....	6
4. DIMENSIONAMENTO DELL’IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE	7
4.1. Calcolo della portata d’aria esterna per la diluizione degli agenti inquinanti (ventilazione sanitaria).....	7
4.2. Calcolo della forza resistente al flusso d’aria necessario per la diluizione del CO e dei fumi.....	8
4.3. Calcolo della portata d’aria esterna per l’estrazione dei fumi in caso di incendio.....	8
4.4. Calcolo della forza resistente al flusso d’aria necessario per l’estrazione dei fumi in caso d’incendio..	9
4.5. Calcolo della spinta di un ventilatore ad induzione	9
4.6. Ventilatori ad induzione utilizzati per il calcolo	10
4.7. Risultati dei calcoli.....	11

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC

Foglio
4 di 12

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC	Foglio 5 di 12

1. INTRODUZIONE

L'impianto di ventilazione di una galleria deve essere dimensionato per assolvere due compiti: nel caso di esercizio normale esso viene calcolato per diluire, nella peggiore condizione di traffico stimata, le concentrazioni di inquinanti che possano creare danno alla salute degli utenti o ridurre in misura eccessiva la visibilità.

Nel caso di esercizio in emergenza esso dovrà favorire il controllo della propagazione dei fumi ed il loro allontanamento dal luogo dell'incendio e dalla galleria, senza incrementare il rischio per gli utenti rimasti intrappolati all'interno del tunnel.

Il sistema di ventilazione impiegato nel controllo degli inquinanti e dei fumi prodotti dall'incendio è di tipo longitudinale.

Tale sistema è in grado di contenere il livello degli inquinanti (monossido di carbonio e fumi) al di sotto dei limiti stabiliti dalle norme e raccomandazioni internazionali a tutela della salute degli utenti stessi.

Per il controllo della velocità longitudinale nella galleria si è previsto l'impiego di ventilatori assiali.

2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Nello sviluppo dei calcoli di dimensionamento delle opere impiantistiche descritte nel presente documento, sono stati considerati, in particolare, i seguenti riferimenti:

- D.Lgs n° 264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE (nel seguito indicata brevemente con DLgs)
- Circolare ANAS n. 179431/09 "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" – Seconda edizione 2009 (nel seguito indicata brevemente con LG)
- PIARC World Road Association – "Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation" (2004)
- PIARC World Road Association – "Road tunnels: emissions, ventilation, environment" (1995)
- PIARC World Road Association – "Fire and smoke control in road tunnels" (2004)
- PIARC World Road Association - "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels" (2007)
- PIARC World Road Association - "Fire and smoke control in road tunnels"

3. DATI PER LA PROGETTAZIONE – PRESCRIZIONI E PRESTAZIONI PREVISTE PER L'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Vengono riportate nel seguito le grandezze principali, i dati di base utilizzati e le prestazioni richieste e previste per l'impianto in progetto.

Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria sono stati assunti i seguenti dati generali:

3.1. Dati geometrici

- Lunghezza della galleria: $L = 1.047,00 \text{ m}$
- Sezione trasversale media della galleria: $S_t = 70,32 \text{ m}^2$
- Diametro idraulico medio della galleria: $D = 8,54 \text{ m}$
- Altezza media sul livello del mare: $H \approx 200 \text{ m}$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC Foglio 6 di 12

- Pendenza media della galleria: i = -4,56%

3.2. Condizioni di traffico

I dati relativi al traffico ed alla suddivisione del flusso veicolare ci sono stati forniti dai progettisti delle opere stradali e sono di seguito riportati:

- TGM (traffico giornaliero medio) proiettato al 2020 (di seguito TGM₂₀₂₀): 10000 veicoli/giorno
- Veicoli pesanti 20% TGM₂₀₂₀
- Veicoli leggeri a benzina 48% TGM₂₀₂₀
- Veicoli leggeri a gasolio 32% TGM₂₀₂₀

Dal punto di vista delle emissioni di CO e fumi i veicoli sono stati così classificati:

Veicoli pesanti:

- Euro 1 13%
- Euro 2 19%
- Euro 3 23%
- Euro 4 45%

Veicoli leggeri a benzina:

- Euro 1 13%
- Euro 2 19%
- Euro 3 23%
- Euro 4 45%

Veicoli leggeri a gasolio:

- Euro 1 13%
- Euro 2 19%
- Euro 3 23%
- Euro 4 45%

3.3. Determinazione del traffico di punta

Il traffico di punta si ottiene dal TGM₂₀₂₀ con la seguente relazione:

Traffico di punta = TGM₂₀₂₀ × 0,10

3.4. Valori base e valori massimi ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato)

L'introduzione di catalizzatori e di filtri sullo scarico dei motori, nonché il ricircolo dei gas di scarico nei propulsori Diesel, ha portato ad una riduzione degli inquinanti principali CO e fumi presenti nei prodotti della combustione. Sulla concentrazione di tali inquinanti si basa il calcolo della ventilazione delle gallerie.

Altri inquinanti, quali NOx, composti del Pb, SO₂, HC, etc., risultano con concentrazioni trascurabili in galleria purchè la portata dell'aria di ventilazione diluisca i valori degli inquinanti principali CO e particolato al di sotto dei valori di soglia ammessi.

Le emissioni di CO e fumi sono state ricavate dal documento PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) "Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation" (2004) in funzione della composizione del parco veicolare, della velocità del flusso di automezzi e della pendenza del tunnel.

La concentrazione di CO nell'aria viene espressa in parti per milione (p.p.m.).

Per quanto riguarda la concentrazione dei fumi viene espressa da un coefficiente k detto "extinction coefficient".

Quest'ultimo parametro assume valore 0,003 m⁻¹ in condizioni di ottima visibilità e 0,012 m⁻¹ in condizioni particolarmente critiche dove generalmente la visibilità è appena sufficiente per consentire l'arresto in sicurezza dei veicoli. I valori limite ammessi per i suddetti parametri sono di seguito riportati:

	p.p.m.		k _{limite}	
	Traffico congestionato o bloccato	Traffico fluido	Traffico congestionato o bloccato	Traffico fluido
Contenuto CO ammissibile	100	70	-	-
Contenuto fumi ammissibile	-	-	0,007	0,005

4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE

4.1. Calcolo della portata d'aria esterna per la diluizione degli agenti inquinanti (ventilazione sanitaria)

Una volta definito il profilo di traffico di progetto e note le emissioni medie dei veicoli è possibile calcolare la portata d'aria esterna necessaria per diluire gli inquinanti mantenendone la concentrazione al di sotto dei limiti prefissati.

Si calcola rispettivamente la portata d'aria necessaria per la diluizione del CO (monossido di carbonio) e per la diluizione dei fumi con le seguenti relazioni:

$$Q_{(CO)} = [(Q_{(CO)i.v.h.})/3600] \times D \times 10^6 / CO_{\text{ammissibile}} \times L$$

dove:

Q_(CO) = portata d'aria necessaria per la diluizione dei fumi [m³/s]

i = pendenza [%]

v = velocità del traffico [km/h]

h = altitudine sul livello del mare [m s.l.m.]

Q_{(CO)i.v.h.} = emissione di CO dei veicoli f(i,v,h) (determinata a partire dai dati PIARC) [m³/s]

D = densità dei veicolo [veicoli / km]

L = lunghezza del tunnel [km]

$$Q_{(f)} = [(Q_{(f)i.v.h.})/3600] \times D \times 1/k_{\text{limite}} \times L$$

dove:

Q_(f) = portata d'aria necessaria per la diluizione dei fumi [m³/s]

i = pendenza [%]

v = velocità del traffico [km/h]

h = altitudine sul livello del mare [m s.l.m.]

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC Foglio 8 di 12

$Q_{(f)i.v.h.}$ = emissione base di fumi dei veicoli $f(i,v,h)$ (determinata a partire dai dati PIARC) [m^3/s]
 D = densità dei veicolo [veicoli / km]
 L = lunghezza del tunnel [km]

4.2. Calcolo della forza resistente al flusso d'aria necessario per la diluizione del CO e dei fumi

Una volta definita la portata d'aria necessaria alla diluizione dei vari inquinanti viene determinata la portata di progetto corrispondente al valore massimo tra $Q_{(CO)}$ e $Q_{(f)}$.
 Per indurre tale portata si dovrà vincere una perdita di pressione in galleria determinata dalla relazione:

$$\Delta p_t = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{th} \text{ [Pa]}$$

dove:

Δp_{veh} = differenza di pressione dovuta alla presenza dei veicoli [Pa] che può assumere valore:

- positivo: nel caso in cui il flusso d'aria indotto dalla ventilazione abbia verso concorde con il traffico veicolare e la velocità dei veicoli sia maggiore della velocità dell'aria;
- negativo: nel caso in cui la velocità del traffico sia minore della velocità dell'aria (in caso di verso concorde) oppure se il verso del flusso d'aria sia contrario al verso del traffico veicolare. Con traffico bidirezionale assume evidentemente sempre segno negativo.

Il valore positivo di tale termine indica un contributo a favore della ventilazione e viene detto "effetto pistone"; viceversa il segno negativo associato al valore di Δp_{veh} indica che è presente una resistenza aggiuntiva al flusso dell'aria indotto dai ventilatori, causata dalla presenza dei veicoli. Nel caso specifico di flusso bidirezionale si ha sempre una perdita di carico.

- Δp_{tu} = perdita di pressione dovuta continua lungo la galleria e localizzata ai portali [Pa]
- Δp_{MT} = perdita di pressione dovuta all'effetto del vento e della differenza di pressione barometrica ai portali
- Δp_{th} = perdita di pressione dovuta all'effetto camino, nell'ipotesi che sia presente una certa differenza di temperatura (e quindi di densità dell'aria) tra l'interno del tunnel e l'esterno

Si ricava quindi la forza resistente totale al flusso dell'aria con la seguente relazione:

$$F_{t(sanitaria)} = \Delta p_t \times S_t \text{ [N]}$$

4.3. Calcolo della portata d'aria esterna per l'estrazione dei fumi in caso di incendio

La portata di progetto deve essere tale da garantire all'interno del tunnel una velocità della miscela aria – fumi superiore alla velocità critica.

Si definisce velocità critica V_c la minima velocità al di sotto della quale si ha il riflusso dei gas attraverso il tunnel. E' evidente che una tale situazione va assolutamente evitata per poter mantenere praticabili le vie di fuga.

La velocità critica si determina in genere attraverso un complesso algoritmo iterativo che prende origine dall'equazione di Kennedy:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC</p> <p>Foglio 9 di 12</p>

$$V_c = (g H P_w / \rho \square c_p S_t T_f Fr_m)^{1/3} \quad [m/s] \quad [a]$$

dove:

g = accelerazione di gravità [m/s^2]

H = altezza del tunnel [m]

P_w = Potenza dell'incendio [W]

ρ = densità dell'aria [kg/m^3]

c_p = calore specifico dell'aria [kJ/kgK]

S_t = sezione del tunnel [m^2]

T_f = temperatura del gas caldo = $P_w / (\rho \square c_p S_t V_c)$

Fr_m = numero di Froude = $4.5 (1 + 0.0374 | \min(i\%;0) |^{0.8})^{-3}$ [b]

Combinando tra loro le equazione [a] e [b] si ottiene la seguente equazione di terzo grado:

$$Fr_m S_t c_p T \rho \square V_c^3 + (Fr_m Q_c) V_c^2 - g H P_w = 0$$

che, nel caso di determinante $\Delta < 0$, ha una soluzione reale la quale rappresenta proprio la velocità critica. La portata di progetto è ottenuta assumendo una velocità di calcolo $V > V_c$ ed è pari a:

$$Q_w = V S_t \quad [m^3/s]$$

4.4. Calcolo della forza resistente al flusso d'aria necessario per l'estrazione dei fumi in caso d'incendio

Per indurre la portata Q_w si dovrà vincere una perdita di pressione in galleria determinata dalla relazione:

$$\Delta p_t = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{th} + \Delta p_{fire} \quad [Pa]$$

dove:

- Δp_{veh} = perdita di pressione dovuta alla presenza dei veicoli [Pa]
- Δp_{tu} = perdita di pressione continua lungo la galleria e localizzata ai portali [Pa]
- Δp_{MT} = perdita di pressione dovuta all'effetto del vento e della differenza di pressione barometrica ai portali
- Δp_{th} = perdita di pressione dovuta all'effetto camino
- Δp_{fire} = perdita di pressione dovuto all'incendio che dipende dalla potenza dello stesso

Si ricava quindi la forza resistente al flusso d'aria con la seguente relazione:

$$F_{t(incendio)} = \Delta p_t \times S_t \quad [N]$$

4.5. Calcolo della spinta di un ventilatore ad induzione

Note la spinta in aria ferma " F_0 " di un ventilatore, caratteristica intrinseca dello stesso, si determina la spinta effettiva " F_v " in galleria che dipende dai parametri sotto riportati:

$$F_0 = Q_v \times V_v \times \rho \quad \text{Spinta in aria ferma di un ventilatore} \quad [N]$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-CL-NV0100-005-A00.DOC	Foglio 10 di 12

η_1 = fattore di efficienza di ventilazione [adim]
 η_2 = fattore di efficienza di posizionamento [adim]
 η_3 = fattore di distanza [adim]
 ρ = densità dell'aria [kg/m^3]
 Q_v = Portata d'aria fornita dal ventilatore [m^3/s]
 V_v = Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]
 V_g = Velocità dell'aria in galleria [m/s]

La spinta utile del ventilatore è data da:

$$F_v = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times Q_v \times V_v \times \rho \times (1 - V_g/V_v) = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times F_0 \times (1 - V_g/V_v) \quad [\text{N}]$$

Il numero di ventilatori, contemporaneamente in funzione per garantire la ventilazione sanitaria e l'espulsione dei fumi in caso di incendio, viene calcolato con le seguenti relazioni:

$n_{(\text{sanitaria})} = F_{t(\text{sanitaria})} / F_v$ (numero di ventilatori necessario per la ventilazione sanitaria)
 $n_{(\text{incendio})} = F_{t(\text{incendio})} / F_v$ (numero di ventilatori necessario per l'estrazione dei fumi in caso d'incendio)

4.6. Ventilatori ad induzione utilizzati per il calcolo

I ventilatori adottati per il calcolo sono ad induzione del tipo 100% reversibile, costituiti da:

- Una girante assiale speciale per alte temperature con pale a profilo alare tale da assicurare in controrotazione 100% della portata volumetrica nominale a flusso unidirezionale.
- Un motore elettrico, asincrono, trifase, ad induzione, con rotore a gabbia di scoiattolo, adatto per avviamento diretto e per funzionamento continuo secondo, I.E.C. 34-1. Protezione meccanica IP55, secondo I.E.C. 34-5.
- Una cassa d'alloggiamento del gruppo motore/girante, costruita in acciaio inox Grado AISI 316L.
- La cassa è predisposta per l'installazione di sensore di vibrazioni e di un dispositivo tecnico per il controllo della orizzontalità.
- I ventilatori sono adatti per funzionamento in emergenza in caso d'incendio con temperatura di 400 °C per 120 minuti.
- Due silenziatori cilindrici, di lunghezza 1D, costruiti in acciaio inox grado AISI 316L con spessore minimo di 1 mm.
- Due boccagli in lamiera collegato al corpo silenziatore di acciaio inox grado AISI 316L.

Le caratteristiche dei ventilatori sono le seguenti:

- Diametro girante : 1000 mm
- Portata aria : 24 m^3/s
- Spinta in aria ferma (con $\rho=1.23 \text{ kg}/\text{m}^3$) : 900 N
- Velocità in uscita aria : 30.5 m/s
- Velocità di rotazione : 1470 giri/min.

- Potenza motore : 27 kW
- Livello di rumorosità emisferica : 71 dB(A) a 10 m a 45° in campo libero emissione emisferica
- Cos ϕ : 0.89
- Classe isolamento : H
- Alimentazione elettrica : 400V+690V/50Hz/3f
- Temperatura max. : 400 °C per 120 minuti

4.7. Risultati dei calcoli

I calcoli hanno consentito la determinazione del numero di acceleratori necessari alla corretta ventilazione sanitaria in relazione a tre scenari tipici:

- Traffico bloccato velocità = 0 km/h
- Traffico congestionato velocità = 10 km/h
- Traffico fluido velocità = 60 km/h

All'interno degli scenari sopra citati (ovviamente ad esclusione del caso di traffico bloccato) si sono ipotizzate diverse distribuzioni di traffico nella corsia in salita ed in quella in discesa. I casi analizzati sono per maggior chiarezza evidenziati nella tabella seguente:

Velocità 10 km/h (traffico congestionato)	Traffico:	Traffico:	Traffico:
	Salita: 50%	Salita: 60%	Salita: 70%
	Discesa: 50%	Discesa: 40%	Discesa: 30%
Velocità 60 km/h (traffico fluido)	Traffico:	Traffico:	Traffico:
	Salita: 50%	Salita: 60%	Salita: 70%
	Discesa: 50%	Discesa: 40%	Discesa: 30%

La situazione più critica dal punto di vista della determinazione del n° di acceleratori necessari si verifica, com'è lecito attendersi, nel caso di incendio.

Considerando inoltre la pendenza del tunnel si verifica che lo scenario più gravoso per l'impianto di ventilazione è quello di incendio allorché le fiamme si sviluppano nelle vicinanze del portale inferiore: in tale situazione infatti il naturale "effetto camino" originato dalle fiamme tende a favorire il deflusso dei gas combusti verso il portale superiore ovvero in direzione apposta a quella forzata dal funzionamento dei ventilatori. Tale effetto camino genera di fatto una resistenza aggiuntiva che deve essere vinta grazie alla spinta prodotta dagli acceleratori.

I calcoli eseguiti consentono di determinare il numero di ventilatori necessari in caso di incendio che risulta essere pari a 9 coppie a cui ne viene aggiunta una, in quanto si ritiene che una coppia possa essere resa inutilizzabile dall'incendio stesso, per un totale quindi di 10 copie (20 ventilatori).

Si assume che la potenza sviluppata dall'incendio sia pari a 30 MW, in tale circostanza, data l'interdistanza dei ventilatori, può andare perduta non più di una coppia a causa del locale innalzamento di temperatura sopra il limite di 400°C, valore al di sopra del quale non è garantito il funzionamento degli apparecchi.

Durante il normale funzionamento per ventilazione sanitaria il caso più sfavorevole si è rivelato quello corrispondente ad una velocità media del traffico pari a 60 km/h con il 90% dei veicoli in transito nella corsia in salita.

Titolo: **CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI**
RIEPILOGO CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA BORZOLI ERZELLI

Tipologia Ventilatori	
Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMTS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24
Diametro girante (m)	1
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,5
Distanza tra asse del ventilatore e	0,8
Potenza installata (kW)	27

Velocità del traffico	60	km/h		
Traffico	%	%	%	%
in discesa	50	40	30	
in salita	50	60	70	
Ventilatori caso sanitario	n.	n.	n.	
	5	7	8	

Velocità del traffico	10	km/h		
Traffico	%	%	%	%
in discesa	50	40	30	
in salita	50	60	70	
Ventilatori caso sanitario	n.	n.	n.	
	6	6	6	

Velocità del traffico	0	km/h		
Ventilatori caso sanitario	n.			
	5			
Ventilatori caso di incendio				
potenza pari a 30 MW	n.			
	20	(*)		

(*) 18 in funzione e 2 in riserva

Gli allegati sono organizzati nei seguenti documenti:
 Allegato 1: Calcolo impianto di ventilazione

ALLEGATO 1

CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Titolo: **CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI**
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati

Denominazione galleria

Galleria Borzoli - Erzelli
 Velocità 0 km/h - Traffico bloccato su entrambe le carreggiate

Dati generali

	discesa	salita
	DX	SX
	bidirezionale	
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo (km/h)	0	0
Suddivisione (%)	50%	50%
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0 traffico <i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di</i>
Periodo considerato (anni)	0	0 traffico <i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di</i>
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00
Sezione (mq)	70,32	70,32
Perimetro (m)	32,93	32,93
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

	500	500	
LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	32	32	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	240,00	240,00	
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	160,00	160,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	100,00	100,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	0	0
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Salita / Discesa	Salita	Discesa

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	56,000	56,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	12,410	12,410	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	9,333	9,333	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	4,000	4,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	13,584	13,584	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,011	0,011	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	3,000	3,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	2,100	2,100	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	1,700	1,700	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	1,600	1,600	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	1,501	1,501	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,001	0,001	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	2,15	2,15	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	1,40	1,40	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	1,40	1,40	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	1,40	1,40	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	49,020	49,020	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	21,280	21,280	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	15,680	15,680	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	11,900	11,900	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	19,377	19,377	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,016	0,016	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	0,300	0,300	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	2,590	2,590	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	1,510	1,510	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	0,560	0,560	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	0,638	0,638	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	2,2	2,2	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	48,4	48,4	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	17,6	17,6	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	11,8	11,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	5,9	5,9	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	27,66	27,66	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	100	100 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0070	0,0070 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s): $Q_{CO} = [(Q_{COi.v.} \times f_n \times f_{IV}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Q_{COi.v.} = Emissione base CO
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{IV} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s): $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_n \times f_{IV}) / 3600] \times D \times (1/Klim) \times L$

dove:

- Q_{fi.v.} = Emissione base fumi
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{IV} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{n(LB)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(LG)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(PG)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{IV(LB)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{IV(LG)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{IV(PG)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	52,21	52,21
Portata necessaria (mc/s)	1,72	1,72

D veicoli LG (1/km)	34,81	43,51
Portata necessaria (mc/s)	0,13	0,16

D veicoli PG (1/km)	27,19	27,19
Portata necessaria (mc/s)	1,28	1,28

Portata necessaria per corsia (mc/s)	3,12	3,15
Portata necessaria per canna (mc/s)	6,28	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{n(LG)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(PG)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{IV(LG)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{IV(PG)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	34,81	43,51
Portata necessaria (mc/s)	0,92	1,15

D veicoli PG (1/km)	27,19	27,19
Portata necessaria (mc/s)	31,25	31,25

Portata necessaria per corsia (mc/s)	32,18	32,41
Portata necessaria per canna (mc/s)	64,58	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	64,58	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	87,02	95,73
Portata necessaria (mc/s)	0,02	0,13

D veicoli PG (1/km)	27,19	27,19
Portata necessaria (mc/s)	0,11	0,13

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,14	0,25
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,39	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	64,97	
Velocità aria in galleria (m/s)	0,92	

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_i \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{lu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{lu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167.
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{lu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3} / Dh + \beta_i + \beta_{sb}) \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T / T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$
 dove:
 k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendic

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_i - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,92
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	0
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	0
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	135,97
Veicoli in galleria in senso opposto N2	135,97
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T0=10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 <small>da norma UNI 10349</small>
$\rho_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times u_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times u_w \times u_t$	-3,58 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 <small>PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 27</small>
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
u_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
u_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,92
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 -1
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{lu} (Pa)	-2,65	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{veh} (Pa)	0,00	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{th} (Pa)	-19,46	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{fire} (Pa)	0,00	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Ht (Pa)	-42,11	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	2961,17	

$$z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$$

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{g \cdot z}{R \cdot T_m}}$$

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMTS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N) $F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 579,82

Numero ventilatori minimo $n = F_t/F_v$ 5,11

Numero minimo ventilatori arrotondato 5 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

Titolo: **CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI**
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati			
Denominazione galleria	Galleria Borzoli - Erzelli Velocità 10 km/h - Traffico equamente suddiviso su entrambe le carreggiate		
Dati generali	discesa	salita	
Corsia	DX	SX	
Senso di marcia	bidirezionale		
Numero corsie per senso di marcia	1	1	
Velocità di calcolo (km/h)	10	10	
Suddivisione (%)	50%	50%	
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000	
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di 0 traffico</i>
Periodo considerato (anni)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di 0 traffico</i>
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000	
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00	
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00	
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00	
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00	
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00	
Sezione (mq)	70,32	70,32	
Perimetro (m)	32,93	32,93	
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54	
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20	
Pendenza media (%)	-4,56	4,56	
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00	

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)	500	500	
LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	32	32	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	240,00	240,00	
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	160,00	160,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	100,00	100,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	10	10	
Pendenza media (%)	-4,56	4,56	
Salita / Discesa	Salita	Discesa	

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	199,069	107,173	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	107,535	45,111	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	81,516	31,417	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	31,000	12,004	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	79,009	35,131	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,066	0,029	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	12,224	10,400	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	12,712	7,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	10,032	6,416	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	9,476	5,944	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	8,161	5,502	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,007	0,005	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	2,20	2,20	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	142,701	59,083	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	53,928	35,161	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	37,737	25,683	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	27,223	18,676	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	49,727	28,673	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,041	0,024	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	7,820	5,572	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	5,316	3,368	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	3,061	1,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	1,144	0,724	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	2,235	1,491	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	2,2	2,2	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	132,4	56,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	32,0	21,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	21,3	14,0	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	10,6	7,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	70,25	32,47	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	100	100 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0070	0,0070 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s) $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_n \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Qcoi.v. = Emissione base CO
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s) $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_n \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1/Klim) \times L$

dove:

- Qfi.v. = Emissione base fumi
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{n(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	24,00	24,00
Portata necessaria (mc/s)	4,60	2,04

D veicoli LG (1/km)	16,00	16,00
Portata necessaria (mc/s)	0,32	0,21

D veicoli PG (1/km)	10,00	10,00
Portata necessaria (mc/s)	1,21	0,69

Portata necessaria per corsia (mc/s)	6,12	2,95
Portata necessaria per canna (mc/s)	9,07	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{n(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	16,00	16,00
Portata necessaria (mc/s)	1,49	0,99

D veicoli PG (1/km)	10,00	10,00
Portata necessaria (mc/s)	29,19	13,49

Portata necessaria per corsia (mc/s)	30,67	14,48
Portata necessaria per canna (mc/s)	45,15	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	45,15	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	40,00	40,00
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,05

D veicoli PG (1/km)	10,00	10,00
Portata necessaria (mc/s)	0,05	0,05

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,06	0,10
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,17	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	45,32	
Velocità aria in galleria (m/s)	0,64	

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_j \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{tu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167; $\Delta p = K/2 \cdot \rho \cdot vel_{vento}^2$. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{tu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3}) / Dh + \xi_i + \xi_{sb}] \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T/T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \cdot \rho \cdot vel_{vento}^2$

dove:

k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendio

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_i - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,64
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	10
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	10
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	52,35
Veicoli in galleria in senso opposto N2	52,35
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T ₀ =10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco ξ_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco ξ_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 <small>da norma UNI 10349</small>
$P_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times U_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times U_t \times U_t$	-3,33 <small>-1</small>
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 <small>PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 279</small>
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
U_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
U_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,64
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 <small>-1 $z = -\frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$</small>
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{tu} (Pa)	-1,30	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{veh} (Pa)	-5,00	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 <small>-20</small>	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{th} (Pa)	-19,46	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{fire} (Pa)	0,00	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Ht (Pa)	-45,75	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	3217,25	

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JM TS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N)

$$F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag.

PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions,

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 585,23

Numero ventilatori minimo n = F0/Fv

5,50

Numero minimo ventilatori arrotondato

6 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

Titolo: **CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI**
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati			
Denominazione galleria	Galleria Borzoli - Erzelli Velocità 10 km/h - Traffico 40% in discesa, 60% in salita		
Dati generali	discesa	salita	
Corsia	DX	SX	
Senso di marcia	bidirezionale		
Numero corsie per senso di marcia	1	1	
Velocità di calcolo (km/h)	10	10	
Suddivisione (%)	40%	60%	
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	4000	6000	
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di traffico</i>
Periodo considerato (anni)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di traffico</i>
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	4000	6000	
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00	
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00	
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	400,00	600,00	
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	400,00	600,00	
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00	
Sezione (mq)	70,32	70,32	
Perimetro (m)	32,93	32,93	
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54	
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20	
Pendenza media (%)	-4,56	4,56	
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00	

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	32	32	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	192,00	288,00	
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	128,00	192,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	80,00	120,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	10	10
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Salita / Discesa	Salita	Discesa

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	199,069	107,173	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	107,535	45,111	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	81,516	31,417	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	31,000	12,004	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	79,009	35,131	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,066	0,029	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	12,224	10,400	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	12,712	7,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	10,032	6,416	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	9,476	5,944	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	8,161	5,502	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,007	0,005	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	2,20	2,20	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	142,701	59,083	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	53,928	35,161	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	37,737	25,683	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	27,223	18,676	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	49,727	28,673	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,041	0,024	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	7,820	5,572	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	5,316	3,368	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	3,061	1,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	1,144	0,724	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	2,235	1,491	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	2,2	2,2	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	132,4	56,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	32,0	21,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	21,3	14,0	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	10,6	7,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	70,25	32,47	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	100	100	da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0070	0,0070	da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s) $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Qcoi.v. = Emissione base CO
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s) $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1/Klim) \times L$

dove:

- Qfi.v. = Emissione base fumi
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{h(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	19,20	28,80
Portata necessaria (mc/s)	3,68	2,45

D veicoli LG (1/km)	12,80	19,20
Portata necessaria (mc/s)	0,25	0,26

D veicoli PG (1/km)	8,00	12,00
Portata necessaria (mc/s)	0,96	0,83

Portata necessaria per corsia (mc/s)	4,89	3,54
Portata necessaria per canna (mc/s)	8,44	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	12,80	19,20
Portata necessaria (mc/s)	1,19	1,19

D veicoli PG (1/km)	8,00	12,00
Portata necessaria (mc/s)	23,35	16,19

Portata necessaria per corsia (mc/s)	24,54	17,38
Portata necessaria per canna (mc/s)	41,92	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	41,92	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	32,00	48,00
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,06

D veicoli PG (1/km)	8,00	12,00
Portata necessaria (mc/s)	0,04	0,06

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,05	0,13
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,18	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	42,09	
Velocità aria in galleria (m/s)	0,60	

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_j \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{tu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167.
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{tu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3}) / Dh + \beta_i + \beta_{sb}] \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T/T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] + \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
(-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$
dove:
k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendio

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (p_i - p_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,60
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	10
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	10
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	41,88
Veicoli in galleria in senso opposto N2	62,82
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T ₀ =10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 da norma UNI 10349
$\rho_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times U_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times U_w \times U_t$	-3,28 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 279
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
U_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
U_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,60
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 -1
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{tu} (Pa)	-1,12	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{veh} (Pa)	-6,90	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{th} (Pa)	-19,46	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{fire} (Pa)	0,00	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Ht (Pa)	-47,48	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	3338,47	

$$z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$$

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{g}{R \cdot T_m} \cdot z}$$

Caratteristiche ventilatore scelto	
Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMTS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N) $F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$

dove:
 $\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment",
 PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment"
 $\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) Ventilation Environment"
 $\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment"
 $r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 586,14

Numero ventilatori minimo n = Fv/Fv 5,70

Numero minimo ventilatori arrotondato 6 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

Titolo: **CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI**
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati			
Denominazione galleria	Galleria Borzoli - Erzelli Velocità 10 km/h - Traffico 40% in discesa, 60% in salita		
Dati generali	discesa	salita	
Corsia	DX	SX	
Senso di marcia	bidirezionale		
Numero corsie per senso di marcia	1	1	
Velocità di calcolo (km/h)	10	10	
Suddivisione (%)	30%	70%	
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	3000	7000	
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di traffico</i>
Periodo considerato (anni)	0	0	<i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di traffico</i>
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	3000	7000	
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00	
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00	
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	300,00	700,00	
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	300,00	700,00	
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00	
Sezione (mq)	70,32	70,32	
Perimetro (m)	32,93	32,93	
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54	
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20	
Pendenza media (%)	-4,56	4,56	
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00	

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	300	700	
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	32	32	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	144,00	336,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	96,00	224,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	60,00	140,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	10	10
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Salita / Discesa	Salita	Discesa

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	199,069	107,173	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	107,535	45,111	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	81,516	31,417	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	31,000	12,004	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	79,009	35,131	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,066	0,029	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	12,224	10,400	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	12,712	7,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	10,032	6,416	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	9,476	5,944	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	8,161	5,502	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,007	0,005	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	2,20	2,20	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	1,75	1,75	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	142,701	59,083	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	53,928	35,161	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	37,737	25,683	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	27,223	18,676	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	49,727	28,673	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,041	0,024	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	7,820	5,572	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	5,316	3,368	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	3,061	1,916	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	1,144	0,724	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	2,235	1,491	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	2,2	2,2	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,1	2,1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	132,4	56,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	32,0	21,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	21,3	14,0	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	10,6	7,1	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	70,25	32,47	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	100	100	da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0070	0,0070	da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s) $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:
 Qcoi.v. = Emissione base CO
 f_h = Fattore di altitudine
 f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
 D = Densità veicoli per Km.
 L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s) $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1 / Klim) \times L$

dove:
 Qfi.v. = Emissione base fumi
 f_h = Fattore di altitudine
 f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
 D = Densità veicoli per Km.
 L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{h(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	14,40	33,60
Portata necessaria (mc/s)	2,76	2,86

D veicoli LG (1/km)	9,60	22,40
Portata necessaria (mc/s)	0,19	0,30

D veicoli PG (1/km)	6,00	14,00
Portata necessaria (mc/s)	0,72	0,97

Portata necessaria per corsia (mc/s)	3,67	4,13
Portata necessaria per canna (mc/s)	7,80	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-59
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00	già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	9,60	22,40
Portata necessaria (mc/s)	0,89	1,39

D veicoli PG (1/km)	6,00	14,00
Portata necessaria (mc/s)	17,51	18,89

Portata necessaria per corsia (mc/s)	18,40	20,28
Portata necessaria per canna (mc/s)	38,68	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	38,68	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	24,00	56,00
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,07

D veicoli PG (1/km)	6,00	14,00
Portata necessaria (mc/s)	0,03	0,07

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,04	0,15
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,18	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	38,86
Velocità aria in galleria (m/s)	0,55

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_j \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{tu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167.
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{tu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3}) / Dh + \beta_i + \beta_{sb}] \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T/T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$

dove:

k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendio

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_l - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,55
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	10
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	10
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	31,41
Veicoli in galleria in senso opposto N2	73,29
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T ₀ =10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 da norma UNI 10349
$\rho_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times U_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times U_w \times U_t$	-3,24 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 279
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
U_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
U_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,55
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 $-1 \quad z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{tu} (Pa)	-0,95	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{veh} (Pa)	-8,78	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{th} (Pa)	-19,46	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{fire} (Pa)	0,00	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Ht (Pa)	-49,18	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	3458,56	

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMTS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N)

$$F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment",

PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions,

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 587,04

Numero ventilatori minimo n = Fv/Fv

5,89

Numero minimo ventilatori arrotondato

6 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

**Titolo: CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI**

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati**Denominazione galleria**

Galleria Borzoli - Erzelli
Velocità 60 km/h - Traffico equamente suddiviso su entrambe le carreggiate

Dati generali

	discesa	salita
	DX	SX
	bidirezionale	
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo (km/h)	60	60
Suddivisione (%)	50%	50%
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0 traffico <i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di</i>
Periodo considerato (anni)	0	0 traffico <i>I dati di traffico si riferiscono all'anno 2020 e pertanto non si considerano ulteriori incrementi di</i>
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	5000	5000
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	500,00	500,00
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00
Sezione (mq)	70,32	70,32
Perimetro (m)	32,93	32,93
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

	500	500	
LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	32	32	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	240,00	240,00	
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	160,00	160,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	100,00	100,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	60	60
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Salita / Discesa	Salita	Discesa

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	568,254	114,386	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	390,735	44,186	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	298,422	30,605	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	114,260	11,660	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	268,167	35,552	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,223	0,030	
Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	28,112	20,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	22,808	13,460	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	18,532	10,988	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	16,880	10,088	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	15,513	9,667	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,013	0,008	
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	1,95	1,95	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	346,398	93,795	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	173,048	64,840	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	117,352	45,120	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	85,464	33,424	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	143,361	49,931	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,119	0,042	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	51,312	18,720	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	27,900	10,995	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	16,040	6,326	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	6,000	2,360	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	13,060	4,950	
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	1,85	1,85	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	276,5	78,7	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	102,7	34,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	70,2	23,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	35,1	11,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	159,19	47,11	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	70	70 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0050	0,0050 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s): $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_n \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Qcoi.v. = Emissione base CO
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s): $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_n \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1/Klim) \times L$

dove:

- Qfi.v. = Emissione base fumi
- f_n = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{n(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	4,00	4,00
Portata necessaria (mc/s)	3,71	0,49

D veicoli LG (1/km)	2,67	2,67
Portata necessaria (mc/s)	0,14	0,09

D veicoli PG (1/km)	1,67	1,67
Portata necessaria (mc/s)	0,83	0,29

Portata necessaria per corsia (mc/s)	4,68	0,87
Portata necessaria per canna (mc/s)	5,55	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{n(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{n(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	2,67	2,67
Portata necessaria (mc/s)	2,03	0,77

D veicoli PG (1/km)	1,67	1,67
Portata necessaria (mc/s)	15,43	4,57

Portata necessaria per corsia (mc/s)	17,46	5,34
Portata necessaria per canna (mc/s)	22,79	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	22,79	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	6,67	6,67
Portata necessaria (mc/s)	0,00	0,01

D veicoli PG (1/km)	1,67	1,67
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,01

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,01	0,02
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,03	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	22,82	
Velocità aria in galleria (m/s)	0,32	

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_i \times \Delta p_i = \Delta p_{veh} + \Delta p_{lu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{lu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167.
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{lu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3} / Dh + \beta_i + \beta_{sb}) \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T / T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell' aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell' aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$
 dove:
 k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendic

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_i - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,32
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	60
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	60
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	8,73
Veicoli in galleria in senso opposto N2	8,73
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T0=10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all' imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 <small>da norma UNI 10349</small>
$\rho_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times u_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times u_w \times u_t$	-3,04 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 <small>PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 27</small>
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
u_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
u_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,32
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 -1
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{lu} (Pa)	-0,33	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{veh} (Pa)	-2,52	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{th} (Pa)	-19,46	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Δp_{fire} (Pa)	0,00	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Ht (Pa)	-42,31	<small>NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria</small>
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	2975,23	

$$z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{p_0}{p}$$

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{g \cdot z}{R \cdot T_m}}$$

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMTS
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N) $F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 591,47

Numero ventilatori minimo n = Ft/Fv 5,03

Numero minimo ventilatori arrotondato 5 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

**Titolo: CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI**

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati

Denominazione galleria	Galleria Borzoli - Erzelli Velocità 60 km/h - Traffico 40% in discesa, 60% in salita	
Dati generali	discesa	salita
Corsia	DX	SX
Senso di marcia	bidirezionale	
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo (km/h)	60	60
Suddivisione (%)	40%	60%
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	4000	6000
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0 traffico
Periodo considerato (anni)	0	0 traffico
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	4000	6000
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	400,00	600,00
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	400,00	600,00
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00
Sezione (mq)	70,32	70,32
Perimetro (m)	32,93	32,93
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)	400	600	
LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	32	32	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	192,00	288,00	
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	128,00	192,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	80,00	120,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	60	60
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Salita / Discesa	Salita	Discesa

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	568,254	114,386	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	390,735	44,186	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	298,422	30,605	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	114,260	11,660	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	268,167	35,552	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,223	0,030	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	28,112	20,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	22,808	13,460	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	18,532	10,988	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	16,880	10,088	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	15,513	9,667	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,013	0,008	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	1,95	1,95	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	346,398	93,795	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	173,048	64,840	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	117,352	45,120	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	85,464	33,424	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	143,361	49,931	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,119	0,042	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	51,312	18,720	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	27,900	10,995	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	16,040	6,326	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	6,000	2,360	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	13,060	4,950	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	1,85	1,85	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	276,5	78,7	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	102,7	34,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	70,2	23,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	35,1	11,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	159,19	47,11	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	70	70 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0050	0,0050 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s) $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Qcoi.v. = Emissione base CO
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s) $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1 / Klim) \times L$

dove:

- Qfi.v. = Emissione base fumi
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{h(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	3,20	4,80
Portata necessaria (mc/s)	2,97	0,59

D veicoli LG (1/km)	2,13	3,20
Portata necessaria (mc/s)	0,11	0,11

D veicoli PG (1/km)	1,33	2,00
Portata necessaria (mc/s)	0,66	0,35

Portata necessaria per corsia (mc/s)	3,75	1,04
Portata necessaria per canna (mc/s)	4,79	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	2,13	3,20
Portata necessaria (mc/s)	1,62	0,92

D veicoli PG (1/km)	1,33	2,00
Portata necessaria (mc/s)	12,35	5,48

Portata necessaria per corsia (mc/s)	13,97	6,40
Portata necessaria per canna (mc/s)	20,37	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	20,37	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	5,33	8,00
Portata necessaria (mc/s)	0,00	0,01

D veicoli PG (1/km)	1,33	2,00
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,01

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,01	0,02
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,03	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	20,40
Velocità aria in galleria (m/s)	0,29

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_j \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{tu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167-
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{tu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3}) / Dh + \beta_i + \beta_{sb}] \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T / T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$

dove:

k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendi

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_i - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,29
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	60
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	60
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	6,98
Veicoli in galleria in senso opposto N2	10,47
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T0=10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 da norma UNI 10349
$p_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times u_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times u_w \times u_t$	-3,00 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 27!
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
u_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
u_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,29
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 -1 $z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{P_0}{P}$
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{tu} (Pa)	-0,26	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{veh} (Pa)	-15,23	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{th} (Pa)	-19,46	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{fire} (Pa)	0,00	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Ht (Pa)	-54,95	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	3864,19	

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMST
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N) $F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment",

PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions,

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 592,14

Numero ventilatori minimo n = F/Fv 6,53

Numero minimo ventilatori arrotondato

7 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori

**Titolo: CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE PER GALLERIE STRADALI O AUTOSTRADALI
GALLERIA BORZOLI - ERZELLI**

IL CALCOLO VIENE EFFETTUATO PER LA DILUIZIONE DEL MONOSSIDO DI CARBONIO E DEI FUMI E QUINDI VERIFICATO PER CONDIZIONI DI INCENDIO

Dati

Denominazione galleria	Galleria Borzoli - Erzelli Velocità 60 km/h - Traffico 30% in discesa, 70% in salita	
Dati generali	discesa	salita
Corsia	DX	SX
Senso di marcia	bidirezionale	
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo (km/h)	60	60
Suddivisione (%)	30%	70%
TGM attuale (veicoli per senso di marcia/giorno)	3000	7000
Tasso di crescita del traffico (%)	0	0 traffico
Periodo considerato (anni)	0	0 traffico
TGM di calcolo (veicoli per senso di marcia/giorno)	3000	7000
Veicoli leggeri (% pcu)	80,00	80,00
Veicoli pesanti (% pcu)	20,00	20,00
Traffico di punta (veicoli per senso di marcia/ora)	300,00	700,00
Traffico totale (veicoli per senso di marcia/ora)	300,00	700,00
Lunghezza (m)	1047,00	1047,00
Sezione (mq)	70,32	70,32
Perimetro (m)	32,93	32,93
Diametro idraulico (m)	8,54	8,54
Altezza media del tunnel (m)	6,20	6,20
Pendenza media (%)	-4,56	4,56
Altitudine media (m slm)	200,00	200,00

Calcolo emissioni inquinanti riferite all'anno 2010 (PIARC 2004)

Caratterizzazione traffico in galleria

LB-A Vetture a benzina catalizzate EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Otto
LB-B Vetture a benzina catalizzate EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Otto
LB-C Vetture a benzina catalizzate EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Otto
LB-D Vetture a benzina catalizzate EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Otto
LG-A Vetture a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
LG-B Vetture a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
LG-C Vetture a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
LG-D Vetture a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel
PG-A veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 1 (%)	13,00	13,00	ciclo Diesel
PG-B veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 2 (%)	19,00	19,00	ciclo Diesel
PG-C veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 3 (%)	23,00	23,00	ciclo Diesel
PG-D veicoli pesanti a gasolio a norme EURO 4 (%)	45,00	45,00	ciclo Diesel

Traffico totale (veicoli per corsia/ora)

LB+LG Veicoli leggeri (% veicoli)	300	700	
PG Veicoli pesanti (% veicoli)	80	80	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LB Veicoli leggeri a benzina (% veicoli)	20	20	percentuali in veicoli effettivi ricavate dalle percentuali in p.c.u.
LG Veicoli leggeri a gasolio (% veicoli)	48	48	percentuali sul totale generale
LB Veicoli leggeri a benzina (veicoli per corsia/ora)	32	32	percentuali sul totale generale
LG Veicoli leggeri a gasolio (veicoli per corsia/ora)	144,00	336,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	96,00	224,00	
PG Veicoli pesanti a gasolio (veicoli per corsia/ora)	60,00	140,00	

Velocità traffico fluido (km/h)	60	60	
Pendenza media (%)	-4,56	4,56	
Salita / Discesa	Salita	Discesa	

Emissioni CO

f correttivo veicoli LB-A (g/h)	2,8	2,8	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-8
f correttivo veicoli LB-B (g/h)	1,7	1,7	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-10
f correttivo veicoli LB-C (g/h)	1,83	1,83	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-12
f correttivo veicoli LB-D (g/h)	1	1	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - pag. 49
Emissioni CO veicoli LB-A (g/h)	568,254	114,386	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-7
Emissioni CO veicoli LB-B (g/h)	390,735	44,186	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-9
Emissioni CO veicoli LB-C (g/h)	298,422	30,605	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-11
Emissioni CO veicoli LB-D (g/h)	114,260	11,660	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-13
Emissione media CO veicoli LB (g/h)	268,167	35,552	
Emissione media CO veicoli LB Qcoi.v. (mc/h)	0,223	0,030	

Emissioni CO veicoli LG-A (g/h)	28,112	20,000	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-15
Emissioni CO veicoli LG-B (g/h)	22,808	13,460	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-16
Emissioni CO veicoli LG-C (g/h)	18,532	10,988	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-17
Emissioni CO veicoli LG-D (g/h)	16,880	10,088	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-18
Emissione media CO veicoli LG (g/h)	15,513	9,667	
Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. (mc/h)	0,013	0,008	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (g/h)	1,95	1,95	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (g/h)	2,00	2,00	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-45
Emissioni CO veicoli PG-A (g/h)	346,398	93,795	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-41
Emissioni CO veicoli PG-B (g/h)	173,048	64,840	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-42
Emissioni CO veicoli PG-C (g/h)	117,352	45,120	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-43
Emissioni CO veicoli PG-D (g/h)	85,464	33,424	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-44
Emissione media CO veicoli PG (g/h)	143,361	49,931	
Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. (mc/h)	0,119	0,042	

Emissioni fumi

Emissioni fumi veicoli LG-A (mc/h)	51,312	18,720	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-34
Emissioni fumi veicoli LG-B (mc/h)	27,900	10,995	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-35
Emissioni fumi veicoli LG-C (mc/h)	16,040	6,326	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-36
Emissioni fumi veicoli LG-D (mc/h)	6,000	2,360	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-37
Emissione media fumi veicoli LG Qfi.v. (mc/h)	13,060	4,950	

f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-A (mc/h)	1,85	1,85	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-B (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-C (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
f correttivo (rif. 25 tonn) veicoli PG-D (mc/h)	2,25	2,25	da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-57
Emissioni fumi veicoli PG-A (mc/h)	276,5	78,7	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-53
Emissioni fumi veicoli PG-B (mc/h)	102,7	34,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-54
Emissioni fumi veicoli PG-C (mc/h)	70,2	23,5	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-55
Emissioni fumi veicoli PG-D (mc/h)	35,1	11,8	interpolazione da: PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-56
Emissione media fumi veicoli PG Qfi.v. (mc/h)	159,19	47,11	

(*) valutati nelle condizioni di velocità e pendenza indicate

(**) valore di riferimento valutato con veicoli da 25 t

Calcolo portata d'aria di rinnovo per diluizione CO e fumi

Contenuto CO ammissibile (ppm) (CO)	70	70 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile (ppm) (Klim)	0,0050	0,0050 da PIARC 2004 tab. II.2-1 in funzione delle condizioni di traffico (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato o fermo)

Portata necessaria per diluizione CO (mc/s) $Q_{co} = [(Q_{coi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L$

dove:

- Qcoi.v. = Emissione base CO
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi (mc/s) $Q_f = [(Q_{fi.v.} \times f_h \times f_{iv}) / 3600] \times D \times (1 / Klim) \times L$

dove:

- Qfi.v. = Emissione base fumi
- f_h = Fattore di altitudine
- f_{iv} = Fattore di pendenza e velocità relativo alla velocità di progetto
- D = Densità veicoli per Km.
- L = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione CO

f _{h(lb)} (fattore di altitudine veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(lb)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri benzina)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LB (1/km)	2,40	5,60
Portata necessaria (mc/s)	2,23	0,69

D veicoli LG (1/km)	1,60	3,73
Portata necessaria (mc/s)	0,09	0,12

D veicoli PG (1/km)	1,00	2,33
Portata necessaria (mc/s)	0,50	0,40

Portata necessaria per corsia (mc/s)	2,81	1,22
Portata necessaria per canna (mc/s)	4,03	

Portata necessaria per diluizione fumi

f _{h(ld)} (fattore di altitudine veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{h(pd)} (fattore di altitudine veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-39
f _{iv(ld)} (fattore di pendenza e velocità veicoli leggeri gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli
f _{iv(pd)} (fattore di pendenza e velocità veicoli pesanti gasolio)	1,00	1,00 già compreso nel calcolo dell'emissione media dei veicoli

D veicoli LG (1/km)	1,60	3,73
Portata necessaria (mc/s)	1,22	1,07

D veicoli PG (1/km)	1,00	2,33
Portata necessaria (mc/s)	9,26	6,39

Portata necessaria per corsia (mc/s)	10,47	7,47
Portata necessaria per canna (mc/s)	17,94	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria per canna (mc/s)	17,94	

Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Emissione di polvere da veicoli leggeri [mq/h]	0,90	0,90 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-38
Emissione di polvere da veicoli pesanti [mq/h]	4,50	4,50 da PIARC (2004) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation - tab II.3-58

D veicoli LB+LG (1/km)	4,00	9,33
Portata necessaria (mc/s)	0,00	0,01

D veicoli PG (1/km)	1,00	2,33
Portata necessaria (mc/s)	0,01	0,01

Portata necessaria per corsia (mc/s)	0,01	0,02
Portata necessaria per canna (mc/s)	0,03	

Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna (mc/s)	17,97	
Velocità aria in galleria (m/s)	0,26	

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

Perdite di carico in galleria: $\Delta p_t = \eta_j \times \Delta p_j = \Delta p_{veh} + \Delta p_{tu} + \Delta p_{MT} + \Delta p_{fire} + \Delta p_{th}$ PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

dove:

Δp_{tu} = Perdita di carico continua ed ai portali: sempre negativa PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 54

Δp_{veh} = Effetto pistone: può essere negativo o positivo PIARC 1995 "Road tunnels: emissions, ventilation, environment", pag. 53

Δp_{MT} = Effetto vento e della differenza di pressione barometrica tra ingresso ed uscita PIARC 2004 "fire and smoke control in road tunnels", pag. 167-
Dp=K/2 * rho * vel_vento. Va considerato quando il vento dominante ha velocità e direzione note: diversamente si trascura

Δp_{fire} = Aumento di pressione causato dal fuoco PIARC 2007 "Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels", pag. 259. Va valutato dal progettista

Δp_{th} = Effetto camino: può essere negativo o positivo

Perdita di carico continua (Pa) $\Delta p_{tu} = - [\xi \times (L \times 10^{-3}) / Dh + \beta_i + \beta_{sb}] \times \frac{1}{2} \times Vg^2 \times \rho_0 \times T / T_0$

Effetto pistone (Pa) $\Delta p_{veh} = \frac{1}{2} \times (E) \times (N1/S) \times \rho \times \{ [(V1/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 $+ \frac{1}{2} \times (E) \times (N2/S) \times \rho \times \{ [(V2/3,6) - (E) \times Vg]^2 \times [(\%l \times Cxl \times Sl) + (\%p \times Cxp \times Sp)] \}$
 E(+) se il senso di marcia è concorde con il flusso dell'aria in galleria;
 (-) se il senso di marcia è discorde o se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria
 Con veicoli fermi (V1=V2=0) corrisponde alle perdite di carico supplementari dovute alla presenza dei veicoli

Effetto vento (Pa) $\Delta p_{MT} = K/2 \times \rho \times vel_{vento}$

dove:
 k = coefficiente di perdita (generalmente si assume 0,75)

Effetto dell'incendio (Pa) Δp_{fire} = valore noto da considerare solo in caso di incendi

Effetto camino (Pa) $\Delta p_{th} = g \times (\rho_i - \rho_e) \times \Delta h_{portali}$

Numero corsie per senso di marcia	1
Lunghezza galleria L (m)	1047,00
Pendenza media (%)	-4,56
Altitudine media (m slm)	200,00
Sezione galleria S (mq)	70,32
Diametro idraulico Dh (m)	8,54
Velocità aria in galleria Vg (m/s)	0,26
Velocità veicoli in un senso V1 (km/h)	60
Velocità veicoli in senso opposto V2 (km/h)	60
Coefficiente di attrito ξ	0,025
Veicoli in galleria in un senso N1	5,24
Veicoli in galleria in senso opposto N2	12,22
Percentuale veicoli leggeri %l (p.u.)	0,8
Sezione frontale veicoli leggeri Sl (mq)	2,00
Coefficiente attrito veicoli leggeri Cxl	0,40
Percentuale veicoli pesanti %p (p.u.)	0,2
Sezione frontale veicoli pesanti Sp (mq)	8,00
Coefficiente attrito veicoli pesanti Cxp	0,60
Massa volumica aria (ρ) a T=20 °C (kg/mc)	1,18
Massa volumica aria (ρ_0) a T0=10 °C (kg/mc)	1,22
Coefficiente di perdita all'imbocco β_i	1,00
Coefficiente di perdita allo sbocco β_{sb}	0,75
Velocità del vento all'esterno Ve (m/s)	2,50 da norma UNI 10349
$p_{wind} = 1/2 \times \zeta_{wind} \times \rho \times u_w^2 + 1/2 \times \zeta_{wind\&tunnel} \times \rho \times u_w \times u_t$	-2,97 -1
ζ_{wind} (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50 PIARC 2007 - Syatem and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 27!
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50
u_w = velocità media del vento (m/s)	3,00
u_t = velocità media dell'aria nel tunnel (m/s)	0,26
Dislivello tra i portali Dq (m)	47,74
Pressione barometrica al portale più basso (hPa)	992,62
Pressione barometrica al portale più alto (hPa)	987,13
Differenza di pressione barometrica (Pa)	-5,49 -1 $z = \frac{R \cdot T_m}{g} \cdot \ln \frac{P_0}{P}$
Camino massimo in caso di incendio (m)	36,48

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Δp_{tu} (Pa)	-0,20	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{veh} (Pa)	-27,94	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{MT} (Pa)	-20,00 -20	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{th} (Pa)	-19,46	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Δp_{fire} (Pa)	0,00	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Ht (Pa)	-67,60	NB: un valore negativo indica una resistenza al flusso d'aria
Spinta totale Ft = Ht * S (N)	4753,55	

Caratteristiche ventilatore scelto

Marca	FLAKT WOODS o equivalente
Modello	JETFAN 100 JMST
Esecuzione	Cassa, silenziatori ed accessori di montaggio in AISI 316L; girante in lega d'alluminio
Resistenza al fuoco	resistenza a 400 °C per 120 min
Portata Qv (mc/s)	24,00
Diametro girante (m)	1,00
Velocità di uscita Vv (m/s)	30,50
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria (m)	0,8
Potenza all'asse (kW)	27,00

Spinta in aria ferma Fo (N) 861,01

Spinta in galleria Fv (N) $F_v = r \times J \times Q_v \times V_v \times (1 - V_g/V_v) = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$

dove:

$\eta_1 = 0,9$ efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment",

PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions,

$\eta_2 = 0,77$ efficienza di posizionamento (kempf, 1965) Ventilation Environment"

$\eta_3 = 1$ fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation

$r = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 = 0,69$ rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv (N) 592,82

Numero ventilatori minimo $n = F_o/F_v$ 8,0

Numero minimo ventilatori arrotondato 8 se Hp è predominante sulle resistenze, in condizioni ordinarie non sono necessari ventilatori