

S.S.51 "ALEMAGNA"
VARIANTE DI LONGARONE

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COD. VE407

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE e PRGETTISTA:

Dott. Ing. Massim Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma A26031)

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma A15138)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. MariaAntonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Ettore De Cesbron De La Grennelais

IMPIANTI TECNOLOGICI
GALLERIA CASTELLAVAZZO
IMPIANTO DI VENTILAZIONE – RELAZIONE TECNICA

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	VE407_T00IM04IMPREG01_A			
DPVE0407	D 21	CODICE ELAB.	T00IM04IMPREG01	A	--
D					
C					
B					
A	EMISSIONE	APR. 2022	F. LA IUPPA	M. CUCCARO	M.CAPASSO
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3. STIMA DEL CARICO INQUINANTE	3
4. MISURA DEGLI INQUINANTI	11
5. IMPIANTI DI VENTILAZIONE	11

1. PREMESSA

Nella presente relazione è descritto il progetto degli impianti di ventilazione al servizio della galleria stradale "Castellavazzo" da realizzarsi nell'ambito dell'intervento dei lavori della variante di Longarone

La galleria, del tipo a canna singola e traffico bidirezionale, presenta una lunghezza di circa 1550 m.

La normativa tecnica vigente per le gallerie stradali "D.M. 5/11/2001 – Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" non impone, per quanto attiene l'impiantistica, dei requisiti minimi tecnologici.

Pur tuttavia la presente proposta progettuale è stata orientata a rendere adeguati gli standard impiantistici della galleria in oggetto ai requisiti tecnologici richiesti per le gallerie autostradali, con particolare riferimento alle Direttive ANAS ed al DLGS 264/06 in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea.

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

Gli inquinanti che maggiormente influiscono sulle condizioni di guida in galleria sono il CO, gli NOx ed il particolato; tali inquinanti devono essere diluiti in modo da assicurare buone condizioni fisiologiche e di sicurezza agli utenti per la guida entro le gallerie stesse.

La normativa tecnica vigente (D.M. 8/11/2001) non impone la presenza di un sistema di ventilazione meccanica per gallerie stradali. Altresì le normative ANAS per la sicurezza in galleria impongono la presenza di un impianto di ventilazione e controllo fumi per gallerie al di sopra dei 1000 m e richiedendo, per gallerie al di sotto dei 1000 m, la verifica della necessità dell'impianto in base alla tipologia, al volume di traffico, alle caratteristiche di circolazione ed alla pendenza della strada.

Nel caso in esame si è proceduto a valutare innanzitutto la stima del carico inquinante in considerazione della tipologia stradale C1 extraurbana secondaria, della velocità di progetto (60-100 km/h), della lunghezza e della pendenza delle gallerie e del flusso veicolare, per poi valutare le portate d'aria di rinnovo necessarie per contenere la concentrazione degli inquinanti al di sotto dei limiti consentiti.

Sono state inoltre valutate le portate d'aria necessarie per il confinamento dei fumi prodotti da un eventuale incendio.

Sulla base dei valori riscontrati è stato scelto e dimensionato un impianto di ventilazione meccanica di tipo longitudinale.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Tutta la normativa riguardante la prevenzione infortuni ed igiene del lavoro, le raccomandazioni e le linee guida italiane ed estere sulla ventilazione e la sicurezza in galleria. In particolare:

- DECRETO 22 gennaio 2008 , n. 37. Regolamento concernente l'attuazione dell'articolo 11-quaterdecies, comma 13, lettera a) della legge n. 248 del 2 dicembre 2005, recante riordino delle disposizioni in materia di attività di installazione degli impianti all'interno degli edifici.
- 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. 2019;
- 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.

3. STIMA DEL CARICO INQUINANTE

3.1. Calcolo del fabbisogno di aria fresca

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

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

dove :

Q = portata aria [m³/s] o [kg/s]

M = intensità del traffico [veicoli/h]

L = lunghezza della galleria [m]

V = velocità dei veicoli [km/h]

q = emissione per veicolo [g/(vehh); (m²/(vehh))]

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

v = velocità del veicolo [km/h]

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 massima ammissibile degli inquinanti

C_{amb} = concentrazione degli inquinanti nell'aria di rinnovo

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)].

Quanto sintetizzato in questo paragrafo è ampiamente illustrato nella bibliografia del PIARC; i calcoli relativi sono riportati nel seguito della presente relazione.

Dimensionamento

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

Per il dimensionamento sono stati assunti i seguenti dati generali:

Condizioni di traffico

I Parametri utilizzati per descrivere il traffico sono:

Il flusso (I), espresso in veicoli per ora, è il flusso nominale orario per corsia di marcia;

La velocità media (V) espressa in km/h;

La concentrazione (D) espressa in veicoli/km che fornisce il numero di veicoli presenti in un chilometro.

I tre parametri sono legati tra loro dalla relazione I=D·V.

Il traffico posto alla base del calcolo è stato stimato sulla base dei dati statistici forniti dal PIARC. Si è fatto riferimento al concetto di veicoli equivalenti (p.c.u., passengers car unit). In funzione di ciò si è posta

l'equivalenza $1VLB=1VLG=1pcu$; $1VP=2,5 pcu$, dove con VLB e VLG si sono indicati i veicoli leggeri a benzina e diesel rispettivamente e con VP i veicoli pesanti.

I valori di traffico, desunti dallo Studio Trasportistico di progetto, sono i seguenti:

Veicoli totali a 20 anni dalla apertura della variante pari a $5.396+5.396$ /giorno in TGM.

Con una densità di veicoli pesanti pari al 5,5% (corrispondenti a 2 veicoli leggeri).

Il flusso equivalente è pari a 11.385,56 V/g corrispondenti a 475 V/h.

Come traffico di punta si può ipotizzare, per sicurezza, un valore pari all'11% del traffico giornaliero ed arrotondato ulteriormente a 1.300 V/h.

Tipologia traffico	Velocità (km/h)	Flusso (veicoli-e/h)	Densità (veicoli/km)
Traffico scorrevole	100	1300	19,5
Traffico congestionato	10	650	101
Traffico bloccato	0	0	165

La suddivisione dei veicoli nelle diverse tipologie viene così ipotizzata:

50 % autovetture a benzina;

37 % autovetture diesel;

13% mezzi pesanti o autobus a motore diesel con peso medio di 20t.

Traffico scorrevole

Secondo i valori di flusso veicolare adottati, in condizioni di traffico scorrevole, viene indicato un valore di 1300 veicoli equivalenti/ora per corsia con una velocità di $V = 100$ km/h. Un V_{eq} corrisponde all'ingombro longitudinale di un veicolo leggero; pertanto ad un veicolo pesante da 20t od un autobus viene fatto corrispondere l'ingombro di 2,5 veicoli leggeri nel traffico lento e sino a 4 veicoli leggeri in discesa, in funzione della pendenza. Quindi $1 VP = 2,5 V_{eq}$.

Pertanto per ciascuna carreggiata i valori orari del traffico di punta, utili ai fini del calcolo delle portate di aria fresca necessarie per la diluizione degli inquinanti, risultano:

Flusso veicolare

Valore calcolato: 1084 V/h,corsia; pari a 1.295 V_e /h,corsia;

VLB/(h,km,carreggiata) 542

VLG/(h,km,carreggiata) 401

VP/(h,km,carreggiata) 352

Densità veicolare

Valore calcolato: 12 Ve/km,corsia

VLB/(km,carreggiata) 6

VLG/(km,carreggiata) 4,5

VP/(km,carreggiata) 1,5

Traffico congestionato

In condizioni di traffico congestionato extraurbano, si adotta un valore di 650 veicoli equivalenti per corsia con una velocità di 10 km/h.

Flusso veicolare

Valore calcolato: 543 V/h,km,corsia

VLB/(h,km,carreggiata) 271

VLG/(h,km,carreggiata) 201

VP/(h,km,carreggiata) 71

Densità veicolare

Valore calcolato: 54 V/km,corsia

VLB/(km,carreggiata) 27

VLG/(km,carreggiata) 20

VP/(km,carreggiata) 7

Traffico bloccato

Sempre secondo i dati forniti dal PIARC in condizioni di traffico bloccato extraurbano, viene indicato un valore di 165 veicoli equivalenti per km e per corsia (165 Veq/km corsia) fermi in galleria.

Densità veicolare

Valore calcolato: 138 V/km,corsia

VLB/(km,carreggiata) 69

VLG/(km,carreggiata) 51

VP/(km,carreggiata) 18

Casistiche esaminate

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

Caso A CO scorrevole	Caso B CO congestionato	Caso C CO bloccato
Caso D Fumi scorrevole	Caso E Fumi congestionato	Caso F Fumi bloccato
Caso G NO _x scorrevole	Caso H NO _x congestionato	Caso I NO _x bloccato

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 dei 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.

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 nell'Aprile 2019 il fascicolo "Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for 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 2016÷2019.

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.

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 anas GRUPPO FS ITALIANE
VE407	G. Castellavazzo - Relazione Tecnica Impianti di Ventilazione	

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.

Condizioni di traffico	CO		Visibilità	NO _x
	1995 p.p.m.	Anno 2010 p.p.m.		
Scorrevole di punta a 50 ÷ 100 km/h	100	70	Coefficiente di estinzione k 10 ³ m ⁻¹ 5	p.p.m. 3
Congestionato	150	70	7	3
Bloccato	250	100	9	3

Sulla base di tali indicazioni vengono determinate le portate di aria necessarie alla diluizione degli inquinanti. 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 in Montreal e dal CETU.

Di seguito si riportano i calcoli eseguiti per la galleria Castellavazzo.

VE407

G. Castellavazzo - Relazione Tecnica Impianti di Ventilazione

Tipo di Veicolo	Velocità del veicolo	Emissione di CO
	km/h	m³/h VE
VLB	100	0,15
VLD	100	0,002
VP	100	0,07
VLB	10	0,008
VLD	10	0,001
VP	10	0,02
VLB	0	0,003
VLD	0	0
VP	0	0,090

Tipo di Veicolo	Velocità del veicolo	Emissione di NOx
	km/h	m³/h VE
VLB	100	0,006
VLD	100	0,030
VP	100	0,022
VLB	10	0,001
VLD	10	0,003
VP	10	0,020
VLB	0	0,001
VLD	0	0,001
VP	0	0,003

Tipo di Veicolo	Velocità del veicolo	Particolato
	km/h	

VE407

G. Castellavazzo - Relazione Tecnica Impianti di Ventilazione

VLD	110	18,000
VP	110	100,000
VLD	10	1,800
VP	10	14,000
VLD	0	0,200
VP	0	2,000

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		 GRUPPO FS ITALIANE
VE407	G. Castellavazzo - Relazione Tecnica Impianti di Ventilazione	

Galleria Castellavazzo

CASO	TRAFFICO	Velocita' km/h	FLUSSO (VE/H, CORSIA)			DENSITA' (VE/km)			INQUINANTE	EMISSIONI TOTALI				PORTATA ARIA
			VLB/h	VLD/h	VP/h	VLB/km	VLD/km	VP/km		VLB	VLD	VP	TOTALE	
A	SCORR	100	451,39	252,78	198,61	6	4,5	1,5	CO (m³/h)	1,75	0,08	0,86	2,68	9,29
B	CONG	10,00	225,69	126,39	99,31	27	20	7	CO (m³/h)	1,603	0,085	1,179	2,868	22,76
C	BLOCC	0,00				69	51	18	CO (m³/h)	1,528	0,063	1,055	2,646	14,70
A	SCORR	100	451,39	252,78	198,61	6	4,5	1,5	FUMI (m²/h)	0,000	77,554	372,815	450,370	50,04
B	CONG	10,00	225,69	126,39	99,31	27	20	7	FUMI (m²/h)	0,000	24,962	724,550	749,512	59,49
C	BLOCC	0,00				69	51	18	FUMI (m²/h)	0,000	7,700	385,990	393,690	24,30
A	SCORR	100	451,39	252,78	198,61	6	4,5	1,5	NOx (m³/h)	0,087	0,051	0,850	0,988	21,96
B	CONG	10,00	225,69	126,39	99,31	27	20	7	NOx (m³/h)	0,023	0,050	1,024	1,098	24,39
C	BLOCC	0,00				69	51	18	NOx (m³/h)	0,040	0,000	1,064	1,105	24,56

SS 51 "Alemagna" Variante di Longarone Progetto Fattibilità Tecnica ed Economica		
VE407	G. Castellavazzo - Relazione Tecnica Impianti di Ventilazione	

4. MISURA DEGLI INQUINANTI

Per il controllo della qualità dell'aria in galleria si prevede l'installazione di anemometri, opacimetri, misuratori di CO ed NO-NO₂. Tali sensori saranno collegati al sistema di regolazione e supervisione degli impianti. In tal modo sarà possibile monitorare costantemente il livello degli inquinanti prodotti dagli autoveicoli e sarà possibile la regolazione automatica degli impianti di ventilazione al fine di garantire gli standard qualitativi atmosferici richiesti dalle raccomandazioni PIARC (Permanent International Associations of Road Congress); Per il rilevamento della velocità e la direzione del flusso d'aria si prevede l'utilizzo di anemometri ad impulsi ad ultrasuoni interfacciati col sistema di controllo tramite le unità I/O della galleria più vicine al punto di installazione dei sensori.

Per la misura di fumi e polveri sospese saranno utilizzati misuratori dell'opacità dell'aria (OP).

L' opacimetro misura in modo continuo il grado di trasparenza dell'aria di una tratta di galleria fino ad una distanza massima di 250 m. Installando in successione più dispositivi è possibile la sorveglianza di gallerie di lunghezza superiore a 500m. Le variazioni del grado di trasparenza dell'aria in galleria vengono prontamente rivelate dall'apparecchio e convertite in un segnale elettrico analogico in uscita.

La misura della trasparenza dell'aria di una galleria è un fattore molto importante, perché la sua analisi permette anche l'individuazione di eventuali incendi. Il grado di visibilità (oppure il suo inverso opacità) è particolarmente adatto per il comando automatico del sistema di ventilazione forzata. Il segnale analogico o digitale in uscita dal dispositivo infatti è proporzionale all'opacità dell'aria e il suo valore può informare direttamente i sistemi di controllo della velocità dei ventilatori consentendo considerevoli risparmi di energia ed una costante ed appropriata pulizia dell'aria da polveri, fumo e gas tossici.

Sono inoltre previsti una serie di strumenti per il controllo dell'atmosfera in galleria costituiti da un sistema integrato di sensori per il rilievo dell'ossido di carbonio dell'ossido di azoto e del biossido di azoto misurati in ppm.

Nello specifico per ciascuna canna della galleria Cernicchiara saranno previsti:

- Una centralina per la misura del CO e dell'OP
- Una centralina per la misura del NO-NO₂ , dell'OP e della temperatura
- Un anemometro per la misura della velocità e della direzione del vento

5. IMPIANTI DI VENTILAZIONE

I dati geometrici della galleria sono i seguenti:

- Flusso veicolare: Bidirezionale
- Lunghezza totale: 1.550 m

- Area della galleria: 80 m²
- Diametro idraulico: 10,09 m
- Densità aria: 1,2 kg/m³
- Altezza media sul livello del mare: 450 m
- Pendenza media della galleria: ± 1,01%

Per ulteriori dati geometrici si faccia riferimento alle Tavole Edili.

Come già accennato, al fine di garantire valori accettabili della qualità dell'aria in galleria, nonché il controllo e la gestione dei fenomeni e dei processi conseguenti all'accadimento di un incendio, è stata prevista l'adozione di un impianto di ventilazione di tipo longitudinale, costituito da coppie di ventilatori assiali (jet-fan) installati sulla volta della galleria.

Tale impianto avrà dunque la doppia funzione di diluizione degli inquinanti prodotti dagli autoveicoli (ventilazione sanitaria) e di confinamento dei fumi prodotti da un eventuale incendio per garantire agli utenti una via di fuga libera dal fumo (ventilazione di emergenza).

Il funzionamento del sistema di ventilazione sarà di tipo automatico:

- In fase di ventilazione sanitaria, apposite sonde per la rilevazione degli inquinanti comanderanno l'azionamento sequenziale delle coppie di jet-fan. Con tale logica di funzionamento sarà possibile modulare il numero di ventilatori in funzione in base alla concentrazione degli inquinanti, ottimizzando in tal modo i consumi energetici.
- In fase di ventilazione di emergenza, il sistema di rilevazione incendi presente in galleria, realizzato tramite cavo termosensibile, comanda l'accensione contemporanea di tutti i ventilatori al fine di raggiungere un'adeguata velocità del flusso d'aria longitudinale per garantire il confinamento ed il convogliamento dei fumi prodotti verso uno dei portali.

Gli acceleratori, previsti completi di silenziatori, saranno del tipo reversibile, per consentire, durante la fase di spegnimento di un eventuale incendio, la possibilità di ingresso alle squadre VVF da qualunque punto di accesso alla canna incidentata.

L'alimentazione dell'impianto verrà garantita dall'energia elettrica prodotta dai gruppi elettrogeni previsti in progetto.

Per il dimensionamento dell'impianto si è proceduto valutando la spinta (quantità di moto del flusso) da fornire, in fase di ventilazione sanitaria, per garantire i volumi d'aria di rinnovo necessari e quella necessaria, in fase di ventilazione di emergenza, per mantenere una velocità longitudinale superiore alla velocità critica.

5.1. Calcolo delle cadute di pressione

I valori delle cadute di pressione necessari per la circolazione dell'aria in base alle 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:

dove:

$$\Delta p = \Delta p_i + \Delta p_R + \Delta p_U \pm \Delta p_A \pm \Delta p_w$$

Con

$$\Delta p_i = \text{perdita all'ingresso} = C_i \frac{1}{2} \rho V_1^2;$$

$$\Delta p_R = \text{perdita per attrito} = (fL/D_h) \frac{1}{2} \rho V_1^2;$$

$$\Delta p_U = \text{perdita all'uscita} = \frac{1}{2} \rho V_1^2;$$

$$\Delta p_A = \text{perdita per resistenza aerodinamica veicoli} = n \cdot 0.4 \cdot L/1000 \cdot 2.3/A_1 \frac{1}{2} \rho V_1^2;$$

$$\Delta p_w = \text{pressione cinetica esercitata dal vento agli imbocchi} = 20 \text{ Pa};$$

f = coefficiente d'attrito 0.015;

L (m) lunghezza della galleria;

D_h (m) diametro idraulico della galleria;

C_i = coefficiente di imbocco = 0.6;

ρ (kg/m^3) = densità dell'aria;

V_1 = velocità dell'aria in galleria;

n (ve/km) = numero di autoveicoli fermi in galleria;

A_1 (mq) = sezione trasversale della galleria.

Per l'effetto del vento si è assunto un valore di sovrappressione sull'imbocco, contrario alla spinta dei ventilatori, pari a 20 Pa, corrispondente ad un vento con velocità di » 25 km/h con verso normale alla sezione di uscita dalle gallerie.

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 le cadute di pressione totali entro la galleria.

5.2. Calcolo del numero dei ventilatori

Negli impianti di ventilazione longitudinale, dopo aver valutato le portate d'aria massime necessarie a mantenere, nelle condizioni più critiche, le concentrazioni degli inquinanti nei limiti massimi previsti, è necessario calcolare la spinta che i ventilatori dovranno impartire per ottenere, nelle diverse condizioni di esercizio, le portate richieste.

La spinta totale ottenibile dai ventilatori risulta pari alla somma della spinta dei singoli ventilatori.

Tale circostanza è valida se viene rispettata una sufficiente spaziatura fra i vari ventilatori in modo da evitare interferenze nocive.

La spinta reale può essere così espressa:

$$F_r = F_0 / (C_1 \times C_2).$$

F_0 = spinta teorica (N);

C_1 = coefficiente correttivo in funzione della velocità dell'aria nella galleria;

C_2 = coefficiente correttivo funzione della posizione del ventilatore nella galleria, della distanza tra i ventilatori nel caso di installazione a coppie e della distanza tra successivi ventilatori.

Il coefficiente C_1 può essere calcolato in funzione della velocità media dell'aria in galleria (V_1) e della velocità di uscita dell'aria dal ventilatore (V_2), con l'espressione:

$$C_1 = 1 - (V_1 / V_2)$$

Il coefficiente C_2 vale, per le condizioni di installazione adottate, 0,7.

5.3. Calcolo della ventilazione in caso di incendio in galleria

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

- *Fase di evacuazione* durante la quale il sistema permetterà la stratificazione dei fumi verso l'alto;
- *Fase di lavaggio* durante la quale si libererà la galleria dai fumi;

La fase di contenimento dei fumi favorisce l'esodo degli utenti rimasti bloccati all'interno della galleria attraverso i portali o attraverso le vie di fuga costituite dai by-pass e/o dalle finestre. La fase di lavaggio della galleria dai fumi è gestita dal personale preposto ed addestrato ad affrontare gli eventi di emergenza. L'impianto di ventilazione, come di seguito riportato, è stato dimensionato per garantire una velocità massima longitudinale di almeno 3,0 m/s, capace, secondo le indicazioni del PIARC, di contenere il fenomeno di *back-layering* dei fumi prodotti dall'incendio di un mezzo pesante (30-100 MW).

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.

In caso d'incendio è opportuno considerare che il focolaio sia situato fra una coppia di ventilatori:

risulta quindi necessario aumentare il numero di ventilatori come suggerito dalla Circolare Interministeriale francese n°2000-63 del 25/8/2000. La metodologia di calcolo suggerita da tale Circolare prevede un incremento forfettario della spinta calcolata del 50%.

Oltre al calcolo della portata d'aria e del numero di ventilatori necessari è altresì necessario calcolare il rialzo termico della temperatura dell'aria in galleria, affinché non si superi un valore tale da compromettere lo stato di operabilità dei ventilatori.

Si rende noto che i ventilatori adottati in progetto sono adatti ad operare, in caso d'emergenza, a 400°C per 120 minuti.

Il rialzo termico è determinato usando la seguente formula:

$$T_f = \frac{E}{\rho \cdot C_p \cdot Q_v} + 290$$

Dove:

E = potenza termica convettiva dell'incendio 30MW (valore ottenuto dai dati forniti dal PIARC)

r = massa volumica dell'aria (kg/m³)

Cp = calore specifico dell'aria (J/kg per K)

290 = fattore di conversione per passare in Kelvin (273 + ambiente)

Introducendo i dati avremo Tf = 440 K (circa 168°C).

5.4. Risultati

Il criterio adottato per il numero di ventilatori, nelle gallerie in cui deve essere previsto l'impianto di ventilazione, è il seguente:

- Valutazione del numero di ventilatori per diluizione inquinanti;
- Valutazione del numero di ventilatori per controllo incendio ed evacuazione fumi;
- Confronto tra i due risultati;

Galleria Castellavazzo

Lunghezza galleria 1550 m		Modalità	
		Diluizione inquinanti	Incendio
Portata aria massima	mc/s	60,00	240
Velocità aria corrispondente	m/s	0,75	3
Perdite di carico	Pa	1,84	29,44
Perdite dovute al vento	Pa	20,00	20,00
Perdite totali	Pa	21,84	49,44
Spinta teorica	N	1747,2	3956
C1	-	0,97	0,92
C2	-	0,70	0,7
Spinta reale	N	2573,2	6142
Spinta ventilatore	N	1400	1400
Numero Ventilatori	n°	1,94	4,38
N. Ventilatori in progetto	n°	6	

Si conclude, pertanto, con la scelta di n. 6 ventilatori con spinta nominale di 1400 N tutti installati lato Venezia (lato prossimo al locale tecnico). Di tali 6 ventilatori uno può essere considerato, per sicurezza, fermo per guasto o manutenzione.

E' chiaro che il margine esistente per il controllo degli inquinanti è notevole poiché, mediante il controllo automatico, è possibile regolare le portate di ventilazione fino ad un massimo equivalente ad una situazione di incendio (240 mc/s) ed avendo ancora, in tale caso, una riserva residua di spinta di un ulteriore del 44%.

I dati dei ventilatori scelti sono i seguenti:

- resistenza alla temperatura: 400° C per 2h;
- spinta nominale: 1400 N (in campo libero);
- velocità uscita: 31,6 m/s;
- diametro nominale: ≥ 1.250 mm;
- diametro esterno massimo: ≤ 1.450 mm;
- lunghezza totale: ≤ 3.450 mm;
- potenza nominale: 38 kW;
- velocità nominale: 1.500 rpm;

Accessoriati con:

- sensore vibrazioni con uscita 4 - 20 mA;
- sistema controllo orizzontalità e cedimento con microswitch;
- grado di protezione minimo IP55;
- sistema di sospensione con profili in acciaio inox AISI 316L;
- bulloni d'ancoraggio AISI 316L ad espansione o fiss. chimico, con carico non inferiore a 3.000 kg;
- sistema di sicurezza con fune di acciaio AISI 316L

5.5. Ventilazione dei collegamenti pedonali

Saranno realizzati quattro collegamenti pedonali tra la galleria e la galleria di emergenza pedonale. Questi avranno tutte le caratteristiche idonee per essere adibiti a via di fuga protetta o a luogo sicuro temporaneo e la galleria di emergenza sarà considerata luogo sicuro dinamico.

Lo spazio racchiuso tra le due porte di accesso avrà caratteristiche di filtro a prova di fumo, mantenuto in sovrappressione da un idoneo impianto di ventilazione.

Tale impianto garantirà le seguenti modalità di funzionamento:

- in esercizio, assicurerà sia la condizione di sovrappressione sia le condizioni termoisometriche che non consentano la formazione di muffe;
- in emergenza per gli utenti, assicurerà la sovrappressione del locale in modo da impedire l'ingresso dei fumi neanche a porte aperte;
- in emergenza per gli addetti al soccorso ed allo spegnimento, garantirà una velocità media del flusso sufficiente a consentire l'accesso alla canna incidentata.

L'alimentazione dell'impianto verrà garantita dall'energia elettrica prodotta dal gruppo elettrogeno. Il sistema di comando e controllo dell'impianto, così come l'impianto d'illuminazione del collegamento pedonale, invece, saranno alimentati dall'energia elettrica di sicurezza.

L'impianto di pressurizzazione di ciascun collegamento pedonale sarà costituito da un ventilatore assiale e una serranda di sovrappressione. Ciascun elemento sarà dotato di serranda tagliafuoco del tipo a magnete di sgancio e riarmo manuale attivate dal sistema di rilevazione incendi.

Le serrande di sovrappressione sono opportunamente dimensionate in modo da contenere un differenziale di pressione fra interno ed esterno del luogo sicuro di circa 50Pa permettendo così l'agevole apertura delle porte da parte degli utenti.

I ventilatori saranno alimentati tramite inverter; ciò, grazie all'ausilio di sonde di pressione differenziale, consentirà un controllo costante del valore della sovrappressione del cunicolo in ogni possibile scenario di funzionamento.

In caso d'incendio i ventilatori situati sulla parete verso la galleria di emergenza verranno automaticamente alimentati così da immettere aria all'interno dei by-pass pedonali.

Questa aria manterrà il by-pass in sovrappressione, rispetto la galleria principale.

Ciascun ventilatore è dimensionato per garantire una velocità massima attraverso i varchi di accesso superiore a 2m/s. In fase di spegnimento sarà possibile per le squadre VVF, tramite apposita pulsantiera in prossimità degli accessi al collegamento, bypassare l'inverter di alimentazione dei ventilatori per far funzionare quest'ultimo costantemente alla massima portata.

Considerando l'area delle porte di accesso, pari a $2,5 \text{ m}^2$, il ventilatore dovrà essere in grado di elaborare una portata d'aria di $5 \text{ m}^3/\text{s}$. In virtù delle ridotte velocità dell'aria in galleria e nel cunicolo di bypass le perdite di carico distribuite sono stimabili in 80 Pa. Le perdite di carico generate dalle serrande accoppiate a ciascun ventilatore sono:

- Perdite di carico dovute alla serranda tagliafuoco: 50 Pa
- Perdite di carico dovute alla serranda di non ritorno: 120 Pa

Il ventilatore dovrà quindi essere in grado di elaborare una portata di $5 \text{ m}^3/\text{s}$ con una prevalenza statica utile di 250 Pa.

Per garantire, in caso di emergenza, che la galleria di emergenza sia in sovrappressione, a sua volta, rispetto ai filtri a prova di fumo, occorre prevedere un ventilatore in corrispondenza di ciascuna porta lato Venezia e lato Cortina, dello stesso tipo di quelli installati nei filtri.

Tali ventilatori dovranno trattare tutta l'aria necessaria ai quattro ventilatori VC1 dei by-pass e in più mantenere la galleria di emergenza ad una pressione maggiore rispetto ai by-pass.

La portata massima di aria esterna, nel caso peggiore di tutti e quattro ventilatori dei by-pass in funzione, è pari a $20 \text{ m}^3/\text{s}$ che comporta una velocità di ingresso attraverso le porte di circa 1,2 m/s nel caso di una distribuzione a metà del flusso tra le due porte esterne.

Per tali motivi il ventilatore VC2C, installato sulla porta lato Cortina, e VC2V sull'altra porta, dovranno avere una portata nominale di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ cadauno ed una prevalenza utile non minore di 100 Pa.

In condizioni ordinarie i ventilatori dei by-pass VC1n e delle porte VC2n manterranno i ricambi necessari ad evitare la formazione di muffe ed alle altre condizioni igienico sanitarie: $0,5 - 1 \text{ vol/h}$ corrispondenti a $34 - 68 \text{ m}^3/\text{h}$ per ogni by-pass ($4 \times 68 = 274 \text{ m}^3/\text{h}$) oltre al volume della galleria di emergenza pari a circa 11.396 m^3 : per un totale di circa $274 + 11.396 = 11.670 \text{ m}^3/\text{h}$ corrispondenti a $3,24 \text{ m}^3/\text{s}$. L'aria nuova, prelevata dall'esterno attraverso i due ventilatori VC2, attraverserà la galleria di emergenza ed i quattro by-pass ed infine verrà immessa nella galleria principale.

Tale circolazione gioverà altresì anche alle condizioni igienico sanitarie della galleria di emergenza.