



Coordinamento Territoriale Nord Est

Area Compartimentale Veneto

Via E. Millosevich, 49 - 30173 Venezia Mestre T [+39] 041 2911411 - F [+39] 041 5317321  
Pec anas.veneto@postacert.stradeanas.it - www.stradeanas.it

Anas S.p.A. - Società con Socio Unico

Sede Legale

Via Monzambano, 10 - 00185 Roma T [+39] 06 44461 - F [+39] 06 4456224

Pec anas@postacert.stradeanas.it

Cap. Soc. Euro 2.269.892.000,00 Iscr. R.E.A. 1024951 P.IVA 02133681003 - C.F. 80208450587



## S.S. n° 51 "di Alemagna" Provincia di Belluno

### Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021

#### Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore

### PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE ANAS S.p.A.

Coordinamento Territoriale Nord Est - Area Compartimentale Veneto

IL PROGETTISTA:

*Ing. Pietro Leonardo CARLUCCI*

IL GEOLOGO:

*Geol. Emanuela AMICI*

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

*Dott Marco FORMENTELLO*

*Arch. Lisa ZANNONER*

ASSISTENZA ALLA PROGETTAZIONE:

STUDIO TECNICO  
ING. PUCCINELLI  
Mandataria-capogruppo

  
Mandante

  
Mandante

visto: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

*Ing. Gabriella MANGINELLI*

PROTOCOLLO:

DATA:

N. ELABORATO:

## GALLERIA NATURALE TAI DI CADORE

Relazione di calcolo impianti di ventilazione

CODICE PROGETTO

PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.

MSVE14    D    1709

NOME FILE

T00\_IM00\_IMP\_RE04A

REVISIONE

SCALA:

CODICE  
ELAB.

T00IM00IMP RE04

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

15/09/2017

S. Farronato

L. Bernardi

P. Carlucci

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO



<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	1 di 19

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE.....</b>	<b>5</b>
4.1 DATI DI INGRESSO PER IL DIMENSIONAMENTO .....	5
4.1.1 DATI GEOMETRICI DELLA GALLERIA .....	5
4.1.2 CONDIZIONI DI TRAFFICO.....	6
4.1.3 DETERMINAZIONE DEL TRAFFICO DI PUNTA.....	7
4.1.4 VALORI BASE E VALORI MASSIMI AMMESSI DI EMISSIONE DI INQUINANTI CO, FUMI (PARTICOLATO) .....	7
4.2 DESCRIZIONE DEL METODO DI CALCOLO .....	8
4.2.1 CALCOLO DELLA PORTATA D'ARIA ESTERNA PER LA DILUIZIONE DEGLI AGENTI INQUINANTI (VENTILAZIONE SANITARIA).....	8
4.2.2 CALCOLO DELLA FORZA RESISTENTE AL FLUSSO D'ARIA NECESSARIO PER LA DILUIZIONE DEL CO E DEI FUMI.....	9
4.2.3 CALCOLO DELLA PORTATA D'ARIA ESTERNA PER L'ESPULSIONE DEI FUMI IN CASO DI INCENDIO .....	10
4.2.4 CALCOLO DELLA FORZA RESISTENTE AL FLUSSO D'ARIA NECESSARIO PER L'ESTRAZIONE DEI FUMI IN CASO D'INCENDIO .....	11
4.2.5 CALCOLO DELLA SPINTA DI UN VENTILATORE AD INDUZIONE.....	12
4.2.6 DATI TECNICI DEI VENTILATORI UTILIZZATI PER IL CALCOLO .....	13
4.3 RISULTATI DEI CALCOLI .....	14
<b>5. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE FILTRI A PROVA DI FUMO .....</b>	<b>16</b>
5.1 GESTIONE VENTILATORE NEL LOCALE FILTRO .....	16
5.2 DESCRIZIONE DEL METODO DI CALCOLO .....	17
<b>6. ALLEGATI.....</b>	<b>19</b>

---

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	2 di 19

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento intende illustrare le soluzioni progettuali adottate per l'impianto di ventilazione a servizio del futuro tunnel di Tai di Cadore.

Trattasi di galleria a singolo fornice, bidirezionale, ad unica corsia per ogni senso di marcia, avente lunghezza di circa 940 m.

L'impianto di ventilazione di una galleria deve essere dimensionato per garantire il corretto funzionamento in due distinte situazioni:

- 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. Gli automezzi equipaggiati con motore a ciclo Otto producono gas nocivi quali CO (ossido di carbonio), NOx (ossidi di azoto), idrocarburi di varia natura. I prodotti della combustione di motori a ciclo Diesel contengono SOx (ossidi di zolfo), particolato, odori sgradevoli, fumi, oltre a CO ed NOx. Il dimensionamento dell'impianto viene eseguito facendo riferimento ai valori di CO ed opacità ritenendo tali grandezze più critiche rispetto alle altre sopra menzionate va da se che il controllo della concentrazione de questi inquinanti, mediante diluizione con aria esterna, comporta la diluizione anche di tutti gli atri. Le concentrazioni di queste due tipologie di inquinanti saranno pertanto monitorate costantemente ed i valori misurati costituiranno l'input per determinare il numero di ventilatori da mantenere in funzione.
- caso di esercizio in emergenza: il sistema 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 eventualmente rimasti all'interno del tunnel.

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	3 di 19

## 2. LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Nello sviluppo dei calcoli di verifica dell'impianto di ventilazione, sono stati considerati, in particolare, i seguenti documenti:

- 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 Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XIXe Congrès Mondial de la Route à Marrakech, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Marrakech septembre 1991.
- PIARC Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XXe Congrès Mondial de la Route à Montréal, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Montreal septembre 1995.
- PIARC World Road Association – "Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation" (2012)
- 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)

## 3. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Per il tunnel in oggetto, viene proposto un impianto di Ventilazione di tipo Longitudinale (VL), come suggerito dalla Linee Guida ANAS 2009 nel caso di tunnel aventi lunghezza compresa tra 500 e 1.000m.

Quindi, l'impianto di ventilazione adottato si compone fondamentalmente di jet fans reversibili (booster) installati in volta in galleria a coppie nelle posizioni indicate negli elaborati grafici facenti parte del progetto.

La prima coppia sarà ubicata all'interno del tunnel ad una distanza non inferiore a 12DH (dodici volte il diametro idraulico) mentre le coppie successive saranno tra loro spaziate di circa 10DH.

Sulla base dei calcoli effettuati, dettagliatamente esposti nel seguito ed in allegato, l'impianto di ventilazione longitudinale dovrà essere costituito:

- da non meno di n. 2 ventilatori (aventi cadauno diametro 1.000 mm, portata 24,5 m<sup>3</sup>/sec e spinta nominale in aria ferma pari a 915 N) per realizzare la ventilazione sanitaria richiesta per mantenere la concentrazione degli inquinanti a valori inferiori rispetto a quelli massimi ammessi
- mentre in caso d'incendio il numero di ventilatori deve essere pari a **14 (+n.2 ventilatori di riserva)**.

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <i>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</i>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	4 di 19

L'impianto come sopra definito consentirà di:

- contenere i livelli di sostanze inquinanti prodotti dai mezzi in transito, sia nel caso di traffico fluido che congestionato o bloccato, entro i limiti imposti dagli standard sulle emissioni relativi alla salute e sicurezza degli utenti;
- gestire l'evacuazione dei fumi di un incendio della potenza di 30MW (camion di trasporto merci).

In caso di incendio è necessario non solo espellere i fumi ma anche garantire che essi fluiscano nel verso ritenuto corretto nel caso contingente.

Nel tunnel allo studio, essendo lo stesso bidirezionale, la direzione di espulsione dei fumi dipende dalla localizzazione dell'eventuale sinistro causa dell'incendio.

L'eventualità peggiore si verifica in caso di sviluppo delle fiamme nei pressi del portale ubicato a quota inferiore, in tale situazione i ventilatori dovranno espellere i fumi verso detto portale vincendo il naturale effetto camino che tende a far rifluire i fumi verso il portale ubicato a quota superiore. Per consentire quanto sopra descritto l'impianto dovrà garantire una velocità della miscela aria-fumi in galleria non inferiore ad un particolare valore detto "velocità critica", che dipende fortemente dalla potenza sviluppata dall'incendio e che rappresenta il limite inferiore di velocità alla quale dovrà fluire la miscela gas combusti-aria per effetto della ventilazione meccanica.

Assunto come potenza d'incendio il valore di 30 MW (coerentemente con le LG) si è calcolato che la velocità critica della miscela aria-fumi è pari a 2,8 m/s per indurre la quale sono necessari 14 jet fans da 1.000 mm di diametro in funzionamento contemporaneo.

In ragione di sicurezza si è previsto che in caso d'incendio possa andare eventualmente perduta una coppia di ventilatori, in quanto ubicata in prossimità dell'incendio stesso e quindi a causa del repentino e localizzato innalzamento di temperatura sopra il limite di funzionamento degli apparecchi pari a 400°C; verranno pertanto installati, come sopra accennato, 16 ventilatori in esecuzione reversibile.

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <i>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</i>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	5 di 19

## 4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

L'impianto di ventilazione di una galleria deve essere dimensionato per assolvere due compiti:

- in esercizio normale quindi l'impianto deve diluire, nella più intensa condizione di traffico stimata, le concentrazioni di inquinanti come monossido di carbonio e fumi, dannose per la salute degli utenti o causa di riduzione della visibilità, mantenendole al di sotto dei limiti stabiliti dalle norme e raccomandazioni internazionali.
- nel caso d'incendio deve adempiere al controllo della propagazione dei fumi con il loro allontanamento sia dal luogo dell'incendio sia dalla galleria stessa, senza incrementare il rischio per gli utenti eventualmente rimasti all'interno.

Ai due scenari sopra descritti si è fatto quindi riferimento nei calcoli di dimensionamento dell'impianto di ventilazione riportati nel seguito.

### 4.1 DATI DI INGRESSO PER IL DIMENSIONAMENTO

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

La verifica del caso di incendio è stata condotta considerando il caso più gravoso cioè quello di focolaio nei pressi dell'imbocco Est del tunnel.

#### 4.1.1 DATI GEOMETRICI DELLA GALLERIA

DATO		VALORE
Lunghezza	Lt [m]	941
N° corsie per senso di marcia	nc	1
Sezione trasversale	St [m <sup>2</sup> ]	73,6
Diametro idraulico	Dh(t) [m]	8,4
Altezza media sul livello del mare	H [m]	850
Pendenza media complessiva	i [%]	3,2%

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	6 di 19

#### 4.1.2 CONDIZIONI DI TRAFFICO

I dati relativi al traffico ed alla suddivisione del flusso veicolare sono stati dalle rilevazioni eseguite nell'anno 2016 al km 79.100 (SS51) presso Valle di Cadore (BL).

- TGM (traffico giornaliero medio anno 2016): 7.200 veicoli/giorno
- Veicoli pesanti (HGV): 6% TGM
- Veicoli leggeri a benzina ed a gasolio (PC+LDV): 94% TGM

Il TGM rilevato è stato proiettato in avanti nel tempo, dalla data attuale 2017 fino al 2035, mantenendo inalterata la percentuale di veicoli pesanti e assumendo un coefficiente di crescita annuo paria a 1,5% si ottiene quindi un TGM<sub>2035</sub>:

- TGM<sub>2035</sub> (anno di riferimento 2035): 9.697 veicoli/giorno

Si è inoltre assunta, tra i veicoli leggeri, la seguente suddivisione:

- Veicoli leggeri a benzina 40%
- Veicoli leggeri a gasolio 60%

Il documento PIARC – "Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation" (edizione 2012) introduce un parco veicolare "tipo" da utilizzare per tutti i paesi appartenenti alla categoria "A" che essenzialmente comprende le nazioni che adottano la legislazione europea in termini di emissioni inquinanti dei veicoli.

La tabella seguente riporta la composizione del suddetto parco veicolare (relativo all'anno 2010) sulla base del quale si è eseguito il calcolo di dimensionamento dell'impianto di ventilazione in regime sanitario.

TABLE 5 - FLEET COMPOSITION USED FOR BASE CASE EMISSION FACTOR CALCULATIONS FOR TECHNOLOGY STANDARD A								
type	year	pre EU1	EU 1	EU 2	EU 3	EU 4	EU 5	EU 6
PC gasoline	2010	14.87%	3.95%	12.40%	20.87%	43.64%	4.27%	0.00%
PC Diesel		2.34%	1.75%	8.11%	32.70%	49.25%	5.85%	0.00%
HGV Diesel		4.07%	5.11%	16.08%	28.45%	12.07%	34.22%	0.00%

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	7 di 19

#### 4.1.3 DETERMINAZIONE DEL TRAFFICO DI PUNTA

Il traffico di punta si ottiene dal TGM<sub>2035</sub> con la seguente relazione:

- Traffico di punta = TGM<sub>2035</sub> x 0,10

#### 4.1.4 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 (monossido di carbonio) e fumi presenti nei prodotti della combustione. Sulla concentrazione di tali inquinanti si basa il calcolo della ventilazione sanitaria delle gallerie.

Altri inquinanti, quali NO<sub>x</sub>, composti del Pb, SO<sub>2</sub>, HC, etc., risultano con concentrazioni trascurabili in galleria purché 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 già citato documento PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) "Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation" (2012) in funzione della composizione del flusso veicolare, della sua velocità e della pendenza del tunnel.

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

La concentrazione dei fumi viene espressa da un coefficiente k detto "extinction coefficient" (valore in m<sup>-1</sup> che misura la riduzione dell'intensità luminosa per unità di lunghezza, dovuta alla presenza di fumi) che assume il valore 0,003 m<sup>-1</sup> in condizioni di buona visibilità e 0,012 m<sup>-1</sup> 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 riportati nella seguente tabella:

Dato	Traffico bloccato	Traffico congestionato	Traffico fluido	Manutenzione Ordinaria
Contenuto CO ammissibile (p.p.m.)	100	100	70	20
Contenuto fumi ammissibile (m-1)	0,009	0,007	0,005	0,003

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	8 di 19

## 4.2 DESCRIZIONE DEL METODO DI CALCOLO

Il calcolo della portata d'aria di ventilazione e quindi di dimensionamento dell'impianto, come già sopra evidenziato, si basa su due condizioni di funzionamento: funzionamento normale per la diluizione degli inquinanti (detta anche "ventilazione sanitaria") e funzionamento in caso d'incendio per l'allontanamento dei fumi e calore (ventilazione d'emergenza).

Le due condizioni si differenziano per i valori di portata, normalmente più elevata nel caso d'incendio dove la velocità media del flusso d'aria indotto meccanicamente deve essere tale da evitare il così detto backlayring, vale a dire il ritorno dei fumi verso l'area che si intende proteggere.

Definita la portata si dovranno calcolare le perdite di pressione che la stessa incontra lungo la galleria e successivamente il numero di ventilatori necessari ad indurre la portata vincendo le perdite. Il calcolo viene svolto nelle due condizioni, ventilazione sanitaria e ventilazione d'emergenza e la condizione che risulterà più gravosa definirà il numero di ventilatori da installare.

### 4.2.1 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 ammissibili.

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:

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

dove:

- $Q_{(CO)}$  = portata d'aria necessaria per la diluizione del monossido di carbonio [m<sup>3</sup>/s]
- $D$  = densità dei veicoli [veicoli / km] = Flusso veicolare [veicoli/h] / Velocità media dei veicoli [km/h]
- $L_g$  = lunghezza della galleria [km]
- $Q_{(CO)i.v.h.}$  = emissione di CO dei veicoli in funzione di  $f(i,v,h)$  (determinata a partire dai dati PIARC) [m<sup>3</sup>/h veicolo]

dove:

- $i$  = pendenza [%]
- $v$  = velocità del traffico [km/h]
- $h$  = altitudine sul livello del mare [m s.l.m.]

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	9 di 19

e:

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

dove:

- $Q_{(f)}$  = portata d'aria necessaria per la diluizione dei fumi [ $m^3/s$ ]
- $D$  = densità dei veicoli [veicoli / km] = Flusso veicolare [veicoli/h] / Velocità media dei veicoli [km/h]
- $L_g$  = lunghezza della galleria [km]
- $Q_{(f)i.v.h.}$  = emissione base di fumi dei veicoli in funzione di  $f(i,v,h)$  (determinata a partire dai dati PIARC) [ $m^3/h$  veicolo]

dove:

- $i$  = pendenza [%]
- $v$  = velocità del traffico [km/h]
- $h$  = altitudine sul livello del mare [m s.l.m.]

#### 4.2.2 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 maggiore tra  $Q_{(CO)}$  e  $Q_{(f)}$ .

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

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

dove:

- $\Delta p_{cont}$  = perdita di pressione continua lungo la galleria dovuta all'attrito contro le pareti.
- $\Delta p_{loc}$  = perdita di pressione localizzata relativa alle perdite di imbocco e sbocco in prossimità dei portali.
- $\Delta p_{veh}$  = differenza di pressione dovuta alla presenza dei veicoli che può assumere valore:
  - negativo: 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;
  - positivo: nel caso di verso del flusso concorde ma con velocità del traffico minore della velocità dell'aria, oppure se il verso del flusso d'aria sia contrario al

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	10 di 19

verso del traffico veicolare; si assume altresì un valore negativo nel caso di traffico bidirezionale

- Il valore negativo di tale termine indica un contributo a favore della ventilazione e viene detto “effetto pistone”; viceversa il segno positivo rappresenta una resistenza al flusso dell’aria causata dalla presenza dei veicoli.
- $\Delta p_{MT}$  = perdita di pressione dovuta all’effetto del vento e della differenza di pressione barometrica ai portali
- $\Delta p_{th}$  = 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, di entità generalmente trascurabile in esercizio normale (ventilazione sanitaria), non trascurabile nel caso di incendio a causa della elevata differenza di temperatura e quindi di densità dell’aria che si genera tra interno ed esterno del tunnel.

Nota la perdita di pressione complessiva si ricava la forza resistente totale al flusso dell’aria con la seguente relazione:

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

#### 4.2.3 CALCOLO DELLA PORTATA D’ARIA ESTERNA PER L’ESPULSIONE DEI FUMI IN CASO DI INCENDIO

La portata di progetto deve essere tale da garantire all’interno del tunnel una velocità media della miscela aria/fumi superiore alla velocità critica, dove si definisce velocità critica  $V_c$  la velocità al di sotto della quale si ha il riflusso dei gas attraverso il tunnel (backleyring) con saturazione dello stesso, situazione da evitare per consentire l’evacuazione con visibilità verso le vie di fuga.

La velocità critica ( $V_c$ ) si determina in genere attraverso un complesso algoritmo iterativo che prende origine dall’equazione di Kennedy<sup>1</sup>:

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

dove:

- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]

---

<sup>1</sup> *Fourth international symposium on Tunnel Safety and Security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19,2010: “New Perspectives on the Critical Velocity for Smoke Control” [Fathi Tarada]*

---

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	11 di 19

- $h$  = altezza del tunnel in corrispondenza all'incendio [m]
- $P_w$  = Potenza dell'incendio [W]
- $\rho$  = densità dell'aria [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $c_p$  = calore specifico dell'aria [ $\text{kJ/kgK}$ ]
- $S_t$  = sezione del tunnel [ $\text{m}^2$ ]
- $T_f$  = temperatura del gas caldo =  $T_{\text{aria}} + 0.67 P_w / (\rho c_p S_t V_c)$  dove  $T_{\text{aria}}$  = temperatura dell'aria esterna, a monte dell'incendio
- $Fr_m$  = numero di Froude critico =  $4.5 (1 + 0.0374 | \min(i\%;0) |^{0.8})^{-3}$  [b]

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

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

che, nel caso di determinante  $\Delta < 0$  (ovvero per valori di  $P_w < 258$  MW), ha una soluzione reale che rappresenta proprio la velocità critica.

Definite infatti le seguenti grandezze:

- $a = P_w / (\rho c_p S_t T_{\text{aria}})$
- $c = - (g h P_w) / (Fr_m \rho c_p S_t T_{\text{aria}})$
- $Q' = - a^2 / 9$
- $R' = (-27c - 2a^3) / 54$
- $S' = [R' + ((Q')^3 + (R')^2)^{1/2}]^{1/3}$
- $T' = [R' - ((Q')^3 + (R')^2)^{1/2}]^{1/3}$

Si ottiene la relazione:

$$V_c = S' + T' - a/3 \text{ [m/s]}$$

La portata di progetto è ottenuta assumendo una velocità di calcolo in galleria  $V_g > V_c$  ed è pari a:

$$Q_w = V_g S_t \text{ [m}^3\text{/s]}$$

#### **4.2.4 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:

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	12 di 19

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

dove:

- $\Delta p_{cont}$  = perdita di pressione continua lungo la galleria dovuta all'attrito contro le pareti.
- $\Delta p_{loc}$  = perdita di pressione localizzata relativa alle perdite di imbocco e sbocco in prossimità dei portali.
- $\Delta p_{veh}$  = perdita di pressione dovuta alla presenza dei veicoli [Pa].
- $\Delta p_{MT}$  = perdita di pressione dovuta all'effetto del vento e della differenza di pressione barometrica ai portali, di entità generalmente trascurabile
- $\Delta p_{th}$  = perdita di pressione dovuta all'effetto camino
- $\Delta p_{fire}$  = perdita di pressione dovuta all'incendio, che dipende dalla potenza dello stesso: nel caso di incendio con potenza di 30 MW tale perdita di pressione può assumere valori compresi tra 10 e 20 Pa (come riportato nella letteratura tecnica, vedasi PIARC 2007 "Systems ed equipment for fire and smoke control in road tunnels"). Nello specifico, si è assunto il valore pari a 10 Pa

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

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

#### 4.2.5 CALCOLO DELLA SPINTA DI UN VENTILATORE AD INDUZIONE

La spinta di un ventilatore in aria ferma "F<sub>0</sub>" è data dalla seguente relazione:

$$F_0 = Q_v \times V_v \times \rho \text{ [N]}$$

dove:

- $Q_v$  = Portata d'aria fornita dal ventilatore [m<sup>3</sup>/s]
- $V_v$  = Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]
- $\rho$  = densità dell'aria [kg/m<sup>3</sup>]

La spinta sopra descritta va corretta per tener conto di alcuni fattori d'influenza del ventilatore in opera, pertanto la spinta effettiva è data dalle seguente relazione:

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

dove:

---

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	13 di 19

- $\eta_{1(\text{eff})} = \eta_{(\text{eff})} \times \eta_1$  = fattore di efficienza di ventilazione reale [adim].
- $\eta_{(\text{eff})}$  = fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia. Assume valore unitario se la distanza tra i due assi dei ventilatori è maggiore o uguale a 2 volte il loro diametro ed è inferiore all'unità nel caso contrario [adim].
- $\eta_1$  = fattore di efficienza di ventilazione [adim].
- $\eta_2$  = fattore di efficienza di posizionamento che dipende dalla distanza d'installazione dal soffitto e dalle pareti [adim].
- $\eta_3$  = fattore che dipende dal passo dei ventilatori [adim].
- $r = \eta_{1(\text{eff})} \times \eta_2 \times \eta_3$
- $V_g$  = Velocità dell'aria in galleria [m/s]

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

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

#### 4.2.6 DATI TECNICI DEI VENTILATORI UTILIZZATI PER IL CALCOLO

Le caratteristiche funzionali dei ventilatori utilizzate per la verifica dell'impianto di ventilazione sono le seguenti:

- Diametro girante (D) : 1.000 mm
- Portata aria : 24,5 m<sup>3</sup>/s
- Spinta in aria ferma (con  $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$ ) : 915 N
- Velocità in uscita aria : 31,2 m/s
- Velocità di rotazione : 1.480 giri/min.
- Potenza sonora : 104 dBw
- Potenza meccanica all'asse del motore : 27 kW
- Classe isolamento : H
- Alimentazione elettrica : 690V/50Hz/3f
- Temperatura max.: : 400 °C per 120 minuti

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	14 di 19

### 4.3 RISULTATI DEI CALCOLI

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

- Traffico bloccato                      velocità = 0 km/h
- Traffico congestionato                velocità = 10 km/h
- Traffico congestionato                velocità = 20 km/h
- Traffico fluido                         velocità = 60 km/h

Il caso più sfavorevole si è rivelato quello corrispondente al caso di traffico con velocità  $\geq 60$  km/h (vedi allegato 1 "Calcoli di dimensionamento dell'impianto di ventilazione")

La situazione più critica dal punto di vista della determinazione del numero di acceleratori necessari si verifica comunque di norma nel caso di incendio.

Tenuto conto della pendenza del tunnel è atteso che lo scenario più gravoso per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione sia quello di un incendio nel punto più basso ovvero con il focolaio che si sviluppa nelle vicinanze del portale inferiore; in tale situazione infatti il naturale "effetto camino" originato dall'incendio tende a favorire il deflusso dei gas combusti verso l'interno del tunnel. L'effetto camino genera di fatto una resistenza aggiuntiva che deve essere vinta dalla spinta prodotta dagli acceleratori.

Considerato un incendio di potenza pari a 30MW nei pressi del portale più basso è risultato che il numero di ventilatori necessari è pari 16 (compresi n.2 ventilatori aggiunti per considerare la perdita di altrettante macchine per effetto dell'incendio).

I risultati dei calcoli sono riportati nelle seguenti tabelle:

#### Ventilazione sanitaria

Velocità del traffico	Portata d'aria fresca necessaria alla ventilazione	Resistenza al flusso d'aria	Spinta totale necessaria	Ventilatori necessari (assunto)	Ventilatori di progetto
[km/h]	[m <sup>3</sup> /s]	[Pa]	[N]	[n.]	[n.]
0	14,37	10,88	800	2	16
10	5,68	11,10	817	2	16
20	7,31	11,28	830	2	16
60	12,14	11,69	860	2	16

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	15 di 19

### Ventilazione di emergenza (caso di incendio)

<b>Potenza sviluppata dall'incendio</b>	<b>Velocità critica di progetto Vc(prog)</b>	<b>Tratto di galleria non interessato dai fumi</b>	<b>Portata d'aria per evitare backlayering Qnec</b>	<b>Spinta totale necessaria</b>	<b>Ventilatori necessari (calcolato)</b>	<b>Ventilatori in funzione considerati</b>
[MW]	[m/s]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[N]	[n.]	[n.]
30,00	2,81	821	206,59	6666	12,70	14

Per maggiori dettagli si rimanda all'allegato 1 "Calcoli di dimensionamento dell'impianto di ventilazione"

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	16 di 19

## **5. DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE FILTRI A PROVA DI FUMO**

L'accesso alla sezione pedonale della galleria di emergenza avverrà tramite locali denominati "filtri a prova di fumo" delimitati con strutture di compartimentazione con caratteristiche di resistenza al fuoco.

Il vano filtro risulta dotato di un ventilatore dimensionato per ottenere una prefissata sovrappressione, rispetto alla galleria stradale. La pressurizzazione viene ottenuta mediante immissione d'aria pulita esterna tramite un ventilatore dimensionato in base ad una portata e prevalenza necessarie, la prima a garantire una determinata velocità d'aria nel verso della galleria, in contrasto a possibili immissioni tossiche dalla stessa, la seconda per creare la richiesta pressurizzazione e per vincere la perdite di pressione conseguenti.

### **5.1 GESTIONE VENTILATORE NEL LOCALE FILTRO**

Il sistema di ventilazione del locale filtro prevede due regimi di funzionamento d'emergenza (con riferimento alle indicazioni del punto 3.3.2.2.4 delle LG 2009), uno di esodo normale ed uno di intervento delle squadre di soccorso (VV.F.). All'uopo il ventilatore del locale filtro sarà dotato di motore elettrico a doppia velocità di rotazione.

Il primo regime di funzionamento, a bassa velocità, deve garantire la pressurizzazione dei vani filtro, rispetto alla galleria stradale sede di Evento, ad un valore compreso tra 30 e 80 Pa (tipicamente 50Pa), con portata d'aria tale che con una porta del vano aperta la velocità del flusso dell'aria verso la galleria, misurata nella sezione della porta stessa, non sia inferiore a 0,75m/s, ciò al fine di contrastare l'ingresso di fumo.

Il secondo regime di funzionamento ad alta velocità, attivabile dalle squadre di soccorso, aumenta le portate d'aria, per cui la velocità di attraversamento nella sezione della porta sopra citata dovrà essere non inferiore a 2 m/s, sempre con la finalità di contrastare maggiormente l'ingresso di fumi nella via d'esodo.

Il sistema di pressurizzazione del vano filtro è inoltre caratterizzato da:

- una serranda di sovrappressione (con azionamento di tipo meccanico), posizionata sulla parete che divide il locale filtro dalla galleria stradale;
- serrande tagliafuoco (TF), di cui n.1 in serie al ventilatore ed n.1 in serie alla serranda di sovrappressione.

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <b>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</b>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	17 di 19

Le serrande TF saranno caratterizzate da servocomando elettrico con dispositivo di ritorno a molla che le porta in chiusura in mancanza di tensione (sicurezza positiva), di dispositivo di chiusura per sovratemperatura e sensori per la segnalazione dello stato aperto/chiuso.

Il sistema di controllo di galleria permetterà il comando di apertura automatica delle serrande, nel regime di funzionamento a “bassa velocità”, mentre per il regime di funzionamento ad “alta velocità” l’apertura automatica delle serrande è prevista con attivazione locale, in modalità manuale, dalle squadre di soccorso.

Il comando di apertura prevede l’azionamento contemporaneo di entrambe le serrande tagliafuoco.

## 5.2 DESCRIZIONE DEL METODO DI CALCOLO

Definita la portata d’aria, trascurando le perdite di carico continue per attrito lungo le pareti in quanto poco significative, la formula utilizzata per il calcolo della prevalenza del ventilatore è:

$$\Delta p = \sum \xi \cdot V^2 \cdot \rho / 2 \text{ perdita di pressione (Pa)}$$

Dove:

- V = velocità aria (m/s)
- $\sum \xi$  = sommatorie dei coefficienti delle perdite di carico localizzate
- $\rho$  = densità dell’aria 1,2 Kg/m<sup>3</sup>

La pressurizzazione del vano filtro rispetto l’ambiente circostante comporta delle perdite d’aria attraverso le inevitabili fessure presenti nei giunti delle porte e microfessure delle strutture di compartimentazione, dette perdite devono essere contenute nella portata del ventilatore di pressurizzazione pertanto riportiamo il calcolo di verifica a sostegno del corretto dimensionamento del sistema di pressurizzazione.

### 1. Perdita d’aria attraverso le porte chiuse.

La perdita d’aria attraverso le porte chiuse si calcola con la formula:

$$Q_p = C \times S_f \times \sqrt{[(2 \times g \times \Delta P) / \rho] \times \rho \times 2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Dove:

- C = coefficiente di flusso pari a 0,675
- S<sub>f</sub> = superficie delle fessure per metro lineare di perimetro della porta pari 0,0034 mq/m
- g = accelerazione di gravità 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $\Delta P$  = pressurizzazione (Pa)

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i> <i>Progetto definitivo</i> <i>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</i>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	18 di 19

- $\rho$  = densità dell'aria 1,2 Kg/mc
- $p$  = perimetro della porta

## 2. Perdita d'aria attraverso le microfessure dei muri.

La perdita d'aria attraverso le microfessure dei muri si calcola con la formula:

$$Q_p = C \times S_m \times \sqrt{[(2 \times g \times \Delta P) / \rho]} \times S \times 2 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Dove:

- C = coefficiente di flusso pari a 0,675
- $S_m$  = superficie delle microfessure per metro quadro di parete assunta pari 0,00001 mq/mq
- g = accelerazione di gravità 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $\Delta P$  = pressurizzazione (Pa)
- $\rho$  = densità dell'aria 1,2 Kg/m<sup>3</sup>

Considerando i due regimi di funzionamento, a bassa ed alta velocità, si riportano i risultati delle verifiche nell'allegato 2 "Calcoli impianto di pressurizzazione filtri".

<i>SS. 51 'DI ALEMAGNA' – Piano straordinario per l'accessibilità a Cortina 2021 – Attraversamento dell'abitato di Tai di Cadore</i>  <i>Progetto definitivo</i>  <i>RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE GALLERIA</i>	File	T00_IM00_IMP_RE04A.doc
	Rev.	A
	Pag.	19 di 19

## **6. ALLEGATI**

Allegato 1: Calcoli dimensionamento impianto di ventilazione

Allegato 2: Calcolo impianto di pressurizzazione filtri



# **ALLEGATO 1**

**CALCOLI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE**

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### DATI DI INGRESSO

#### Dati Geometrici

Denominazione galleria	TAI
Canna	-
Numero corsie per senso di marcia nc	1
Senso di marcia	Bidirezionale

	<b>Corsia 1</b>	<b>Corsia 2</b>	
Direzione del traffico	Salita	Discesa	
Verso (di progetto) della ventilazione di emergenza	Salita		
Lunghezza $L_t$ [m]	941,00		
Sezione $S_t$ [mq]	73,60		
Perimetro $P_{et}$ [m]	35,00		
Larghezza max a livello stradale $L_{max}$ [m]	9,50		
Altezza media del tunnel $A_{m(t)}$ [m]	7,75		La norma NFPA502, ANNEX E, definisce tale valore come l'altezza del tunnel nel punto dell'incendio. Non essendo nota la posizione del fuoco lungo la direzione ortogonale all'asse della galleria risulta indeterminata anche l'altezza da usare nel calcolo. Si assume allora il valore medio $A_{m(t)} = S_t / L_{max}$
Diametro idraulico del tunnel $D_{h(t)}$ [m]	8,41		Valore calcolato: $D_{h(t)} = 4 \times S_t / P_{e_t}$ [m]
Pendenza media [%]	3,20	-3,20	Valore <b>medio</b> eventualmente approssimato a vantaggio di sicurezza <b>assunto</b> come dato di progetto per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione meccanica

#### Dati Climatici

Altitudine media [m slm]	850,00	
Temperatura aria standard $T_{std}$ [°C]	10,25	Valore interpolato in base alla tabella 5.3 della normativa Francese CETU (Vedasi: "Le dossiers pilotes du Cetu - Ventilation - Novembre 2003")
Densità aria standard $\rho_{std}$ [kg/m3]	1,13	Valore interpolato in base alla tabella 5.3 della normativa Francese CETU (Vedasi: "Le dossiers pilotes du Cetu - Ventilation - Novembre 2003")
Velocità del vento $V_w$ [m/s]	5,00	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### Dati di traffico

	<b>Corsia 1</b>	<b>Corsia 2</b>	
Valore del TGM [veicoli / giorno]	3600,00	3600,00	Traffico Giornaliero Medio
Massa media dei veicoli pesanti [tonn]	23,00		Valore desunto da PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, pag. 23
TGM al 2035 [veicoli / giorno]	4848,68	4848,68	
Veicoli leggeri [%]	85,26%	85,26%	
Veicoli PC a benzina [% sul totale dei veicoli PC]	40,00%	40,00%	PC = Personal Car = Automobile. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Veicoli PC Diesel [% sul totale dei veicoli PC]	60,00%	60,00%	PC = Personal Car = Automobile. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Veicoli LDV [% sul totale dei veicoli]	8,74%	8,74%	LDV = Light Duty Vehicles. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Veicoli HGV [% sul totale dei veicoli]	6,00%	6,00%	HGV= Heavy-Goods Vehicles. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Veicoli PC a benzina [% sul totale dei veicoli]	34,10%	34,10%	PC = Personal Car = Automobile. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Veicoli PC a Diesel [% sul totale dei veicoli]	51,16%	51,16%	PC = Personal Car = Automobile. PIARC 2012 - Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation
Maggiorazione per calcolo traffico di punta [%]	10,00		Variabile tra l'8 ed il 12% di TGM. Valori tratti da "Le Dossier Pilotes du CETU - Ventilation" - Nov. 2003
Traffico di punta [veicoli/h]	484,87	484,87	
Traffico di punta con traffico fluido [pcu/h]	513,96	513,96	
Traffico di punta con traffico congestionato [pcu/h]	543,05	543,05	

### Dati dei ventilatori

Tipologia ventilatore	ASSIALE		Ventilatori di Progetto
Configurazione	100% Reversibile		
Marca	0,00		
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm		
Posizionamento	In volta	a coppia	
Diametro girante [m]	1,00		
Resistenza al fuoco	400,00	°C	per <input type="text" value="2,00"/> ore
Portata Qv [mc/s]	24,40		
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07		
Spinta Nominale in Aria Ferma [N]	915,00		Valore riferito alle seguenti condizioni dichiarate dal costruttore: $T_{aria}=20^{\circ}\text{C}$ , $P_{atm}=101324\text{ Pa}$ , $\rho_{aria}=1,2\text{ kg/m}^3$
Potenza installata [kW]	27,00		

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### Coefficienti di perdita di carico

Coefficiente d'attrito $\xi$	0,020	Dato assunto a partire dalla normativa   Francese: da 0,02 per pareti in CLS a 0,04 per pareti in roccia
Superficie media veicoli leggeri (ortogonale al flusso d'aria) $S_L$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	Normativa Francese CETU paragrafo 5.2.4 prodotto $SL \times Cx(L) = 0,9$
Coefficiente d'attrito medio veicoli leggeri $C_{x(L)}$	0,45	
Superficie media veicoli pesanti (ortogonale al flusso d'aria) $S_P$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	Normativa Francese CETU paragrafo 5.2.4 prodotto $SP \times Cx(P) = 4,5$
Coefficiente d'attrito medio veicolipesanti $C_{x(P)}$	0,60	

### Parametri assunti dal progettista

Velocità del vento $V_w$ [m/s]	5,0
Maggiorazione di sicurezza sul calcolo della velocità critica [%]	5
$\Delta P_{fire}$ [Pa]	-10

### Risultato dei calcoli

N° di ventilatori necessari contemporaneamente in funzione + n° di ventilatori considerati in avaria/manutenzione = n° totale di ventilatori di progetto	<b>14 + 2 = 16</b>
--	--------------------

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### FLUSSO BIDIREZIONALE: RISULTATI DEI CALCOLI

#### Ventilazione sanitaria - Flusso Bidirezionale

Velocità del traffico	Portata d'aria fresca necessaria alla ventilazione	Resistenza al flusso d'aria	Spinta totale necessaria	N° di ventilatori necessari (assunto)	N° di ventilatori di progetto
[km/h]	[m <sup>3</sup> /s]	[Pa]	[N]		
0	14,37	10,88	800	2	16
10	5,68	11,10	817	2	16
20	7,31	11,28	830	2	16
60	12,14	11,69	860	2	16
90	11,16	11,56	851	2	16

#### Ventilazione di emergenza (caso di incendio)

Colonna1	Colonna2	Colonna3	Colonna4	Colonna5	Colonna6	Colonna7
Potenza sviluppata dall'incendio	Velocità critica di progetto $V_{c(prog)}$	Tratto di galleria non interessato dai fumi	Portata d'aria necessaria per evitare il backlayering dei fumi $Q_{nec}$	Spinta totale necessaria	N° di ventilatori necessari (calcolato)	N° di ventilatori in funzione considerati
[MW]	[m/s]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[N]		
30,00	2,81	821	206,59	6666	12,70	14

Colonna8

Colonna9

Colonna10

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### Caratteristiche ventilatore installato

Marca	0,00	
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm	
Resistenza al fuoco	400,00	per <input type="text" value="2,00"/> ore
Portata Qv [mc/s]	24,40	
Diametro girante [m]	1,00	
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07	
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88	
Potenza installata [kW]	27,00	
<b>Spinta in aria ferma F<sub>o</sub> [N]</b>	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto T <sub>std</sub> e ρ <sub>std</sub>

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### Calcolo della velocità critica di progetto

	Scenario n°1	Scenario n°2	Scenario n°3	Scenario n°4	Scenario n°5	
Posizione dell'incendio	Incendio nei pressi del portale più basso (Portale lato Est)					
Verso del flusso veicolare	Salita					
Verso del flusso d'aria indotto dall'impianto di ventilazione meccanica	Salita					
Tratto di galleria non interessato dai fumi [m]	821,00					
Temperatura aria esterna $T_a$ [K]	283,40					
Potenza erogata dall'incendio $P_w$ [W]	30.000.000					Potenza erogata da autotreno carico di materiale infiammabile = 30 MW
Quota parte di potenza ceduta all'aria $k_i$ [%]	66,70					Percentuale calore ceduto all'aria 66,7% (20 MW). Calore restante ceduto alle pareti della galleria per irraggiamento
Calore specifico dell'aria $c_p$ [J/kg K]	1005,00					
Massa volumica aria $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13					
$S_t$ = sezione trasversale del tunnel [m <sup>2</sup> ]	73,60					
Altezza media del tunnel $A_{m(t)}$ [m]	7,75					
$a = P_w / (\rho c_p S_t T_a)$	1,27					
$Fr_m$ (Numero di Froude, adimensionale)	3,43					
$c = -(g A_{m(t)} P_w) / (Fr_m \rho c_p S_t T_a)$	-28,20					
$Q^* = -a^2/9$	-0,18					
$R^* = (-27c - 2a^3)/54$	14,02					
$S^* = (R^* + (Q^{*3} + R^{*2})^{1/2})^{1/3}$	3,04					
$T^* = (R^* - (Q^{*3} + R^{*2})^{1/2})^{1/3}$	0,06					
<b><math>V_c</math> (velocità critica) = <math>S^* + T^* - a/3 =</math></b>	<b>2,67</b>					"Fourth International symposium on tunnel and security, Frankfurt am Main, Germany, March 17-19, 2010"
Maggiorazione di sicurezza per la velocità di progetto [%]	5,00					
<b>Valore assunto della velocità aria in galleria <math>V_g</math> [m/s] con <math>V_g \geq V_{c(prog)}</math></b>	<b>2,81</b>					
<b><math>V_{c(prog)}</math> Velocità critica di progetto</b>	<b>2,81</b>					

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

Calcolo della spinta totale necessaria						
	Scenario n°1	Scenario n°2	Scenario n°3	Scenario n°4	Scenario n°5	
<b>Portata aria in galleria <math>Q_w</math> [mc/s]</b>	<b>206,59</b>					
Temperatura massima dell'aria in prossimità dell'incendio [K]	369,07					Par. 5.3.1 CETU 2003, pag. 63
Temperatura media miscela aria fumi a valle dell'incendio [K]	374,36					CETU ed. 2003 cap. 5.3.1, pag. 64, 65
Temperatura media ponderata sulla lunghezza del tunnel [K]	295,00					
Camino in caso di incendio [m]	30,11					
Massa volumica media nel tunnel $\rho_m$ [kg/mc]	1,08					La densità media diminuisce al diminuire della lunghezza del tratto di tunnel interessato dall'effetto camino
$c_{wind}$	0,50					
$c_{wind\&tunnel}$	0,50					
$u_w$ = velocità media del vento	5,00					PIARC 2007 - System and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 279
$V_g$ = velocità media dell'aria nel tunnel [m/s]	2,81					
Pressione esercitata dal vento $p_{wind}$ [Pa]	-10,98					
Differenza di pressione barometrica	-0,01					
Veicoli presenti in galleria prima dell'incendio	135,50					
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94					
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00					
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45					
% <sub>HGV</sub>	0,06					
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50					
$C_{x(HGV)}$	0,60					
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-9,73					
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-9,57					
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	-8,93					
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-10,99					
$\Delta p_{th}$ [Pa]	-41,35					Valutato in condizioni invernali solo per traffico in discesa
$\Delta p_{fire}$ [Pa]	-10,00					PIARC 2007 - System and equipment for fire and smoke control in road tunnels, pag. 269
<b><math>\Delta p_{tot}</math> [Pa]</b>	<b>-90,57</b>					
<b>Spinta totale <math>F_{t(incendio)} = \Delta p_t * S_t</math> [N]</b>	<b>6666,17</b>					

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### Calcolo della spinta media generata dagli acceleratori

Spinta in galleria $F_v$ [N]	$F_{v(\text{incendio})} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
------------------------------	--

dove:

$\eta_{(\text{eff})} =$	1,00
$\eta_1 =$	0,90
$\eta_{1(\text{eff})} = \eta_{(\text{eff})} \times \eta_1 =$	0,900
$\eta_2 =$	0,7819
$\eta_3 =$	1
$r = \eta_{1(\text{eff})} \times \eta_2 \times \eta_3 =$	0,70
$V_g =$	2,81
$V_v =$	31,07

Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)

Efficienza di posizionamento

Efficienza di posizionamento (kempf, 1965)

Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)

Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)

Velocità dell'aria in galleria [m/s]

Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]

Spinta di un ventilatore $F_v$ [N]	525,28				
<b>Numero ventilatori minimo <math>n = F_t/F_v</math></b>	<b>12,70</b>				
Numero minimo ventilatori arrotondato	14,00				
<b>Velocità dell'aria in galleria [m/s]</b>	<b>2,95</b>				
<b>Numero di ventilatori persi in caso di incendio</b>	<b>2</b>				

PIARC 1999 "Fire and smoke control in road tunnels", pag.189.

<b>Numero di ventilatori necessari</b>	<b>16,00</b>
--	--------------

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### - Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato

#### Condizioni al Contorno

Senso di marcia	salita	discesa
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo [km/h]	0	0

#### Emissioni CO

##### PC benzina

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Benzina [g/h]	20,500	20,500	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PC Benzina Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,013</b>	<b>0,013</b>	

##### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Diesel [g/h]	1,000	1,000	
<b>Emissione media CO veicoli PC Diesel Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	

##### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli LDV [g/h]	1,656	1,656	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	

##### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli HGV [g/h]	12,500	12,500	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>	

**CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE**  
**- Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato**

**Emissioni fumi**

**PC Diesel**

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli PC [m <sup>2</sup> /h]	1,400	1,400	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli PC Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>1,050</b>	<b>1,050</b>	

**LDV**

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli LDV [m <sup>2</sup> /h]	6,400	6,400	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli LDV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>4,608</b>	<b>4,608</b>	

**HGV**

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli HGV [m <sup>2</sup> /h]	11,000	11,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli HGV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>6,380</b>	<b>6,380</b>	

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

Contenuto CO ammissibile [ppm] (CO)	100	100	Da PIARC 2012 (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile [ppm] (K <sub>lim</sub> )	0,009	0,009	Da PIARC 2012 (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato, 0,009 fermo)

Portata necessaria per diluizione CO [m<sup>3</sup>/s]  $Q_{co} = [Q_{coi.v.}/3600] \times D \times [(10^6)/CO] \times L_g$

dove:

Q<sub>coi.v.</sub> = Emissione base CO

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi [m<sup>3</sup>/s]  $Q_f = [Q_{fi.v.}/3600] \times D \times [1/K_{lim}] \times L_g$

dove:

Q<sub>fi.v.</sub> = Emissione base fumi

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

**CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE**  
**- Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato**

**Portata necessaria per diluizione CO**

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	51,16	51,16
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,71	1,71

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	76,73	76,73
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,13	0,13

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	13,11	13,11
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,03	0,03

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	16,67	16,67
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,26	0,26

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	2,14	2,14
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	4,27	

**Portata necessaria per diluizione fumi**

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	76,73	76,73
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	2,34	2,34

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	13,11	13,11
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,75	

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	16,67	16,67
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	3,09	

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	7,18	7,18
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	14,37	

Portata necessaria per diluizione CO e fumi		
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	14,37	

**Portata necessaria per ventilazione sanitaria**

Portata necessaria per canna [mc/s]	14,37	
-------------------------------------	-------	--

Velocità aria in galleria [m/s]	0,20	Velocità minima troppo bassa: i calcoli saranno eseguiti con velocità pari ad 1 m/s come suggerito in PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7
---------------------------------	------	---

**CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE**  
**- Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato**

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

$n_c$	1	
$L_g$ [m]	941,00	
$i$ [%]	3,20	
$h$ [m <sub>slm</sub> ]	850,00	
$S_i$ [m <sup>2</sup> ]	73,60	
$D_h$ [m]	8,41	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità minima dell'aria imposta, vedasi PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7
$V_1$ [km/h]	0,00	
$V_2$ [km/h]	0,00	
$\xi$	0,020	
$N_1$	89,87	
$N_2$	89,87	
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94	
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45	
% <sub>HGV</sub>	0,06	
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	
$C_{x(HGV)}$	0,60	
$T_{std}$ [°C]	10,25	
$\rho_{std}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13	
$\zeta_{si}$	1,00	
$\zeta_{sb}$	1,20	
$\zeta_{wind}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$V_w$ [m/s]	5,00	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità dell'aria in galleria: valore di progetto
$\Delta h_{port}$ [m]	30,11	
Pressione barometrica al portale più basso [hPa]	915,50	
Pressione barometrica al portale più alto [hPa]	912,15	
$\Delta p_{port}$ [Pa]	0,00	
Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:		
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-1,26	
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-1,24	
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	0,06	
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-8,44	
$\Delta p_{th}$ [Pa]	0,00	
$\Delta p_t$ [Pa]	<b>-10,88</b>	Perdita di carico totale

**CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE**  
**- Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato**

Spinta totale $F_{t(\text{sanitaria})} = \Delta p_t * S_t$ [N]	-800,41	Una quantità < 0 indica una resistenza al flusso d'aria da vincere mediante l'impianto di ventilazione. Se $F_{t(\text{sanitaria})} > 0$ la galleria ha sufficiente ventilazione naturale e pertanto non è necessaria l'accensione dei ventilatori
--	---------	--

**CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE**  
**- Flusso Bidirezionale - Traffico Bloccato**

**Caratteristiche ventilatore installato**

Marca	0,00
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm

Resistenza al fuoco	400,00	°C	per	2,00	ore
Portata Qv [mc/s]	24,40				
Diametro girante [m]	1,00				
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07				
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88				
Potenza installata [Kw]	27,00				

<b>Spinta in aria ferma Fo [N]</b>	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto $T_{std}$ e $\rho_{std}$
------------------------------------	---------------	---

<b>Spinta in galleria Fv [N]</b>	$F_{v(sanitaria)} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
----------------------------------	--

dove:		
$\eta_{(eff)} =$	1,000	Fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia ed a distanza inferiore a 2 volte il diametro
$\eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)
$\eta_{1(eff)} = \eta_{(eff)} \times \eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione = $\eta_1$ se, in caso di installazione a coppia, l'asse dei ventilatori dista almeno 2 volte il diametro. In caso contrario $\eta_{1(eff)} < \eta_1$
$\eta_2 =$	0,7819	Efficienza di posizionamento
$\eta_3 =$	1	Efficienza di posizionamento (kempf, 1965)
$r = \eta_{1(eff)} \times \eta_2 \times \eta_3 =$	0,704	Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)
$V_g =$	1,00	Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)
$V_v =$	31,07	Velocità dell'aria in galleria [m/s]
		Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

<b>Fv [N]</b>	<b>580,83</b>
---------------	---------------

Numero ventilatori minimo $n = Fv/Fv$	1,38
Numero minimo ventilatori arrotondato	<b>2</b>

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

### Condizioni al contorno

Senso di marcia	salita	discesa
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo [km/h]	10	10

### Emissioni CO

#### PC benzina

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Benzina [g/h]	34,100	26,660	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PC Benzina Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,021</b>	<b>0,017</b>	

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Diesel [g/h]	6,060	2,200	
<b>Emissione media CO veicoli PC Diesel Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli LDV [g/h]	13,090	6,005	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,008</b>	<b>0,004</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli HGV [g/h]	44,380	25,300	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,021</b>	<b>0,012</b>	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

### Emissioni fumi

#### PC Diesel

fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli PC [m <sup>2</sup> /h]	4,820	1,400	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli PC Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>3,615</b>	<b>1,050</b>	

#### LDV

fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli LDV [m <sup>2</sup> /h]	4,820	1,180	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli LDV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>3,470</b>	<b>0,850</b>	

#### HGV

fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli HGV [m <sup>2</sup> /h]	23,620	14,240	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli HGV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>13,700</b>	<b>8,259</b>	

### Emissioni non derivate dalla combustione Q<sub>ne</sub>

#### PC / LDV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>1,300</b>	<b>1,300</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	--------------	--------------	---

#### HGV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>4,900</b>	<b>4,900</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	--------------	--------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

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

Contenuto CO ammissibile [ppm] (CO)	100	100	Da PIARC 2012 (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile [ppm] (K <sub>lim</sub> )	0,007	0,007	Da PIARC 2012 (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato, 0,009 fermo)

Portata necessaria per diluizione CO [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{co} = [Q_{coi.v.} / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>coi.v.</sub> = Emissione base CO

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi [m <sup>3</sup> /s]	$Q_f = [Q_{fi.v.} / 3600] \times D \times [1 / K_{lim}] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>fi.v.</sub> = Emissione base fumi

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

### Portata necessaria per diluizione CO

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	7,94	7,94
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,44	0,35

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	11,91	11,91
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,12	0,04

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	2,03	2,03
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,04	0,02

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,97	0,97
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,05	0,03

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	0,66	0,44
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	1,09	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

### Portata necessaria per diluizione fumi

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	11,91	11,91
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,61	0,47

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	2,03	2,03
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,26	0,06

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,97	0,97
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,50	0,30

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	2,37	0,83
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	3,20	

### Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatic

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	7,94	7,94
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,39	0,39

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	11,91	11,91
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,58	0,58

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	2,03	2,03
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,10	0,10

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,97	0,97
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,18	0,18

Portata necessaria totale [m <sup>3</sup> /s]	<b>2,48</b>	
---	-------------	--

### Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna [mc/s]	<b>5,68</b>	
Velocità aria in galleria [m/s]	<b>0,08</b>	Velocità minima troppo bassa: i calcoli saranno eseguiti con velocità pari ad 1 m/s come suggerito in PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

### Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

$n_c$	1	
$L_g$ [m]	941,00	
$i$ [%]	3,20	
$h$ [m <sub>slm</sub> ]	850,00	
$S_i$ [m <sup>2</sup> ]	73,60	
$D_h$ [m]	8,41	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità minima dell'aria imposta vedasi PIARC2012 Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation par 2.7
$V_1$ [km/h]	10,00	
$V_2$ [km/h]	10,00	
$\xi$	0,020	
$N_1$	23,32	
$N_2$	23,32	
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94	
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45	
% <sub>HGV</sub>	0,06	
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	
$C_{x(HGV)}$	0,60	
$T_{std}$ [°C]	10,25	
$\rho_{std}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13	
$\zeta_1$	1,00	
$\zeta_{sb}$	1,20	
$\zeta_{wind}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$V_w$ [m/s]	5,00	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità dell'aria in galleria: valore di progetto
$\Delta h_{port}$ [m]	30,11	
Pressione barometrica al portale più basso [hPa]	915,50	
Pressione barometrica al portale più alto [hPa]	912,15	
$\Delta p_{port}$ [Pa]	0,00	
<u>Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:</u>		
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-1,26	
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-1,24	
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	-0,17	
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-8,44	
$\Delta p_{th}$ [Pa]	0,00	
$\Delta p_t$ [Pa]	<b>-11,10</b>	Perdita di carico totale

<b>Spinta totale <math>F_{t(sanitaria)} = \Delta p_t * S_t</math> [N]</b>	<b>-817,26</b>	Una quantità < 0 indica una resistenza al flusso d'aria da vincere mediante l'impianto di ventilazione. Se $F_{t(sanitaria)} > 0$ la galleria ha sufficiente ventilazione naturale e pertanto non è necessaria l'accensione dei ventilatori
---	----------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 10 km/h

### Caratteristiche ventilatore installato

Marca	0,00
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm

Resistenza al fuoco	400,00	°C	per	2,00	ore
Portata Qv [mc/s]	24,40				
Diametro girante [m]	1,00				
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07				
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88				
Potenza installata [Kw]	27,00				

<b>Spinta in aria ferma Fo [N]</b>	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto $T_{std}$ e $\rho_{std}$
------------------------------------	---------------	---

<b>Spinta in galleria Fv [N]</b>	$F_{v(sanitaria)} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
----------------------------------	--

dove:

$\eta_{(eff)} =$	1,000	Fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia ed a distanza inferiore a 2 volte il diametro
$\eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)
$\eta_{1(eff)} = \eta_{(eff)} \times \eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione = $\eta_1$ se, in caso di installazione a coppia, l'asse dei ventilatori dista almeno 2 volte il diametro. In caso contrario $\eta_{1(eff)} < \eta_1$
$\eta_2 =$	0,782	Efficienza di posizionamento
$\eta_3 =$	1	Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)
$r = \eta_{1(eff)} \times \eta_2 \times \eta_3 =$	0,704	Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)
$V_g =$	1,00	Velocità dell'aria in galleria [m/s]
$V_v =$	31,07	Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

<b>Fv [N]</b>	<b>580,83</b>
---------------	---------------

Numero ventilatori minimo $n = F_v/F_v$	1,41
Numero minimo ventilatori arrotondato	<b>2</b>

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

### Condizioni al contorno

Senso di marcia	salita	discesa
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo [km/h]	20	20

### Emissioni CO

#### PC benzina

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare <b>FT</b>	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine <b>FH</b>	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Benzina [g/h]	47,740	32,920	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PC Benzina Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,030</b>	<b>0,021</b>	

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare <b>FT</b>	0,750	0,750	
Fattore di altitudine <b>FH</b>	1,000	1,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Diesel [g/h]	5,740	2,280	
<b>Emissione media CO veicoli PC Diesel Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,004</b>	<b>0,001</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare <b>FT</b>	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli LDV [g/h]	9,259	6,610	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,006</b>	<b>0,004</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare <b>FT</b>	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) <b>FM</b>	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli HGV [g/h]	48,800	22,980	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,024</b>	<b>0,011</b>	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

### Emissioni fumi

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli PC [m <sup>2</sup> /h]	7,600	1,520	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli PC Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>5,700</b>	<b>1,140</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli LDV [m <sup>2</sup> /h]	7,860	1,420	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli LDV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>5,659</b>	<b>1,022</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli HGV [m <sup>2</sup> /h]	29,180	14,280	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli HGV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>16,924</b>	<b>8,282</b>	

### Emissioni non derivate dalla combustione Q<sub>ne</sub>

#### PC / LDV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>2,600</b>	<b>2,600</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	--------------	--------------	---

#### HGV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>9,800</b>	<b>9,800</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	--------------	--------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

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

Contenuto CO ammissibile [ppm] (CO)	100	100	Da PIARC 2012 (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile [ppm] (K <sub>lim</sub> )	0,007	0,007	Da PIARC 2012 (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato, 0,009 fermo)

Portata necessaria per diluizione CO [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{co} = [Q_{co.v.}/3600] \times D \times [(10^6)/CO] \times L_g$
--	--

dove:

Q<sub>co.v.</sub> = Emissione base CO

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi [m <sup>3</sup> /s]	$Q_f = [Q_{fi.v.}/3600] \times D \times [1/K_{lim}] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>fi.v.</sub> = Emissione base fumi

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

### Portata necessaria per diluizione CO

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	6,61	6,61
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,52	0,36

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	9,92	9,92
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,09	0,04

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	1,70	1,70
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,02	0,02

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,48	0,48
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,03	0,01

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	0,66	0,42
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	1,09	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

### Portata necessaria per diluizione fumi

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	9,92	9,92
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	2,11	0,42

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	1,70	1,70
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,36	0,06

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,48	0,48
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,31	0,15

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	2,78	0,64
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	3,41	

### Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatic

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	6,61	6,61
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,64	0,64

Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	9,92	9,92
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,96	0,96

Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	1,70	1,70
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,16	0,16

Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,48	0,48
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,18	0,18

Portata necessaria totale [m <sup>3</sup> /s]	<b>3,89</b>	
---	-------------	--

### Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna [mc/s]	<b>7,31</b>	
Velocità aria in galleria [m/s]	<b>0,10</b>	Velocità minima troppo bassa: i calcoli saranno eseguiti con velocità pari ad 1 m/s come suggerito in PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

$n_c$	1	
$L_g$ [m]	941,00	
$i$ [%]	3,20	
$h$ [m <sub>slm</sub> ]	850,00	
$S_l$ [m <sup>2</sup> ]	73,60	
$D_h$ [m]	8,41	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità minima dell'aria imposta vedasi PIARC2012 Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation par 2.7
$V_1$ [km/h]	20,00	
$V_2$ [km/h]	20,00	
$\xi$	0,020	
$N_1$	18,52	
$N_2$	18,52	
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94	
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45	
% <sub>HGV</sub>	0,06	
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	
$C_{x(HGV)}$	0,60	
$T_{std}$ [°C]	10,25	
$\rho_{std}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13	
$\zeta_i$	1,00	
$\zeta_{sb}$	1,20	
$\zeta_{wind}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$V_w$ [m/s]	5,00	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità dell'aria in galleria: valore di progetto
$\Delta h_{port}$ [m]	30,11	
Pressione barometrica al portale più basso [hPa]	915,50	
Pressione barometrica al portale più alto [hPa]	912,15	
$\Delta p_{port}$ [Pa]	0,00	
Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:		
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-1,26	
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-1,24	
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	-0,35	
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-8,44	
$\Delta p_{th}$ [Pa]	0,00	
$\Delta p_i$ [Pa]	<b>-11,28</b>	Perdita di carico totale
<b>Spinta totale <math>F_{t(sanitaria)} = \Delta p_i * S_l</math> [N]</b>	<b>-830,37</b>	Una quantità < 0 indica una resistenza al flusso d'aria da vincere mediante l'impianto di ventilazione. Se $F_{t(sanitaria)} > 0$ la galleria ha sufficiente ventilazione naturale e pertanto non è necessaria l'accensione dei ventilatori

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 20 km/h

### Caratteristiche ventilatore installato

Marca	0,00
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm

Resistenza al fuoco	400,00	°C	per	2,00	ore
Portata Qv [mc/s]	24,40				
Diametro girante [m]	1,00				
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07				
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88				
Potenza installata [Kw]	27,00				

Spinta in aria ferma Fo [N]	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto $T_{std}$ e $\rho_{std}$
-----------------------------	---------------	---

Spinta in galleria Fv [N]	$F_{v(sanitaria)} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
---------------------------	--

dove:

$\eta_{(eff)}$	=	1,000
$\eta_1$	=	0,900
$\eta_{1(eff)} = \eta_{(eff)} \times \eta_1$	=	0,900
$\eta_2$	=	0,782
$\eta_3$	=	1
$r = \eta_{1(eff)} \times \eta_2 \times \eta_3$	=	0,704
$V_g$	=	1,00
$V_v$	=	31,07

Fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia ed a distanza inferiore a 2 volte il diametro	
Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)	
Efficienza di ventilazione = $\eta_1$ se, in caso di installazione a coppia, l'asse dei ventilatori dista almeno 2 volte il diametro. In caso contrario $\eta_{1(eff)} < \eta_1$	
Efficienza di posizionamento	Efficienza di posizionamento (kempf, 1965)
Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)	
Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)	
Velocità dell'aria in galleria [m/s]	
Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]	

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

Fv [N]	<b>580,83</b>
--------	---------------

Numero ventilatori minimo n = Ft/Fv	1,43
Numero minimo ventilatori arrotondato	<b>2</b>

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

### Condizioni al Contorno

Senso di marcia	salita	discesa
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo [km/h]	60	60

### Emissioni CO

#### PC benzina

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Benzina [g/h]	123,120	41,360	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PC Benzina Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,077</b>	<b>0,026</b>	

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Diesel [g/h]	2,940	2,680	
<b>Emissione media CO veicoli PC Diesel Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli LDV [g/h]	23,198	8,741	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,014</b>	<b>0,005</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli HGV [g/h]	75,660	22,500	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,037</b>	<b>0,011</b>	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

### Emissioni fumi

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli PC [m <sup>2</sup> /h]	18,420	1,880	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli PC Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>13,815</b>	<b>1,410</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli LDV [m <sup>2</sup> /h]	20,880	2,580	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli LDV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>15,034</b>	<b>1,858</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli HGV [m <sup>2</sup> /h]	51,700	14,440	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli HGV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>29,986</b>	<b>8,375</b>	

### Emissioni non derivate dalla combustione Q<sub>ne</sub>

#### PC / LDV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>7,900</b>	<b>7,900</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	--------------	--------------	---

#### HGV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>29,300</b>	<b>29,300</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	---------------	---------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

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

Contenuto CO ammissibile [ppm] (CO)	70	70	Da PIARC 2012 (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile [ppm] (K <sub>lim</sub> )	0,005	0,005	Da PIARC 2012 (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato, 0,009 fermo)

Portata necessaria per diluizione CO [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{co} = [Q_{col.v.} / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>col.v.</sub> = Emissione base CO

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi [m <sup>3</sup> /s]	$Q_f = [Q_{fi.v.} / 3600] \times D \times [1 / K_{lim}] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>fi.v.</sub> = Emissione base fumi

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

### Portata necessaria per diluizione CO

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - benzina [1/km]	2,92	2,92
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,84	0,28
Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - Diesel [1/km]	4,38	4,38
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,03	0,03
Densità "D" dei veicoli <b>LDV</b> - mix benzina / Diesel [1/km]	0,75	0,75
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,04	0,01
Densità "D" dei veicoli <b>HDV</b> - diesel [1/km]	0,24	0,24
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,03	0,01
Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	0,94	0,33
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	1,28	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

### Portata necessaria per diluizione fumi

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - Diesel [1/km]	4,38	4,38
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	3,16	0,43

Densità "D" dei veicoli <b>LDV</b> - mix benzina / Diesel [1/km]	0,75	0,75
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,59	0,07

Densità "D" dei veicoli <b>HDV</b> - diesel [1/km]	0,24	0,24
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,38	0,11

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	4,13	0,61
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	4,74	

### Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatici

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - benzina [1/km]	2,92	2,92
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,21	1,21

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - Diesel [1/km]	4,38	4,38
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,81	1,81

Densità "D" dei veicoli <b>LDV</b> - mix benzina / Diesel [1/km]	0,75	0,75
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,31	0,31

Densità "D" dei veicoli <b>HDV</b> - diesel [1/km]	0,24	0,24
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,37	0,37

Portata necessaria totale [m <sup>3</sup> /s]	7,39	
---	------	--

### Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna [mc/s]	<b>12,14</b>	
Velocità aria in galleria [m/s]	<b>0,16</b>	

Velocità minima troppo bassa: i calcoli saranno eseguiti con velocità pari ad 1 m/s come suggerito in PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

### Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

$n_c$	1	
$L_g$ [m]	941,00	
$i$ [%]	3,20	
$h$ [m <sub>slm</sub> ]	850,00	
$S_i$ [m <sup>2</sup> ]	73,60	
$D_h$ [m]	8,41	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità minima dell'aria imposta vedasi PIARC2012 Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation par 2.7
$V_1$ [km/h]	60,00	
$V_2$ [km/h]	60,00	
$\xi$	0,020	
$N_1$	8,03	
$N_2$	8,03	
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94	
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45	
% <sub>HGV</sub>	0,06	
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	
$C_{x(HGV)}$	0,60	
$T_{std}$ [°C]	10,25	
$\rho_{std}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13	
$\zeta_1$	1,00	
$\zeta_{sb}$	1,20	
$\zeta_{wind}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$V_w$ [m/s]	5,00	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità dell'aria in galleria: valore di progetto
$\Delta h_{port}$ [m]	30,11	
Pressione barometrica al portale più basso [hPa]	915,50	
Pressione barometrica al portale più alto [hPa]	912,15	
$\Delta p_{port}$ [Pa]	0,00	
Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:		
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-1,26	
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-1,24	
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	-0,75	
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-8,44	
$\Delta p_{in}$ [Pa]	0,00	
$\Delta p_t$ [Pa]	<b>-11,69</b>	Perdita di carico totale

<b>Spinta totale <math>F_{t(sanitaria)} = \Delta p_t \cdot S_t</math> [N]</b>	<b>-860,15</b>	Una quantità < 0 indica una resistenza al flusso d'aria da vincere mediante l'impianto di ventilazione. Se $F_{t(sanitaria)} > 0$ la galleria ha sufficiente ventilazione naturale e pertanto non è necessaria l'accensione dei ventilatori
---	----------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 60 km/h

### Caratteristiche ventilatore installato

Marca	0,00
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm

Resistenza al fuoco	400,00	°C	per	2,00	ore
Portata Qv [mc/s]	24,40				
Diametro girante [m]	1,00				
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07				
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88				
Potenza installata [Kw]	27,00				

<b>Spinta in aria ferma Fo [N]</b>	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto $T_{std}$ e $\rho_{std}$
------------------------------------	---------------	---

<b>Spinta in galleria Fv [N]</b>	$F_{v(sanitaria)} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
----------------------------------	--

dove:

$\eta_{(eff)} =$	1,000	Fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia ed a distanza inferiore a 2 volte il diametro
$\eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)
$\eta_{1(eff)} = \eta_{(eff)} \times \eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione = $\eta_1$ se, in caso di installazione a coppia, l'asse dei ventilatori dista almeno 2 volte il diametro. In caso contrario $\eta_{1(eff)} < \eta_1$
$\eta_2 =$	0,782	Efficienza di posizionamento
$\eta_3 =$	1	Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)
$r = \eta_{1(eff)} \times \eta_2 \times \eta_3 =$	0,704	Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)
$V_g =$	1,00	Velocità dell'aria in galleria [m/s]
$V_v =$	31,07	Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

<b>Fv [N]</b>	<b>580,83</b>
---------------	---------------

Numero ventilatori minimo $n = F_v/F_v$	1,48
Numero minimo ventilatori arrotondato	<b>2</b>

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

### Condizioni al Contorno

Senso di marcia	salita	discesa
Numero corsie per senso di marcia	1	1
Velocità di calcolo [km/h]	90	90

### Emissioni CO

#### PC benzina

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Benzina [g/h]	246,560	47,680	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PC Benzina Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,154</b>	<b>0,030</b>	

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli PC Diesel [g/h]	2,920	4,440	
<b>Emissione media CO veicoli PC Diesel Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,002</b>	<b>0,003</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli LDV [g/h]	54,216	9,432	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli LG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,033</b>	<b>0,006</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni CO veicoli HGV [g/h]	98,220	23,040	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media CO veicoli PG Qcoi.v. [m<sup>3</sup>/h]</b>	<b>0,047</b>	<b>0,011</b>	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

### Emissioni fumi

#### PC Diesel

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,750	0,750	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Fattore di altitudine FH	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli PC [m <sup>2</sup> /h]	29,640	3,640	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli PC Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>22,230</b>	<b>2,730</b>	

#### LDV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,720	0,720	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli LDV [m <sup>2</sup> /h]	34,080	6,480	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli LDV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>24,538</b>	<b>4,666</b>	

#### HGV

Fattore correttivo per rinnovamento del parco veicolare FT	0,580	0,580	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
f correttivo (rispetto ad una massa di 23 tonn) FM	1,000	1,000	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
Emissioni fumi veicoli HGV [m <sup>2</sup> /h]	71,440	14,980	Interpolazione da: PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
<b>Emissione media fumi veicoli HGV Qfi.v. [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>41,435</b>	<b>8,688</b>	

### Emissioni non derivate dalla combustione Q<sub>ne</sub>

#### PC / LDV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>11,800</b>	<b>11,800</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	---------------	---------------	---

#### HGV

<b>Emissione Q<sub>ne(PC/LDV)</sub> [m<sup>2</sup>/h]</b>	<b>44,000</b>	<b>44,000</b>	Da PIARC (2012) Road tunnel: vehicle emissions and air demand for ventilation
---	---------------	---------------	---

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

### - Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

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

Contenuto CO ammissibile [ppm] (CO)	70	70	Da PIARC 2012 (70 fluido, 100 congestionato o fermo)
Contenuto fumi ammissibile [ppm] (K <sub>lim</sub> )	0,005	0,005	Da PIARC 2012 (0,0050 fluido, 0,0070 congestionato, 0,009 fermo)

Portata necessaria per diluizione CO [m <sup>3</sup> /s]	$Q_{co} = [Q_{col.v.} / 3600] \times D \times [(10^6) / CO] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>col.v.</sub> = Emissione base CO

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

Portata necessaria per diluizione fumi [m <sup>3</sup> /s]	$Q_f = [Q_{fi.v.} / 3600] \times D \times [1 / K_{lim}] \times L_g$
--	---

dove:

Q<sub>fi.v.</sub> = Emissione base fumi

D = Densità veicoli per Km

L<sub>g</sub> = Lunghezza galleria in Km

#### Portata necessaria per diluizione CO

Densità "D" dei veicoli <b>PC - benzina</b> [1/km]	1,74	1,74
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,00	0,19
Densità "D" dei veicoli <b>PC - Diesel</b> [1/km]	2,61	2,61
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,02	0,03
Densità "D" dei veicoli <b>LDV - mix benzina / Diesel</b> [1/km]	0,45	0,45
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,05	0,01
Densità "D" dei veicoli <b>HDV - diesel</b> [1/km]	0,16	0,16
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,03	0,01
Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	1,10	0,24
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	1,34	

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

### Portata necessaria per diluizione fumi

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - <i>Diesel</i> [1/km]	2,61	2,61
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	3,03	0,37

Densità "D" dei veicoli <b>LDV</b> - <i>mix benzina / Diesel</i> [1/km]	0,45	0,45
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,57	0,11

Densità "D" dei veicoli <b>HDV</b> - <i>diesel</i> [1/km]	0,16	0,16
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,35	0,07

Portata necessaria per corsia [m <sup>3</sup> /s]	3,95	0,55
Portata necessaria per canna [m <sup>3</sup> /s]	4,51	

### Portata necessaria per diluizione torbidità da polveri e detriti di pneumatic

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - <i>benzina</i> [1/km]	1,74	1,74
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,07	1,07

Densità "D" dei veicoli <b>PC</b> - <i>Diesel</i> [1/km]	2,61	2,61
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	1,61	1,61

Densità "D" dei veicoli <b>LDV</b> - <i>mix benzina / Diesel</i> [1/km]	0,45	0,45
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,27	0,27

Densità "D" dei veicoli <b>HDV</b> - <i>diesel</i> [1/km]	0,16	0,16
Portata necessaria [m <sup>3</sup> /s]	0,37	0,37

Portata necessaria totale [m <sup>3</sup> /s]	<b>6,66</b>	
---	-------------	--

### Portata necessaria per ventilazione sanitaria

Portata necessaria per canna [mc/s]	<b>11,16</b>	
Velocità aria in galleria [m/s]	<b>0,15</b>	Velocità minima troppo bassa: i calcoli saranno eseguiti con velocità pari ad 1 m/s come suggerito in PIARC2012- Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation, par. 2.7

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

### Calcolo numero di ventilatori necessari per diluizione CO e fumi

$n_e$	1	
$L_g$ [m]	941,00	
$i$ [%]	3,20	
$h$ [m <sub>slm</sub> ]	850,00	
$S_t$ [m <sup>2</sup> ]	73,60	
$D_h$ [m]	8,41	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità minima dell'aria imposta vedasi PIARC2012 Road Tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation par 2.7
$V_1$ [km/h]	90,00	
$V_2$ [km/h]	90,00	
$\xi$	0,020	
$N_1$	4,81	
$N_2$	4,81	
% <sub>PC+LDV</sub>	0,94	
$S_{PC+LDV}$ [m <sup>2</sup> ]	2,00	
$C_{x(PC+LDV)}$	0,45	
% <sub>HGV</sub>	0,06	
$S_{HGV}$ [m <sup>2</sup> ]	7,50	
$C_{x(HGV)}$	0,60	
$T_{std}$ [°C]	10,25	
$\rho_{std}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1,13	
$\zeta_i$	1,00	
$\zeta_{sb}$	1,20	
$\zeta_{wind}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$\zeta_{wind\&tunnel}$ (portale di entrata completamente sopra il livello del terreno)	0,50	
$V_w$ [m/s]	5,00	
$V_g$ [m/s]	1,00	Velocità dell'aria in galleria: valore di progetto
$\Delta h_{port}$ [m]	30,11	
Pressione barometrica al portale più basso [hPa]	915,50	
Pressione barometrica al portale più alto [hPa]	912,15	
$\Delta p_{port}$ [Pa]	0,00	
Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:		
$\Delta p_{cont}$ [Pa]	-1,26	
$\Delta p_{loc}$ [Pa]	-1,24	
$\Delta p_{veh}$ [Pa]	-0,62	
$\Delta p_{MT}$ [Pa]	-8,44	
$\Delta p_{th}$ [Pa]	0,00	
$\Delta p_t$ [Pa]	<b>-11,56</b>	Perdita di carico totale

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

Spinta totale $F_{t(\text{sanitaria})} = \Delta p_t * S_t$ [N]	<b>-850,55</b>	Una quantità < 0 indica una resistenza al flusso d'aria da vincere mediante l'impianto di ventilazione. Se $F_{t(\text{sanitaria})} > 0$ la galleria ha sufficiente ventilazione naturale e pertanto non è necessaria l'accensione dei ventilatori
--	----------------	--

## CALCOLO IMPIANTI DI VENTILAZIONE

- Flusso Bidirezionale - Velocità del Traffico: 90 km/h

### Caratteristiche ventilatore installato

Marca	0,00
Modello	GIRANTE Ø 1000 mm

Resistenza al fuoco	400,00	°C	per	2,00	ore
Portata Qv [mc/s]	24,40				
Diametro girante [m]	1,00				
Velocità di uscita Vv [m/s]	31,07				
Distanza tra asse del ventilatore e volta della galleria [m]	0,88				
Potenza installata [Kw]	27,00				

<b>Spinta in aria ferma Fo [N]</b>	<b>852,79</b>	Valore della spinta determinato alle condizioni climatiche di progetto $T_{std}$ e $\rho_{std}$
------------------------------------	---------------	---

<b>Spinta in galleria Fv [N]</b>	$F_{v(sanitaria)} = r \times F_o \times (1 - V_g/V_v)$
----------------------------------	--

dove:

$\eta_{(eff)} =$	1,000	Fattore che tiene conto della mutua interferenza tra due ventilatori installati a coppia ed a distanza inferiore a 2 volte il diametro
$\eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 49)
$\eta_{1(eff)} = \eta_{(eff)} \times \eta_1 =$	0,900	Efficienza di ventilazione = $\eta_1$ se, in caso di installazione a coppia, l'asse dei ventilatori dista almeno 2 volte il diametro. In caso contrario $\eta_{1(eff)} < \eta_1$
$\eta_2 =$	0,782	Efficienza di posizionamento
$\eta_3 =$	1	Fattore di distanza tra ventilatori (PIARC 1995 "Road Tunnels: emissions, Ventilation Environment", pag. 50)
$r = \eta_{1(eff)} \times \eta_2 \times \eta_3 =$	0,704	Rendimento di spinta (in prima approssimazione si assume 0,7)
$V_g =$	1,00	Velocità dell'aria in galleria [m/s]
$V_v =$	31,07	Velocità di uscita dal ventilatore [m/s]

Sostituendo i valori nelle formule si ottiene:

<b>Fv [N]</b>	<b>580,83</b>
---------------	---------------

Numero ventilatori minimo $n = F_t/F_v$	1,46
Numero minimo ventilatori arrotondato	<b>2</b>

## **ALLEGATO 2**

**CALCOLO IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE FILTRI**

**Dati iniziali**

Sby: Sezione trasversale filtro (mq)	11,00
Lpt: Larghezza porta tagliafuoco (m)	1,20
Apt: Altezza porta tagliafuoco (m)	2,10
Spt: Superficie porta tagliafuoco (mq)	2,52
Ppt: Perimetro porta tagliafuoco (m)	6,60
n: Numero di porte tagliafuoco presenti	2

Velocità deflusso aria attraverso la porta e sovrappressione filtro	Verifica velocità in fase di evacuazione	
	ANAS	Assunta
Vpi: con porta aperta in intervento (m/s)	≥2	2,23 ok
Vpe: con porta aperta in evacuazione (m/s)	≥0,75	1,10 ok
Hby: Pressurizzazione filtro (Pa)	30≤x≤80	70

<b>Coefficiente perdita localizzata</b>	
ξ <sub>st</sub> : imbocco serranda tagliafuoco	1,0
ξ <sub>st</sub> : serranda tagliafuoco	0,4
ξ <sub>imb</sub> : imbocco	1,0
ξ <sub>ba</sub> : brusco allargamento	0,3
ξ <sub>sb</sub> : sbocco	1,2
ξ <sub>pt</sub> : porta aperta	30,0
Cf: Coefficiente di flusso porta chiusa	0,675
Sf: Superficie fessura perimetro porta (mq/m)	0,003
p: Densità media dell'aria (kg/mc)	1,2

**Calcoli preliminari**

Rapporto tra Spt/Sby	0,23	n° poli	giri/min
Q <sub>i</sub> =Spt*V <sub>pi</sub> : Portata aria in intervento (mc/s)	5,62	4	1440
Q <sub>e</sub> =Spt*V <sub>pe</sub> : Portata aria in evacuazione (mc/s)	2,77	8	710
Q <sub>c</sub> =Q <sub>e</sub> : Portata aria con porta chiusa (mc/s)	2,77	8	710

**Prestazione ventilatore nel caso di porta aperta in fase di intervento**
**Prevalenza richiesta**

1) Perdita pressione imbocco serranda tagliafuoco	
b: base (m)	0,80
h: altezza (m)	0,80
S=b*h: superficie (mq)	0,64
Q: portata (mc/s)	5,62
V=Q/S: velocità frontale (m/s)	8,78
Δp=ξ <sub>imb</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	46
2) Perdita di pressione serranda tagliafuoco	
b: base (m)	0,80
h: altezza (m)	0,80
S=b*h: superficie (mq)	0,64
Q: portata (mc/s)	5,62
V=Q/S: velocità frontale (m/s)	8,78
Δp=ξ <sub>st</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	19
3) Perdita di pressione porta aperta	
Q: portata (mc/s)	5,62
V=Q/Sby: velocità media nel filtro (m/s)	0,51
Δp=ξ <sub>pt</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	5

**Prestazioni ventilatore**

Q=Q <sub>i</sub> : Portata ventilatore (mc/s)	5,62
H=ΣΔp: Pressione statica ventilatore (Pa)	69

**Prestazione ventilatore nel caso di porta aperta in fase di evacuazione**
**Prevalenza richiesta**

1) Perdita pressione imbocco serranda tagliafuoco	
b: base (m)	0,80
h: altezza (m)	0,80
S=b*h: superficie (mq)	0,64
Q: portata (mc/s)	2,77
V=Q/S: velocità frontale (m/s)	4,33
Δp=ξ <sub>imb</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	11
2) Perdita di pressione serranda tagliafuoco	
b: base (m)	0,80
h: altezza (m)	0,80
S=b*h: superficie (mq)	0,64
Q: portata (mc/s)	2,77
V=Q/S: velocità frontale (m/s)	4,33
Δp=ξ <sub>st</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	5
3) Perdita di pressione porta aperta	
Q: portata (mc/s)	2,77
V=Q/Sby: velocità media nel filtro (m/s)	0,25
Δp=ξ <sub>pt</sub> *V <sup>2</sup> *p/2: perdita di pressione (Pa)	1

**Prestazioni ventilatore**

Q=Q <sub>e</sub> : Portata ventilatore (mc/s)	2,77
H=ΣΔp: Pressione statica ventilatore (Pa)	17

## Prestazione ventilatore nel caso di porta chiusa

### Portata uscente dalle fessure delle porte

$$Q_p = C_f \cdot S_f \cdot n \cdot P \cdot \sqrt{(2 \cdot H_{by}) / \rho} \quad (\text{mc/s}) \quad 0,29$$

### Prevalenza richiesta

1) Perdita pressione imbocco serranda tagliafuoco

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$Q: \text{portata (mc/s)} \quad 2,77$$

$$V = Q/S: \text{velocità frontale (m/s)} \quad 4,33$$

$$\Delta p = \xi_{imb} \cdot V^2 \cdot \rho / 2: \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 11$$

2) Perdita di pressione serranda tagliafuoco ingresso

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$Q: \text{portata (mc/s)} \quad 2,77$$

$$V = Q/S: \text{velocità frontale (m/s)} \quad 4,33$$

$$\Delta p = \xi_{st} \cdot V^2 \cdot \rho / 2: \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 5$$

3) Perdita di pressione imbocco serranda tagliafuoco uscita

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$Q: \text{portata (mc/s)} \quad 2,48$$

$$V = Q/S: \text{velocità frontale (m/s)} \quad 3,88$$

$$\Delta p = \xi_{imb} \cdot V^2 \cdot \rho / 2: \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 9$$

4) Perdita di pressione serranda tagliafuoco uscita

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$Q: \text{portata (mc/s)} \quad 2,48$$

$$V = Q/S: \text{velocità frontale (m/s)} \quad 3,88$$

$$\Delta p = \xi_{st} \cdot V^2 \cdot \rho / 2: \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 4$$

5) Perdita di pressione sbocco in galleria

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$Q: \text{portata (mc/s)} \quad 2,48$$

$$V = Q/S: \text{velocità frontale (m/s)} \quad 3,88$$

$$\Delta p = \xi_{sb} \cdot V^2 \cdot \rho / 2: \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 11$$

6) Perdita di pressione serranda di sovrappressione per garantire la pressurizzazione del filtro

$$b: \text{base (m)} \quad 0,80$$

$$h: \text{altezza (m)} \quad 0,80$$

$$S = b \cdot h: \text{superficie (mq)} \quad 0,64$$

$$\Delta p = H_{by} - \Delta p(5) - D_p(4) - D_p(3): \text{perdita di pressione (Pa)} \quad 47$$

### Prestazioni ventilatore

	Vel 1	Vel 2	Effettivo a vel 2	
Q=Qc: Portata ventilatore (mc/s)	2,77	5,62	7,77	
H=ΣΔp: Pressione statica ventilatore (Pa)		Calcolo		Verifica
H=ΣΔp: Pressione statica ventilatore (Pa)	86	69	133	ok
Pressione dinamica ventilatore (Pa)	18	75	144	ok
Pressione totale ventilatore (Pa)	104	145	276	ok

### Scelta ventilatore

Marca	Woods
Modello	Aerofoil JM 80JM/25/4-8/9/22
diametro (m)	0,80
numero poli	4-8
Alimentazione elettrica (V - Hz)	400 - 50
Potenza motore a bassa velocità (kW)	0,65
Potenza motore ad alta velocità (kW)	4,40
Note	Giunto antivibrante, rete di protezione e supporti antivibranti

### Curve di funzionamento