

Provincia di Cuneo  
S.S. 28 del Colle di Nava  
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. TO08

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  <b>MATILDI+PARTNERS</b>
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL PROGETTISTA: <i>Ing. Andrea Renso Ordine Ingegneri Verona n. A2413</i>	<b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE:</b> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>
IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>	
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>		
PROTOCOLLO:	DATA:	

19 – IMPIANTI TECNOLOGICI

Relazione tecnica e di calcolo impianto di ventilazione galleria e pressurizzazione U.S.

CODICE PROGETTO 	NOME FILE 19.07_P00_IM00_IMP_RE07_A	PROGR. ELAB. 19.07	REV. 	SCALA: -		
	CODICE ELAB. 					
D						
C						
B						
A	EMISSIONE A	Mar. 2020	Technital	Ampezzan	Piccoli	Renso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>1</b>
1.1	Oggetto del documento.....	1
1.2	Note relative a marchi commerciali.....	1
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>2</b>
2.1	Norme di carattere generale.....	2
2.2	LEGISLAZIONE ITALIANA.....	2
2.3	NORMATIVA TECNICA.....	4
2.4	NORME PER IL CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ DEGLI IMPIANTI.....	5
2.5	NORME PER I CAMPI ELETTRROMAGNETICI GENERATI DAGLI IMPIANTI.....	5
2.6	NORME PER LA SICUREZZA IN GALLERIA.....	6
2.7	NORME ANTINCENDIO DI GALLERIA.....	7
2.8	PRODOTTI DA COSTRUZIONE.....	8
<b>3</b>	<b>CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE.....</b>	<b>9</b>
3.1	Premessa.....	9
3.2	Metodologia di ventilazione delle gallerie.....	10
3.3	Principi generali.....	11
3.4	Geometria della galleria.....	13
3.5	Condizioni meteorologiche di riferimento.....	13
3.6	Acceleratori e fattori di perdita.....	13
3.7	Dati di traffico.....	14
3.7.1	Scenari di traffico.....	15
<b>4</b>	<b>DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO.....</b>	<b>16</b>
4.1	Calcolo ventilazione sanitaria.....	18
4.1.1	Calcolo delle quantità d'aria di rinnovo.....	18

4.1.2	Calcolo delle cadute di pressione .....	20
4.1.3	Risultati (condizione di esercizio, ventilazione sanitaria) .....	23
<b>5</b>	<b>CONDIZIONI DI EMERGENZA .....</b>	<b>24</b>
5.1	Calcolo della velocità critica .....	26
5.2	Calcolo delle perdite di carico .....	26
5.3	Calcolo del numero dei ventilatori .....	27
5.4	Conclusioni.....	30
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE ACCELERATORI IMPIEGATI PER LA VERIFICA AERAUICA.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>VENTILAZIONE CUNICOLO DI SICUREZZA .....</b>	<b>34</b>
7.1	Caratteristiche elettroventilatore cunicolo di sicurezza .....	34
<b>8</b>	<b>SOVRAPPRESSIONE LOCALI FILTRO USCITE DI SICUREZZA GALLERIA.....</b>	<b>38</b>
8.1	Caratteristiche ventilatore locali filtro.....	39

# 1 PREMESSA

## 1.1 Oggetto del documento

Il presente documento ha per oggetto il calcolo e dimensionamento dell'impianto di ventilazione a servizio della galleria S. Lorenzo, relativi ai "*Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì)*".

Il calcolo tiene in considerazione due situazioni di funzionamento ovvero:

- Scenario ventilazione sanitaria;
- Scenario incendio.

La galleria S. Lorenzo è del tipo stradale, a singolo fornice con traffico bidirezionale, con una corsia di marcia per senso di percorrenza. Il criterio di ventilazione adottato per le condizioni di esercizio rispecchia sostanzialmente il sistema di ventilazione longitudinale.

## 1.2 Note relative a marchi commerciali

Le eventuali indicazioni di tipi e marche commerciali indicate nel presente documento sono da intendersi come **dichiarazione di caratteristiche tecniche** e come tali non sono vincolanti.

Sono state definite tali tipologie al solo scopo di sviluppo dei calcoli di progetto, al fine di garantire il rispetto e la verifica delle prescrizioni tecniche applicabili all'impianto in oggetto.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nello sviluppo della progettazione sono state prese a riferimento le normative attualmente vigenti, di seguito richiamate a livello generale.

### 2.1 Norme di carattere generale

- D.Lgs 264/2006 – Attuazione della DIRETTIVA 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete Transeuropea;
- Linee Guida ANAS;
- Raccomandazioni del PIARC (Permanent International Association of Road Congresses);
- D.P.R. 1 agosto 2011, n. 151 “Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'art. 49, co.4-quater, del dl 31.05.2010, n. 78, convertito, con mod. dalla l. 30.07.2010, n. 122”;
- D.Lgs. 09/04/2008 n.81 “Testo unico sulla sicurezza nei luoghi di lavoro”;
- Legge 01/03/1968 n.186 “Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazione e impianti elettrici ed elettronici”;
- D.M. 16/01/1996 n.29 “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi” (inclusa Circolare 04/07/1996 n.156AA.GG./STC.);
- D.M. 22/01/2008 n.37 “Attività di installazione di impianti all'interno di edifici”;
- Legge 07/12/1984 n.818 “Nulla osta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli art. 2 e 3 della legge 4/3/1982 n.66, e norme integrative dell'Ordinamento del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco”.

### 2.2 LEGISLAZIONE ITALIANA

- D.P.R. n° 320 del 20 marzo 1956 “Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro in sotterraneo”;
- D.P.R. 26/05/1959 n. 689 “Determinazione delle aziende e lavorazioni soggette, ai fini della prevenzione degli incendi, al controllo del Comando del Corpo dei Vigili del Fuoco”;
- Legge n° 615 del 13 luglio 1966 “Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico” e regolamento di attuazione in vigore;
- Legge n° 186 del 1 marzo 1968 “Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici”;

- Legge n° 791 del 18 ottobre 1977 “Attuazione della direttiva del Consiglio delle Comunità Europee n° 73/23/CEE relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione”;
- D.P.R. 22 dicembre 1970 n. 1391 “Regolamento per l’esecuzione della legge 13 luglio 1966, n. 615, recante provvedimenti contro l’inquinamento atmosferico, limitatamente al settore degli impianti termici”;
- Circolare M.I. 31 agosto 1978 n. 31 “Norme di sicurezza per installazione di motori a combustione interna accoppiati a macchina generatrice elettrica o macchina operatrice”
- D.M. 16 febbraio 1982 “Modificazione del decreto ministeriale del 27 settembre 1965, concernente la determinazione delle attività soggette alle visite di prevenzione incendi”;
- D.M. 26 giugno 1984 “Classificazione di reazione al fuoco ed omologazione dei materiali ai fini della prevenzione incendi”;
- Legge n° 818 del 7 dicembre 1984 “Nulla osta provvisorio per le attività soggette ai controlli di prevenzione incendi, modifica degli articoli 2 e 3 della legge 4 marzo 1982, n. 66, e norme integrative dell’ordinamento del Corpo nazionale dei vigili del fuoco”;
- D.M. 8 marzo 1985 “Direttive sulle misure più urgenti ed essenziali di prevenzione incendi ai fini del rilascio del nulla osta provvisorio di cui alla legge 07/12/1984 n. 818”;
- D.P.R. n° 588 del 28 novembre 1987 “Attuazione delle Direttive CEE n. 79/113, n. 81/1051, n. 85/405, n. 84/533, n. 85/406, n. 84/534, n. 84/535, n. 85/407, n. 84/536, n. 85/408, n. 84/537, n. 85/409, relative al metodo di misura del rumore nonché al livello sonoro o di potenza acustica di motocompressori, gru a torre, gruppi elettrogeni di saldatura, gruppi elettrogeni e martelli demolitori azionati a mano, utilizzati per compiere lavori nei cantieri edili e di ingegneria civile”;
- Legge 11 febbraio 1994 n° 109 “Legge quadro in materia di lavori pubblici” e successive modificazioni;
- Decreto Legislativo n° 626 del 19 settembre 1994 “Attuazione delle direttive CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro” e successive modifiche ed integrazioni;
- Legge 26 ottobre 1995 n° 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico”;
- D.P.R. n° 459 del 24 luglio 1996 “Regolamento per l’attuazione di direttive CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine”;
- D.Min. Interni del 10 marzo 1998 “Criteri generali di sicurezza antincendio e per la gestione dell’emergenza nei luoghi di lavoro”;
- D.Min. Interni del 4 maggio 1998 “Disposizioni relative alle modalità di presentazione ed al contenuto delle domande per l’avvio dei procedimenti di prevenzione incendi, nonché all’uniformità dei connessi servizi resi dai Comandi Provinciali dei vigili del fuoco”;
- Circolare Ministero lavori pubblici n° 7735 del 8 settembre 1999 “Direttive per la sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali”;

- Circolare n. 7938 del 06/12/1999, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale del 09/03/2000 n.57, dall'ex Ministero dei Lavori Pubblici "Sicurezza della circolazione nelle gallerie stradali con particolare riferimento ai veicoli che trasportano materiali pericolosi";
- Decreto Legislativo 5 ottobre 2006 n.264 "Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale trans europea".

## 2.3 NORMATIVA TECNICA

- Norma CEI 64-20 "Impianti elettrici nelle gallerie stradali";
- Circolare ANAS del 08/10/2009 avente per oggetto "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali";
- Association mondiale de la route AIPCR (1995-1999), "Tunnels routiers: emissions, ventilation, environnement";
- Association mondiale de la route AIPCR (1999), "Maitrise des incendies et des fumees dans les tunnel routiers " rapport 05.05.B;
- Association mondiale de la route AIPCR (2004), "Tunnels routiers: emissions des vehicules et besoin en air pour la ventilation >> rapport 05.14.B;
- Studiengesellschaft Stahnlanwendung (1998) "Brande in Verkehrstunneln" projekt 145.2 (Eureka-Versuche);
- Federal Highway Administration (1995) "Memorial tunnel fire ventilation test program";
- Confederation Suisse Department federal de l'environnement, des transports, de l'energie et de la communication DETEC, Office federal des routes OFROU "Directive: ventilation des tunnels routiers" (edition 2004 – V1.2);
- Raccomandazioni del PIARC (Permanent International Association of Road Congress), pubblicate negli atti del XV Congresso tenutosi nel 1975 a Città del Messico e successivamente implementate da vari suggerimenti tecnici nati nei congressi seguenti, fino all'ultimo tenutosi a Verona nel 1998 (XXIII Convegno Nazionale Stradale – Comitato Tecnico Gallerie stradali);
- Società di ricerche sulle strade e il traffico - RABT – Direttive per l'equipaggiamento e l'esercizio dei tunnel stradali - Agosto 2003;
- "Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Construction of Road Tunnels" (ZTV Tunnel);
- "Guidelines for Equipment and Operation of Road Tunnels" (RABT 1994);
- Norme CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano);
- Norme UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione);
- Norme IEC (International Electrotechnical Commission);

- Marchio IMQ (Istituto Italiano del Marchio di Qualità);
- PIARC – Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation – 2004;
- PIARC – “Pollution by NO2 in road Tunnels” – 2000;
- PIARC – “Fire and Smoke control in road tunnels - 1999”;
- PIARC – “Systems and equipment for fire and smoke control in road tunnels - 2007”.

## 2.4 NORME PER IL CONTROLLO DELLA RUMOROSITÀ DEGLI IMPIANTI

- UNI 8199: Acustica – Collaudo acustico degli impianti di climatizzazione e ventilazione;
- D.P.C.M. 01.03.91: Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno;
- Legge 26.10.95, N.447: Legge quadro sull’inquinamento acustico;
- D.M. 16.03.98: Tecniche di rilevamento e misurazione dell’inquinamento acustico;
- D.P.C.M. 14.11.97: Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore;
- D.P.C.M. 05.12.97: Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici;
- D.Lgs 19.08.2005, N. 194: Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale;
- Norme igienico sanitarie della Regione Lombardia.

## 2.5 NORME PER I CAMPI ELETTROMAGNETICI GENERATI DAGLI IMPIANTI

- CEI 211-6 2001-01 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell’ intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all’ esposizione umana"
- CEI 211-7 2001-01 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell’ intervallo di frequenza 10 kHz - 300 Ghz, con riferimento all’ esposizione umana"
- CEI 211-4 1996-12 "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche"
- CEI 11-60 2000-07 "Portata al limite termico delle linee elettriche aeree esterne"
- Linee Guida ICNIRP " Linee guida per la limitazione dell’ esposizione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo ed a campi elettromagnetici (fino a 300 GHz)"
- Legge quadro 22/02/2001, n. 36, "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici", G.U. 7 marzo 2001, n. 55
- Decreto Legge 23/01/2001, n.5, "Disposizioni urgenti per il differimento di termini in materia di trasmissioni radiotelevisive analogiche e digitali, nonché per il risanamento di impianti radiotelevisivi", G. U. 24 gennaio 2001, n.19
- Linee guida 01/09/1999 attuazione del Decreto Ministeriale 381/1998

- Decreto Ministeriale 10/09/1998, n. 381, "Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana", G.U. 3 novembre 1998, n. 257
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 08/07/2003, "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz", G.U. 28 agosto 2003, n. 199.

## 2.6 NORME PER LA SICUREZZA IN GALLERIA

- Decreto Legislativo 264/2006 Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale 5osea5europea.
- Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national – Ministère de L'Équipement, des Transports et du Logement – direction des Journaux officiels – 26, rue Desaix – 75727 Paris Cédex 156
- "Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Construction of Road Tunnels" (ZTV Tunnel);
- "Guidelines for Equipment and Operation of Road Tunnels" (RABT 1994)
- "Tunnel Regulations of Swedish Road Administration" (Tunnel 1995/32);
- "Regulations for the Planned Stockholm Ring Road";
- "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"
- "Road Structure Regulations of the Ministry of Transportation of Ontario – National Fire Protection Guidelines and Building Standard Acts";
- "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 6osea routier (guida metodologica francese per l'analisi dei rischi nei tunnel): definizione dell'evoluzione nel tempo della potenza dell'incendio.

## 2.7 NORME ANTINCENDIO DI GALLERIA

- Linee Guida per la Progettazione della Sicurezza nelle Gallerie Stradali redatte a cura dell'Ente A.N.A.S. – Edizione 2009;
- DM 20 dicembre 2012: Regola tecnica per la progettazione degli impianti antincendio di protezione attiva nelle attività soggette;
- UNI 804:2007 Apparecchiature per estinzioni incendi – Raccordi per tubazioni flessibili;
- UNI 810:2007 Apparecchiature per estinzione incendi. Attacchi a vite;
- UNI 811:2007 Apparecchiature per estinzione incendi. Attacchi a madrevite;
- UNI 814:2009 Apparecchiature per estinzione incendi. Chiavi per la manovra dei raccordi, attacchi e tappi per tubazioni flessibili;
- UNI 9487:2006 Apparecchiature per estinzione incendi – Tubazioni flessibili antincendio di DN 70 per pressioni di esercizio fino a 1.2 MPa;
- UNI EN 1074-1:2001: “Valvole per la fornitura di acqua - Requisiti di attitudine all’impiego e prove idonee di verifica - Requisiti generali;
- UNI EN 1074-2:2004: Valvole per la fornitura di acqua - Requisiti di attitudine all’impiego e prove idonee di verifica - Parte 2: Valvole di intercettazione;
- UNI EN 1092-1:2007: Flange e loro giunzioni - Flange circolari per tubazioni, valvole, raccordi e accessori designate mediante PN - Parte 1: Flange di acciaio;
- UNI 10779:2007: Impianti di estinzione incendi – Reti di idranti. Progettazione, installazione ed esercizio;
- UNI 11292:2008: Locali destinati ad ospitare gruppi di pompaggio per impianti antincendio – Caratteristiche costruttive e funzionali;
- UNI EN 671-1: 2003 Sistemi fissi di estinzione incendi – Sistemi equipaggiati con tubazioni – Naspi antincendio con tubazione semplice;
- UNI EN 671-2:2004 Sistemi fissi di estinzione incendi – Sistemi equipaggiati con tubazioni – Idranti a muro con tubazioni flessibili;
- UNI EN 671-3:2009 Sistemi fissi di estinzione incendi – Sistemi equipaggiati con tubazioni – Parte 3: Manutenzione dei naspi antincendio con tubazioni semirigide e idranti a muro con tubazioni flessibili;
- UNI EN 694-3:2007 Tubazioni antincendio – Tubazioni semirigide per sistemi fissi;
- UNI EN 14339:2006 Idranti antincendio sottosuolo;
- UNI EN 14384:2006 Idranti antincendio a colonna soprasuolo
- UNI EN 14540:2007 Tubazioni antincendio – Tubazioni appiattibili impermeabili per impianti fissi;

- UNI EN ISO 9906:2012 Pompe rotodinamiche - Prove di prestazioni idrauliche e criteri di accettazione - Livelli 1, 2 e 3;
- UNI EN 12845:2009 Installazioni fisse antincendio – Sistemi automatici a sprinkler – Progettazione, installazione e manutenzione;
- UNI EN10224: Tubi e raccordi di acciaio non legato per il convogliamento di acqua e di altri liquidi acquosi - Condizioni tecniche di fornitura
- UNI EN10255 Tubi senza saldatura di acciaio per impieghi a pressione;
- UNI EN12201 Sistemi di tubazioni di materia plastica per la distribuzione dell'acqua – Polietilene (PE).

## 2.8 PRODOTTI DA COSTRUZIONE

- Regolamento CPR (UE 305/2011) relativamente ai cavi elettrici;
- Decreto legislativo n.106/2017 "Adeguamento della normativa nazionale alle disposizioni del regolamento UE n.305/2011 che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CE".

## 3 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE

### 3.1 Premessa

Gli automezzi durante il loro moto, producono emissioni che sono i 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.

Il costante abbassamento delle emissioni di inquinante da parte dei veicoli ha ridotto l'importanza della ventilazione in condizioni di esercizio come fattore di sicurezza per la galleria. Conseguentemente, nei criteri di calcolo dell'impianto di ventilazione, oltre che delle condizioni più gravose di traffico, si è tenuto prioritariamente in conto il controllo del fumo in caso di incendio.

Infatti, durante un incendio, sono liberati nell'ambiente fumo, gas e calore. In queste situazioni, anche se viene mitigata la temperatura, i gas prodotti durante la combustione mantengono inalterata la loro tossicità, inficiando fortemente l'incolumità degli utenti e inoltre, riducendo la visibilità, impediscono ai viaggiatori di raggiungere agevolmente le uscite della galleria.

Conseguentemente, per le condizioni in esercizio, l'impianto di ventilazione è stato dimensionato per generare una portata d'aria tale da diluire gli inquinanti emessi dai veicoli che transitano all'interno della galleria sino ai livelli raccomandati, mentre per la condizione di emergenza il sistema di ventilazione è stato verificato per il controllo del fumo mediante il calcolo della "velocità critica" nelle diverse condizioni di funzionamento previste negli scenari di riferimento per le possibili condizioni di incendio.

La velocità critica determina la minima velocità dell'aria che i ventilatori devono poter sviluppare, per un determinato incendio e per una determinata sezione di galleria, per vincere la corrente di propagazione all'indietro dei fumi (backlayering) rispetto alla direzione del traffico.

A livello progettuale, la scelta della posizione degli acceleratori nel fornice è stata effettuata in modo da garantire che la "velocità critica" sia raggiunta indipendentemente dalla posizione dell'incendio. Si è considerato, a titolo prudenziale, che ogni coppia di ventilatori a valle dell'incendio sia completamente interdetto al funzionamento, tenendo presente che l'interdistanza tra coppie successive di ventilatori è di circa 100 metri.

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.

### **3.2 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.

A tal fine l'impianto prevede per 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 in cui la galleria deve essere liberata dai fumi, in modo da consentire l'intervento del personale preposto allo spegnimento.

### 3.3 Principi generali

I criteri di base che informeranno la progettazione degli impianti in esame saranno i seguenti:

- Sicurezza degli operatori, degli utenti e degli impianti;
- Semplicità ed economia di manutenzione;
- Scelta di apparecchiature improntata a criteri di elevata qualità, semplicità e robustezza, per sostenere le condizioni di lavoro più gravose;
- Risparmio energetico;
- Affidabilità degli impianti e massima continuità di servizio;
- Cura dei vincoli ambientali e paesaggistici, in modo da non interferire negativamente con il contesto ambientale circostante.

La funzioni svolte da un sistema di ventilazione meccanica in una galleria possono essere così sintetizzati:

- VENTILAZIONE "SANITARIA": ovvero generare un flusso di aria fresca sufficiente ad assicurare che le concentrazioni degli inquinanti (CO, NOx, SOx, ecc.) emessi dal traffico veicolare che attraversa i tratti di galleria in esame emessi dai veicoli rimangano sempre entro limiti di legge (sia per motivi di comfort nella guida, che per abbattimento del carico inquinante diluito nell'ambiente esterno);
- VENTILAZIONE "D'EMERGENZA": ovvero controllare e gestire il moto dei fumi generati da un evento d'incendio e la diluizione delle nubi di sostanze pesanti conseguenti ad eventi di sversamento, favorendo l'evacuazione degli utenti.

In tal senso la scelta di un sistema di ventilazione dipende soprattutto dalle caratteristiche geometriche della galleria (lunghezza e pendenza), così come dal volume di traffico e dalle sue caratteristiche (scorrevole o frequentemente congestionato, percentuali di mezzi pesanti ed in particolare adibiti a trasporto di merci pericolose, ecc.).

I campi di applicabilità dei diversi sistemi dipendono sempre meno dal funzionamento in condizioni di esercizio "normale", per effetto della diminuzione del livello delle emissioni dei motori dei veicoli, ed è dettata principalmente da considerazioni sulla sicurezza. Il raggiungimento dell'obiettivo di migliorare la sicurezza stradale, necessita di un approccio articolato capace di integrare aspetti molteplici, da quelli più squisitamente tecnici a quelli psicologici che governano il comportamento dell'utente.

E' ormai convinzione di tutte le varie associazioni tecniche internazionali che la sicurezza stradale in galleria, si configura dal combinato disposto di tre fattori tra loro interagenti in un circolo di progresso tecnologico/comportamentale: l'uomo, il veicolo e la strada. In quest'ottica compito fondamentale del gestore di un'infrastruttura stradale è quello di ridurre al minimo gli incidenti a causa della strada e, contemporaneamente, di minimizzare le conseguenze degli incidenti sull'infrastruttura e sull'ambiente.

In tal senso, risulta possibile effettuare una classificazione generale delle misure di sicurezza in due grandi classi: le misure passive e quelle attive. Le misure di sicurezza "passive" sono messe in atto, nel presente progetto, attraverso uno studio integrato del progetto infrastrutturale, curando il lay-out del tunnel prima e lo studio dei dettagli poi, cercando in tal modo di minimizzare l'intensità potenziale degli incidenti stradali e l'impatto sulle strutture della galleria.

Allo stesso modo le misure "attive" devono essere in grado, attraverso le apparecchiature ed i sistemi tecnologici installati, di proteggere la vita dell'utente e dell'infrastruttura in condizioni di emergenza, nonché di preservare l'ambiente circostante.

### 3.4 Geometria della galleria

La galleria è del tipo stradale, a singolo fornice con traffico bidirezionale, con una corsia di marcia per senso di percorrenza ed aventi lunghezze pari a:

- S. Lorenzo: 1411 m.

Il criterio di ventilazione adottato per le condizioni di esercizio rispecchia sostanzialmente il sistema di ventilazione longitudinale.

La presente verifica aeraulica valuta il sistema di ventilazione in condizione di normale esercizio (ventilazione sanitaria) e in condizioni di emergenza (evento incidentale con sviluppo incendio)

Vengono riportati di seguito le grandezze principali relative alle gallerie ai fini della valutazione aeraulica.

Caratteristiche	Galleria S. Lorenzo
Lunghezza (m)	1411
area sezione (m <sup>2</sup> )	81,3
diametro idraulico (m)	9,11
pendenza media (%)	+1,05
altezza galleria (m)	7,7
quota media s.l.m. (m)	441 - 456

*Caratteristiche geometriche della galleria.*

### 3.5 Condizioni meteorologiche di riferimento

Secondo le raccomandazioni svizzere, "Ventilation des tunnels routieres – Chiox du système, dimensionnement et exploitation (Office fédéral des routes), per il dimensionamento e le verifiche delle prestazioni di un impianto di ventilazione, devono essere considerati gli effetti meteorologici caratteristici della zona.

### 3.6 Acceleratori e fattori di perdita

Per le verifiche sono stati utilizzati i seguenti valori nominali degli acceleratori assiali indicati in fase di progetto e che permettono di massimizzare l'efficienza dell'impianto di ventilazione:

Diametro interno:	1000 mm
Spinta:	944 N
Portata d'aria:	24,9 m <sup>3</sup> /s

Come fattori per le perdite di carico, sono stati presi quelli comunemente utilizzati e verificati per il dimensionamento degli impianti di ventilazione:

<b>Fattore di perdita all'ingresso</b>	0,75
<b>Fattore di perdita per attrito (*)</b>	0,025
<b>Fattore di perdita all'uscita</b>	1,000

(\*) tiene in conto di una rugosità media pari a 1.700 µm, degli allarghi e la segnaletica in galleria.

### 3.7 Dati di traffico

Per definire la portata totale di inquinanti emessa in galleria è necessario prevedere le diverse condizioni di traffico che attraverseranno il fornice, in quanto questa dipende da:

- Velocità di percorrenza;
- Numero di veicoli in galleria;
- Composizione del traffico.

Di seguito sono riportate le fonti e i dati utilizzati per definire le diverse condizioni di traffico.

TOTAL OR UNIDIRECTIONAL PROVIDED Vehicle Flows			
Tunnel Length (km)	1,412		
Type	Total Flow		
PC Gasoline	269 v/h		
PC Diesel	180 v/h		
LDV	8 v/h		
HGV	6 v/h		
Traffic Uphill	60%		
Traffic Downhill	40%		
BIDIRECTIONAL PROVIDED Vehicle Flows UPHILL			
Type	Uphill Flow	Velocity	Vehicles.tunnel
PC Gasoline	161,4 v/h	100 km/h	2,278968 v in tunnel
PC Diesel	108 v/h	100 km/h	1,52496 v in tunnel
LDV	4,8 v/h	100 km/h	0,067776 v in tunnel
HGV	3,6 v/h	100 km/h	0,050832 v in tunnel
CALCULATED Vehicle Flows DOWNHILL			
Type	Downhill Flow	Velocity	Vehicles.tunnel
PC Gasoline	107,6 v/h	0 km/h	58,176 v in tunnel
PC Diesel	72 v/h	0 km/h	38,784 v in tunnel
LDV	3,2 v/h	0 km/h	0 v in tunnel
HGV	2,4 v/h	0 km/h	24,24 v in tunnel

### 3.7.1 Scenari di traffico

Sulla base della scena ipotizzati nel capitolo precedente, la condizione più critica è rappresentata con la corsia in salita a 100km/h e quella in discesa ferma.

Questa condizione ovviamente non è probabilmente ma è comunque possibile.

## 4 DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO

L'impianto di ventilazione, per la gestione ordinaria in condizione di esercizio, segue gli indirizzi tipici della ventilazione longitudinale in cui viene generata una portata d'aria tale da diluire le sostanze inquinanti emesse dai veicoli ad una concentrazione, che nel caso peggiorativo, è pari a quella massima ammessa dalle raccomandazioni internazionali. Gli inquinanti considerati sono quelli prodotti dal funzionamento dei veicoli che percorrono la galleria, costituiti prevalentemente da monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) e particolato (PM<sub>10</sub>) descritti di seguito. I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, nelle diverse condizioni di flusso di traffico, sono stati ricavati dalla pubblicazione PIARC – Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation e cautelativamente riferiti ai valori soglia di concentrazione più restrittivi previsti per l'anno 2025.

Soglia di concentrazione degli inquinanti				
Condizioni di traffico	CO <sup>(1)</sup> (ppm)	opacità: k <sup>(1)</sup> (m <sup>-1</sup> )	NO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup> (ppm)	NO <sub>2</sub> - NO <sub>x</sub> Ratio
fluido	70	0,005	1	20%
congestionato	70	0,007	1	20%
bloccato	100	0,009	1	20%
manutenzione	20	0,003	1	20%

*Soglia di concentrazione degli inquinanti*

La portata di inquinanti emessa in galleria, è funzione delle diverse condizioni di traffico che attraverseranno il fornice, e dipende da:

- Velocità di percorrenza
- Il numero di veicoli in galleria,
- Composizione del traffico (VL, VP, % diesel, % benzina, massa VP).

1) Road Tunnels - Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation - PIARC – 2003 per l'anno 2010.

2) Il limite di concentrazione, per il biossido di azoto nei tunnel stradali, si è dedotto dalla pubblicazione PIARC "Tunnel routiers" – XXI Congrès mondial de la Route (1999, Kuala Lumpur).

Sulla base dei dati forniti sono stati desunti i valori di traffico per le condizioni di traffico fluido e per le restanti condizioni (congestionato e bloccato).

Traffico fluido: si prendono come riferimento i dati supponendoli uguali per le due direzioni di percorrenza. Nelle valutazioni degli scenari è stata considerata la condizione di traffico bilanciato nei due sensi di percorrenza.

Traffico congestionato: si prende come riferimento la pubblicazione [1], che specifica per il traffico congestionato un volume di 70 pcu/km per i tunnel extraurbani con velocità di 10 km/h e l'equivalenza  $1VP = 3 \text{ pcu}$  (1)

Traffico bloccato (veicoli fermi in galleria): si prende come riferimento la pubblicazione [2], che specifica per il traffico bloccato una densità di veicoli di 150 pcu/km per i tunnel extraurbani e l'equivalenza  $1VP = 3 \text{ pcu}$  (\*).

Le portate di inquinanti emesse da un veicolo (CO, NO<sub>2</sub> e particolato), sono calcolate in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, utilizzando le tabelle riportate sulla la pubblicazione [2].

Le portate di inquinanti emesse da un veicolo (CO, NO<sub>2</sub> e particolato), sono calcolate in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, utilizzando le tabelle riportate sulla la pubblicazione PIARC – Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation.

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.

---

<sup>1</sup>) pcu = passenger car unit = veicolo leggero equivalente

## 4.1 Calcolo ventilazione sanitaria

### 4.1.1 Calcolo delle quantità d'aria di rinnovo

La quantità d'aria per una determinata condizione di traffico dipende dal numero di veicoli presenti, dall'emissione di inquinante per ciascuno veicoli, dal limite di concentrazione ammissibile del dato inquinante e dalle concentrazioni già presenti in ambiente.

Il numero di veicoli presenti in galleria è dato da:

$$n_{veh} = \frac{M \cdot L}{v}$$

La quantità di aria fresca necessaria per diluire i singoli inquinanti (CO, NO<sub>x</sub>, 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 [m <sup>3</sup> /s];
$n_{veh}$	è il numero di veicoli nel tunnel;
$Q$	sono le emissioni di CO ed NO <sub>x</sub> [g/(h × veh)]; e le emissioni di particolato [m <sup>2</sup> /(h × veh)];
$C_{adm}$	è la concentrazione ammissibile di inquinante [g/m <sup>3</sup> ];
$C_{amb}$	è la concentrazione ambiente [g/m <sup>3</sup> ];

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 <sup>-1</sup> ];
-----------	---

### Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO

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

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

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<sub>x</sub>

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire gli NO<sub>x</sub>, si ottiene:

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

dove:

- $V_{NO_x}$  è la portata aria fresca per diluire gli NO<sub>x</sub> [ $m^3/s$ ];
- $n_{PC}$  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<sub>x</sub>, 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<sub>x</sub>, in funzione della velocità e della pendenza;
- $Q_{NO_x}^{HGV}$  è l'emissione base per veicolo pesante di NO<sub>x</sub>, 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 [ $g/m^3$ ]

#### 4.1.2 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  $\Delta P$  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:

$\Delta P_{tu}$  è la caduta di pressione dovuta alle perdite per attrito in galleria e delle perdite localizzate all'imbocco ed all'uscita della galleria [Pa];

$\Delta P_{veh}$  è la caduta di pressione dovuta ai veicoli in galleria [Pa];

$\Delta P_{MT}$  è la caduta di pressione dovuta agli effetti meteorologici [Pa].

### Resistenza della galleria

La resistenza totale della galleria  $\Delta P_{tu}$  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];

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

$\zeta_i$  è il coefficiente di perdita all'entrata della galleria = 0,75;

$\zeta_u$  è il coefficiente di perdita all'uscita della galleria = 1;

$\beta$  è il fattore di attrito = 2,5 ;

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

$D_h$  è il diametro idraulico della galleria [m];

$\rho$  è la massa volumica [kg/m<sup>3</sup>];

$V_g$  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  $\Delta P_{veh}$  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<sup>2</sup>;  $A$  veicoli pesanti = 7m<sup>2</sup>);

$A_t$  è l'area della galleria;

$\rho$  è la massa volumica [kg/m<sup>3</sup>];

$V_g$  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 dovuto alle diverse condizioni barometriche agli imbocchi e dall'effetto del vento sui portali d'ingresso.

La caduta di pressione legata a tale effetto è stata valutata nel dimensionamento considerando una differenza di pressione tra i portali delle gallerie.

Tale effetto si oppone alla spinta dei ventilatori e genera all'interno della galleria un flusso d'aria opposto al flusso generato dai ventilatori.

### 4.1.3 Risultati (condizione di esercizio, ventilazione sanitaria)

Di seguito si riporta il report di calcolo della ventilazione sanitaria.

Tunnel Name		Gall. Mondovì		n. Jet	Titolo asse	THRUST CALCULATION AND SUMMARY	
Type of Tunnel	rural						
Year of opening	2030					Total Pressure Drop	43,26 Pa
Country Rating Type	B					Theoretical Thrust	3517,06 N
Length of tunnel (km)	1,412 km					Type of Jetfan	1,00 AJ1000TR
Cross-section (m <sup>2</sup> )	81,3 m <sup>2</sup>					Needed in tunnel Thrust	4361,50 N
Perimeter (m)	35,7 m					<b>Number of Jetfans</b>	<b>4,62</b>
Hydraulic Diameter (m)	9,11 m					<b>Summary of Results</b>	
Height over sea level	0 mslm					Volume Flow	127,55 m <sup>3</sup> /s
Atmospheric dP	0 Pa					Tunnel Air Velocity	1,57 m/s
Known Wind Speed	10,8 km/h					Wind Pressure Drop	6,48 Pa
Ambient Air Density	1,2 kg/m <sup>3</sup>					Atmospheric Pressure Drop	0,00 Pa
Mass of HGV (t)	23 t					Tunnel Pressure Drop	9,23 Pa
Limit CO value	70 ppm					Total Pressure Drop	43,26 Pa
Limit NO <sub>2</sub> value	10 ppm					Vehicle Pressure Drop	-27,55 Pa
NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> Ratio	20%						
Limit Turbidity	0,007 m <sup>-1</sup>						
Total number of lanes	2						
Number of Min. Airchanges	4,00 ACH						
Type of flow	Bidirectional	Gradient					
Number of lanes uphill	1	2 x					
Number of lanes downhill	1	-2 x					



min. 4 ACH but if tunnel velocity <1m/s then it can be increased

Il numero necessario per garantire la diluizione degli inquinanti durante l'esercizio stradale è pari a 5 ventilatori.

## 5 CONDIZIONI DI EMERGENZA

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

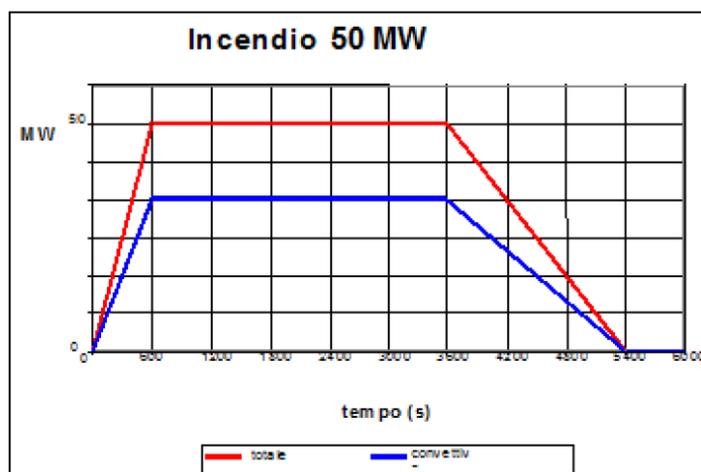
- Potenza termica dell'incendio;
- Calore scambiato per convezione termica;
- Pendenza longitudinale della carreggiata;
- Tipo di ventilazione;
- Numero e tipo di veicoli presenti in galleria;
- Dimensioni dello spazio di circolazione e possibili ostruzioni;
- Effetto pistone causato dai veicoli in moto e resistenza fluidodinamica causata dai veicoli fermi in galleria;
- Influenza meteo agli imbocchi (pressioni barometriche, vento).

Il sistema di ventilazione nell'ipotesi di evento incidentale è stato verificato mediante il calcolo della velocità critica nelle diverse condizioni di funzionamento previste negli scenari di riferimento per le possibili condizioni di incendio. La velocità critica determina la minima velocità dell'aria che i ventilatori devono poter sviluppare, per un determinato incendio e per una determinata sezione di galleria, per vincere la corrente di propagazione al ritorno dei fumi (fenomeno del Backlayering).

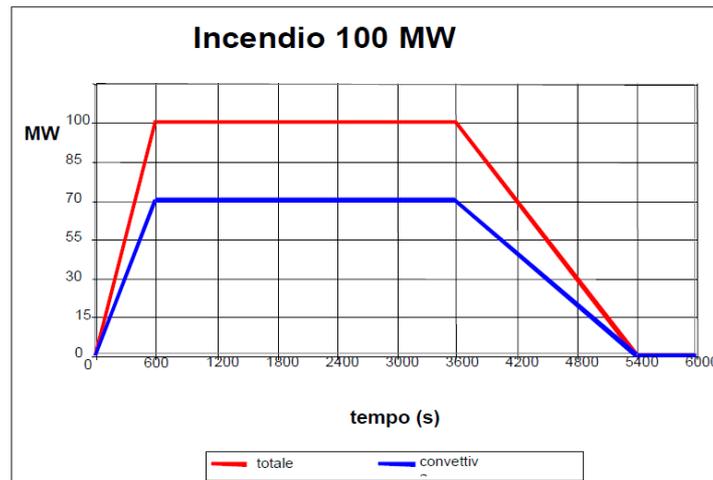
Nel caso specifico, essendo il traffico di tipo bidirezionale, l'accensione dei ventilatori sarà ritardata di un  $\Delta t$ , per permettere la stratificazione dei fumi in volta.

L'impianto di ventilazione è stato dimensionato 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".



Andamento della potenza dell'incendio da 50 MW



*Analisi di sensitività: andamento della potenza dell'incendio da 100 MW*

La verifica dell'impianto di ventilazione è stata condotta con uno schema di calcolo analitico, considerando un incendio di potenza di 100MW.

La posizione dell'incendio ha influenza sullo studio della ventilazione e pertanto si effettua il calcolo considerando diversi scenari. Infatti si ha che:

- Se l'incendio è situato vicino al portale d'ingresso l'influenza del traffico sarà minima;
- Se l'incendio è situato vicino al portale d'uscita non si avrà quasi influenza sulle condizioni a valle dell'incendio;
- L'effetto camino sarà positivo nel caso di tunnel a pendenza positiva e negativo nel caso di pendenza negativa;
- Per tunnel corti l'effetto meteorologico sarà importante mentre per tunnel lunghi sarà più determinante l'attrito delle pareti.

L'incendio inoltre ha influenza diretta sull'efficienza degli acceleratori e sulle perdite di carico nel tunnel per via delle alte temperature raggiunte. In particolare:

- La spinta degli acceleratori diminuisce all'aumentare della temperatura;
- Nel caso in cui la temperatura sviluppata dall'incendio sia ben oltre quella massima sostenibile dai ventilatori questi potrebbero non funzionare;
- Il fumo in uscita dal tunnel avrà una velocità maggiore rispetto all'aria fresca in ingresso e le perdite di carico associate saranno più elevate.

Gli incendi sono stati collocati in corrispondenza del 10% e 90% della lunghezza del fornice al fine di valutare l'effetto camino. Si è inoltre prevista la presenza di traffico bloccato nei tratti di galleria a monte e valle.

## 5.1 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 l'energia termica sviluppata nell'incendio in W;
$\rho$	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 Fraude
293,15	è la temperatura ambiente espressa in K.

## 5.2 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:

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

La caduta di pressione totale  $\square P$  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:

- $\square P_{th}$  è la perdita per effetto camino [Pa];
- $g$  è la costante di gravità [ $m/s^2$ ];
- $\square h$  è la differenza di quota tra i due imbocchi [m];
- $\square a$  è la densità dell'aria all'esterno della galleria [ $kg/m^3$ ];
- $\square i$  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  $\Delta P_{fire}$  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.

### 5.3 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<sup>2</sup>];  
 $\eta_1$  è l'efficienza del ventilatore;  
 $\eta_2$  è il coefficiente correttivo legato all'installazione del ventilatore in galleria;  
 $\eta_3$  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].

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

Di seguito si riporta il report di calcolo della ventilazione di emergenza in caso di incendio.

Lunghezza	L	1412 m
sito incendio	x	200 m
Sezione	S	81,3 m <sup>2</sup>
perimetro	p	35,9 m
diametro idraul	did	9,06 m
pendenza	i	-1,05%
tratto elementare	l	5 m
Dquota elementare	Dh	-0,0525 m
Velocità media aria	W0	2,813 m/s
densità aria	rho0	1,2 kg/m <sup>3</sup>
coeff. Attrito	lambda0	0,024
perdita imbocco	alfa	0,6
N. di Prandtl	Pr	0,7
accelerazione g	g	9,81 m/s <sup>2</sup>
Traffico Bloccato	T bloccato	125 v/km
velocità traffico	vh	0 km/h
n° Veicoli leggeri	Vl	23 veicoli
n° Veicoli pesanti	Vp	3 veicoli
s. resistente, leggeri	(Cx)leg	0,9 m <sup>2</sup>
s. resistente, pesante	(Cx)pes	5
proporzione leggeri	%leggeri	90,0%
proporzione pesanti	%pesanti	10,0%
Potenza termica totale	100 MW	1,00E+08 W
potenza termica	Qc	6,67E+07 W
calore specifico	cp0	1009 J/kgK
emissività	epsilon	0,7
c. stefan-boltzmann	sigma0	5,67E-08 W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup>
fattore di vista	F	1
T aria	T	293 K
T parete	Tp	293 K

<b>Discesa</b>			
Temp Fumi a incendio	Tf	534 K	261 °C
c. di scambio convettivo	hc	11,06 W/mK	

N° jetfan installati insieme	2 OK		
Distanza portale primi jetfan	100 m		
Distanza tra jetfan	100 m		
Ventilatore Jetfoil	AJ9 1000-10/38°-4	27,0 kW (AOM)	IP (160)
Qv	24,85 m <sup>3</sup> /s		
Vv	31,64 m/s		
F0	944 N		
k	0,85		
kW	26,40		
Tmax	400 °C		
Distanza media dalla volta	100 mm		
numero corsie	TRAFFICO		
	BLOCCATO AL KM		
	1	125	

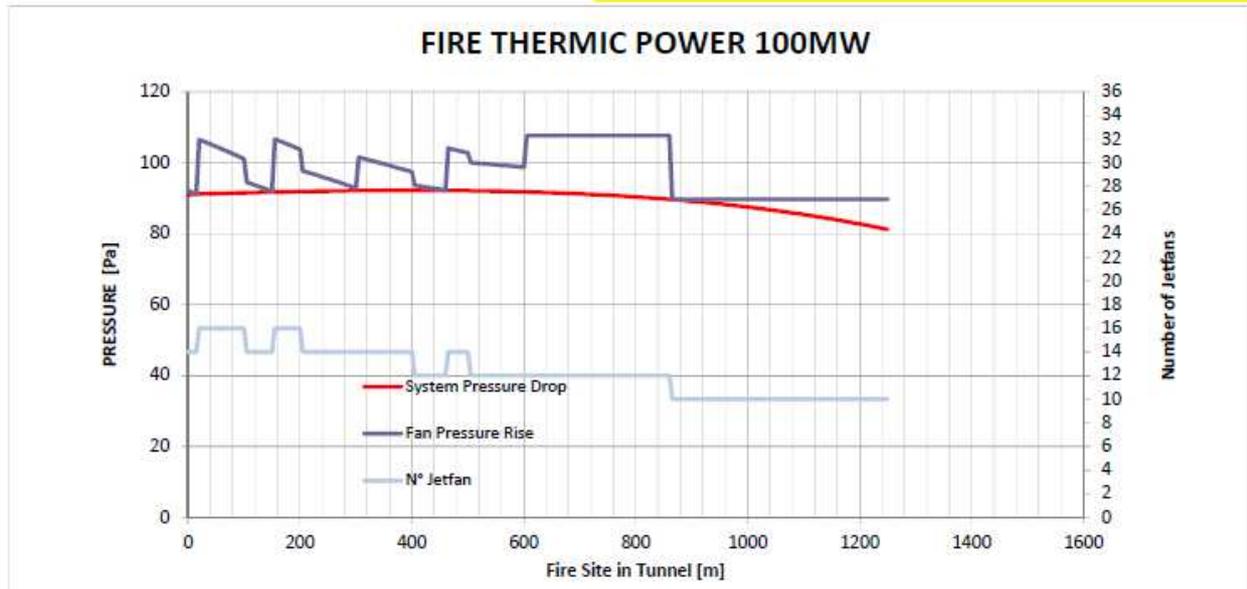
Massima lunghezza	metri
colonna veicoli fermi	1412

Velocità Vento	10,8 km/h
	3 m/s

RISULTATI

N°Ventilatori	Totale Ventilazione [Pa]
-	-
16,00	103,80

Perdite Ingresso [Pa]	Perdite sbocco [Pa]	Perdite incendio [Pa]	Perdite Distribuite [Pa]	Effetto Camino [Pa]	Effetto Veicoli Bloccati [Pa]	Effetto Atmosferico [Pa]	Totale Resistenza [Pa]
2,85	5,01	26,24	21,83	28,67	1,91	5,40	91,92
sito incendio x 200 m							



## 5.4 Conclusioni

L'analisi dei risultati ottenuti, per i diversi scenari di esercizio e di emergenza incendio, richiede che l'impianto di ventilazione sia composto da un certo numero di acceleratori (ventilatori di spinta) le cui prestazioni sono necessarie soprattutto per la gestione di emergenza, dove l'impianto risulta verificato per un incendio di potenze termiche di riferimento pari a 100 MW.

Galleria	N. jet fan ventilazione sanitaria	N. jet fan ventilazione emergenza in caso di incendio
		100 MW
S. Lorenzo	5	16+2

Per via della sezione trasversale della galleria si ritiene di suggerire la disposizione dei gruppi di ventilatori per il loro corretto funzionamento ed in particolare:

- Disporre gli acceleratori con staffaggio a coppie;
- La prima coppia di ventilatori deve essere installata ad una distanza dal fornice di uscita/entrata della galleria superiore o uguale a circa 12 diametri idraulici.
- L'interdistanza tra una coppia di ventilatori e la successiva deve essere almeno di 10 diametri idraulici, così da garantire una buona efficienza degli stessi.
- Saranno previste n. 4 coppie di ventilatori presso l'imbocco ovest e n. 5 coppie di ventilatori presso l'imbocco est, per un totale di 9 coppie di ventilatori, pari a n. 18 ventilatori.

Si prevede l'impiego di una coppia aggiuntiva di ventilatori nel caso in cui l'evento incendio si verifichi a ridosso di una coppia ventilatori o nel caso che questi risultino in manutenzione. Quindi si prevedranno in totale n. 18 unità ventilanti per l'intera galleria, che includono la coppia di ventilatori aggiuntiva.

## 6 CARATTERISTICHE ACCELERATORI IMPIEGATI PER LA VERIFICA AEREAULICA

Di seguito si riportano le caratteristiche dei ventilatori ad induzione presenti all'interno della galleria S. Lorenzo.

### Cassa

Cassa di alloggiamento del gruppo motore-girante in acciaio con spessore minimo di 4mm. Al termine della lavorazione la cassa è sottoposta ad un processo di passivazione per evitare fenomeni corrosivi dovuti a eventuali residui ferrosi e contaminazione del materiale. La cassa è dotata di flange forate per l'accoppiamento con i silenziatori.

### Piedi di supporto

I piedi di supporto sono realizzati in acciaio di spessore minimo 6mm ed idonei per il collegamento alla cassa del ventilatore tramite bulloni. L'accoppiamento al ventilatore è adatto a garantire non solo il carico statico, ma anche i carichi dinamici generati dal funzionamento del ventilatore stesso e da sollecitazioni esterne dovuto al traffico in galleria.

### Girante

Girante assiale idonea per funzionamento ad alte temperature. Il profilo simmetrico delle pale garantisce la totale reversibilità del flusso dell'aria. Le pale sono realizzate in lega di alluminio così come il mozzo secondo DIN EN 1706. Per l'accoppiamento dell'albero motore al mozzo vengono utilizzati inserti in acciaio secondo DIN 6885-1. Tutte le parti rotanti della girante saranno sottoposti ad indagine radiografica non distruttiva per verificarne l'idoneità all'uso e l'eventuale presenza di occlusioni gassose.

### Motore

Motore elettrico, asincrono, trifase ad induzione con rotore a gabbia di scoiattolo, adatto per avviamento diretto e per funzionamento continuo a 40 °C secondo secondo I.E.C. 34-1 EN 60034 ed in emergenza a 400 °C per 120 minuti, classe di isolamento H con materiali isolanti, avvolgimenti impregnati nel silicone, guaina isolanti cavi con materiali in fibra o similari. Protezione motore IP 55 secondo I.E.C. 34-5 EN 60034. Morsettiera esterna fissata sulla cassa con grado di protezione IP 55. Cuscinetti di tipo prelubrificato, dimensionati secondo ISO 281-L10 per una vita media del cuscinetto 100.000 ore. Motore protetto con vernice monocomponente a base siliconica contro i fenomeni corrosivi. Il motore sarà in forma costruttiva IM B30 ancorato alla cassa del ventilatore tramite tiranti o piastre di sostegno così da minimizzare l'ostruzione al flusso d'aria dovuta al motore e massimizzare rendimento energetico.

### Silenziatori con Boccagli Integrati

Silenziatori di forma cilindrica e lunghezza pari a un diametro, realizzati in acciaio di spessore min. 0,8 mm ed internamente isolato con materiale fonoassorbente ad alto coefficiente di assorbimento acustico, imputrescibile,

antimuffa e ininfiammabile in classe 0. Lamierino forato di protezione interna in acciaio, spessore 0,7 mm. Il silenziatore, per migliorare la fluidodinamica dell'aria in ingresso, presenta il tratto iniziale sagomato opportunamente così da indirizzare il flusso d'aria in maniera ottimale verso la girante del ventilatore.

Dati tecnici:

Diametro girante 1000mm Spinta in aria ferma 915N

Portata d'aria elaborata 24.6 m<sup>3</sup>/s

Velocità uscita aria 31.3 m/s

Potenza Meccanica assorbita alla girante: 26.5kW

Funzionamento: completamente reversibile

Classificazione EN12101-3 F400 – 400 °C / 2h

Potenza sonora: 104dBw

Pressione sonora (10m e 45°): 77 dB(A)

Velocità max. di vibrazione: 2.8 mm/s (r.m.s.)

Densità dell'aria: 1,2 kg/m<sup>3</sup>

Installazione: mediante antivibranti

Efficienza unità: 34.53 N/kW

Potenza Motore: 27 kW AOM

Alimentazione: 3 ph; 400V; 50 Hz;

Velocità di rotazione: 4 poli

Classe di isolamento: H

Protezione morsettiera: IP 65

Avviamento diretto: sì

Avviamento tramite SoftStarter: sì

Cassa: Acciaio AISI 316L

Telaio di sostegno: Acciaio AISI 316L

Silenziatori: Acciaio AISI 316L

Girante: Lega di alluminio LM13

Antivibranti: elastomero Sylodyn

Bilanciatura: Statica e dinamica Grado G6.3 come da ISO 1940-1

#### Sensore di vibrazione 4...20mA

Trasmittitore integrato di misura assoluta di vibrazioni per acceleratori in grado di interfacciarsi direttamente tramite tecnica 2 fili (loop di corrente 4-20mA) ad un sistema di acquisizione e diagnosi (PLC). Il trasmettitore sarà montato mediante fissaggio diretto al corpo dell'acceleratore tramite codolo filettato M8 e genererà un segnale in corrente 4-20mA proporzionale alla velocità di vibrazione della macchina.

Il corpo del trasmettitore è realizzato in acciaio inossidabile. Campo di impiego -25°C - +90°C

Protezione: IP65

Campo di Misura: 10Hz – 1kHz

#### Telaio di sostegno

Autolivellante in acciaio inox 1.4404 ed adatto per installazione con antivibranti.

#### Sensori di distacco

Sensori di distacco progettati e realizzati secondo IEC e normative Europee in vigore con funzione di switch per rilevamento distacco del ventilatore dalla volta. Saranno forniti numero due finecorsa per ogni acceleratore dotati di chiave piana in acciaio inossidabile. Corpo finecorsa in tecnopolimero con protezione meccanica IP65

#### Kit Catena di Sicurezza A4

Catena di tipo a maglia genovese in acciaio inossidabile A4 AISI 316L 6mm passo 28mm e grilli diritti corti in acciaio inossidabile A4 diametro 8mm.

Il ventilatore è predisposto per l'ancoraggio delle catene di sicurezza mediante fori realizzati sui piedi di sostegno.

## 7 VENTILAZIONE CUNICOLO DI SICUREZZA

Nella galleria S. Lorenzo sono previste ogni circa 300 delle uscite di sicurezza con locali filtro pressurizzati, che conducono al cunicolo di sicurezza posto al di sotto del piano stradale e che sfocia all'aperto, nelle due zone di imbocco, lato est ed ovest.

Il cunicolo ha una sezione rettangolare, con altezza di 2,30 m e larghezza di 2,80 m, ed è dotato di un sistema di ventilazione, composto da due unità ventilandi collocate ai due estremi del cunicolo ed in grado di garantire l'immissione di aria per il funzionamento dei ventilatori di sovrappressione dei filtri.

I ventilatori svolgeranno anche la funzione di mantenere l'ambiente salubre da umidità e muffe.

Difatti l'impianto di ventilazione in questione deve assicurare diverse modalità di funzionamento, in relazione alle seguenti condizioni:

- **Ordinaria:** mantenere condizioni termoigrometriche che impediscano la formazione di muffe, ovvero impedire la stagnazione dell'aria;
- **Emergenza:** garantire un adeguato flusso d'aria tale da consentire il sicuro e confortevole passaggio di persone in allontanamento dal luogo dell'incidente ed un adeguato apporto di aria pulita al sistema che garantisce la sovrappressione dei locali denominati "filtro a prova di fumo".

Ad intervalli prefissati, verrà messo in funzione un solo ventilatore, unitamente ai ventilatori di sovrappressione dei locali denominati "filtro a prova di fumo", in modo da soddisfare la modalità di funzionamento ordinaria e consentire al sistema di controllo di verificare il corretto stato di funzionamento dei ventilatori e delle apparecchiature preposte al sistema di ventilazione del cunicolo di sicurezza e dei locali "filtro a prova di fumo". I ventilatori saranno accoppiati a dei sensori di pressione, in stallati rispettivamente all'interno ed all'esterno del cunicolo, in grado di rilevare la differenza di pressione ed attivare all'occorrenza la ventilazione verso il cunicolo.

### 7.1 Caratteristiche elettroventilatore cunicolo di sicurezza

L'elettroventilatore per la ventilazione del cunicolo di emergenza sarà del tipo assiale monostadio con girante direttamente accoppiata al motore elettrico e adatto per funzionamento continuo a 55°C.

#### Caratteristiche tecniche

- Flusso aria forma A (da motore a girante), girante direttamente accoppiata con angolo pale regolabile per l'ottimizzazione del rendimento.
- Mozzo e pale il lega d'alluminio, girante staticamente e dinamicamente bilanciata secondo DIN ISO 21940-11, Grado G 6.3.

Girante a profilo alare regolabile da fermo per ottimizzare il rendimento. Mozzo e pale il lega d'alluminio, girante staticamente e dinamicamente bilanciata secondo DIN ISO 21940-11, Grado G 6.3 Cassa lunga in acciaio dolce,

zincata a caldo secondo DIN EN ISO 1461 Flange sbordate con foratura secondo Eurovent 1/2 Morsettiera certificata VDE con grado di protezione IP65 montata all'esterno della cassa per facilitare l'allacciamento elettrico Motore trifase con rendimento IE2 o IE3, protezione IP55, isolamento classe F secondo EN 60034-5/IEC85.

Le prestazioni dei ventilatori assiali AXC sono state determinate secondo DIN ISO 5801, DIN 24163 e AMCA 210-99. I motori sono equipaggiati con termistori PTC per una protezione ottimale del motore. Il motore è regolato con inverter.

#### Punto di funzionamento richiesto

Portata aria	22,00 m <sup>3</sup> /s
Pressione totale	400 Pa
Densità dell'aria	1,204 kg/m <sup>3</sup>

#### Punto di lavoro

Portata aria	22,01 m <sup>3</sup> /s
Pressione statica	207 Pa
Pressione dinamica	194 Pa
Pressione totale	400 Pa
Velocità dell'aria	17,9 m/s
Efficienza	51 %
Potenza all'asse	17.234 W
Potenza all'asse massima	21.200 W
Angolo pale	16 °

#### Dati tecnici ventilatore assiale

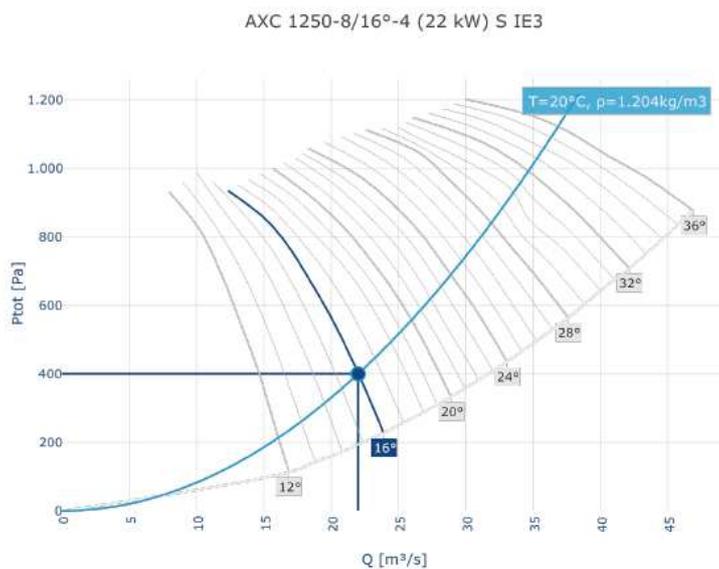
Forma motore	B3
Pale	8
Tensione/Frequenza	3~400V/50Hz
Potenza nominale	22 kW
Poli	4
Efficienza	1.470 rpm
Corrente nominale	40,2 A
Corrente allo spunto/corrente nominale	7,5
Taglia motore	180L
Classe isolamento motore	IE3
Grado IP	IP55
Classe di protezione	F
Peso	559 kg

Note: According to VDE/EN standards, nominal current tolerance can be up to ±10%.

#### Accessori

8363	EV-AXC 1250 giunto flessibile 70 °C	1
30568	FSD7 AXC set antivibranti in acciaio ≤1000kg	1
311295	MFA-AXC/AM 1250 staffa di supporto	2
305267	ESD-F 1250 boccaglio aspirazione AXC	1
310698	SG AXC/AM 1400 rete di protezione	1

#### Curva caratteristica



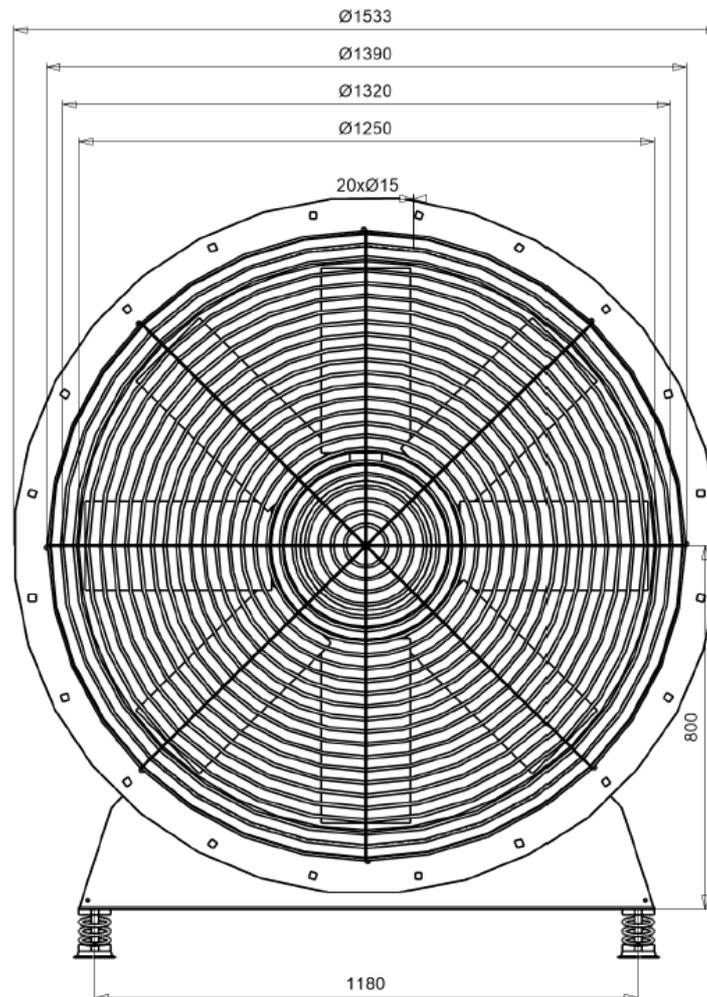
#### Dati acustici

	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Tot	Hz
Potenza sonora nel condotto Lw4	84	94	102	107	107	104	100	93	112	dB(A)
Potenza sonora in campo libero Lw6	83	93	102	106	106	103	99	92	111	dB(A)
Pressione sonora in campo libero Lp - distanza 3 m	63	73	81	86	86	83	79	72	91	dB(A)

Lw4: in-duct conditions, Lw6: free-outlet conditions, Lp: free field conditions, Pressione sonora (Lp) a distanza: 3m

**Dati ErP**

1	Overall efficiency ( $\eta$ )	50.7	%
2	Measurement category / energy efficiency	A	
3	Efficiency category	Statica	
4	Efficiency grade (N)	50.2	%
5	Speed drive	Determined without speed drive	
7	Produttore	Systemair Italy	
8	Tipo	AXC 1250-8/16°-4 (22 kW) S IE3	
9	P1	22,644	W
9	Portata aria	15.36	m <sup>3</sup> /s
9	Pressione	748	Pa
10	Number of revolutions	1,470	rpm
11	Specific ratio	Under 1,11	
12	Information on disposal	Manuale di istruzioni	
13	Informazioni di installazione	Manuale di istruzioni	





## 8 SOVRAPPRESSIONE LOCALI FILTRO USCITE DI SICUREZZA GALLERIA

Nella galleria, ogni circa 300 m, è presente e opportunamente segnalato un punto di ingresso al cunicolo di sicurezza, costituito da un locale denominato "filtro a prova di fumo" avente una compartimentazione e due porte REI 120 munite di congegni di autochiusura.

Il ventilatore cassonato di sovrappressione di detto locale è stato dimensionato per ottenere una sovrappressione di 50 Pa (compresa nel range 30 - 80 Pa prescritto) quando entrambe le porte sono chiuse e, nel caso in cui una delle due venga aperta, una velocità dell'aria sulla porta pari a 2 m/s.

Dovranno essere installate porte di larghezza totale 1,20 m e altezza 2,10 m. È prevista l'installazione di un ventilatore con diametro della girante pari a 710 mm, portata massima 6.7 m<sup>3</sup>/s, pressione statica 50 Pa. Il ventilatore verrà installato sulla parete che divide il suddetto locale dal cunicolo di collegamento e riceverà una adeguata portata d'aria dal cunicolo di sicurezza mediante i ventilatori posizionati alle estremità del cunicolo presso gli imbocchi della galleria. Completa il sistema di ventilazione del "filtro a prova di fumo" una serranda tagliafuoco motorizzata, posizionata sul lato galleria stradale, per consentire la pulizia sanitaria del locale durante il normale funzionamento del sistema ventilante.

Il ventilatore cassonato sarà collegato a due sensori di pressione, uno in galleria ed uno nel locale filtro, in modo da poter misurare la differenza di pressione ed attivare in modo corretto il ventilatore per la pressurizzazione del locale filtro.

Il ventilatore dell'impianto di pressurizzazione è alimentato dal gruppo elettrogeno mentre il sistema di comando e controllo è collegato all'UPS, al fine di garantire, anche in caso di mancanza di alimentazione elettrica ordinaria, che il locale non sia invaso dai fumi.

Le porte del locale "filtro a prova di fumo" saranno dotate di sensori di apertura che attiverà un allarme ottico acustico locale temporizzato riportato all'impianto di supervisione.

Per il dimensionamento del sistema di pressurizzazione dei bypass si utilizzeranno i valori raccomandanti nelle Linee Guida Anas di Progettazione anno 2009.

In caso d'incendio si vuole mantenere una sovrappressione all'interno dei bypass pedonabili di circa 50 Pa. Per poter mantenere questa sovrappressione è necessario immettere una certa quantità d'aria all'interno del luogo sicuro. Poiché le uniche vie di fuga per l'aria all'interno del luogo sicuro sono le porte tagliafuoco, si basa il calcolo della portata d'aria sulle loro dimensioni.

Le porte ipotizzate sono due (una su ciascun lato del locale filtro delle uscite di sicurezza), di superficie ipotizzata pari a 2,52 mq (1.2 m x 2.1 m). Il perimetro totale delle porte è quindi di 13.2 m (2 porte x 6.6 m = 13.2 m).

L'equazione utilizzata per il calcolo della portata d'aria che filtra attraverso le porte chiuse è:

$$Q_p = C_F \cdot S_F \cdot P \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta p}{\rho}}$$

dove:

$Q_p$	:	portata d'aria	[m <sup>3</sup> /s]
$C_F$	:	coefficiente di flusso pari a 0,675	[-]
$S_F$	:	superficie delle fessure per metro lineare di perimetro di porta	[m <sup>2</sup> /m]
$P$	:	Perimetro delle porte	[m]
$g$	:	accelerazione della gravità	[m/s <sup>2</sup> ]
$\Delta p$	:	pressione differenziale	[mm.c.a.]
$\rho$	:	massa volumica dell'aria	[kg/m <sup>3</sup> ]

Inserendo gli opportuni valori e aggiungendo un coefficiente di sicurezza 15% si ha una portata d'aria necessaria pari a:

$$Q_p = 0,4 \text{ mc/s}$$

Pertanto sarà necessario garantire questa immissione di portata d'aria all'interno di ciascuna camera per mantenere la sovrappressione di 50Pa.

Il dimensionamento non è però completo essendo da considerare il caso per cui la porta verso la galleria venga aperta dagli utenti.

Si impone che la velocità media dell'aria alla porta aperta sia pari a 2.0 m/s per prevenire l'ingresso dei fumi dalla galleria verso il luogo sicuro. Per mantenere la velocità d'aria sulla superficie della porta aperta è necessario introdurre 5.04 m<sup>3</sup>/s (2 m/s x 2.52 mq = 5.04 m/s). I ventilatori devono essere dimensionati per tale portata d'aria.

Il ventilatore sarà accoppiato ad una serranda tagliafuoco motorizzata, una griglia di protezione, una piastra antivibrante ed un giunto flessibile flangiato.

## 8.1 Caratteristiche ventilatore locali filtro

Di seguito si riportano le caratteristiche del ventilatore cassonato per la pressurizzazione dei locali filtro.

### Caratteristiche Generali

#### Dati tecnici: Dati nominali

Voltaggio (nominale): 400 V Frequenza: 50; 60Hz Fase(i): 3~

Potenza in entrata: 6.441 W

Corrente in entrata: 9,43 A

Velocità rotazione girante: 1.206 r.p.m.

Portata aria: max 24833m<sup>3</sup>/h

Temperatura aria trasportata: max 40°C

Temperatura max aria trasportata, sotto regolazione: 40 °C

#### Dati acustici

Livello pressione sonora a 3 m (20m<sup>2</sup> Sabine): 74 dB(A)

#### Protezione/Classificazione

Classe di protezione, motore: IP54 Classe d'isolamento: F

Dati in accordo a ERP

Pronto ErP: ErP 2016; ErP 2018 Dimensioni e pesi

Dimensione condotto; Circolare, immissione: 710mm

Dimensione condotto; Circolare, espulsione: 710mm

Sound data	
Sound pressure level at 3 m (20m <sup>2</sup> Sabin)	74 dB(A)
Protection / Classification	
Insulation class	F
Enclosure class, motor	IP54 IP
ErP	
ErP ready	ErP 2016
Default group	
Sound pressure level at 1 m	68 dB(A)

### Eco design

Trade name	Systemair
Product name	MUB-CAV/VAV 100 710EC
ErP compliance	2016
Unit category	NRVU
Drive	Intergated VSD
Unit type	UVU
Heat recovery type	None
Temperature ratio (UVU)	Not applicable
qv nom	3,35 m <sup>3</sup> /s
P nom	5896 W
Ps nom	869 Pa
Fan efficiency	49 %
External Leakage	5 %
Sound power level LWA	88 dB(A)

**Max efficiency**

Hydraulic data	
▲ Working air flow	3,35 m³/s
▲ Working static pressure	869 Pa
▲ Power	5896 W
Speed	1214 r.p.m.
Current	8,65 A
SFP	1,76 kW/(m³/s)
Voltage	400 V

**User**

Hydraulic data	
<input type="radio"/> Required air flow	5,62 m³/s
<input type="radio"/> Required static pressure	50 Pa
<input checked="" type="radio"/> Working air flow	5,62 m³/s
<input checked="" type="radio"/> Working static pressure	50 Pa
<input checked="" type="radio"/> Power	3859 W
Speed	1054 r.p.m.
Current	5,73 A
SFP	0,687 kW/(m³/s)
Voltage	400 V