

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD

1° LOTTO

Piovene Rocchette - Valle dell'Astico

PROGETTO DEFINITIVO

CUP	G21B1 30006 60005
WBS	B25.A31N.L1
COMMESSA	J16L1

COMMITTENTE



S.p.A. AUTOSTRADA BRESCIA VERONA VICENZA PADOVA
Area Costruzioni Autostradali

CAPO COMMESSA
PER LA PROGETTAZIONE
Dott. Ing. Gabriella Costantini

PRESTATORE DI SERVIZI:
CONSORZIO RAETIA



RAPPRESENTANTE: Dott. Ing. Alberto Scotti

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE
TRA LE PROGETTAZIONI SPECIALISTICHE:
Technital SpA - Dott. Ing. Andrea Renso



PROGETTAZIONE:



ELABORATO: IMPIANTI
RELAZIONI
IMPIANTI TECNOLOGICI
RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE GALLERIE

Progressivo Rev.
12 01 03 004 02

Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione	SCALA:
00	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	PROMETEOENGINEERING.IT - F.RUSSO	F. RUSSO	A. FOCARACCI	-
01	GIUGNO 2017	REVISIONE PER VERIFICA	PROMETEOENGINEERING.IT - F.RUSSO	F. RUSSO	A. FOCARACCI	NOME FILE: J16L1_12_01_03_004_0101_OPD_02.dwg
02	LUGLIO 2017	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI	PROMETEOENGINEERING.IT - F.RUSSO	F. RUSSO	A. FOCARACCI	CM. PROGR. FG. LIV. REV. J16L1_12_01_03_004_0101_OPD_02

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO
PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL’ASTICO

Committente:



Progettazione:

CONSORZIO RAETIA



PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO
IMPIANTO DI VENTILAZIONE GALLERIE

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
1.1	GENERALITA	4
1.2	CARATTERISTICHE GALLERIE	4
1.3	LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO	5
1.4	ESIGENZE DELLA VENTILAZIONE NELLE GALLERIE STRADALI	6
1.5	METODOLOGIA DI VENTILAZIONE DELLE GALLERIE	7
2	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE	9
2.1	CONDIZIONI DI ESERCIZIO	9
2.1.1	<i>CALCOLO DEGLI INQUINANTI IN GALLERIA</i>	9
2.1.2	<i>VALORI LIMITE DI CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI</i>	10
2.1.3	<i>PORTATE D’INQUINANTE EMESSE DAI VEICOLI</i>	10
2.1.4	<i>CONDIZIONI DI TRAFFICO IPOTIZZATE</i>	11
2.2	CONDIZIONI DI EMERGENZA	13
2.2.1	<i>CONTROLLO DELLA VELOCITÀ CRITICA IN GALLERIA</i>	14
2.2.2	<i>POTENZA DELL’INCENDIO</i>	14
3	CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE	15
3.1	DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE SANITARIA	15
3.1.1	<i>CALCOLO DELLE QUANTITÀ D’ARIA DI RINNOVO</i>	15
3.1.2	<i>CALCOLO DELLE CADUTE DI PRESSIONE</i>	18
3.2	DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN EMERGENZA	20
3.2.1	<i>CALCOLO DELLA VELOCITÀ CRITICA</i>	21
3.2.2	<i>CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO</i>	22
3.3	CALCOLO DEL NUMERO DEI VENTILATORI	23
4	STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL’ATMOSFERA E DEL TRAFFICO IN GALLERIA	25
4.1	MODALITÀ DI MISURA DEL CO, DELL’NO E DI OP	25
4.2	MISURATORE DI DIREZIONE E DI VELOCITÀ DELL’ARIA IN GALLERIA	25
5	IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE BY-PASS PEDONALI E CARRABILI	26
5.1	SISTEMA DI SOVRAPPRESSIONE	27
5.1.1	<i>Calcolo ventilatori di pressurizzazione by-pass</i>	27
6	ALGORITMI DI VENTILAZIONE	29
6.1	SCHEMA GENERALE	30

7	ALLEGATI DI CALCOLO	32
7.1	Galleria S. Agata 2	32
7.2	Galleria Cogollo	35
7.3	Galleria Pedescala	38
7.4	Galleria S.Pietro	41

1 INTRODUZIONE

1.1 GENERALITA

Il presente documento intende illustrare le soluzioni progettuali adottate nello sviluppo del progetto definitivo per l’impianto di ventilazione e per gli impianti ad esso correlati a servizio delle gallerie:

- S.Agata 2
- Cogollo
- Pedescala
- S.Pietro

Gli impianti oggetto del presente documento sono i seguenti:

- impianto di ventilazione meccanica delle gallerie;
- sistemi di monitoraggio atmosferico (sensori CO/OP/NOx ed anemometri-AN);
- impianto di pressurizzazione by-pass.

1.2 CARATTERISTICHE GALLERIE

Il progetto è stato sviluppato considerando le seguenti caratteristiche:

Galleria	Caratteristiche della gallerie						
	Lunghezza (m)		Pendenza (%)		Area sezione galleria (mq)	Perimetro sezione galleria (mq)	Altezza (m)
	Nord	Sud	Nord	Sud			
S.Agata 2	1325	1315	2,4	-2,4	89	37,3	8,1
Cogollo	6585	6591	1	-1	92	37,4	8,5
Pedescala	1763	1733	-1,2	1,2	89	37,3	8,1
S.Pietro	3465	3589	2,1	-2,1	89	37,3	8,1

1.3 LEGGI E NORME DI RIFERIMENTO

Una sintesi della normativa internazionale sulla sicurezza antincendio nelle gallerie stradali è riportata nel seguito:

Paese	Normativa
Italia	Decreto Legislativo 264/2006 Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.
Francia	Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national – Ministère de L’Equipement, des Transports et du Logement – direction des Journaux officiels – 26, rue Desaix – 75727 Paris Cédex 156
Germania	“Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Construction of Road Tunnels” (ZTV Tunnel); “Guidelines for Equipment and Operation of Road Tunnels” (RABT 1994)
Svezia	“Tunnel Regulations of Swedish Road Administration” (Tunnel 1995/32); “Regulations for the Planned Stockholm Ring Road”
USA	“FHWA Prevention and Control of Highway Tunnel Fires” (1984 Report n. FHWA/RD-83/032); “ASHRAE Handbook HVAC Applications”, Chapter 13 “Vehicular Facilities”; “NFPA 502 Fire Protection for Limited Access Highways, Tunnels, Bridges, Elevated Roadways and Air-Right Structures”
Canada	“Road Structure Regulations of the Ministry of Transportation of Ontario – National Fire Protection Guidelines and Building Standard Acts”
Giappone	“Road Structure Regulations of the Ministry of Construction – Fire Services Law and Building Standards Act”; Road Law Art. 46

- *Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2012)*: riferimento per i limiti di concentrazione degli inquinanti e coefficienti di emissione dei veicoli;
- *Systems and Equipment for Fire and Smoke control in Road Tunnels (PIARC 2007)*: riferimenti per la definizione degli scenari di incendio e per il dimensionamento degli impianti di ventilazione;

- *Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels (UN trans/AC.7/9)*: definizione della potenza d’incendio e verifica dell’impianto di ventilazione in condizione di emergenza;
- *Les études spécifiques des dangers (ESD) pour les tunnels du réseau routier (guida metodologica francese per l’analisi dei rischi nei tunnel)*: definizione dell’evoluzione nel tempo della potenza dell’incendio.

1.4 ESIGENZE DELLA VENTILAZIONE NELLE GALLERIE STRADALI

Come noto gli automezzi durante il loro moto producono emissioni di prodotti della combustione contenenti inquinanti. Nel caso di veicoli con motore a benzina, gli inquinanti sono CO (ossido di carbonio), NOx (ossidi di azoto), idrocarburi di varia natura (in particolare idrocarburi policiclici) e con vario grado di ossidazione, Pb e suoi composti; nel caso di veicoli con motori a gasolio gli inquinanti sono SOx (ossidi di zolfo), particolato, odori sgradevoli, fumi, oltre a CO ed NOx.

Taluni inquinanti sono dannosi alla vita della fauna e della flora, mentre il particolato ed i fumi riducono la visibilità.

Nel caso delle gallerie stradali gli inquinanti debbono essere diluiti in modo da assicurare buone condizioni fisiologiche e di sicurezza agli utenti per la guida entro le gallerie stesse.

Per la diluizione in gallerie di modesta lunghezza (ad es. eguale o minore di 500 m, specie se a traffico unidirezionale) è sufficiente in genere la ventilazione naturale, causata dalle condizioni atmosferiche e dall’effetto di spinta conferito dai veicoli all’aria della galleria, condizioni ed effetto variabili nel tempo.

Poiché i tempi di attraversamento delle gallerie da parte degli utenti sono limitati a pochi minuti, gli inquinanti che maggiormente influiscono sulle condizioni di guida in galleria sono il CO ed il particolato; in tempi più recenti si è tenuto conto anche dell’NOx. I tempi di percorrenza possono però essere notevolmente aumentati nel caso di traffico intasato o bloccato in galleria.

Per le gallerie stradali di maggior lunghezza o per quelle di minor lunghezza, ma ad elevato traffico, occorre realizzare una ventilazione meccanica al fine di ovviare all’inconveniente della concentrazione dannosa degli inquinanti.

Un avvenimento importante, che deve essere considerato nel funzionamento di una galleria, è l’incendio. In questo caso i criteri di sicurezza dipendono da molte circostanze, come vie di fuga per utenti e accessi per il personale di soccorso, sistemi di rilevamento e di allarme,

sistemi di comunicazione, equipaggiamento stradale, controllo del traffico, sistemi antincendio, programmazione degli interventi di soccorso ed altri.

La ventilazione meccanica peraltro può giocare un ruolo importante nel caso di un incendio, ruolo dipendente dal sistema di ventilazione e da altre circostanze, come il tipo di galleria (uni – o bidirezionale), distribuzione del traffico, prodotti della combustione, magnitudo dell'incendio (può andare da circa 3 a 100 MW ed oltre) ed altre condizioni al contorno.

Nel caso di un incendio in una galleria unidirezionale con ventilazione longitudinale, il traffico a monte dell'incendio viene fermato, mentre il traffico a valle dell'incendio può lasciare il tunnel. In questo caso i prodotti della combustione possono essere spinti dalla ventilazione nel verso del tronco di tunnel non più occupato da veicoli.

Quando si viene a creare una coda in galleria, rilevata dal sistema di controllo del traffico ovvero dal sistema TVcc, il traffico deve essere fermato all'esterno della galleria, mediante i semafori posti agli imbocchi, fino al decongestionamento della galleria stessa. In tal modo si garantisce il corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanica longitudinale, evitando, in caso di incendio, che i fumi prodotti dall'incendio stesso investano gli utenti della galleria.

1.5 METODOLOGIA DI VENTILAZIONE DELLE GALLERIE

L'impianto di ventilazione meccanica viene dimensionato in modo da assicurare condizioni di benessere fisiologico agli utenti presenti nelle varie gallerie, mediante una ventilazione sanitaria in grado di mantenere:

- le condizioni degli inquinanti di riferimento (CO, NOx) al disotto dei valori stabiliti dalle raccomandazioni del PIARC (Permanent International Associations of Road Congressess);
- una buona visibilità in galleria, controllando l'opacità (OP) dell'aria, in modo da diluire sia i fumi emessi dai motori diesel sia il particolato, dovuto all'usura del manto stradale, dei pneumatici e dei freni, al disotto dei valori stabiliti dalle raccomandazioni del PIARC.

Per quanto attiene la sicurezza in caso di incendio, trattandosi di galleria a due fornici a traffico unidirezionale e con ventilazione meccanica longitudinale, l'impianto di ventilazione è stato proporzionato sia per evitare velocità critiche di riflusso dei fumi (back-layering), verso zone occupate da veicoli fermi, sia per ventilare la galleria con traffico bloccato a monte dell'incendio.

A tal fine l’impianto prevede per ciascun fornice un numero adeguato di ventilatori assiali ad induzione, posti in volta, in grado di garantire una idonea portata di ventilazione sanitaria ed una velocità longitudinale dell’aria in caso di incendio con veicoli bloccati in galleria a monte dell’incendio.

Nel caso in cui si verifichi un incendio nella condizione di traffico congestionato ovvero bloccato all’interno della galleria, dovuto a traffico intenso, si deve prevedere il blocco del traffico stesso all’imbocco della galleria, mediante i semafori ed i PMV posti agli imbocchi. Infatti, in presenza di traffico congestionato o bloccato in galleria, nel caso di evento di incendio di un automezzo, non è possibile gestire la ventilazione meccanica di tipo longitudinale, in modo sicuro, in quanto possono essere presenti veicoli sia a monte che a valle dell’incendio stesso.

Pertanto, il verificarsi di tale evento, comporta una gestione della ventilazione come prescritto dal Comitato Tecnico Internazionale per le Gallerie del PIARC (Permanent International Association Road Congressess), nel fascicolo “Fire and Smoke Control in Road Tunnel” 1999. In tale fascicolo si prescrive, per le gallerie in esercizio, che per il caso di incendio summenzionato, si debba operare in due fasi distinte e successive:

- fase 1: fase di evacuazione: permette la stratificazione dei fumi verso l’alto, così da consentire l’intervento del personale preposto allo spegnimento e la contemporanea evacuazione degli utenti dalla galleria;
- fase 2: fase di lavaggio: la galleria deve essere liberata dai fumi, in modo da consentire l’intervento del personale preposto allo spegnimento.

Fase 1 – Evacuazione	Fase 2 – Lavaggio
a. la stratificazione dei fumi non deve essere disturbata	a. evitare il riflusso dei fumi (backlayering)
b. velocità longitudinale dell’aria relativamente debole	b. velocità longitudinale più elevata
c. nessun ventilatore deve operare nella zona dell’incendio	c. direzione del flusso d’aria adattabile

2 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE

2.1 CONDIZIONI DI ESERCIZIO

2.1.1 CALCOLO DEGLI INQUINANTI IN GALLERIA

Per la definizione delle emissioni inquinanti nel tempo vengono presi in considerazione i valori indicati dal PIARC (Permanent International Association of Road Congresses).

Il PIARC ha pubblicato nel 2012 una nuova versione del fascicolo “Road Tunnels – Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation” ove sono riportate le emissioni inquinanti per le diverse classi di veicoli leggeri, veicoli commerciali, veicoli pesanti, bus e per le diverse categorie (Pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 ed Euro 6).

La pubblicazione è stata elaborata dal gruppo di lavoro del Comitato Tunnel del PIARC.

Il rapporto del PIARC tiene conto per le emissioni dei programmi di ricerca EU denominati Artemis, Particulates e Cost 344.

In Europa ed in altri paesi industrializzati sono in corso transizioni ed evoluzioni tecnologiche, concernenti gli standard di emissione dei veicoli ed in particolare di quelli pesanti.

E’ probabilmente troppo presto per apprezzare i risultati di questa evoluzione tecnica, in quanto deve essere considerato che le tecniche motoristiche attuali o future, anche se sofisticate, sono soggette a fattori peggiorativi di invecchiamento e di deterioramento.

Occorre quindi procedere con cautela nel definire i diversi tempi di influenza delle normative nel campo delle emissioni, in relazione ai differenti livelli delle ispezioni periodiche dei veicoli ed alle diverse composizioni del parco veicolare in ogni paese.

I valori delle emissioni per i veicoli pesanti sono stati ottenuti facendo variare la massa globale dei veicoli. I risultati, ottenuti da prove su motori al banco e da prove su banchi dinamometrici, hanno dimostrato che le emissioni allo scarico sono pressoché proporzionali alla massa totale del veicolo. Conseguentemente è stata ricavata una serie di dati di emissione per veicoli con massa di 10 t per diverse velocità e pendenze stradali e, sulla base dei dati suddetti, sono stati definiti fattori di massa per valutare i dati di emissione dei veicoli pesanti e degli autobus di maggiore tonnellaggio.

L’evoluzione della motoristica dei veicoli con il passaggio dalle classi di emissioni E0, E1, alle classi E2, E3, E4 ed E5 e nel futuro E6 ha portato, porta e porterà ad una progressiva riduzione delle emissioni inquinanti allo scarico dei veicoli, in particolare degli inquinanti principali CO, NOx e del particolato.

2.1.2 VALORI LIMITE DI CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, per diverse condizioni di flusso di traffico e per tipo di inquinante, sono stati presi dalle raccomandazioni del PIARC 2012, riepilogati nella seguente tabella.

Soglia di concentrazione degli inquinanti			
Condizioni di traffico	CO (ppm)	opacità: k (m ⁻¹)	NO ₂ (ppm)
fluido	70	0,005	1
congestionato	70	0,007	1
bloccato	100	0,009	1
manutenzione	20	0,003	1

2.1.3 PORTATE D’INQUINANTE EMESSE DAI VEICOLI

Le portate di inquinanti emesse dai veicoli (CO, NO_x e particolato), sono state dedotte in funzione della velocità e della pendenza stradale delle gallerie dalle tabelle riportate nel documento del PIARC 2012.

La determinazione delle quantità di inquinanti è stata determinata sulla base alle indicazioni fornite dal PIARC prendendo a riferimento per i calcoli l’anno 2020.

Applicando ai valori riferiti all’anno 2010, i coefficienti correttivi riportati nel medesimo documento relativi a:

- fattore di altitudine;
- influenza temporale;
- influenza tecnologica del parco veicoli;
- influenza della massa dei veicoli pesanti;

sono stati determinati i valori di portata per l’anno di riferimento.

2.1.4 CONDIZIONI DI TRAFFICO IPOTIZZATE

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

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

Le condizioni di traffico fluido sono derivate dai dati di traffico di progetto.

Dati di traffico Galleria S.Agata 2		
	Fornice DX	Fornice SX
TGM	16847	16847
% VL (veicoli leggeri)	73,4	73,4
% VP (veicoli pesanti)	26,6	26,6

Dati di traffico Gallerie Cogollo, Pedescala, S.Pietro		
	Fornice DX	Fornice SX
TGM	16064	16064
% VL (veicoli leggeri)	72,6	72,6
% VP (veicoli pesanti)	27,4	27,4

Le condizioni di traffico congestionato e bloccato sono quelle di riferimento del PIARC come definito nella seguente tabella.

Tunnel Extraurbano					
		Traffico monodirezionale		Traffico bidirezionale	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Traffico fluido	60	30	1800	23	1400
Traffico congestionato	10	70	850	60	600
Arresto	0	150	0	150	0

Dove uvp/km è la densità di veicoli per km lineare come definita nel documento “Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation” – PIARC 2012.

Tipi di veicolo					
Veicoli leggeri					
Benzina	50 %	Euro1	5 %	Euro3	30 %
Diesel	50 %	Euro 2	20 %	Euro4	45 %
Veicoli pesanti					
10t	20 %	Pre Euro	5 %		
20t	60 %	Euro 1	5 %	Euro 2	10 %
>20t	20 %	Euro 3	40 %	Euro 4	40 %

Negli allegati di calcolo sono riportate le tabelle con i valori di velocità, flusso e densità di traffico per le diverse condizioni di traffico fluido, congestionato e bloccato.

2.2 CONDIZIONI DI EMERGENZA

Il problema dell'incendio nella galleria è un fenomeno complesso, che dipende da numerosi parametri, quali :

- potenza termica dell'incendio;
- calore scambiato per convezione termica;
- pendenza longitudinale della carreggiata;
- tipo di ventilazione;
- numero e tipo di veicoli presenti in galleria;
- dimensioni dello spazio di circolazione e possibili ostruzioni;
- effetto pistone causato dai veicoli in moto e resistenza fluidodinamica causata dai veicoli fermi in galleria;
- influenza meteo agli imbocchi (pressioni barometriche, vento).

L'incendio riferimento, secondo il PIARC, per le gallerie autostradali è quello di un autocarro, che trasporta merci solide infiammabili con una potenza dell'incendio massima di 30 MW, per un tempo di $\approx 1 \div 1,5$ ore, con uno sviluppo di fumi di $\approx 80 \text{ m}^3/\text{s}$ e con una temperatura massima dell'ordine di $1.000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Si possono peraltro verificare incendi di maggior potenza (ad es. 100 MW nel caso di autobotti trasportanti liquidi infiammabili ed oltre) con sviluppo di fumi sino a $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel caso di una galleria con percorrenza unidirezionale, i veicoli a valle dell'incendio nel verso del traffico possono uscire dalla galleria, in quanto la loro velocità è superiore a quella della propagazione dei fumi, mentre quelli a monte dell'incendio sono protetti dal flusso dell'aria fresca longitudinale, che proviene alle loro spalle.

Occorre però che la velocità longitudinale abbia un valore superiore ad un valore critico, tale da impedire ai fumi di rifluire a monte dell'incendio, ove si trovano i veicoli fermi a monte dell'incendio stesso.

Va inoltre tenuto presente che si può verificare la situazione in cui i veicoli, bloccati a monte dell'incendio, occupino una lunghezza rilevante della galleria stessa. In questo caso la ventilazione meccanica longitudinale deve essere in grado di ventilare la galleria in funzione della resistenza fluidodinamica per attrito delle pareti della galleria e della colonna dei veicoli bloccati, nonché dell'effetto del tiraggio termico (effetto camino) provocato dall'incendio.

2.2.1 CONTROLLO DELLA VELOCITÀ CRITICA IN GALLERIA

La velocità critica rappresenta la velocità alla quale la miscela aria fumo può invertire il suo andamento ed invadere la zona della galleria, che si vuole mantenere protetta, mediante la ventilazione meccanica.

E' noto infatti che in caso di incendio in una galleria a percorrenza unidirezionale, i veicoli che sono a valle dell'incendio nel verso del traffico, escono dalla galleria senza avvertire l'incendio, in quanto la loro velocità è notevolmente maggiore di quella della propagazione longitudinale dei fumi.

I veicoli che restano fermi a monte dell'incendio vengono protetti dal flusso dell'aria, che spinge nel verso del traffico, se il flusso dell'aria ha una velocità longitudinale sufficiente ad evitare, per effetto dei moti convettivi dovuti all'incendio, il fenomeno del riflusso dei fumi verso i veicoli fermi (fenomeno di backlayering).

Di conseguenza deve essere valutato il numero di ventilatori necessari per evitare tale riflusso della miscela aria-fumo.

Il calcolo per evitare il riflusso viene effettuato tenendo conto che l'incendio si possa sviluppare a livello del manto stradale, a causa di una perdita sulla carreggiata di liquidi infiammabili all'interno della galleria.

2.2.2 POTENZA DELL'INCENDIO

Seguendo quanto indicato nelle "Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels (UN trans/AC.7/9)", si è scelto di dimensionare l'impianto di ventilazione per un incendio di potenza termica pari a 100 MW.

Per descrivere l'evoluzione dell'incendio, ossia l'andamento della potenza termica rilasciata dal veicolo in fiamme al passare del tempo, si assume convenzionalmente la curva proposta nella guida metodologia francese "Les études spécifiques des dangers (ESD) pour les tunnels du réseau routier" e riportata nella seguente figura.

3 CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE

Vengono riportate nel seguito le grandezze principali, i dati di base utilizzati ed i calcoli di dimensionamento effettuati per le gallerie in oggetto.

3.1 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE SANITARIA

L’impianto di ventilazione sanitaria è stato dimensionato per diluire nelle peggiori condizioni di traffico stimate, le concentrazioni di inquinanti che possono creare pericolo per le persone o ridurre in maniera eccessiva la visibilità.

3.1.1 CALCOLO DELLE QUANTITÀ D’ARIA DI RINNOVO

La quantità di aria fresca necessaria per diluire i singoli inquinanti (CO, NO_x e particolato) è stata determinata tramite la seguente formula:

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

dove:

- \dot{V} è la portata aria fresca [m³/s];
 n_{veh} è il numero di veicoli nel tunnel;
 Q sono le emissioni di CO ed NO_x [g/(h × veh)]; e le emissioni di particolato [m²/(h × veh)];
 C_{adm} è la concentrazione ammissibile di inquinante [g/m³];
 C_{amb} è la concentrazione ambiente [g/m³];

Per la determinazione della quantità d’aria fresca per diluire i fumi dei motori diesel ed il particolato non esausto (non originato dai tubi di scappamento), $C_{adm} - C_{amb}$ è stato sostituito da K_{adm} :

dove:

- K_{adm} è il coefficiente ammissibile di estinzione [m⁻¹];

Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire il CO, si ottiene:

$$V_{CO} = \sum (n_{PC} \times Q_{CO}^{PC} + n_{LDV} \times Q_{CO}^{LDV} + n_{VP} \times Q_{CO}^{HGV}) \times \frac{1}{C_{COadm} - C_{COamb}}$$

dove:

- V_{CO} è la portata aria fresca per diluire il CO [m^3/s];
 n_{PC} è il numero di veicoli leggeri in galleria;
 n_{LDV} è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;
 n_{HGV} è il numero di veicoli pesanti in galleria;
 Q_{CO}^{PC} è l'emissione base per autoveicolo leggero di CO in funzione della velocità e della pendenza;
 Q_{CO}^{LDV} è l'emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di CO, in funzione della velocità e della pendenza;
 Q_{CO}^{HGV} è l'emissione base per veicolo pesante di CO, in funzione della velocità e della pendenza;
 $C_{CO, adm}$ è la concentrazione ammissibile di CO [g/m^3];
 $C_{CO, amb}$ è la concentrazione ambiente di CO [g/m^3].

Determinazione quantità aria di rinnovo per gli NO_x

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire gli NO_x, si ottiene:

$$V_{NO_x} = \sum (n_{PC} \times Q_{NO_x}^{PC} + n_{LDV} \times Q_{NO_x}^{LDV} + n_{VP} \times Q_{NO_x}^{HGV}) \times \frac{1}{C_{NO_x adm} - C_{NO_x amb}}$$

dove:

- V_{NO_x} è la portata aria fresca per diluire gli NO_x [m^3/s];
 n_{PC} è il numero di veicoli leggeri in galleria;
 n_{LDV} è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;
 n_{HGV} è il numero di veicoli pesanti in galleria;
 $Q_{NO_x}^{PC}$ è l'emissione base per autoveicolo leggero di NO_x, in funzione della velocità e della pendenza;

$Q_{NO_x}^{LDV}$	è l’emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di NO_x , in funzione della velocità e della pendenza;
$Q_{NO_x}^{HGV}$	è l’emissione base per veicolo pesante di NO_x , in funzione della velocità e della pendenza;
$C_{NO_x, adm}$	è la concentrazione ammissibile di NO_x [g/m^3];
$C_{NO_x, amb}$	è la concentrazione ambiente di NO_x [g/m^3].

Determinazione quantità aria di rinnovo per i fumi

Per la determinazione della quantità d’aria fresca per diluire i fumi, si ottiene:

$$V_F = \sum (n_{PC} \times Q_F^{PC} + n_{LDV} \times Q_F^{LDV} + n_{VP} \times Q_F^{HGV}) \times \frac{1}{K_{adm} - K_{amb}}$$

dove:

V_F	è la portata aria fresca per diluire il CO [m^3/s];
n_{PC}	è il numero di veicoli leggeri in galleria;
n_{LDV}	è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;
n_{HGV}	è il numero di veicoli pesanti in galleria;
Q_F^{PC}	è l’emissione base per autoveicolo leggero di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;
Q_F^{LDV}	è l’emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;
Q_F^{HGV}	è l’emissione base per veicolo pesante di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;
K_{adm}	è la concentrazione ammissibile di fumi [g/m^3];
K_{amb}	è la concentrazione ambiente di fumi [g/m^3]

Nelle tabelle sottostanti sono riepilogati i risultati ottenuti (fabbisogni di aria fresca stimati all’anno 2020):

Sulla base degli scenari di traffico ipotizzati, si riportano di seguito le portate totali di inquinate in galleria e le portate d’aria per le quali si è verificata la capacità di diluizione dell’impianto ai valori raccomandati.

3.1.2 CALCOLO DELLE CADUTE DI PRESSIONE

Una volta determinati i valori di portata e velocità dell’aria all’interno della galleria si è proceduto al calcolo delle perdite di pressione.

I valori delle cadute necessarie per la circolazione dell’aria in relazione alle portate d’aria previste, derivano dal calcolo delle singole cadute di pressione per resistenze continue e localizzate, della differenza di pressione dovuta all’effetto pistone del traffico, delle differenze delle condizioni barometriche agli imbocchi e dell’effetto del vento sui portali d’ingresso.

La caduta di pressione totale ΔP entro la galleria viene ottenuta applicando l’equazione relativa all’equilibrio fluidodinamico per ogni tronco:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{tu} + \Delta P_{veh} + \Delta P_{MT}$$

dove:

ΔP_{tu} è la caduta di pressione dovuta alle perdite per attrito in galleria e delle perdite localizzate all’imbocco ed all’uscita della galleria [Pa];

ΔP_{veh} è la caduta di pressione dovuta ai veicoli in galleria [Pa];

ΔP_{MT} è la caduta di pressione dovuta agli effetti meteorologici [Pa].

Resistenza della galleria

La resistenza totale della galleria ΔP_{tu} può essere scritta come:

$$\Delta P_{tu} = \Delta P_i + \Delta P_{fa} + \Delta P_u$$

dove:

$\Delta P_i = \frac{1}{2} \rho v_g^2 \zeta_i$ è la perdita all’ingresso della galleria [Pa];

$\Delta P_u = \frac{1}{2} \rho v_g^2 \zeta_u$ è la perdita all’uscita della galleria [Pa];

$\Delta P_{fa} = \frac{1}{2} \rho v_g^2 f \frac{L}{D}$ è la perdita per attrito [Pa];

ζ_i è il coefficiente di perdita all’entrata della galleria = 0,75;

ζ_u è il coefficiente di perdita all’uscita della galleria = 1;

f è il coefficiente d’attrito delle pareti della galleria = 0,03;

D_h	è il diametro idraulico della galleria [m];
ρ	è la massa volumica [kg/m^3];
V_g	è la velocità dell’aria in galleria [m/s];
L	è la lunghezza della galleria [km].

Resistenza dei veicoli

La perdita dovuta alla resistenza aerodinamica dei veicoli ΔP_{veh} può essere scritta come:

$$\Delta P_{veh} = n_{veh} C_x \frac{(c_w \times A)_{veh}}{A_t} \frac{1}{2} \rho v_g^2$$

dove:

n_{veh}	è il numero dei veicoli in galleria suddiviso in percentuali di veicoli leggeri e pesanti; (79 % veicoli leggeri – 21 % veicoli pesanti);
C_x	è il coefficiente di interdistanza tra i veicoli = 0,7;
c_w	è il coefficiente di resistenza aerodinamica dei veicoli; (c_w veicoli leggeri = 0,35; c_w veicoli pesanti = 0,8);
A	è l’area dei veicoli; (A veicoli leggeri = 2 m^2 ; A veicoli pesanti = 7 m^2);
A_t	è l’area della galleria;
ρ	è la massa volumica [kg/m^3];
V_g	è la velocità dell’aria in galleria [m/s];

Effetto meteorologico

L’effetto meteorologico è la contropressione naturale che si instaura tra i due imbocchi dovuta alla somma di due componenti:

- una componente aerodinamica dovuta all'azione locale del vento agli imbocchi;
- una componente barometrica relativa ai gradienti di pressione su larga scala.

In generale, il contributo dominante per gallerie corte è il termine aerodinamico mentre per le gallerie lunghe il termine barometrico può risultare predominante.

Il termine aerodinamico può essere valutato sulla base della pressione dinamica esercitata dal vento :

$$\Delta P_{aer} = \frac{1}{2} \rho v_g^2$$

Per le gallerie in progetto si è valutato un valore del velocità del vento ai portali compreso tra 5 e 6 m/s da cui deriva una caduta di pressione massima pari a 20 Pa.

Per quanto riguarda il termine barometrico si riportano di seguito le considerazioni tratte dalla guida del CETU (“Les dossiers pilotes du Cetu – novembre 2003).

“Il termine barometrico è dovuto agli effetti atmosferici e varia in modo costante. Tale contributo si deve pertanto considerare casuale. La sua influenza sul valore e la direzione della corrente d'aria può essere molto elevato.

Per determinare questo valore è raccomandato eseguire studi specifici in quanto dipende fortemente dal tunnel considerato. Le misure di contro-pressione atmosferica sono delicati ed è illusorio fare delle stime molto accurate.

Una volta che il tunnel è scavato (ma prima della messa in servizio), è sempre consigliabile misurare le reali contro pressioni. “

Quanto riportato dalla guida del Cetu è indicato per le gallerie lunghe in progetto, in particolare per la galleria Cogollo. Si consiglia quindi di convalidare con idonee campagne di misura i valori di contropressione atmosferica ipotizzati in questa fase progettuale (le ipotesi sono basate sull’esperienza pregressa e su valori riscontrati per gallerie di tipologia simile).

3.2 DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN EMERGENZA

L’impianto di ventilazione di emergenza deve essere in grado di gestire il caso di un incendio in galleria; la condizione di riferimento per il dimensionamento è quella di un incendio di potenza pari a 100 MW.

Per la gestione dell’impianto di ventilazione, occorre poter instaurare un flusso d’aria maggiore della velocità critica nelle condizioni più svantaggiate (con direzione del flusso opposta all’effetto camino naturale ed alla contropressione meteorologica).

La velocità critica è la velocità minima per impedire il fenomeno del riflusso della miscela aria – fumi in direzione opposta a quella della ventilazione meccanica (fenomeno del backlayering) e quindi, consentire di evacuare il fumo da un imbocco, liberando dai fumi il tratto di galleria che si trova a monte dell’incendio.

3.2.1 CALCOLO DELLA VELOCITÀ CRITICA

La velocità critica viene definita mediante la seguente formula:

$$v_c = \left(\frac{g \times H \times Q_c}{\rho \times C_p \times A \times T_f \times Fr_m} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Il rialzo termico causato dall’incendio può essere determinato con la seguente formula:

$$T_f = \frac{Q_c}{\rho \times C_p \times A \times v_c} + 293,15$$

dove:

v_c	è la velocità critica in m/s;
g	è l’accelerazione gravitazionale in m/s^2 ;
H	è l’altezza del tunnel in m;
Q_c	è la potenza termica convettiva sviluppata nell’incendio in W;
ρ	è la massa volumica dell’aria in kg/m^3 ;
C_p	è il calore specifico dell’aria in J/kg/K;
A	è l’area della galleria;
T_f	è la temperatura finale dell’aria in K;
Fr	è il numero di Froude
293,15	è la temperatura ambiente espressa in K.

La potenza termica convettiva è pari al 70 % di quella totale quindi 70 MW.

3.2.2 CALCOLO DELLE PERDITE DI CARICO

Le perdite di carico che la ventilazione dovrà vincere per assicurare la prestazione richiesta sono le stesse già considerate per la ventilazione sanitaria, alle quali vanno aggiunte:

- ΔP_{th} : la perdita indotta dall'effetto camino che si instaura in caso di incendio;
- ΔP_{fire} : la caduta di pressione dovuta all'incendio.

La caduta di pressione totale ΔP entro la galleria sarà paria a:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{tu} + \Delta P_{veh} + \Delta P_{MT} + \Delta P_{th} + \Delta P_{fire}$$

Effetto camino

L'effetto camino è dato dalla seguente formula:

$$\Delta P_{th} = g \times \Delta h \times (\rho_a - \rho_i)$$

dove:

- ΔP_{th} è la perdita per effetto camino [Pa];
 g è la costante di gravità [m/s^2];
 Δh è la differenza di quota tra i due imbocchi [m];
 ρ_a è la densità dell'aria all'esterno della galleria [kg/m^3];
 ρ_i è la densità dell'aria nella zona dell'incendio, in funzione del rialzo termico [kg/m^3];

Caduta di pressione dovuta all'incendio

A causa dell'elevata velocità del rilascio termico durante l'incendio si generano turbolenze e un'accelerazione alla miscela di aria/fumi con conseguente caduta di pressione. Il metodo migliore per determinare il valore esatto di tale perdita consiste nell'utilizzare un modello di calcolo numerico; nel presente calcolo sono stati considerati i valori indicati in letteratura tecnica secondo cui il ΔP_{fire} può variare da 10 a 20 Pa per un incendio con potenza pari a 30 MW sino a valori compresi tra i 40 ed i 100 Pa per un incendio da 200 MW.

3.3 CALCOLO DEL NUMERO DEI VENTILATORI

Dalle risultanza di calcolo si è verificato come il caso peggiore che l’impianto di ventilazione debba gestire è il caso d’incendio.

La spinta complessivamente richiesta dal sistema di ventilazione S_v sarà pari a:

$$S_v = \Delta P_{tot} \times A_t$$

Indicando con n_j il numero complessivo dei ventilatori richiesti, e $F_{j_{reale}}$ la spinta reale fornita dal singolo ventilatore si ottiene:

$$S_v = n_j \times F_{j_{reale}} = \Delta P_{tot} \times A_t$$

e quindi:

$$n_j = \frac{\Delta P_{tot} \times A_t}{F_{j_{reale}}}$$

Applicando la formula seguente si procede al calcolo della spinta reale e conseguentemente si ricava il valore del numero di jet-fan:

$$F_{j_{reale}} = (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3) \times F_j \times \left(1 - \frac{u^*}{u_j}\right)$$

dove:

F_j	è la spinta fornita dal singolo jet fan [N];
A_t	è l’area della galleria [m ²];
η_1	è l’efficienza del ventilatore;
η_2	è il coefficiente correttivo legato all’installazione del ventilatore in galleria;
η_3	è il coefficiente correttivo legato alla distanza tra i ventilatori (nel caso di installazione a coppie) e alla distanza tra ventilatori successivi;
u_j	è la velocità attraverso il ventilatore [m/s];
u^*	è la velocità all’interno della galleria [m/s].

Per i casi in esame si è assunto un valore globale di rendimento ($\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$) pari a 0,8.

Si procede quindi, alla scelta del tipo di ventilatore ed alla verifica della corrispondente spinta.

Caratteristiche ventilatore:

- diametro girante: 1250 mm
- spinta: 1320 N
- portata d'aria: 36,7 m³/s
- velocità aria in uscita: 29,9 m/s
- velocità di rotazione: 1480 giri/minuto
- potenza assorbita: 37 kW
- efficienza elettrica motore: 90%
- tensione / frequenza / fasi 400 - 690 V / 50 Hz / 3
- durata di funzionamento a 400°C: 120 minuti
- 75 dB(A) a 10 m a 45° in campo libero

Gli acceleratori saranno in acciaio inox, del tipo reversibile, sospesi alla volta della galleria; ciascun ventilatore sarà dotato di due silenziatori cilindrici, uno per lato, e di boccaglio di aspirazione a forma toroidale.

Per ulteriori dettagli riguardante l'impiantistica elettrica a servizio dell'impianto di ventilazione (cavi, starter, etc..) si rimanda agli elaborati elettrici di riferimento.

In allegato sono riportate le tabelle di calcolo con la verifica dell'impianto di ventilazione in esercizio e in emergenza.

4 STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL'ATMOSFERA E DEL TRAFFICO IN GALLERIA

4.1 MODALITÀ DI MISURA DEL CO, DELL'NO E DI OP

Sono previsti strumenti optoelettronico per la determinazione del grado d'opacità e un sensore a cella elettrochimica per la misura della concentrazione del monossido di carbonio (CO) e del monossido/biossido di azoto (NO/NO₂). La distribuzione degli strumenti in galleria è desumibile dagli elaborati grafici.

La modalità di misura della concentrazione del CO e NO/NO₂ è a cella elettrochimica con un range di misura da 0 a 200 ppm con una precisione del 1% sul fondo scala. Il sensore è dotato di uno speciale naso con filtro in acciaio speciale per permettere la cella elettrochimica di avere una maggiore durata e stabilità nel tempo nell'atmosfera aggressiva nel tunnel.

La modalità di misura del grado di OP è con trasmissione in auto collimazione. La luce emessa da una sorgente viene focalizzata e dopo aver attraversato il campo di misura viene riflessa parallelamente da un tripode ottico. Il rapporto tra l'intensità della radiazione che raggiunge il ricevitore, attenuata dalle particelle di polvere presenti nell'atmosfera della galleria, e l'intensità della sorgente fornisce un valore del grado di OP. Campo di misura: 0 - 15 Km⁻¹, precisione ± 1,0% del v.f.s.

4.2 MISURATORE DI DIREZIONE E DI VELOCITÀ DELL'ARIA IN GALLERIA

Il misuratore, indicato nel seguito con AN (anemometro), funziona mediante impulsi ad ultrasuoni.

Due unità, sorgente e ricevitore, sono montati ai due lati del tunnel con angolo α di inclinazione fisso, solitamente compreso fra i 45° e i 60°; l'angolo va stabilito in accordo con il costruttore dell'apparecchio (vedi Tavole progettuali).

L'altezza di installazione deve essere definita con il costruttore dell'apparecchio.

Ogni unità contiene un trasduttore piezoelettrico ad ultrasuoni, che funziona alternativamente come sorgente o ricevitore.

Gli impulsi ad ultrasuoni sono irradiati con l'angolo α nella direzione del flusso d'aria.

Per ogni direzione alternativa del suono, le onde ultrasoniche sono accelerate nel verso concorde con il flusso dell'aria e rallentate nel verso opposto.

Pertanto nel verso concorde il tempo di transito degli impulsi risulta maggiore di quello nel verso contrario. La differenza tra i tempi di transito cresce proporzionalmente alle velocità dell'aria nel tunnel e pertanto la velocità è misurata in funzione di tale differenza.

L’insieme sorgente-ricevitore è connesso con una interfaccia RS 485 all’apparecchio di misura e di elaborazione a sua volta collegata all’impianto di supervisione.

La distribuzione degli anemometri in galleria è desumibile dagli elaborati grafici.

5 IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE BY-PASS PEDONALI E CARRABILI

In tutte le gallerie sono previsti dei by-pass sia pedonali e carrabili. I collegamenti tra le due canne sono realizzati mediante strutture che contengono tutte le dotazioni necessarie a garantire la sicurezza degli utenti ed in particolare l’impianto di sovrappressione.

Tali collegamenti saranno dotati di impianti di pressurizzazione al fine di evitare che il fumo sprigionatosi all’interno di una canna invada l’altra corsia che diventa un luogo di esodo grazie alla presenza dei by-pass.

Lo scopo del sistema di sovrappressione è quello di confinare il fumo ed i gas tossici nella canna incidentata senza invadere l’altra corsia che viene considerata luogo sicuro.

Il sistema ha lo scopo di mantenere in sovrappressione i comparti adiacenti all’incendio ed in depressione il comparto sede dell’incendio.

Il by-pass così previsto costituisce, pertanto, “filtro a prova di fumo” in quanto delimitato da strutture REI dotato di due porte munite di congegni di autochiusura e sistema di sovrappressione pari a 50 Pa (comunque non inferiore a 30 Pa o superiore a 80 Pa).

La pressurizzazione del by-pass è effettuato mediante due ventilatori assiali, disposti uno su ogni parete di separazione fra fornice e by-pass.

In caso di incendio in un fornice, il by-pass viene utilizzato per accedere dal fornice incidentato verso il fornice indenne. All’apertura della porta del by-pass, lato fornice incidentato, il ventilatore installato sulla parete opposta si avvia automaticamente, aspirando l’aria fresca dal fornice indenne.

In tal modo si crea una sovrappressione nel by-pass rispetto al fornice incidentato, che impedisce ai fumi di entrare nel by-pass.

All’interno del locale di by-pass è ricavata una nicchia protetta, nella quale sono disponibili il quadro di by-pass che alimenta gli elettroventilatori, le serrande tagliafuoco, l’illuminazione del locale di by-pass, nonché le apparecchiature di sicurezza, etc.

La porta carrabile può essere aperta solo dai VV.F., dal personale di soccorso e/o di manutenzione.

5.1 SISTEMA DI SOVRAPPRESSIONE

Il sistema di sovrappressione sarà composto da:

- N.2 ventilatori assiali;
- N.2 silenziatori completi di rete di protezione antivolatile;
- N.2 serrande tagliafuoco motorizzate;
- N.2 raccordi tondo/quadro di collegamento tra ventilatore e serranda tagliafuoco;
- N.2 serrande di sovrappressione con bilanciere accoppiate a N.2 serrande tagliafuoco motorizzate.

5.1.1 Calcolo ventilatori di pressurizzazione by-pass

L'impianto di sovrappressione è stato secondo le seguenti condizioni di calcolo:

- sovrappressione a porte chiuse: 50 Pa
- velocità attraverso le porte : 2 m/s;
- superficie porta: $\Omega_p = 900\text{mm} \times 2100 \text{ mm}$
- numero di porte aperte: $n_p=1$

La relazione adottata per il calcolo della portata è la seguente:

$$Q_{\max} = n_p \times \Omega_p \times V_p \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \text{ove } n_p(\text{ numero porte aperte })=1$$

Introducendo i valori precedentemente richiamati, si ottiene:

$$Q = 3,8 \text{ m}^3\text{/s}$$

Per ragioni di sicurezza si prevede che il punto di lavoro del ventilatore sia sovradimensionato rispetto la portata, pertanto il ventilatore verrà selezionato con una portata minima pari a:

$$Q_{\max} = 4,0 \text{ m}^3\text{/s}$$

I ventilatori per i by-pass pedonali sono stati previsti di diametro 500 mm. La scelta dei componenti circolari, effettuata con $D_c = 500 \text{ mm}$, comporta una velocità di attraversamento della portata d'aria massima pari a:

$$V_c = \frac{4 Q_{\max}}{\pi D_c^2} = 20,38 [ms^{-1}]$$

Il calcolo procede con la determinazione delle perdite di carico (esclusivamente localizzate) dei componenti dell’impianto con la relazione:

$$\Delta p_o = C_o \times \rho_a \times \frac{V_c^2}{2} [Pa]$$

e riguarda l’imbocco dell’aria in ingresso ($\Delta p_i, C_{oi}$), la serranda tagliafuoco ($\Delta p_{stf}, C_{ostf}$), il silenziatore ($\Delta p_{sil}, C_{oi}$), lo sbocco dell’aria in uscita ($\Delta p_u, C_{ou}$),

La pressione statica del circuito è data dalla sommatoria delle perdite di carico dei componenti con la sovrappressione minima garantita (Δp_{\min}) e la pressione massima ipotizzata in galleria (Δp_{gal}).

$$P_{sc} = \Delta p_i + \Delta p_{stf} + \Delta p_{sil} + \Delta p_{pu} + \Delta p_{\min} + \Delta p_{gal} [Pa]$$

Il valore della pressione statica del ventilatore, con l’adozione del coefficiente di sicurezza ($k_s = 1,1$), è il seguente:

$$P_{sv} = P_{sc} \times k_s [Pa]$$

Il valore della pressione dinamica del ventilatore è dato dalla relazione:

$$P_{dv} = \rho_a \times \frac{V_c^2}{2} [Pa]$$

mentre quello della pressione totale è:

$$P_{tv} = P_{sv} + P_{dv} [Pa]$$

Infine, viene calcolata la potenza assorbita dal ventilatore, con $\eta_v = 0,66$, con la seguente formula:

$$W_v = \frac{P_{tv} \times Q_{\max}}{\eta_v \times 10^3} [kW]$$

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella sottostante.

Δp_i [Pa]	Δp_{stf} [Pa]	Δp_{sil} [Pa]	Δp_u [Pa]	Δp_{\min} [Pa]	Δp_{gal} [Pa]	P_{sv} [Pa]	P_{dv} [Pa]	P_{tv} [Pa]	W_v [kW]
15	15	130	50	50	100	400	245	645	4,5

È stato scelto un ventilatore con le seguenti caratteristiche:

- diametro girante: 500 mm;
- portata d’aria: 4 m³/s;
- prevalenza totale massima: 700 Pa;
- potenza elettrica assorbita: 5,5 kW.

6 ALGORITMI DI VENTILAZIONE

La minimizzazione del rischio si ottiene, nell’ambito della gestione dell’emergenza, incrementando il tempo disponibile per l’esodo ovvero riducendo il tempo necessario all’esodo considerando tutte le possibili anomalie di funzionamento dei sistemi di sicurezza.

L’incremento del tempo disponibile per l’esodo è ottenuto mediante un’idonea gestione della ventilazione considerandone la mutua interazione con tutti i sistemi presenti in galleria.

La gestione della ventilazione in gallerie monodirezionali è caratterizzata da due fenomeni opposti e contrastanti:

- l’incremento della velocità dell’aria in galleria determina l’incremento della potenza termica generata dell’incendio e del tasso di crescita;
- l’incremento della potenza dell’incendio richiede velocità dell’aria incrementate per contrastare il fenomeno della risalita dei fumi controcorrente (back-layering).

La gestione di un fenomeno fisico complesso caratterizzato da comportamento caotico quale è l’incendio richiede l’applicazione di filtri in grado di smorzare il sistema nei tempi caratteristici dell’evoluzione evento al fine di consentire agli utenti di mettersi in salvo.

La minimizzazione del rischio per l’utenza si ottiene minimizzando la velocità dei fumi in particolare nelle zone in cui sono presenti gli utenti della galleria.

La gestione della ventilazione sarà condotta sulla base della minimizzazione del rischio per gli utenti presenti in galleria.

La gestione della ventilazione sia in condizioni di normale funzionamento, sia in condizioni di emergenza, sarà realizzata mediante specifici algoritmi per il controllo della velocità longitudinale da realizzarsi con idonee procedure (controllo tipo feedforward e feedback) in grado di gestire i vari scenari incidentali possibili (traffico monodirezionale, traffico congestionato, traffico bidirezionale).

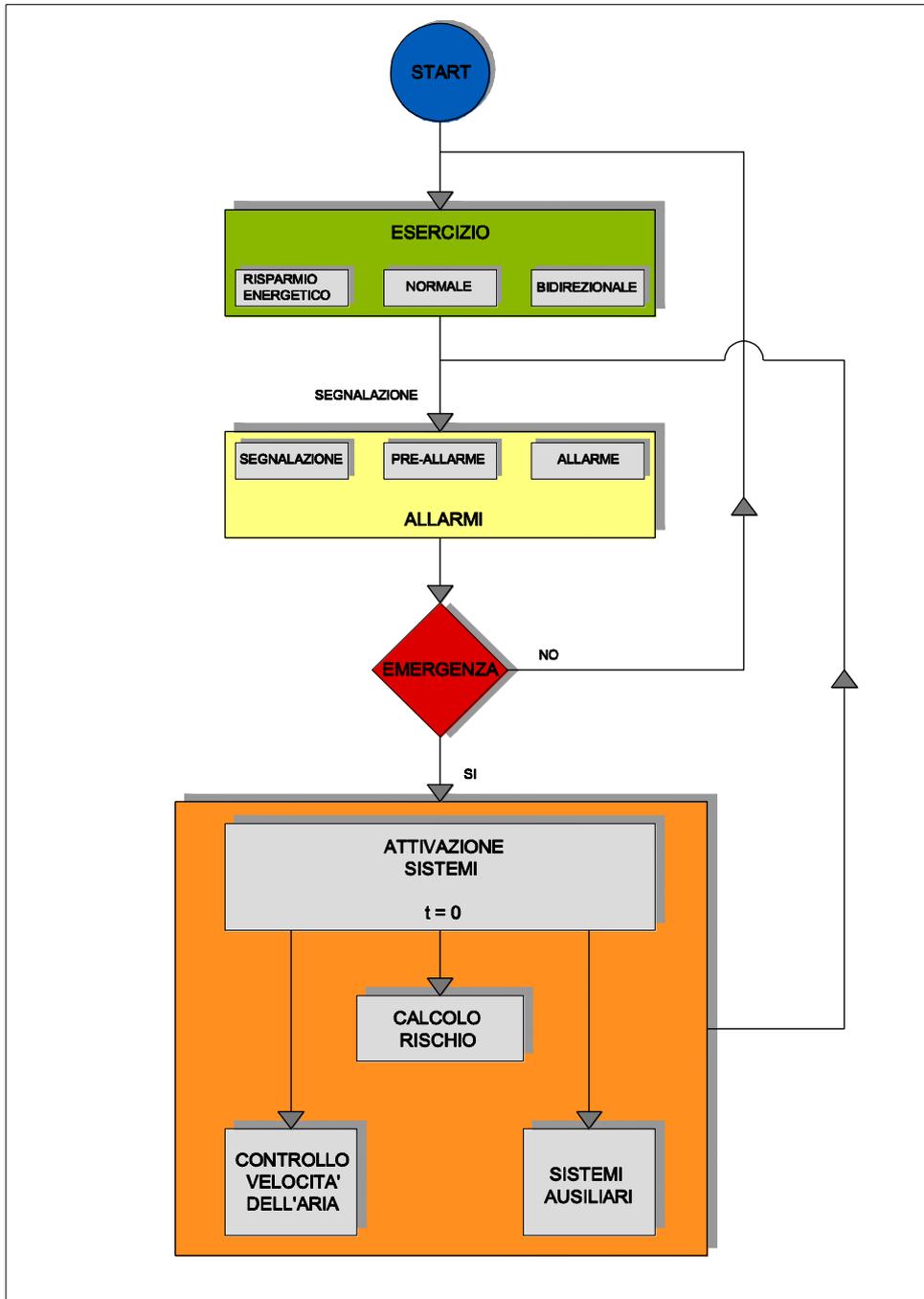
Le specifiche tecniche degli algoritmi di ventilazione saranno definite a valle della realizzazione finale dell'opera e dell'installazione dell'impianto di ventilazione.

Gli algoritmi per la gestione della ventilazione sono caratterizzati da incrementata efficacia per la riduzione del rischio, mentre svolgono funzioni base in caso di:

- evento incidentale che coinvolga veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose,
- condizioni di fuori progetto degli impianti,
- guasti ed anomalie di funzionamento degli impianti,
- elevata frequenza di congestione o di traffico bidirezionale,
- malfunzionamento dei sistemi di sicurezza interconnessi quali monitoraggio, comunicazione, illuminazione, segnaletica.

6.1 SCHEMA GENERALE

Il sistema di gestione della ventilazione è attivo durante tutte le fasi di esercizio e di emergenza della galleria ed opera con tempi ciclo predefiniti per ciascuno dei compiti principali ad esso ascritti illustrati nello schema mostrato in figura.



7 ALLEGATI DI CALCOLO

7.1 Galleria S. Agata 2

Caratteristiche del traffico							
Direzione Nord / Sud							
	fluido	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Manutenzione e traffico		bidirezionale	
				congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Congestionato + fluido	
				(PIARC)	(PIARC)	(PIARC)	(PIARC)
N. corsie con traffico	2	2	2	1	1	1	1
Velocità VL (Km/h)	130	10	0	10	0	10	60
Velocità VP (Km/h)	80	10	0	10	0	10	60
Flusso per corsia	842	455	0	455	0	395	922
Densità per corsia	7,1	45,5	97,5	45,5	97,5	39,5	15,4

Inquinanti in galleria per diverse modalità di traffico						
Modalità traffico	Nord			Sud		
	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Fluido	3,76	1,35	0,06	0,61	0,42	0,04
Congestionato	1,11	1,19	0,07	0,73	0,64	0,05
Bloccato	0,64	1,03	0,06	0,63	1,01	0,06
Manutenzione + congestionato	0,56	0,6	0,03	0,36	0,32	0,02
Manutenzione + bloccato	0,32	0,52	0,03	0,31	0,51	0,03
Bidirezionale (cong. + fluido)	0,64	0,79	0,06	0,63	1,10	0,06

Portata d'aria e velocità minima dell'aria in galleria per diluire gli inquinanti				
Modalità traffico	Nord		Sud	
	Q (m3/s)	v (m/s)	Q (m3/s)	v (m/s)
Fluido	67	0,77	21	0,24
Congestionato	60	0,68	32	0,36
Bloccato	52	0,59	51	0,57
Manutenzione + congestionato	30	0,34	16	0,18
Manutenzione + bloccato	26	0,29	25	0,29
Bidirezionale (cong. + fluido)	40	0,45	55	0,63

Verifica dell'impianto di ventilazione in esercizio						
Modalità traffico	Nord			Sud		
	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento
Fluido	0	4,76		0	4,71	
Congestionato	5	1,55	3,8%	5	0,50	2,0%
Bloccato	5	1,13	3,3%	5	1,14	3,2%
Manutenzione + congestionato	5	1,49	1,9%	5	1,50	1,0%
Manutenzione + bloccato	5	1,25	1,7%	5	1,25	1,6%
Bidirezionale (cong. + fluido)	6	1,18	2,5%	0	1,57	

Verifica dell'impianto di ventilazione in emergenza			
Potenza incendio	Q	100,0	[MW]
Potenza convettiva incendio	Qc	70,0	[MW]
Pendenza media	P	- 2,4	[%]
Lunghezza	L	1325	[m]
Numero di Froude	Fr	3,62	
Velocità aria in galleria	v _g	3,19	[m/s]
Delta p attrito	ΔP _{fa}	21,88	[Pa]
Delta p imbocco	ΔPi	3,12	[Pa]

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Delta p uscita	ΔP_u	6,23	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	$\Delta P_{veh\ pc}$	3,78	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	$\Delta P_{veh\ LDV}$	11,17	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP_{MT}	40,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP_{th}	74,23	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP_{fire}	50,00	[Pa]
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	210,51	[Pa]

La tabella sottostante fornisce il numero di jet Fan di progetto:

Numero Jet Fan	n_j - sanitaria	n_j - incendio	n_j - con riserva
Galleria S.Agata 2 Nord	6	20	22
Galleria S.Agata 2 Sud	5	20	22

7.2 Galleria Cogollo

Caratteristiche del traffico							
Direzione Nord / Sud							
				Manutenzione e traffico		bidirezionale	
	fluido	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Congestionato + fluido	
						(PIARC)	(PIARC)
N. corsie con traffico	2	2	2	1	1	1	1
Velocità VL (Km/h)	130	10	0	10	0	10	60
Velocità VP (Km/h)	80	10	0	10	0	10	60
Flusso per corsia	803	452	0	452	0	389	907
Densità per corsia	6,9	45,2	96,9	45,2	96,9	38,9	15,1

Inquinanti in galleria per diverse modalità di traffico						
	Nord			Sud		
Modalità traffico	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Fluido	15,42	3,28	0,23	5,70	1,98	0,20
Congestionato	7,49	4,33	0,30	6,32	3,34	0,26
Bloccato	4,50	4,38	0,27	4,50	4,38	0,27
Manutenzione + congestionato	3,74	2,17	0,15	3,16	1,67	0,13
Manutenzione + bloccato	2,25	2,19	0,13	2,25	2,19	0,13
Bidirezionale (cong. + fluido)	4,53	3,34	0,30	4,44	3,84	0,30

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Portata d'aria e velocità minima dell'aria in galleria per diluire gli inquinanti				
Modalità traffico	Nord		Sud	
	Q (m3/s)	v (m/s)	Q (m3/s)	v (m/s)
Fluido	184	1,99	99	1,08
Congestionato	217	2,36	167	1,82
Bloccato	219	2,38	219	2,38
Manutenzione + congestionato	156	1,70	132	1,43
Manutenzione + bloccato	109	1,19	109	1,19
Bidirezionale (cong. + fluido)	167	1,82	192	2,09

Verifica dell'impianto di ventilazione in esercizio						
Modalità traffico	Nord			Sud		
	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento
Fluido	0	5,21		0	5,21	
Congestionato	25	2,39	12,4%	25	1,85	9,7%
Bloccato	31	2,43	12,5%	31	2,43	12,5%
Manutenzione + congestionato	22	1,81	9,1%	21	1,58	7,8%
Manutenzione + bloccato	21	1,27	6,5%	21	1,27	6,5%
Bidirezionale (cong. + fluido)	30	1,88	9,7%	1	2,13	11,1%

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Verifica dell'impianto di ventilazione in emergenza			
Potenza incendio	Q	100,0	[MW]
Potenza convettiva incendio	Q _c	70,0	[MW]
Pendenza media	P	- 1,00	[%]
Lunghezza	L	6591	[m]
Numero di Froude	Fr	4,03	
Velocità aria in galleria	v _g	3,05	[m/s]
Delta p attrito	ΔP _{fa}	106,09	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP _i	5,51	[Pa]
Delta p uscita	ΔP _u	5,51	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	ΔP _{veh pc}	15,89	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	ΔP _{veh LDV}	47,02	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP _{MT}	200,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP _{th}	31,36	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP _{fire}	50,00	[Pa]
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	461,40	[Pa]

La tabella sottostante fornisce il numero di jet Fan di progetto:

Numero Jet Fan	n _j - sanitaria	n _j - incendio	n _j – con riserva
Galleria Cogollo Nord	31	46	48
Galleria Cogollo Sud	31	46	48

7.3 Galleria Pedescala

Caratteristiche del traffico							
Direzione Nord / Sud							
	fluido	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Manutenzione e traffico		bidirezionale	
				congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Congestionato + fluido	
						(PIARC)	(PIARC)
N. corsie con traffico	2	2	2	1	1	1	1
Velocità VL (Km/h)	130	10	0	10	0	10	60
Velocità VP (Km/h)	80	10	0	10	0	10	60
Flusso per corsia	803	452	0	452	0	389	907
Densità per corsia	6,9	45,2	96,9	45,2	96,9	38,9	15,1

Inquinanti in galleria per diverse modalità di traffico						
Modalità traffico	Sud			Nord		
	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Fluido	3,10	1,37	0,07	1,03	0,76	0,06
Congestionato	1,39	1,51	0,09	1,15	1,12	0,08
Bloccato	0,89	1,46	0,08	0,90	1,49	0,08
Manutenzione + congestionato	0,70	0,75	0,04	0,58	0,56	0,04
Manutenzione + bloccato	0,44	0,73	0,04	0,45	0,74	0,04
Bidirezionale (cong. + fluido)	0,85	1,15	0,08	0,85	1,41	0,09

Portata d'aria e velocità minima dell'aria in galleria per diluire gli inquinanti				
Modalità traffico	Sud		Nord	
	Q (m3/s)	v (m/s)	Q (m3/s)	v (m/s)
Fluido	68	0,78	38	0,43
Congestionato	75	0,86	56	0,64
Bloccato	73	0,83	74	0,85
Manutenzione + congestionato	38	0,43	28	0,32
Manutenzione + bloccato	37	0,42	37	0,42
Bidirezionale (cong. + fluido)	58	0,65	70	0,80

Verifica dell'impianto di ventilazione in esercizio						
Modalità traffico	Sud			Nord		
	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento
Fluido	0	4,54		0	4,58	
Congestionato	7	0,97	4,7%	7	0,97	3,5%
Bloccato	8	1,23	4,6%	8	1,22	4,7%
Manutenzione + congestionato	7	0,78	2,4%	7	0,78	1,8%
Manutenzione + bloccato	8	1,36	2,3%	8	1,36	2,4%
Bidirezionale (cong. + fluido)	9	1,01	3,6%	0	1,36	

Verifica dell'impianto di ventilazione in emergenza			
Potenza incendio	Q	100	[MW]
Potenza convettiva incendio	Q _c	70	[MW]
Pendenza media	P	-1,2	[%]
Lunghezza	L	1763	[m]
Numero di Froude	Fr	3,96	
Velocità aria in galleria	v _g	3,09	[m/s]
Delta p attrito	ΔP _{fa}	39,32	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP _i	4,08	[Pa]
Delta p uscita	ΔP _u	5,51	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	ΔP _{veh pc}	4,44	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	ΔP _{veh LDV}	13,15	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP _{MT}	70,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP _{th}	38,88	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP _{fire}	50,00	[Pa]
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	225,39	[Pa]

La tabella sottostante fornisce il numero di jet Fan di progetto:

Numero Jet Fan	n _j - sanitaria	n _j - incendio	n _j – con riserva
Galleria Pedescala Nord	8	22	24
Galleria Pedescala Sud	9	22	24

7.4 Galleria S.Pietro

Caratteristiche del traffico							
Direzione Nord /Sud							
				Manutenzione e traffico		bidirezionale	
	fluido	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	congestionato (PIARC)	bloccato (PIARC)	Congestionato + fluido	
						(PIARC)	(PIARC)
N. corsie con traffico	2	2	2	1	1	1	1
Velocità VL (Km/h)	130	10	0	10	0	10	60
Velocità VP (Km/h)	80	10	0	10	0	10	60
Flusso per corsia	803	452	0	452	0	389	907
Densità per corsia	6,9	45,2	96,9	45,2	96,9	38,9	15,1

Inquinanti in galleria per diverse modalità di traffico						
	Nord			Sud		
Modalità traffico	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)	CO (g/s)	NOx (g/s)	PM (g/s)
Fluido	9,13	3,46	0,16	1,77	1,25	0,11
Congestionato	3,02	3,34	0,19	2,15	1,94	0,14
Bloccato	1,81	2,99	0,17	1,84	3,04	0,17
Manutenzione + congestionato	1,51	1,67	0,09	1,07	0,97	0,07
Manutenzione + bloccato	0,91	1,49	0,08	0,92	1,52	0,08
Bidirezionale (cong. + fluido)	1,76	2,26	0,17	1,77	3,15	0,18

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Portata d'aria e velocità minima dell'aria in galleria per diluire gli inquinanti				
Modalità traffico	Nord		Sud	
	Q (m3/s)	v (m/s)	Q (m3/s)	v (m/s)
Fluido	173	1,97	62	0,71
Congestionato	167	1,90	97	1,10
Bloccato	149	1,70	152	1,73
Manutenzione + congestionato	84	0,95	49	0,55
Manutenzione + bloccato	75	0,85	76	0,86
Bidirezionale (cong. + fluido)	113	1,28	158	1,79

Verifica dell'impianto di ventilazione in esercizio						
Modalità traffico	Nord			Sud		
	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento	Vent. Attivi N°	Velocità aria v (m/s)	Rendimento
Fluido	0	5,63		0	5,65	
Congestionato	11	2,21	10,2%	11	1,51	6,1%
Bloccato	12	1,87	9,1%	12	1,86	9,3%
Manutenzione + congestionato	9	1,43	5,2%	8	0,91	3,1%
Manutenzione + bloccato	9	1,11	4,7%	9	1,10	4,8%
Bidirezionale (cong. + fluido)	13	1,46	7,0%	0	2,38	

AUTOSTRADA VALDASTICO A31 NORD
1° LOTTO - PIOVENE ROCCHETTE – VALLE DELL'ASTICO

Verifica dell'impianto di ventilazione in emergenza			
Potenza incendio	Q	100	[MW]
Potenza convettiva incendio	Q _c	70	[MW]
Pendenza media	P	- 2,10	[%]
Lunghezza	L	3589	[m]
Numero di Froude	Fr	3,70	
Velocità aria in galleria	v _g	3,19	[m/s]
Delta p attrito	ΔP _{fa}	65,77	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP _i	5,51	[Pa]
Delta p uscita	ΔP _u	5,51	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	ΔP _{veh pc}	9,05	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	ΔP _{veh LDV}	26,77	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP _{MT}	100,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP _{th}	68,05	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP _{fire}	50,00	[Pa]
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	330,66	[Pa]

La tabella sottostante fornisce il numero di jet Fan di progetto:

Numero Jet Fan	n _j - sanitaria	n _j - incendio	n _j – con riserva
Galleria S.Pietro Nord	18	32	34
Galleria S.Pietro Sud	18	32	34