



S.S. 38 - LOTTO 4: VARIANTE DI TIRANO DALLO SVINCOLO DI STAZZONA (COMPRESO) ALLO SVINCOLO DI LORETO (CON COLLEGAMENTO ALLA DOGANA DI POSCHIAVO)

**S.S. 38 - LOTTO 4: NODO DI TIRANO -
TRATTA "A" (SVINCOLO DI BIANZONE - SVINCOLO LA GANDA)
E TRATTA "B" (SVINCOLO LA GANDA - CAMPONE IN TIRANO),
AI SENSI DEL PROTOCOLLO D'INTESA DEL 05/11/2007**

PROGETTO ESECUTIVO

 <p>Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)</p>	 <p>Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211</p>	<p>ING. RENATO DEL PRETE</p> <p>Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073</p>	 <p>Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433</p>	 <p>Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102</p>
	 <p>Società designata: GA&M</p> <p>Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137</p>	 <p>Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771</p>	 <p>Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970</p>	<p>DOTT. GEOL. DANILLO GALLO</p> <p>Dott. Geol. Danilo Gallo Ordine dei Geologi della Regione Puglia n° 588</p>

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

GEOLOGO

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Valerio BAJETTI

Dott. Geol. Francesco AMANTIA SCUDERIP

Ing. Gaetano RANIERI

MB - IMPIANTI IN GALLERIA NATURALE DOSSO 2

MB - 0 - GALLERIA NATURALE DOSSO 2 - IMPIANTO VENTILAZIONE IMPIANTI MECCANICI - RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO

MB002

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

M I 3 2 4 E 1 8 0 1

NOME FILE

MB002_P02IM00IMPRE01_A.dwg

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. P 0 2 I M 0 0 I M P R E 0 1

A

C

B

A

EMISSIONE

FEBBRAIO 2019

P.IND. ANTONIO DANESI

PROF. ING. VITTORIO RANIERI

ING. VALERIO BAJETTI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

SOMMARIO

1	Introduzione	2
1.1	Generalità	2
1.2	Leggi e norme di riferimento	2
2	Impianto di ventilazione	3
2.1	Esigenze della ventilazione nelle gallerie stradali.....	3
2.2	Metodologia di ventilazione delle gallerie	4
2.3	Dimensionamento dell'impianto di ventilazione in galleria	6
2.3.1	Calcolo del fabbisogno di aria fresca in galleria	6
2.3.2	Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato), NO _x ..	7
2.3.3	Calcolo degli inquinanti in galleria	7
2.3.4	Calcolo delle cadute di pressione in galleria	8
2.4	Controllo della velocità critica in galleria.....	8
2.5	Incendio in galleria.....	9
3	Impianto di pressurizzazione vie di fuga protette.....	9
3.1	Introduzione	9
3.2	Leggi e normative di riferimento.....	10
3.3	Scelta delle prestazioni dell'impianto.	10
3.4	Architettura dell'impianto.....	11
3.5	Logiche di funzionamento	12
4	Dati per la verifica del dimensionamento dell'impianto di ventilazione in galleria	12
4.1	Dati geometrici.....	13
4.2	Condizioni di traffico.....	13
4.2.1	Traffico scorrevole	13
4.2.2	Traffico congestionato.....	14
4.2.3	Traffico bloccato	14
4.3	Velocità di progetto	14
4.4	Casistiche esaminate.....	15
4.5	Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO e fumi (particolato)	15
4.6	Calcolo delle portate di aria di ventilazione Galleria Dosso 2	18
4.7	Calcolo delle cadute di pressione in funzionamento sanitario	21
4.8	Calcolo della velocità critica dell'aria in caso di incendio.....	21
4.9	Calcolo della ventilazione in caso di incendio in galleria per la Galleria Dosso 2.....	23
4.10	Ventilatori ad induzione utilizzati per il calcolo	25
5	Impianto di pressurizzazione vie di fuga protette.....	25
5.1	Premessa	25
5.2	Caratteristiche geometriche della via di fuga.....	26
5.3	Equazioni di calcolo	26
5.4	Risultati dei calcoli e scelta dei ventilatori	28

1 INTRODUZIONE

1.1 GENERALITÀ

Il presente documento intende illustrare le soluzioni progettuali adottate per la verifica dell'impianto di ventilazione relativo alla galleria Dosso 2, prevista lungo la variante di Tirano.

1.2 LEGGI e norme DI RIFERIMENTO

Nello sviluppo della verifica dell'impianto di ventilazione delle suddette gallerie, oltre ai riferimenti legislativi, alle circolari ed alle norme tecniche vigenti, sono stati considerati, in particolare, anche i seguenti riferimenti:

Leggi e Circolari

- 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)
- AIPCR Association Internazionale Permanente des Congrès de la Route – XVIIIe Congrès Mondial de la Route à Bruxelles, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Bruxelles septembre 1987 ;
- AIPCR 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;
- AIPCR 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;
- AIPCR Association mondiale de la Route – Comité AIPCR des tunnels routiers : "Fire and Smoke Control in Road Tunnels » - ed. 1999;
- AIPCR Association mondiale de la Route – Comité technique AIPCR de l'exploitation des tunnels routiers : "Tunnel Routiers : Émission des Véhicules et besoins en air pour la ventilation » - ed. 2012.
- AIPCR Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – "Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels" – 2007.
- Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement - Circulaire interministérielle n. 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national – Bulletin Officiel – Sept. 2000;
- Office fédéral des routes OFROU - Directive - Ventilation des tunnels routiers choix du système, dimensionnement et équipement – Avril 2008

Norme Tecniche

- Norma CEI 11-1 - “Impianti di produzione, trasporto e distribuzione di energia elettrica. Norme generali”
- Norma CEI 11-17 - “Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di energia elettrica. Linee in cavo”
- Norma CEI 17-5 - “Apparecchiature a bassa tensione. Parte 2: Interruttori automatici”
- Norma CEI 17-6 - “Apparecchiature prefabbricate con involucro metallico per tensioni da 1 a 52 kV”
- Norma CEI 17-13 - “Apparecchiature assiemate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)”
- Norma CEI 23-31 - “Canali metallici portacavi e porta apparecchi. Apparecchiature costruite in fabbrica – ACF”
- Norma CEI 64-8 - “Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1.000 Volt in corrente alternata e 1.500 Volt in corrente continua”
- Norma CEI 64-20 – “Impianti elettrici nelle gallerie stradali”.

2 IMPIANTO DI VENTILAZIONE

2.1 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), NO_x (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 SO_x (ossidi di zolfo), particolato, odori sgradevoli, fumi, oltre a CO ed NO_x.

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'NO_x. 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, onde 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.

Nel caso di un incendio in una galleria di tipo bidirezionale, essendo il traffico presente sia a monte che a valle dell'incendio, debbono essere approntate diverse strategie per l'avviamento dell'impianto di ventilazione (V. paragrafo 2.2).

Quando si viene a creare una coda in galleria, rilevata da sistemi di controllo quali, ad esempio, il sistema Tvcc, il traffico deve essere fermato all'esterno della galleria, mediante i semafori posti agli imbocchi, fino al decongestionamento della galleria stessa.

L'impianto di ventilazione sanitaria è pertanto costituito da ventilatori assiali ad induzione (booster), di tipo totalmente reversibile, fissati e distribuiti uniformemente lungo la galleria, normalmente con spinta dell'aria in direzione di Bormio, sfruttando in tal modo il tiraggio naturale della galleria.

L'impianto di ventilazione longitudinale è proporzionato per far fronte a tutte le portate di ventilazione sanitaria, che possono essere richieste nelle diverse condizioni di traffico: scorrevole di punta, congestionato o bloccato.

2.2 METODOLOGIA DI VENTILAZIONE DELLE GALLERIE

La ventilazione meccanica delle gallerie viene dimensionata 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, NO_x) al disotto dei valori stabiliti dalle raccomandazioni del PIARC (Permanent International Associations of Road Congresses);

- 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.

Va tenuto presente che in campo europeo l'incendio di riferimento corrisponde ad una potenza di ≈ 30 MW termici e ad una produzione di fumi di ≈ 80 m³/s con una portata di aeriforme caldo da estrarre di ≈ 110 m³/s.

Volendo esaminare i provvedimenti adottabili per far fronte ad incendi per gallerie bidirezionali è opportuno anzitutto prendere contatti con il Comando Provinciale dei VV.F., che potrà disporre le modalità operative di soccorso, in particolare con i distaccamenti dei VV.F. più vicini alle gallerie e presidiati in permanenza.

Il personale di tali distaccamenti va istruito sulla localizzazione e sul funzionamento degli impianti, nonché sulle loro modalità di gestione in caso di incendio.

A tal fine debbono essere organizzati appositi corsi di istruzione e di esercitazioni pratiche periodiche sulle modalità di intervento in caso di incendio durante le sue varie fasi, come peraltro richiesto sia dalle Linee Guida ANAS, che dal D. Lgs. n. 264 del 5 ottobre 2006, oltreché consigliato dal PIARC.

Nelle gallerie bidirezionali è necessario dotarsi di una strategia di gestione dell'incendio.

Il Comitato Tecnico Internazionale per le Gallerie del PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), nel fascicolo "Fire and Smoke Control in Road Tunnel" 1999 pag. 175, prescrive, per le gallerie in esercizio, che 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.

T. 1.2 – Ventilazione longitudinale in una galleria bidirezionale in caso di incendio

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

I ventilatori assiali previsti sono idonei a funzionare ad elevate temperature, fino a 400 °C per 2 ore.

In caso di incendio è essenziale fermare i veicoli prima del loro ingresso in galleria, nonché i veicoli presenti in galleria e diretti verso l'incendio con semafori al rosso, e PMV (pannelli a messaggio variabile) in modo da evitare che i veicoli stessi pervengano nella zona dell'incendio.

Tali operazioni vengono fatte in modo automatico dal sistema di Gestione Tecnico Centralizzato (GTC) della galleria.

2.3 DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN GALLERIA

2.3.1 CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ARIA FRESCA IN GALLERIA

I valori della portata di aria in galleria per la ventilazione sanitaria vengono calcolati sulla base delle relazioni indicate dal PIARC con riferimento ai valori delle emissioni indicati dal PIARC nel 2012.

La determinazione del fabbisogno di aria fresca per la ventilazione delle gallerie, fa riferimento a relazioni di calcolo, correlanti i diversi parametri che entrano nella fenomenologia aeraulica del sistema. Una relazione di tipo generale è la seguente :

$$Q = \frac{ML}{V} \cdot q(v, i, h, t) \cdot \frac{1}{(C_{adm} - C_{amb})} \quad [1a]$$

$$Q = \frac{ML}{V} \cdot q(v, i, h, t) \cdot \frac{1}{k_{adm}} \quad [1b]$$

dove :

Q	=	portata aria espressa in	[m ³ /h]
M	=	intensità del traffico	[veicoli/h]
L	=	lunghezza della galleria	[km]
V	=	velocità dei veicoli	[km/h]
q	=	emissione per veicolo	[m ³ /h·Ve; m ² /h·Veh]

per CO (ossido di carbonio), NO_x (ossidi di azoto), fumi da motori diesel, particolato da usura del manto stradale, pneumatici, freni;

i	=	pendenza corsia	[%]
h	=	quota s.l.m.	[m]
t	=	età dei veicoli (ripartizione del parco automobilistico in funzione degli anni di riferimento)	

C_{adm} = concentrazione ammissibile per CO ed NO_x;

C_{amb} = concentrazione ambiente per CO ed NO_x;

k_{adm} = concentrazione ammissibile per la visibilità (particolato).

I parametri v, i, h, t sono espressi con opportune relazioni numeriche o diagrammate e tengono inoltre conto del tipo di veicolo [leggero a benzina, leggero diesel, commerciale, pesante (camion)], oltre che dei valori di emissione riportati ai ø precedenti.

Quanto sintetizzato in questo paragrafo è ampiamente illustrato nella bibliografia del PIARC.

2.3.2 VALORI BASE E VALORI AMMESSI DI EMISSIONE DI INQUINANTI CO, FUMI (PARTICOLATO), NO_x

L'introduzione di catalizzatori e di filtri sullo scarico dei motori, nonché il ricircolo dei gas di scarico nei motori diesel, ha portato ad una riduzione degli inquinanti principali CO, fumi ed NO_x presenti nei gas di scarico. Sulla concentrazione di tali inquinanti si basa il calcolo della ventilazione delle gallerie. Altri inquinanti, quali composti del Pb, SO₂, HC, etc., risultano con concentrazioni trascurabili in galleria, se la portata dell'aria di ventilazione diluisce i valori degli inquinanti principali CO, NO_x e particolato al di sotto dei valori di soglia ammessi.

I valori delle emissioni adottati per gli inquinanti sono quelli definiti dal PIARC nel 2012 per lo standard A.

Essi consentono di valutare i valori di emissione degli inquinanti, ammessi dalle normative CEE, in presenza o meno di catalizzatori e di filtri allo scarico dei motori, della composizione del parco automobilistico per età di veicoli e del chilometraggio di percorrenza annuale.

2.3.3 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 dicembre 2012 il 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 negli anni 2008÷2012.

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, E5, E6 ha portato ad una progressiva riduzione delle emissioni inquinanti allo scarico dei veicoli, in particolare degli inquinanti principali CO, NO_x e del particolato esausto.

2.3.4 CALCOLO DELLE CADUTE DI PRESSIONE IN GALLERIA

I valori delle cadute di pressione, necessari per la circolazione dell'aria secondo le portate previste, risultano 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 fra gli imbocchi, dell'effetto del vento sui portali di ingresso.

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

$$\Delta p = \Delta p_R \pm \Delta p_{pi} \pm \Delta p_b \pm \Delta p_w \quad [2]$$

dove:

- Δp_R è la differenza di pressione causata dalle resistenze passive continue e localizzate, dovute al flusso dell'aria;
- Δp_{pi} è la differenza di pressione dovuta all'effetto pistone, esercitato dai veicoli sull'aria in galleria;
- Δp_b è la differenza di pressione causata dalle differenti condizioni barometriche fra gli imbocchi e dall'effetto camino;
- Δp_w è la pressione cinetica esercitata dal vento sugli imbocchi.
- Δp è la prevalenza che deve essere esercitata dall'impianto meccanico di ventilazione.

2.4 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.

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

Il funzionamento dell'impianto di ventilazione in una galleria bidirezionale in caso di incendio è dettato dalle raccomandazioni del PIARC.

La velocità di spinta dei ventilatori assiali deve essere tale da evitare il fenomeno del riflusso (backlayering) dei fumi dovuto alla velocità critica calcolata mediante la formula di Kennedy.

Di conseguenza deve essere valutato il numero di ventilatori necessari per evitare il 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.

2.5 INCENDIO IN GALLERIA

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 di 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 (V. paragrafo 2.2 precedente).

3 IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE VIE DI FUGA PROTETTE

3.1 INTRODUZIONE

La galleria Dosso 2 è provvista di un sistema di vie di fuga protette costituito da:

- 3 uscite di emergenza, distribuite lungo la canna stradale, provviste di filtro con caratteristiche EI 120'

- un cunicolo di fuga, ubicato sotto il piano stradale, collegato alle uscite di emergenza, di cui al precedente punto, ed ai 2 edifici posti presso i portali della galleria, lato Sondrio e lato Bormio.

Gli impianti di ventilazione delle vie di esodo hanno seguenti i seguenti obiettivi:

- in condizioni incidentali, pressurizzare le zone filtro al fine di evitare la propagazione dei fumi generati da un evento di incendio, garantendo al contempo condizioni di vivibilità agli utenti in ingresso ed il sicuro intervento delle squadre di soccorso.

3.2 LEGGI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- D.M. 30 novembre 1983 Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi
- D.Lgs n° 264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE (nel seguito indicata brevemente con D.Lgs. 264/2006)
- Circolare ANAS n. 179431/09 “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” – Seconda edizione 2009 (nel seguito indicata brevemente con Linee Guida Anas 2009)

Norme Tecniche di prodotto

- UNI EN 1366-2:2015 Prove di resistenza al fuoco per impianti di fornitura servizi - Parte 2: Serrande tagliafuoco
- UNI EN 1751: 2014 Ventilazione degli edifici - Dispositivi per la distribuzione dell'aria - Prove aerodinamiche delle serrande e delle valvole
- UNI EN 13501-3:2009 Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione - Parte 3: Classificazione in base ai risultati delle prove di resistenza al fuoco dei prodotti e degli elementi impiegati in impianti di fornitura servizi: condotte e serrande resistenti al fuoco
- UNI EN 15650:2010 Ventilazione degli edifici - Serrande tagliafuoco
- UNI EN ISO 5801:2009 Ventilatori industriali - Prove prestazionali su circuito normalizzato

3.3 SCELTA DELLE PRESTAZIONI DELL'IMPIANTO.

D.M. 30 novembre 1983 Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi	Direttiva Europea 2004/54/CE (rete transeuropea e l>500m) D.Lgs. attuativo n. 264/2006	“Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” – Seconda edizione 2009 - Circolare ANAS n. 179431/09
Punto 1.7 Filtro a prova di fumo Vano delimitato da strutture con resistenza al fuoco REI predeterminata, e comunque non inferiore a 60', dotato di due o più	Par. 2.3.9. Mezzi appropriati, ad esempio porte, devono impedire la propagazione del fumo e del calore nelle vie di fuga dietro l'uscita di	3.4.2.2.3.1 Ventilazione dei collegamenti pedonali “.. Omissis La sovrappressione, a porte chiuse tendenzialmente pari a 50 Pa rispetto alla galleria stradale e, comunque, non inferiore a 30 Pa o superiore

<p>La</p>	<p>porte munite di congegni di autochiusura con resistenza al fuoco REI predeterminata, e comunque non inferiore a 60', con camino di ventilazione di sezione adeguata e comunque non inferiore a 0,10 mq sfociante al di sopra della copertura dell'edificio, oppure vano con le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco e mantenuto in sovrappressione ad almeno 0,3 mbar (30 Pa), anche in condizioni di emergenza, oppure aerato direttamente verso l'esterno con aperture libere di superficie non inferiore a 1 mq con esclusione di condotti.</p>	<p>emergenza, consentendo così agli utenti di raggiungere l'esterno in condizioni di sicurezza e ai servizi di pronto intervento di accedere alla galleria.</p>	<p>a 80 Pa. La forza applicata per l'apertura della porta non deve superare 220 N. ... Omissis ... in presenza di una porta aperta, una velocità del flusso d'aria non inferiore a 0,75 m/s attraverso la sezione della porta. Inoltre, durante la fase di spegnimento, al fine di consentire l'accesso dei Vigili del Fuoco all'interno della galleria stradale, il sistema di pressurizzazione deve realizzare l'effetto bolla"; l'impianto di ventilazione deve, cioè, garantire, per alcuni secondi, una velocità minima del flusso d'aria, attraverso la porta di comunicazione con la galleria stradale, pari a 2 m/s.</p>
-----------	---	---	---

tabella sopra riportata, sintetizza le prestazioni minime richieste agli impianti di pressurizzazioni dalle normative di riferimento.

L'impianto di pressurizzazione della galleria in oggetto è stato dimensionato per garantire le seguenti prestazioni:

- funzionamento a porte chiuse: sovrappressione fra fornice in emergenza e filtro ≈ 50 Pa
- funzionamento a porte chiuse: forza applicata per apertura porta ≤ 220 N
- funzionamento a porta aperta: velocità attraverso nr.1 porta aperta (1200x2150 mm): 2 m/s.

3.4 ARCHITETTURA DELL'IMPIANTO

Le vie di fuga sono protette da un impianto di pressurizzazione. di tipo "centralizzato": Infatti, presso gli edifici posti ai portali lato Sondrio e lato Bormio, sono presenti delle centrali di ventilazione.

Ciascun edificio accoglie 2 ventilatori (uno di riserva all'altro). In caso di emergenza viene attivato un ventilatore per ciascun imbocco.

Ciascun ventilatore è alloggiato in un locale dedicato, il quale è collegato:

- con l'esterno attraverso una intercapedine che consente di attingere aria.;
- con il cunicolo di fuga, attraverso un canale in calcestruzzo al quale viene collegato il ventilatore.

I ventilatori sono alimentati tramite convertitori di frequenza (inverter).

Oltre ai 2 ventilatori, le centrali sono provviste degli accessori ad essi correlati (giunti antivibranti, pezzi speciali di adattamento al circuito, serrande di intercettazione).

Il cunicolo di fuga è collegato a ciascuno dei filtri delle 3 uscite di emergenza, attraverso due rampe di scale. Cunicolo e rampe sono separate da una parete EI 120'. Le pareti del filtro sono anch'esse, come già sopra indicato, EI 120'.

Presso ciascuna di queste pareti è installata una serranda tagliafuoco, aventi le medesima caratteristiche di resistenza al fuoco: l'aria elaborata dai ventilatori di centrale, raggiunge i filtri attraverso tali serrande.

Inoltre, associata alla tagliafuoco, su ciascun divisorio che separa un filtro dalla galleria, è installata una serranda di sovrappressione, attraverso la quale viene assicurato che la pressione al suo interno non superi il valore di progetto.

3.5 LOGICHE DI FUNZIONAMENTO

Di seguito si illustra una possibile logica di esercizio dell'impianto in emergenza.

Al verificarsi di un allarme in galleria, in ciascuna centrale, uno dei due ventilatori presenti viene avviato e portato al punto di funzionamento corrispondente al mantenimento della sovrappressione di 50 Pa (porte chiuse).

Tale operazione deve essere preceduta dalla chiusura della serranda ON/OFF relativa al secondo ventilatore che rimane inattivo.

Al verificarsi dell'apertura di una delle porte che separano i filtri dalla galleria, i ventilatori vengono portati al punto di funzionamento che garantisce di avere una velocità di 2 m/s attraverso la porta aperta, e che corrisponde alle prestazioni nominali richieste al ventilatore.

Alla chiusura delle porte, i ventilatori possono essere riportati al punto di funzionamento corrispondente ad una sovrappressione di 50 Pa.

L'avvio e le modifiche del punto di funzionamento devono essere eseguiti contemporaneamente sui due ventilatori.

I punti di funzionamento del ventilatore sopra indicati ed individuati nella relazione di calcolo, dovranno essere verificati a valle della installazione dell'impianto, con le operazioni di taratura dello stesso.

4 DATI PER LA VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN GALLERIA

Vengono riportate nel seguito le grandezze principali, i dati di base utilizzati e le prestazioni richieste e previste per la verifica del dimensionamento dell'impianto di ventilazione della Galleria Dosso 2.

Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria Dosso 2 sono stati assunti i seguenti dati geometrici.

4.1 DATI GEOMETRICI

- Flusso veicolare: Bidirezionale
- Lunghezza totale: 1085,00 m
- Area della galleria: 81,87 m²
- Perimetro della galleria: 36,94 m
- Diametro idraulico: 8,87 m
- Densità aria: 1,2 kg/m³
- Altezza media sul livello del mare: 470 m
- Pendenza media della galleria: ± 0,14 % (verso positivo verso Sondrio)

Per ulteriori dati geometrici si faccia riferimento alle Tavole Edili.

4.2 CONDIZIONI DI TRAFFICO

4.2.1 TRAFFICO SCORREVOLE

I valori del traffico veicolare sono stati desunti dai dati riportati nel progetto definitivo.

La Galleria Dosso 2 è posta tra Sondrio e Bormio.

Il traffico fornito è il seguente;

- Sondrio – Bormio: 941 veicoli/ora
- Bormio – Sondrio: 1.208 veicoli/ora
- Totale: 2.149 veicoli/ora

La percentuale di veicoli pesanti è pari al 15%.

I veicoli pesanti vengono suddivisi in:

- 25% veicoli pesanti da 10 tonnellate;
- 25% veicoli pesanti da 20 tonnellate;
- 50% veicoli pesanti da 30 tonnellate o superiori.

I veicoli leggeri sono suddivisi in :

- 60% benzina;
- 40% gasolio.

Per ciascuna carreggiata i valori orari del traffico di punta all'anno 2030, utili ai fini del calcolo delle portate di aria fresca da introdurre in ciascun fornice per la diluizione degli inquinanti, risultano:

Tipologia veicoli	Direzione SO → BO	Direzione BO → SO
VLB/h·carr	480	617
VLG/h·carr	320	411
VP _{10t} /h·carr	36	46
VP _{20t} /h·carr	36	46
VP _{30t} /h·carr	71	91

Dati orari di traffico scorrevole utilizzati per la verifica dell'impianto di ventilazione - Anno 2030

dove

VLB/h·carr Veicoli leggeri benzina per ora per carreggiata (~ 60% del VL/h·carr)

VLG/h·carr Veicoli leggeri gasolio per ora per carreggiata (~ 40% del VL/h·carr)

VP_{10t}/h·carr Veicoli pesanti da 10 ton. per ora per carreggiata (~ 25% del VP/h·carr)

VP_{20t}/h·carr Veicoli pesanti da 20 ton. per ora per carreggiata (~ 25% del VP/h·carr)

VP_{30t}/h·carr Veicoli pesanti da 30 ton. per ora per carreggiata (~ 50% del VP/h·carr)

4.2.2 TRAFFICO CONGESTIONATO

Secondo i valori adottati in seno al Gruppo di Lavoro per la ventilazione del Comitato Tunnel del PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) in condizioni di traffico congestionato, viene indicato un valore di 700 veicoli equivalenti/ora per corsia (70 V_{eq}/km corsia) con una velocità di V = 10 km/h. Un V_{eq} corrisponde all'ingombro longitudinale di un veicolo leggero; pertanto ad un veicolo pesante da 10÷20÷30 t od un autobus viene fatto corrispondere l'ingombro di 2÷2,5 veicoli leggeri nel traffico lento e sino a 4 veicoli leggeri in discesa, in funzione della pendenza. Quindi 1 VP ≡ 2 ÷ 2,5 V_{eq} e sino a 4 V_{eq}.

Carreggiata congestionata anno 2020:

Tipologia veicoli	Direzione SO → BO	Direzione BO → SO
VLB/h·carr	265	265
VLG/h·carr	177	177
VP _{10t} /h·carr	20	20
VP _{20t} /h·carr	20	20
VP _{30t} /h·carr	39	39

Dati orari di traffico congestionato utilizzati per la verifica dell'impianto di ventilazione - Anno 2030

4.2.3 TRAFFICO BLOCCATO

Sempre secondo i dati forniti dal PIARC in condizioni di traffico bloccato extraurbano, viene indicato un valore di 150 veicoli equivalenti per km e per corsia (150 V_{eq}/km corsia) fermi in galleria.

Carreggiata bloccata anno 2030:

Tipologia veicoli	Direzione SO → BO	Direzione BO → SO
VLB/km·carr	66	66
VLG/km·carr	44	44
VP _{10t} /km·carr	5	5
VP _{20t} /km·carr	5	5
VP _{30t} /km·carr	10	10

Dati al km di traffico bloccato utilizzati per la verifica dell'impianto di ventilazione - Anno 2030

4.3 VELOCITÀ DI PROGETTO

Le velocità V (km/h) adottate per i veicoli sono:

- traffico scorrevole: 60 km/h
- traffico congestionato 10 km/h
- traffico bloccato 0 km/h

4.4 CASISTICHE ESAMINATE

I casi esaminati, ai fini del calcolo delle portate di aria fresca per la diluizione del CO e dell' OP entro i valori di soglia, sono i seguenti:

Caso A CO scorr.	Caso B CO cong. SO ⇒ BO	Caso C CO cong. BO ⇒ SO	Caso D CO cong. in tutta la galleria	Caso E CO blocc. SO ⇒ BO	Caso F CO blocc. BO ⇒ SO	Caso G CO blocc. in tutta la galleria
Caso H Fumi scorr.	Caso I Fumi cong. SO ⇒ BO	Caso J Fumi cong. BO ⇒ SO	Caso K Fumi cong. in tutta la galleria	Caso L Fumi blocc. SO ⇒ BO	Caso M Fumi blocc. BO ⇒ SO	Caso N Fumi blocc. in tutta la galleria
Caso O NOx scorr.	Caso P NOx cong. SO ⇒ BO	Caso Q NOx cong. BO ⇒ SO	Caso R NOx cong. in tutta la galleria	Caso S NOx blocc. SO ⇒ BO	Caso T NOx blocc. BO ⇒ SO	Caso U NOx blocc. in tutta la galleria

SO = Sondrio; BO = Bormio; ⇒ verso del traffico

4.5 VALORI BASE E VALORI AMMESSI DI EMISSIONE DI INQUINANTI CO E FUMI (PARTICOLATO)

L'introduzione di catalizzatori e di filtri sullo scarico dei motori, nonché il ricircolo dei gas di scarico nei motori diesel, ha portato ad una riduzione degli inquinanti principali CO e fumi presenti nei gas di scarico. Sulla concentrazione di tali inquinanti si basa il calcolo della ventilazione delle gallerie. Altri inquinanti, quali composti del Pb, NO_x, SO₂, HC, etc., risultano con concentrazioni trascurabili in galleria, se la portata dell'aria di ventilazione diluisce i valori degli inquinanti principali CO e particolato al di sotto dei valori di soglia ammessi.

I valori delle emissioni adottati per gli inquinanti sono quelli definiti dal PIARC.

Essi consentono di valutare i valori di emissione degli inquinanti ammessi dalle normative CEE in presenza o meno di catalizzatori e di filtri allo scarico dei motori, della composizione del parco automobilistico per età di veicoli e del chilometraggio di percorrenza annuale.

Il calcolo di dimensionamento dell'impianto di ventilazione è stato effettuato all'anno 2030.

Non essendo disponibili, per la presente galleria, le diverse classi di ripartizione del parco veicolare (veicoli leggeri, commerciali, pesanti, etc.), a seconda del combustibile usato, ed in funzione delle diverse categorie di emissioni (Pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3 ed Euro 4) sono stati utilizzati i dati forniti dal PIARC, utilizzando lo standard A, valido per i paesi facenti parte della Comunità Europea e per gli Stati Uniti.

Nella tabella seguente sono riportati i valori limiti degli inquinanti o valori di soglia di riferimento indicati dal PIARC, che l'impianto di ventilazione deve essere in grado di controllare.

Condizioni di traffico	CO		Visibilità Coefficiente di estinzione k 10 ⁻³ m ⁻¹
	Anno		
	1995 p.p.m.	2010 p.p.m.	
Scorrevole di punta			

a 50 ÷ 100 km/h	100	70	5
Congestionato	150	70	7
Bloccato	250	100	9

Valori di soglia degli inquinanti utilizzati per la verifica del dimensionamento dell'impianto di ventilazione

Per l'NO_x si assunto un valore di soglia pari a 10 p.p.m.

Sulla base di tali indicazioni viene dimensionato l'impianto di ventilazione da adottare.

Nel seguito sono riportate le tabelle contenenti i valori delle emissioni inquinanti dei veicoli, in funzione della velocità dei veicoli, dell'altezza media s.l.m. e dei valori di pendenza riscontrati per la galleria in oggetto per gli anni 2020 e 2030.

- tabella 1.5.1 : valori dell'Ossido di carbonio (CO)
- tabella 1.5.2 : valori del particolato (fumi od opacità, OP)
- tabella 1.5.3 : valori degli ossidi di azoto (NO_x)

Tabella 1.5.1 - Emissioni di CO

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di CO [m ³ /h·VE]	
		Pendenza media [%]	
		SO → BO	BO → SO
		-0,14%	+0,14%
		2030	2030
VLB	0	0,007	0,007
VLG		0,001	0,001
VP _{10t}		0,002	0,002
VP _{20t}		0,002	0,002
VP _{30t}		0,004	0,004
VLB	10	0,010	0,010
VLG		0,002	0,002
VP _{10t}		0,005	0,005
VP _{20t}		0,007	0,008
VP _{30t}		0,014	0,014
VLB	60	0,020	0,022
VLG		0,002	0,002
VP _{10t}		0,006	0,006
VP _{20t}		0,008	0,008
VP _{30t}		0,015	0,016

Emissioni inquinanti CO adottate per i calcoli

Tabella 1.5.2 - Emissioni di OP

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di OP [m ² /h·VE]	
		Pendenza media [%]	
		SO → BO -0,14% 2030	BO → SO +0,14% 2030
VLB	0	0	0
VLG		0,2	0,2
VP _{10t}		1,3	1,3
VP _{20t}		1,8	1,8
VP _{30t}		3,4	3,4
VLB	10	1,3	1,3
VLG		1,7	1,8
VP _{10t}		7	7
VP _{20t}		7,9	7,9
VP _{30t}		10	11
VLB	60	7,9	7,9
VLG		9	9,2
VP _{10t}		32	33
VP _{20t}		34	34
VP _{30t}		38	38

Emissioni inquinanti OP adottate per i calcoli

Tabella 1.5.3 - Emissioni di NO_x

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di NO _x [m ³ /h·VE]	
		Pendenza media [%]	
		SO → BO -0,14% 2030	BO → SO +0,14% 2030
VLB	0	0,0003	0,0003
VLG		0,002	0,002
VP _{10t}		0,001	0,001
VP _{20t}		0,002	0,002
VP _{30t}		0,003	0,003
VLB	10	0,0007	0,0008
VLG		0,003	0,003
VP _{10t}		0,015	0,015
VP _{20t}		0,021	0,022

VP _{30t}		0,040	0,042
VLB		0,002	0,002
VLG		0,007	0,008
VP _{10t}	60	0,022	0,024
VP _{20t}		0,032	0,035
VP _{30t}		0,060	0,066

Emissioni inquinanti NO_x adottate per i calcoli

4.6 CALCOLO DELLE PORTATE DI ARIA DI VENTILAZIONE GALLERIA DOSSO 2

I valori della portata di aria in galleria vengono calcolati sulla base delle relazioni indicate dal PIARC con riferimento ai valori delle emissioni indicati dal PIARC nel 2012.

I valori che si ottengono per le diverse condizioni di traffico sono riassunti nella Tabella 1.6.1

I valori massimi di portata si ottengono nel caso di traffico scorrevole con inquinamento dovuto al particolato.

Le relazioni applicate sono le seguenti:

$$Q = \frac{ML}{V} \cdot q(v, i, h, t) \cdot \frac{1}{(C_{adm} - C_{amb})} \quad [1]$$

$$Q = \frac{ML}{V} \cdot q(v, i, h, t) \cdot \frac{1}{k_{adm}} \quad [2]$$

dove :

Q	=	portata aria espressa in	[m ³ /h]
M	=	intensità del traffico	[veicoli/h]
L	=	lunghezza della galleria	[km]
V	=	velocità dei veicoli	[km/h]
q	=	emissione per veicolo	[m ³ /h·Ve; m ² /h·Veh]

per CO (ossido di carbonio), fumi da motori diesel, particolato da usura del manto stradale, pneumatici, freni;

i = pendenza corsia [%]

h = quota s.l.m. [m]

t = età dei veicoli (ripartizione del parco automobilistico in funzione degli anni di riferimento)

C_{adm} = concentrazione ammissibile per CO;

C_{amb} = concentrazione ambiente per CO;

k_{adm} = concentrazione ammissibile per la visibilità (particolato).

I parametri v, i, h, t sono espressi con opportune relazioni numeriche o diagrammate e tengono inoltre conto del tipo di veicolo [leggero a benzina, leggero diesel, commerciale, pesante (camion)], oltre che dei valori di emissione riportati ai ø precedenti.

Quanto sintetizzato in questo paragrafo è ampiamente illustrato nella bibliografia del PIARC.

Tabella 1.6.1

GALLERIA DOSSO 2 - ANNO 2030

N. booster BO-SO	2	/	6	2	/	6	2	2	2	/
N. booster SO-SO	4	6	/	2	6	/	2	2	4	6
ΔP_2 BO-SO [Pa]	8	/	39	15	/	42	42	15	10	/
ΔP_1 SO-SO [Pa]	23	39	/	15	42	/	15	25	40	
Portata aria [m ³ /s]	1,80	2,49	2,20	2,90	2,24	2,03	3,02	23,95	14,73	
Velocità nelle corsie [km/h]	60	10	10	10	0	0	0	60	10	
Veicoli corsia Bormio - Sondrio	91	91	39	39	91	10	10	91	91	
VP ₃₀₀ /h	46	46	20	20	46	5	5	46	46	
VP ₂₀₀ /h	46	46	20	20	46	5	5	46	46	
VP ₁₀₀ /h	411	411	177	177	411	44	44	411	411	
VLG/h	411	411	177	177	411	44	44	411	411	
VLB/h	617	617	265	265	617	66	66	617	617	
Veicoli corsia Sondrio - Bormio	71	39	71	39	10	71	10	71	39	
VP ₃₀₀ /h	36	20	36	20	5	36	5	36	20	
VP ₂₀₀ /h	36	20	36	20	5	36	5	36	20	
VP ₁₀₀ /h	320	177	320	177	44	320	44	320	177	
VLG/h	320	177	320	177	44	320	44	320	177	
VLB/h	480	265	480	265	66	480	66	480	265	
Traffico	Scorrevole	Congestito	Congestito	Congestito	Bloccato (*)	Bloccato (*)	Bloccato (*)	Scorrevole	Congestito	
Inquinante	CO	CO	CO	CO	CO	CO	CO	FUMI	FUMI	
Caso	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D	Caso E	Caso F	Caso G	Caso H	Caso I	

6	2	/	6	2	2	2	/	6	2	/	6	2
/	2	6	/	2	4	6	/	/	2	6	/	2
40	16	/	42	15	8	/	40	16	16	/	42	15
/	16	42	/	15	24	40	/	16	42	/	/	15
12,75	10,38	9,23	7,53	3,45	10,06	13,88	12,50	16,31	9,96	8,25	8,15	
10	10	0	0	0	60	10	10	10	0	0	0	
39	39	91	10	10	91	91	39	39	91	10	10	
20	20	46	5	5	46	46	20	20	46	5	5	
20	20	46	5	5	46	46	20	20	46	5	5	
177	177	411	44	44	411	411	177	177	411	44	44	
265	265	617	66	66	617	617	265	265	617	66	66	
71	39	10	71	10	71	39	71	39	10	71	10	
36	20	5	36	5	36	20	36	20	5	36	5	
36	20	5	36	5	36	20	36	20	5	36	5	
320	177	44	320	44	320	177	320	177	44	320	44	
480	265	66	480	66	480	265	480	265	66	480	66	
Congesti onato	Congesti onato	Bloccato (*)	Bloccato (*)	Bloccato (*)	Scorrevol e	Congesti onato	Congesti onato	Congesti onato	Bloccato (*)	Bloccato (*)	Bloccato (*)	
FUMI	FUMI	FUMI	FUMI	FUMI	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	NO _x	
Caso J	Caso K	Caso L	Caso M	Caso N	Caso O	Caso P	Caso Q	Caso R	Caso S	Caso T	Caso U	

(*) Valore del traffico espresso in veicoli al chilometro e non in veicoli/ora

4.7 CALCOLO DELLE CADUTE DI PRESSIONE IN FUNZIONAMENTO SANITARIO

I valori delle cadute di pressione, necessari per la circolazione dell'aria secondo le portate previste, risultano 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 fra gli imbocchi, dell'effetto del vento sui portali di ingresso.

La caduta di pressione totale Δp entro la galleria viene ottenuta applicando l'equazione relativa all'equilibrio fluidodinamico:

$$\Delta p = \Delta p_R \pm \Delta p_{pi} \pm \Delta p_b \pm \Delta p_w \quad [3]$$

dove:

- Δp_R è la differenza di pressione causata dalle resistenze passive continue e localizzate, dovute al flusso dell'aria;
- Δp_{pi} è la differenza di pressione dovuta all'effetto pistone, esercitato dai veicoli sull'aria in galleria;
- Δp_b è la differenza di pressione causata dalle differenti condizioni barometriche fra gli imbocchi e dall'effetto camino;
- Δp_w è la pressione cinetica esercitata dal vento sugli imbocchi.
- Δp è la prevalenza che deve essere esercitata dall'impianto meccanico di ventilazione.

Nel caso in oggetto la differenza di pressione, dovuta alle differenze di condizioni barometriche fra le testate, può essere ritenuta trascurabile rispetto alle altre differenze di pressione. L'effetto camino è dovuto alle differenze fra la temperatura dell'aria esterna e la temperatura dell'aria interna alla galleria. Esso diviene particolarmente importante ai fini della ventilazione in caso di incendio in galleria.

Sulla base dei valori delle portate volumiche dell'aria, necessarie per diluire gli inquinanti al di sotto dei valori di soglia ammessi e nelle diverse condizioni di traffico, sono state calcolate, con la relazione [3], le cadute di pressione totali entro la galleria e quindi il numero dei ventilatori ad induzione necessari per garantire le portate d'aria sopra indicate.

Il numero dei ventilatori necessari, per i diversi casi esaminati, è riportato nella tabella 1.6.1.

4.8 CALCOLO DELLA VELOCITÀ CRITICA DELL'ARIA IN CASO DI INCENDIO

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

Il funzionamento dell'impianto di ventilazione in una galleria bidirezionale in caso di incendio è dettato dalle raccomandazioni del PIARC.

La velocità di spinta dei ventilatori assiali deve essere tale da evitare il fenomeno del riflusso (backlayering) dei fumi dovuto alla velocità critica calcolata mediante la formula di Kennedy.

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

Il calcolo è stato 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.

Si è supposto di avere una potenza di incendio di 30 MW, corrispondente a quella dell'incendio di un veicolo pesante, trasportante materiale solido infiammabile.

Nella seguente tabella sono riepilogate le velocità critiche in funzione della pendenza della galleria, dell'altezza della galleria ed il numero di ventilatori ad induzione necessari per mantenere la velocità ad un valore superiore a quella critica.

Le equazioni utilizzate per il calcolo sono le seguenti:

$$V_c = K_1 \cdot K_g \cdot \left(\frac{g \cdot H \cdot Q}{\rho \cdot C_p \cdot A \cdot T_f} \right)^{1/3} \quad [4]$$

$$K_1 = Fr_c^{1/3} \quad [5]$$

$$K_g = 1 + 0,0374 \cdot (Grade)^{0,8} \quad [6]$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot V_c} + T \quad [7]$$

dove :

V_c	=	velocità critica	[m/s]
g	=	accelerazione di gravità	[m/s ²]
H	=	distanza fra la quota a cui avviene l'incendio e la sommità della galleria	[m]
Q	=	potenza convettiva rilasciata dall'incendio	[W]
P	=	densità dell'aria	[kg/m ³]
C_p	=	calore specifico dell'aria	[kJ/(kg·K)]
A	=	sezione trasversale della galleria	[m ²]
$Grade$	=	valore assoluto della pendenza della galleria	[%]
T_f	=	temperatura media della miscela aria-fumo	[K]
T	=	temperatura interna dell'aria in galleria	[K]
Fr_c	=	numero di Froude	[-]

Il calcolo per evitare il riflusso viene effettuato tenendo conto che l'incendio si possa sviluppare a livello della pavimentazione della galleria (incendio con sversamento di liquidi infiammabili).

Situazioni particolari nel corso dell'intervento di spegnimento dell'incendio possono richiedere l'inversione del flusso longitudinale da parte del personale di soccorso o dei VV.F.

Tabella 1.8.1

Riepilogo velocità critiche - Incendio di riferimento della potenza di 30 MW

Direzione	Pendenza [%]	ΔH [m]	T_f [°C]	V_c [m/s]	V_{min} [m/s]
SO-BO	-0,14	7,89	110	2,03	2,30
BO-SO	+0,14	7,89	111	2,01	2,30

Legenda

ΔH = Distanza fra la quota a cui avviene l'incendio e la sommità della galleria

T_f = Temperatura media della miscela aria-fumo

V_c = Velocità critica

V_{min} = Valore minimo della velocità longitudinale dell'aria in galleria, da garantire in caso di incendio

4.9 CALCOLO DELLA VENTILAZIONE IN CASO DI INCENDIO IN GALLERIA PER LA GALLERIA DOSSO 2

La ventilazione nel caso di incendio in galleria deve soddisfare a diverse condizioni:

- mantenere la velocità longitudinale dell'aria al di sopra di determinati valori critici, in funzione della potenza dell'incendio (V. par. 1.8);
- mantenere il controllo della propagazione dei fumi, onde evitare la destratificazione, in modo tale che i fumi restino confinati nella sezione trasversale superiore, in volta alla galleria. Questa situazione è particolarmente importante nel caso di una galleria a traffico monodirezionale con ventilazione longitudinale, per il controllo della direzione di propagazione dei fumi in presenza di traffico congestionato o bloccato;
- mantenere la temperatura sufficientemente bassa per consentire l'esodo e l'accesso dei soccorsi e nel contempo mantenere la visibilità entro valori accettabili per consentire l'evacuazione della galleria.

Come detto in precedenza, nelle gallerie bidirezionali è necessario dotarsi di una strategia di gestione dell'incendio.

Il Comitato Tecnico Internazionale per le Gallerie del PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), nel fascicolo "Fire and Smoke Control in Road Tunnel" 1999 pag. 175, prescrive, per le gallerie in esercizio, che 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 b) velocità longitudinale dell'aria relativamente debole c) nessun ventilatore deve operare nella zona dell'incendio	a) evitare il riflusso dei fumi (backlayering) b) velocità longitudinale più elevata c) direzione del flusso d'aria adattabile

Stante il fatto che è possibile che, durante un incendio, una dei due lati della galleria (monte o valle) siano sgombri da utenti, è stato anche fatto il calcolo del numero di ventilatori che sarebbero necessari per una evacuazione longitudinale dei fumi, secondo le modalità utilizzate per le gallerie di tipo monodirezionale.

Per porsi nelle condizioni più gravose, in cui il fenomeno dell'incendio può verificarsi, si è supposto per ogni fornice una colonna di veicoli bloccati a valle dell'incendio sulle due corsie, con una concentrazione pari a 150 Veq/km e per una lunghezza pari a 3/4 della lunghezza della galleria.

Si è assunta una velocità longitudinale pari a ~ 2,3 m/s, nella sezione a monte dell'incendio, che costituisce un valore cautelativo, nei riguardi di un incendio della potenza di 30 MW.

Per il calcolo del tiraggio termico provocato da un incendio è stato fatto riferimento alle direttive svizzere, emanate dall'Ufficio Federale delle Strade. Si è tenuto conto nel calcolo delle resistenze fluidodinamiche, dovute all'attrito sulle pareti ed alla colonna dei veicoli bloccati, nonché dell'effetto del vento sul portale in direzione opposta alla spinta dei ventilatori.

L'equazione utilizzata per il calcolo della pressione che deve essere garantita dall'impianto di ventilazione meccanica è la seguente:

$$\Delta p = \Delta p_{vf} + \Delta p_R + \Delta p_w + \Delta p_{bar} \pm \Delta p_{nat} \pm \Delta p_{incendio} \quad [8]$$

dove:

- Δp_{vf} è la caduta di pressione dovuta all'effetto esercitato dai veicoli fermi in galleria;
- Δp_R è la caduta di pressione causata dalle resistenze passive continue e localizzate, dovute al flusso dell'aria;
- Δp_w è la pressione cinetica esercitata dal vento sugli imbocchi;
- Δp_{bar} è la differenza di pressione barometrica fra gli imbocchi;
- Δp_{nat} è la caduta di pressione dovuta all'effetto termico in galleria;
- $\Delta p_{incendio}$ è la caduta di pressione dovuta all'incendio in galleria;

- Δp è la prevalenza che deve essere esercitata dall'impianto meccanico di ventilazione.

La tabella seguente riporta il numero dei ventilatori ad induzione risultanti necessari per il controllo dell'incendio.

Carreggiata	Pendenza media [%]	Lunghezza fornice [m]	Numero booster
Sondrio → Bormio	-0,14	1085,00	6
Bormio → Sondrio	+0,14	1085,00	4

Si dovranno pertanto prevedere n. 8 ventilatori, compresi n. 2 di riserva.

4.10 VENTILATORI AD INDUZIONE UTILIZZATI PER IL CALCOLO

I ventilatori adottati per il calcolo sono ad induzione del tipo reversibile, aventi le seguenti caratteristiche :

- Diametro esterno : 1.200 mm
- Diametro girante : 1.000 mm
- Portata aria : 24 m³/s
- Spinta in aria ferma : 900 N
- Velocità in uscita aria : 30,6 m/s
- Velocità di rotazione : 1.470 giri/min.
- Potenza assorbita : 27 kW
- Livello di rumorosità : 103 dBw
- Classe isolamento : H
- Grado di protezione : IP55
- Alimentazione elettrica: 400÷690V/50Hz/3f
- Potenza elettrica nominale : 30 kW
- Temperatura max. : -20÷+40 °C oppure 400 °C per 120 minuti
- Peso del gruppo : 850 kg. circa

5 IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE VIE DI FUGA PROTETTE

5.1 PREMESSA

Di seguito si illustrano i dati di input, la metodologia di calcolo ed i risultati del dimensionamento dell'impianto di pressurizzazione delle vie di fuga protette.

Le prestazioni richieste, la cui scelta è illustrata nel relativo paragrafo della relazione tecnica, sono:

- funzionamento a porte chiuse: sovrappressione fra fornice in emergenza e filtro \approx 50 Pa
- funzionamento a porte chiuse: forza applicata per apertura porta \leq 220 N
- funzionamento a porta aperta: velocità attraverso nr.1 porta aperta (1200x2150 mm): 2 m/s.

5.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA VIA DI FUGA

Di seguito le caratteristiche geometriche delle via di fuga protette. Ricordiamo che il percorso di esodo è costituito da 3 uscite di emergenza provviste di filtro, che sono collegate ad un cunicolo che si sviluppa sotto il piano stradale e raggiunge entrambi gli imbocchi della galleria.

- lunghezza del cunicolo di fuga: $L \approx 1085 \text{ m}$
- lunghezza filtro $LF = 3 \text{ m}$
- sezione trasversale: Ω cunicolo $\approx 5,52 \text{ m}^2$ (tipo BPt)
 - Ω filtro $\approx 15 \text{ m}^2$ (tipo BPm)
- perimetro della sezione trasversale: P cunicolo $\approx 9,4 \text{ m}$ (tipo BPt)
 - $P_{\text{filtro}} \approx 17 \text{ m}$ (tipo BPm)
- dimensione porte : filtro = nr.2 $1,2 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$ (h)
 - cunicolo = $1,2 \text{ m} \times 2,15 \text{ m}$ (h)
 -

5.3 EQUAZIONI DI CALCOLO

La portata di aria necessaria a mantenere la sovrappressione a porte chiuse è data delle seguenti relazioni:

Perdita di aria attraverso le fessure delle porte:

$$Q_F = C_F \cdot S_F \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad [1]$$

dove :

- Q_F = portata aria per metro lineare di porta $[\text{m}^3/\text{s}/\text{m}]$
- S_F = superficie delle fessure per metro lineare di porta $[\text{m}^2/\text{m}]$
- C_F = coefficiente di flusso
- Δp = sovrappressione $[\text{Pa}]$
- ρ = densità dell'aria $[\text{kg}/\text{m}^3]$

Perdita di aria attraverso le fessure dei muri:

$$Q_M = C_M \cdot S_M \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad [2]$$

dove :

- Q_M = portata aria per metro lineare di porta $[\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2]$
- S_M = superficie delle fessure per metro lineare di porta $[\text{m}^2/\text{m}^2]$
- C_M = coefficiente di flusso
- Δp = sovrappressione $[\text{Pa}]$
- ρ = densità dell'aria $[\text{kg}/\text{m}^3]$

La portata totale a porte chiuse risulta essere:

$$Q_{TOT} = P_P \cdot Q_F + S \cdot Q_M \quad [3]$$

dove :

- PP = perimetro delle porte e dei componenti aeraulici sottoposti a Δp [m]
 S = superficie laterale del by-pass [m²]

Le perdite di pressioni corrispondenti sono calcolate con la formula:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_d + \Delta p_c = \frac{\rho}{2} \left(\lambda \cdot \frac{l}{D_e} \cdot V^2 + \sum_j C_j \cdot V_j^2 \right) \quad [4]$$

dove:

- Δp_{tot} = perdita di pressione totale [Pa]
 Δp_d = perdita di pressione distribuita [Pa];
 Δp_c = perdite di pressione concentrate [Pa];
 ρ = densità dell'aria [kg/m³]
 λ = fattore di attrito adimensionale;
 l = lunghezza del circuito [m];
 D_e = diametro equivalente [m];
 V = velocità media del fluido [m/s].
 V_j = velocità media del fluido nel punto j-esimo [m/s];

C_j è un coefficiente caratteristico, relativo alla perdita concentrata j-esima (curva, restringimento, diramazione).

Nei calcoli si è assunto un valore di 1,2 kg/m³ per la densità dell'aria ρ ed un valore di 0,02 per il fattore di attrito λ .

I coefficienti C_j sono determinati sperimentalmente e disponibili nell'ambito della letteratura scientifica, ad esempio nelle pubblicazioni ASHRAE, Fundamentals Handbook, ovvero dalle schede tecniche fornite dai costruttori.

Segue una tabella di riepilogo dei valori dei coefficienti C_j utilizzati per i calcoli.

Tipologia di perdita concentrata	Riferimento letteratura	Coefficiente di perdita
Imbocco	ASHRAE ED1-1 "Memento" Idelcik pag. 89 Diagramma 3.1	0,5
Griglia	ASHRAE CR6-1; "Memento" Idelcik pag. 307 Diagramma 8.6	0,32

Tipologia di perdita concentrata	Riferimento letteratura	Coefficiente di perdita
Serranda circolare ventilatore) TF (su	(**)	0,25
Giunto antivibrante	//////	0,1
Sbocco	ASHRAE SR2-1	1
Serranda sovrappressione rettangolare di	(**)	2
Serranda rettangolare TF	(**)	0,40
Orifizio di sbocco (porta verso il tunnel)	“Memento” Idelcik pag. 138 Diagramma 4.18 (2° grafico)	(*)

Coefficienti di perdite concentrate

(*) variabile in funzione della geometria del pezzo speciale;

(**) dato ricavato da schede tecniche dei costruttori

Nel dimensionamento del ventilatore che pressurizza la via di fuga si deve tenere conto anche della pressione che si realizza nella canna stradale, in caso di incendio. Nel calcolo si è assunto un valore di pressione massima pari a 100 Pa, sicuramente cautelativo.

5.4 RISULTATI DEI CALCOLI E SCELTA DEI VENTILATORI

Dai calcoli eseguiti risultano i seguenti valori di portata richiesta e perdite di carico, dei circuiti aeraulici di pressurizzazione:

Punto di funzionamento per ottenere la sovrappressione di 50 Pa (porte chiuse)

- Portata aria necessaria: 1.4 m³/s
- Portata aria su ciascuno dei 2 ventilatori attivi: 0.7 m³/s
- Perdita di carico del circuito : 161 Pa
- Forza di apertura sulle porte pedonali: 78 N

Punto di funzionamento per ottenere 2 m/s (2 porte aperte)

La portata richiesta è 5.63 m³/s. Al fine di avere un dimensionamento robusto, il calcolo è stato eseguito con un portata di 6.5 m³/s

- Portata aria necessaria: 5.63 m³/s
- Portata aria necessaria: 6.5 m³/s
- Portata aria su ciascuno dei 2 ventilatori attivi: 3.25 m³/s
- Perdita di carico del circuito: 238 Pa

Punto di funzionamento per ottenere 2 m/s (nessuna porta aperta)

Il calcolo che segue è stato eseguito ipotizzando che il ventilatore continui ad elaborare la portata richiesta per ottenere una velocità di 2 m/s attraverso le porte aperte, anche quando le porte vengono chiuse.

- Portata aria necessaria: 5.63 m³/s
- Portata aria di calcolo: 6.5 m³/s
- Portata aria su ciascuno dei 2 ventilatori attivi: 3.25 m³/s
- Perdita di carico del circuito : 322 Pa
- Forza di apertura sulle porte pedonali: 102 N

Il punto di funzionamento sopra indicato è stato calcolato ipotizzando che tutta la portata elaborata dai due ventilatori di centrale contemporaneamente attivi, transiti attraverso una sola delle tre vie di fuga.

In relazione ai punti di funzionamento sopra indicati si possono definire le seguenti caratteristiche di ciascuno dei 4 ventilatori delle 2 centrali:

- Diametro girante: 560 mm
- Portata aria: 6,5 m³/s
- Pressione totale: 350 Pa
- Potenza motore: 3 kW

I risultati sopra esposti presuppongono: una esecuzione delle opere murarie dei by-pass che riduca al minimo le fessurazioni nei muri e le fughe in corrispondenza della installazione delle porte; il mantenimento delle caratteristiche geometriche, come indicate nel relativo paragrafo.