

S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A25111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfilì</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p>MORENO PANFILI SETTORE CIVILE E AMBIENTALE SETTORE INDUSTRIALE SETTORE INFORMATICA</p>	<p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>engeko</p> <p>(Mandante)</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>	<p><i>Ing. Claudio Müller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p>(Mandante)</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> <p>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>

IMPIANTI TECNOLOGICI

Elaborati generali

Calcolo della ventilazione

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00IM00IMPRE05_A		
DPAN247	D	22	CODICE ELAB. T00IM00IMPRE05	A	-
D					
C					
B					
A	Emissione		Ottobre '21	Salvi	Panfilì
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

INDICE

1. OGGETTO DELLA RELAZIONE	3
2. NORME DI RIFERIMENTO	3
3. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO.....	3
3.1. OBIETTIVO	3
3.2. SCELTA DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE	4
4. VENTILAZIONE SANITARIA.....	4
4.1. VENTILAZIONE IN CONDIZIONI ORDINARIE O CONGESTIONATE	4
<i>Inquinanti</i>	4
4.1.1. Calcolo della portata di aria di rinnovo	4
4.1.2. Calcolo degli inquinanti generati dal traffico	5
4.1.3. Traffico e dati della galleria	5
4.1.3.1. Composizione del traffico	5
4.1.3.2. Numero di automezzi in galleria	6
4.2. VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI.....	6
4.2.1. Valori massimi ammessi degli inquinanti	7
4.2.2. Determinazione dell'entità delle emissioni inquinanti	7
4.2.2.1. Generalità	7
4.2.2.2. Numero di veicoli.....	7
4.2.2.3. Valutazione dell'effettiva emissione di inquinanti.....	8
4.2.2.4. Fattore anzianità del veicolo o fattore tempo	8
4.2.2.5. Fattore di massa.....	8
4.2.2.6. Fattore altitudine	8
4.2.2.7. Emissioni di particolato non emesse dagli scappamenti	9
4.3. VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI.....	9
4.3.1. Dati del traffico sull'arteria in esame	9
4.3.2. Dati geometrici delle gallerie presenti sull'arteria	9
4.3.3. Combinazioni di traffico considerate.....	10
4.3.4. Galleria Il Monte.....	10
4.3.4.1. Traffico fluido	10
4.3.4.2. Traffico congestionato	11
4.3.4.3. Traffico fermo	12
4.3.4.4. Valore della portata d'aria di rinnovo.....	13
4.3.4.5. Numero di ventilatori necessari.....	13
4.3.5. Gallerie Urbania 1, Urbania 2, Urbania 3	15
5. VENTILAZIONE IN CASO DI INCENDIO	15
5.1. OBIETTIVI.....	15
5.2. PORTA D'ARIA IN CASO DI INCENDIO	15
5.3. RIALZO TERMICO.....	16

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

5.4.	PERDITE DI CARICO	16
5.4.1.	<i>Effetto camino</i>	16
5.4.2.	<i>Resistenza della galleria</i>	17
5.4.3.	<i>Effetto pistone</i>	17
5.4.4.	<i>Effetto meteorologico</i>	18
5.4.5.	<i>Calcolo del numero di ventilatori</i>	18
6.	<u>PRESSURIZZAZIONE FILTRI</u>	19
6.1.	INTRODUZIONE	19
6.2.	REQUISITI DELL'IMPIANTO.....	20
6.3.	DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO VENTILAZIONE FILTRI.....	20
6.3.1.	<i>Filtro con porte chiuse</i>	21
6.3.2.	<i>Filtro con una porta aperta (evacuazione utenti)</i>	22
6.3.3.	<i>Filtro con una porta aperta (intervento VVF)</i>	22
6.3.4.	<i>Ventilazione filtro e considerazioni</i>	22
6.3.5.	<i>Caratteristiche del ventilatore di pressurizzazione</i>	22
6.3.6.	<i>Principio di funzionamento</i>	23

PROGETTAZIONE ATI:

1. OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione illustra i calcoli effettuati per il dimensionamento degli impianti di ventilazione a servizio delle gallerie

Ogni eventuale riferimento nei calcoli ad apparecchiature specifiche di case costruttrici è presente solo al fine di stabilire il raggiungimento delle prestazioni richieste con apparecchiature presenti sul mercato; resta facoltà dell'appaltatore scegliere apparecchiature di sua preferenza, purché vengano garantite le prestazioni richieste e dimostrate nei calcoli.

2. NORME DI RIFERIMENTO

Sono di particolare rilevanza per gli impianti oggetto del presente progetto le seguenti norme di riferimento:

- Direttiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004 relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea e sua successiva rettifica;
- Decreto Legislativo n.264 del 5 ottobre 2006 della Repubblica Italiana “Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea”;
- D.M. 3 agosto 2015 “Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139” e s.m.i.;
- Circolare n. 7938 del 6 dicembre 1999 emanata del Ministero dei Lavori Pubblici;
- Raccomandazioni PIARC 05.16.B/2007 “Fire smoke control in road tunnels”;
- Raccomandazioni PIARC 2019R02 “Road tunnels: vehicle emissions and air demand for ventilation”;
- Linee guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, edizione ottobre 2009.

3. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO

3.1. OBIETTIVO

Gli obiettivi assegnati all'impianto di ventilazione di una galleria sono:

- il benessere delle persone presenti (ventilazione sanitaria);
- la sicurezza contro il rischio di incendio (ventilazione di emergenza).

La ventilazione sanitaria è preposta a:

- diluire gli inquinanti emessi dagli autoveicoli in ogni regime di traffico;
- diluire gli inquinanti emessi dagli autoveicoli in caso di arresto del traffico, conseguente all'accadimento di un incidente non rilevante.

Essa deve mantenere la concentrazione degli inquinanti all'interno del tunnel a livelli tali da non compromettere la visibilità e contenere le concentrazioni di inquinanti assunta dagli utenti entro limiti tollerabili.

La ventilazione di emergenza è preposta a:

PROGETTAZIONE ATI:

- disperdere l'energia termica generata dal focolaio di incendio;
- gestire e controllare il moto dei fumi;
- diluire le sostanze tossiche ed infiammabili.

Essa deve garantire l'esodo in sicurezza degli utenti e facilitare le operazioni di soccorso e di spegnimento, nonché prevenire la formazione di miscele esplosive nel corso di un evento di sversamento.

3.2. SCELTA DEL SISTEMA DI VENTILAZIONE

Per gallerie a singola canna e traffico bidirezionale, può essere utilizzato un sistema di ventilazione longitudinale fino a lunghezze pari a 1.500 m; poiché le gallerie in oggetto hanno una lunghezza inferiore a 1.000 m, si adotterà una ventilazione di tipo longitudinale.

4. VENTILAZIONE SANITARIA

4.1. VENTILAZIONE IN CONDIZIONI ORDINARIE O CONGESTIONATE

Le caratteristiche della ventilazione in caso di traffico ordinario o congestionato è stabilito valutando il volume di aria fresca richiesto per diluire le emissioni dei veicoli in modo che gli inquinanti rientrino nei limiti ammessi.

INQUINANTI

Le emissioni di monossido di carbonio (CO), particolato e di ossidi di azoto (NO_x) – questi ultimi quale somma di ossido di azoto NO e biossido di azoto NO₂ - sono considerate le emissioni di riferimento dei motori a combustione interna per il progetto della ventilazione in galleria.

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, il monossido NO non è un inquinante pericoloso alle concentrazioni comunemente incontrate; di contro il biossido di azoto NO₂ è fastidioso e può irritare i polmoni ed abbassare la resistenza alle infezioni respiratorie. In generale, l'incidenza del biossido sul totale degli ossidi di azoto è del 20%.

Per valutare le caratteristiche del sistema di ventilazione, sono esaminate varie condizioni di traffico; questa metodologia include situazioni ordinarie basate sulla densità di traffico di progetto e situazioni di traffico congestionato.

Le emissioni dei veicoli mutano in funzione della velocità del veicolo, della pendenza della strada, dell'interdistanza fra gli automezzi, che varia anch'essa in funzione della velocità di marcia.

Ad ogni modo, il controllo del sistema di ventilazione è correlato a valori di soglia indipendenti dalle condizioni del traffico; questi valori sono normalmente inferiori dei limiti di concentrazione ammissibili, in modo che la ventilazione intervenga prima che gli inquinanti possano eccedere quelli massimi consentiti. Questa accortezza consente di impedire che i limiti vengano superati anche considerando il tempo di reazione dei sistemi al mutare delle condizioni del traffico.

In casi eccezionali, deve essere presa in considerazione la chiusura della galleria qualora vengano raggiunti valori che non debbano essere mai superati.

4.1.1. CALCOLO DELLA PORTATA DI ARIA DI RINNOVO

La portata d'aria di rinnovo, necessaria per diluire gli inquinanti prima introdotti, è determinata in base all'ammissibile incremento delle concentrazioni lungo il tragitto dell'aria in galleria; infatti, l'aria esterna di rinnovo, che contiene le concentrazioni di inquinanti dell'ambiente circostante, scorre all'interno del fornice aumentando le concentrazioni degli inquinanti a causa delle emissioni

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

provenienti dagli scappamenti dei veicoli. Pertanto, l'aria deve essere diluita all'interno della galleria prima di raggiungere le soglie massime ammesse.

La portata d'aria necessaria è calcolata semplicemente dividendo il tasso di generazione di ciascun inquinante per l'aumento ammesso di concentrazione dello stesso nell'aria.; questa correlazione è definita dalla seguente equazione:

$$Q = \frac{G_{tun}}{C_{amm} - C_{amb}}$$

dove:

Q è la portata di aria di rinnovo richiesta [m^3/s],

G_{tun} è la generazione di inquinante considerato lungo il fornice in [g/s] per i gas, in [m^2/s] per la visibilità,

C_{amm} è il livello di concentrazione ammesso in [g/m^3] per i gas, in [m^{-1}] per la visibilità,

C_{amb} è la concentrazione di inquinanti presenti nell'aria circostante la galleria in [g/m^3] per i gas, in [m^{-1}] per la visibilità.

4.1.2. CALCOLO DEGLI INQUINANTI GENERATI DAL TRAFFICO

La quantità di inquinanti emessi da un veicolo stradale è funzione del tipo di veicolo, del traffico, delle condizioni di guida e, nel caso del particolato, delle condizioni del manto stradale; la loro determinazione è indispensabile per determinare l'ammontare degli inquinanti presenti in galleria e, di conseguenza, la portata di aria di rinnovo necessaria per la loro diluzione entro limiti accettabili.

I fattori che influenzano il rilascio degli inquinanti sono:

- il numero ed il tipo di veicolo (automobili, veicoli commerciali, mezzi pesanti);
- lo standard di emissioni rispettato;
- la velocità del mezzo, che tiene conto del traffico fluido o congestionato;
- la pendenza della strada;
- altri parametri che possano influenzare la potenza necessaria per la marcia del mezzo.

I dati di emissione dei singoli veicoli sono stati determinati sulla base dei dati dell'anno 2018. A seguito del continuo rinnovamento della flotta dei mezzi circolanti, e della progressiva riduzione delle emissioni inquinanti, saranno presi in considerazione dei coefficienti di riduzione in relazione all'anno di entrata in servizio dell'arteria stradale.

L'emissione totale è determinata sommando le emissioni delle singole tipologie di veicolo, in base ad una distribuzione dell'età dei veicoli che compongono la flotta circolante.

4.1.3. TRAFFICO E DATI DELLA GALLERIA

4.1.3.1. Composizione del traffico

Per la valutazione del traffico, è necessario ripartire la flotta dei veicoli in tre gruppi rilevanti: automobili (PC), veicoli commerciali (LCV), mezzi pesanti (HGV).

Le automobili possono avere motori a benzina o diesel; si precisa che le emissioni provenienti da auto elettriche o alimentate con combustibili differenti non saranno prese in considerazione.

I veicoli commerciali sono quelli di peso fino a 3,5 t.

PROGETTAZIONE ATI:

I mezzi pesanti comprendono camion, autobus e TIR. La loro emissione è calibrata come valore medio delle possibili combinazioni; i fattori dipendenti dal loro peso distingue fra camion leggeri (15 t) e autoarticolati (32 t). Gli autobus sono assimilati a camion leggeri.

4.1.3.2. Numero di automezzi in galleria

Per determinare il numero di automezzi in galleria, si utilizza come unità di misura il numero di automobili (PCU). Un'automobile corrisponde, ovviamente, a un'unità (1 PCU); per convertire un mezzo pesante in PCU, si può assumere che questo occupi lo spazio di due automobili in traffico fluido e tre con traffico congestionato, oltre che in salita. Nota la frazione di mezzi pesanti presenti nel traffico, risulta:

$$n_{PCU} = (1 - a_{HGV}) * n_{vei} + a_{HGV} * f_{HGV} * n_{vei}$$

dove:

n_{PCU} numero di PCU

a_{HGV} frazione di mezzi pesanti nel traffico circolante

n_{vei} è il numero totale di mezzi circolanti

f_{HGV} numero di PCU per mezzo pesante, che vale 3 per velocità fino a 10 km/h, mentre vale 2 per velocità superiori.

La densità di automezzi per corsia e per km, D, è data da:

$$D_{PCU} = D_{vei} * [(1 - a_{HGV}) + a_{HGV} * f_{HGV}]$$

dove:

D_{PCU} numero di PCU al chilometro

D_{vei} numero di veicoli al chilometro.

In assenza di dati di traffico calzati sulla strada in progetto, per determinare il numero di automezzi presenti in galleria, si adottano i valori suggeriti nella tabella 1 della pubblicazione PIARC prima citata per gallerie extraurbane e traffico bidirezionale riassunti di seguito.

Condizioni del traffico	Velocità di riferimento [km/h]	Densità massima [PCU/km]	Flusso massimo per corsia [PCU/h]
Traffico fluido	60	23	1400
Traffico congestionato	10	60	600
Traffico fermo	0	150	-

4.2. VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI

Per valutare le emissioni inquinanti rilasciate dagli scappamenti dei veicoli a motore, si tiene in conto che il parco circolante in Italia è sottoposto ai limiti di rilascio determinati dalla legislazione applicata all'intera Comunità Europea.

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

La ripartizione media dei veicoli tra le varie categorie considerata dalla banca dati PIARC, applicabile per una tipica distribuzione nei paesi della Comunità Europea è riportata nella seguente tabella.

Categoria veicolo	Anno di riferimento	Pre EU1	EU1	EU2	EU3	EU4	EU5	EU6
Automobile a benzina	2018	2,2%	2,3%	2,6%	2,1%	17,0%	35,7%	38,2%
Automobile diesel		0,2%	1,3%	2,2%	5,9%	16,8%	36,0%	37,5%
Veicolo commerciale a benzina		5,7%	3,3%	2,4%	4,3%	15,9%	29,7%	38,9%
Veicolo commerciale diesel		1,7%	1,7%	3,0%	8,3%	20,5%	33,6%	31,1%
Mezzo pesante diesel		0,8%	0,6%	1,6%	4,9%	3,1%	29,2%	59,8%

4.2.1. VALORI MASSIMI AMMESSI DEGLI INQUINANTI

I valori limite adottati in progetto per i diversi inquinanti sono riportati di seguito:

- monossido di carbonio 70 ppm
- ossidi di azoto NO₂ 1 ppm
- particolato e fumi:
 - con traffico fluido 0,005 m⁻¹
 - con traffico congestionato 0,007 m⁻¹
 - con traffico fermo 0,009 m⁻¹.

4.2.2. DETERMINAZIONE DELL'ENTITÀ DELLE EMISSIONI INQUINANTI

4.2.2.1. Generalità

Il calcolo dell'ammontare delle emissioni rilasciate in galleria dai veicoli transitanti si ottiene a partire dai valori di emissione moltiplicati per i fattori che li influenzano e per il numero di veicoli.

Dunque, l'emissione totale in una galleria è calcolata sommando le emissioni di ciascuna corsia; quest'ultima, a sua volta, può essere la somma delle emissioni valutate in sezioni della galleria stessa a pendenza costante.

4.2.2.2. Numero di veicoli

Il numero di veicoli da prendere in considerazione per ciascuna categoria in cui è suddiviso è dato da:

$$n_{cat} = D * L_{sez} * a_{cat}$$

dove

PROGETTAZIONE ATI:

- n_{cat} è il numero di veicoli di una specifica categoria
 D è la densità del traffico
 L_{sez} è la lunghezza della sezione della galleria
 a_{cat} è la frazione dei veicoli considerati sul traffico totale.

La densità del traffico è data dal rapporto tra il flusso di traffico q [vei/h] e la velocità [km/h], ossia:

$$D = q / v.$$

4.2.2.3. Valutazione dell'effettiva emissione di inquinanti

Le emissioni di ciascuna categoria di veicoli dipende dal carburante, velocità del traffico, pendenza, età della flotta circolante, anno di entrata in servizio dell'infrastruttura ed altitudine, con possibile dipendenza da altri fattori quali il peso dell'automezzo ed il tipo di inquinante considerato.

La procedura di calcolo dell'emissione effettiva inizia con la selezione dell'emissione base nella banca dati fornita dalla pubblicazione PIARC già citata sulla scorta della velocità del traffico e della pendenza della strada; gli effetti del tempo, del peso del veicolo e dell'altitudine sono tenuti in conto per mezzo di appositi coefficienti. Per il calcolo del particolato, si aggiunge anche l'emissione di particolato non emesso dagli scappamenti.

Pertanto, la forma generale del calcolo dell'emissione effettiva è:

$$g_{eff} = g_{cat} * f_{av} * f_m * f_a + g_{nex}$$

dove

- g_{eff} emissioni effettive
 g_{cat} emissione base per la categoria di veicoli considerata
 f_{av} fattore anzianità veicolo
 f_m fattore massa veicolo
 f_a fattore altitudine
 g_{nex} emissioni di particolato non derivanti dallo scappamento dei veicoli (rilevante solo per il calcolo del particolato, nullo per gli altri inquinanti).

4.2.2.4. Fattore anzianità del veicolo o fattore tempo

La banca dati delle emissioni redatta dal PIARC è stata valutata nell'anno 2018; pertanto, il suo utilizzo in progetti futuri, come quello in esame, deve considerare un fattore tempo f_{av} ; questo fattore tiene conto del tasso di rinnovamento della flotta circolante, costruiti secondo regolamenti più stringenti in termini di emissioni, da un lato, del degrado del sistema di scappamento durante la vita dei veicoli.

4.2.2.5. Fattore di massa

Le emissioni dei mezzi pesanti, come già affermato, dipendono dalla massa degli stessi; i valori presenti nella banca dati PIARC si riferiscono ad una composizione media degli stessi e con una massa di riferimento di 23 t; laddove la massa dei veicoli circolanti fosse maggiore o minore, occorre applicare il fattore di massa f_m per tener conto di questa circostanza.

4.2.2.6. Fattore altitudine

L'altitudine influenza le emissioni in base al diverso tipo di motore; pertanto, occorre tener conto del fattore altitudine f_a per valutare in modo conservativo l'influenza della quota della strada sul livello del mare.

PROGETTAZIONE ATI:

4.2.2.7. Emissioni di particolato non emesse dagli scappamenti

Il particolato può essere immesso nelle gallerie tramite i freni, l'abrasione degli pneumatici o il sollevamento della polvere presente sul manto stradale; il suo contributo viene trattato come emissione addizionale dei veicoli.

4.3. VALUTAZIONE DELLE EMISSIONI INQUINANTI

4.3.1. DATI DEL TRAFFICO SULL'ARTERIA IN ESAME

Sulla scorta della relazione di progetto per la Valutazione Impatti Sicurezza Stradale (VISS), si può desumere dal par 2.5 Individuazione dei volumi e delle tipologie di traffico, che, sulla base dei dati di traffico disponibili, è stato adottato un valore di TGM pari a 11.000 veicoli equivalenti al giorno, con una percentuale di incidenza dei veicoli pesanti pari a 6,35%.

Non avendo altre informazioni a riguardo di tutte le categorie di veicoli da considerare nel calcolo dell'emissione di inquinanti in galleria, ci si attiene ai dati nazionali di composizione dei veicoli immatricolati in Italia su fonte ACI.

Pertanto, incrociando i dati di traffico misurati con i dati relativi al parco circolante in Italia, si può comporre la seguente ripartizione a_{cat} tra le varie categorie di veicoli prima introdotte:

- Automobili benzina 52,4%
- Automobili diesel 41,2%
- Veicoli commerciali a benzina 0,4%
- Veicoli commerciali diesel 4,7%
- Mezzi pesanti 1,3%

4.3.2. DATI GEOMETRICI DELLE GALLERIE PRESENTI SULL'ARTERIA

Nel tratto dell'adeguamento della variante di Urbania, sono presenti quattro gallerie bidirezionali, con una corsia per senso di marcia:

- galleria Il Monte, di lunghezza 774 m;
- galleria Urbania 1, di lunghezza 707 m;
- galleria Urbania 2, di lunghezza 762 m;
- galleria Urbania 3, di lunghezza 690 m.

La galleria Il Monte ha andamento praticamente rettilineo con pendenza costante. L'imbocco lato SS 73 bis si trova a quota di progetto 314 m s.l.m., mentre l'imbocco lato SP 4 Metaurenze si trova a quota di progetto 307 m s.l.m.; pertanto, la pendenza è 0,90%.

La galleria Urbania 1 ha anch'essa andamento praticamente rettilineo con pendenza costante. L'imbocco lato SS 73 bis si trova a quota di progetto 308 m s.l.m., mentre l'imbocco lato SP 4 Metaurenze si trova a quota di progetto 314 m s.l.m.; pertanto, la pendenza è 0,85%.

La galleria Urbania 2 ha ancora andamento praticamente rettilineo con pendenza costante. L'imbocco lato SS 73 bis si trova a quota di progetto 313 m s.l.m., mentre l'imbocco lato SP 4 Metaurenze si trova a quota di progetto 302 m s.l.m.; pertanto, la pendenza è 1,44%.

La galleria Urbania 3 ha sempre andamento praticamente rettilineo, ma la presenta nel suo sviluppo due pendenze diverse. L'imbocco lato SS 73 bis si trova a quota di progetto 310 m s.l.m., mentre l'imbocco lato SP 4 Metaurenze si trova a quota di progetto 302 m s.l.m.; in posizione intermedia della galleria, a 190 m dall'imbocco lato SS73 bis e, quindi, a 500 m dall'altro imbocco, si trova un punto di flesso a quota 312 m s.l.m. Pertanto, la prima sezione della galleria presenta una pendenza dello 1,05%, mentre la seconda sezione presenta una pendenza opposta del 2,00%

PROGETTAZIONE ATI:

4.3.3. COMBINAZIONI DI TRAFFICO CONSIDERATE

Per ciascuna delle gallerie saranno valutate tre situazioni di traffico:

1. Traffico fluido alla velocità di 60 km/h in entrambe le direzioni, con flusso pari al massimo in salita e flusso in discesa pari a 2/3 di quello massimo;
2. Traffico congestionato, con flusso pari al massimo in salita alla velocità di 10 km/h e flusso in discesa fluido a 60 km/h pari a 2/3 di quello massimo;
3. Traffico fermo in entrambe le direzioni con la massima densità.

Lo scenario temporale ipotizzato per l'entrata in servizio delle gallerie è l'anno 2025.

I mezzi pesanti circolanti saranno valutati che abbiano una massa di 15 t.

Poiché tutte le gallerie sono situate ad un'altitudine di poco superiore ai 300 m s.l.m., questa non influenza le emissioni dei veicoli.

4.3.4. GALLERIA IL MONTE

4.3.4.1. Traffico fluido

Le emissioni base per le varie categorie di veicoli ed i vari inquinanti sono riassunti nella seguente tabella.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	21,40	4,28	0,35	15,51	3,00	0,25
Automobili diesel	1,96	28,99	3,25	1,38	19,67	2,42
Veicoli commerciali a benzina	80,33	9,66	0,44	64,85	5,52	0,25
Veicoli commerciali diesel	2,37	27,23	6,49	1,88	14,21	4,97
Mezzi pesanti	43,18	149,50	11,55	26,60	89,52	7,49
Particolato non emesso PC e LCV			6,70			6,70
Particolato non emesso HV			30,30			30,30
Fattore tempo 2025 PC benzina	0,78	0,62	0,95	0,78	0,62	0,95
Fattore tempo 2025 PC diesel	0,8	0,51	0,44	0,8	0,51	0,44
Fattore tempo 2025 LCV benzina	0,57	0,32	0,82	0,57	0,32	0,82
Fattore tempo 2025 LCV diesel	0,43	0,49	0,38	0,43	0,49	0,38
Fattore tempo 2025 HV diesel	0,76	0,34	0,92	0,76	0,34	0,92

Nelle ipotesi di traffico considerate, la corsia in discesa prevede $1400 * 2 / 3 = 933$ veicoli/h; il numero di mezzi da presenti in galleria per ogni categoria in discesa risulta:

- Automobili benzina $933 / 60 * 0,774 * 0,524 = 6,2$ veicoli
- Automobili diesel $933 / 60 * 0,774 * 0,412 = 4,9$ veicoli
- Veicoli commerciali benzina $933 / 60 * 0,774 * 0,004 = 0,05$ veicoli
- Veicoli commerciali diesel $933 / 60 * 0,774 * 0,047 = 0,56$ veicoli
- Mezzi pesanti $933 / 60 * 0,774 * 0,013 = 0,15$ veicoli.

Nelle ipotesi di traffico considerate, la corsia in salita prevede 1400 veicoli/h; il numero di mezzi da presenti in galleria per ogni categoria in discesa risulta:

- Automobili benzina $1400 / 60 * 0,774 * 0,524 = 9,3$ veicoli
- Automobili diesel $1400 / 60 * 0,774 * 0,412 = 7,3$ veicoli
- Veicoli commerciali benzina $1400 / 60 * 0,774 * 0,004 = 0,07$ veicoli
- Veicoli commerciali diesel $1400 / 60 * 0,774 * 0,047 = 0,84$ veicoli
- Mezzi pesanti $1400 / 60 * 0,774 * 0,013 = 0,23$ veicoli.

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

A questo punto è possibile determinare le emissioni totali per ciascun inquinante, come da tabella seguente.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	155,67	24,72	62,43	75,21	11,55	41,03
Automobili diesel	11,50	108,42	32,11	5,40	49,04	19,61
Veicoli commerciali a benzina	3,26	0,22	0,42	1,75	0,08	0,27
Veicoli commerciali diesel	0,85	11,16	4,19	0,45	3,88	2,47
Mezzi pesanti	7,59	11,76	8,91	3,12	4,70	5,36
TOTALI PARZIALI PER CORSIA	178,88	156,29	108,06	85,93	69,25	68,75
TOTALE GALLERIA	264,81	225,54	176,81			

Tenuto conto che la densità dell'aria è pari a 1,2 kg/m³, è possibile trasformare i limiti di concentrazione espressi in ppm in g/m³; quindi, il limite di CO di 70 ppm equivale a 0,084 g CO / m³, mentre il limite di NO₂ di 1 ppm diviene 0,0012 g NO₂ / m³.

Trascurando i valori di concentrazione in ambiente degli inquinanti, la necessità di aria di rinnovo per la diluizione di ciascun inquinante ammonta a:

$$Q_{CO} = 264,81\text{g/h} / 0,084 \text{ g CO} / \text{m}^3 / 3600\text{s/h} = 0,88 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{NO_2} = 225,54\text{g/h} * 0,2 / 0,0012 \text{ g NO}_2 / \text{m}^3 / 3600\text{s/h} = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{OP} = 176,81\text{m}^2/\text{h} / 0,005 \text{ m}^{-1} \text{ OP} / 3600\text{s/h} = 9,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.4.2. Traffico congestionato

Le emissioni base per le varie categorie di veicoli ed i vari inquinanti sono riassunti nella seguente tabella.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	11,45	1,94	0,15	15,51	3,00	0,25
Automobili diesel	1,39	13,24	1,55	1,38	19,67	2,42
Veicoli commerciali a benzina	47,62	3,81	0,10	64,85	5,52	0,25
Veicoli commerciali diesel	1,55	10,04	2,74	1,88	14,21	4,97
Mezzi pesanti	22,49	89,29	6,66	26,60	89,52	7,49
Particolato non emesso			1,10			6,70
Particolato non emesso HV			5,10			30,30
Fattore tempo 2025 PC benzina	0,78	0,62	0,95	0,78	0,62	0,95
Fattore tempo 2025 PC diesel	0,8	0,51	0,44	0,8	0,51	0,44
Fattore tempo 2025 LCV benzina	0,57	0,32	0,82	0,57	0,32	0,82
Fattore tempo 2025 LCV diesel	0,43	0,49	0,38	0,43	0,49	0,38
Fattore tempo 2025 HV diesel	0,76	0,34	0,92	0,76	0,34	0,92

Nelle ipotesi di traffico considerate, la corsia in discesa prevede lo stesso traffico del caso precedente.

La corsia in salita prevede 600 veicoli/h; il numero di mezzi da presenti in galleria per ogni categoria in discesa risulta:

- Automobili benzina $600 / 10 * 0,774 * 0,524 = 24,3$ veicoli
- Automobili diesel $600 / 10 * 0,774 * 0,412 = 19,1$ veicoli

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- Veicoli commerciali benzina $600 / 10 * 0,774 * 0,004 = 0,19$ veicoli
- Veicoli commerciali diesel $600 / 10 * 0,774 * 0,047 = 2,18$ veicoli
- Mezzi pesanti $600 / 10 * 0,774 * 0,013 = 0,60$ veicoli.

A questo punto è possibile determinare le emissioni totali per ciascun inquinante, come da tabella seguente.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	217,33	29,19	28,78	75,21	11,55	41,03
Automobili diesel	21,28	129,15	22,27	5,40	49,04	19,61
Veicoli commerciali a benzina	5,04	0,23	0,18	1,75	0,08	0,27
Veicoli commerciali diesel	1,45	10,73	3,18	0,45	3,88	2,47
Mezzi pesanti	10,32	18,33	6,53	3,12	4,70	5,36
TOTALI PARZIALI PER CORSIA	255,42	187,63	60,94	85,93	69,25	68,75
TOTALE GALLERIA	341,35	256,88	129,69			

Tenuto conto che i limiti di concentrazione rimangono gli stessi, tranne che per il coefficiente di estinzione che sale a 0,007 e trascurando i valori di concentrazione in ambiente degli inquinanti, la necessità di aria di rinnovo per la diluizione di ciascun inquinante ammonta a:

$$Q_{CO} = 341,35 \text{g/h} / 0,084 \text{ g CO} / \text{m}^3 / 3600 \text{s/h} = 1,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{NO_2} = 256,88 \text{g/h} * 0,2 / 0,0012 \text{ g NO}_2 / \text{m}^3 / 3600 \text{s/h} = 11,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{OP} = 129,69 \text{m}^2/\text{h} / 0,007 \text{ m}^{-1} \text{ OP} / 3600 \text{s/h} = 5,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.4.3. Traffico fermo

Le emissioni base per le varie categorie di veicoli ed i vari inquinanti sono riassunti nella seguente tabella.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	5,40	0,20	-	5,40	0,20	-
Automobili diesel	0,30	4,50	0,40	0,30	4,50	0,40
Veicoli commerciali a benzina	4,80	0,40	-	4,80	0,40	-
Veicoli commerciali diesel	0,40	3,80	0,60	0,40	3,80	0,60
Mezzi pesanti	3,80	14,40	1,80	3,80	14,40	1,80
Particolato non emesso			-			-
Particolato non emesso HV			-			-
Fattore tempo 2025 PC benzina	0,78	0,62	0,95	0,78	0,62	0,95
Fattore tempo 2025 PC diesel	0,8	0,51	0,44	0,8	0,51	0,44
Fattore tempo 2025 LCV benzina	0,57	0,32	0,82	0,57	0,32	0,82
Fattore tempo 2025 LCV diesel	0,43	0,49	0,38	0,43	0,49	0,38
Fattore tempo 2025 HV diesel	0,76	0,34	0,92	0,76	0,34	0,92

Con il traffico fermo, entrambe le corsie sono occupate da autoveicoli fermi con una densità di 150 veicoli / km; il numero di mezzi da presenti in galleria per ogni categoria in discesa risulta:

- Automobili benzina $150 * 0,774 * 0,524 = 60,8$ veicoli
- Automobili diesel $150 * 0,774 * 0,412 = 47,8$ veicoli
- Veicoli commerciali benzina $150 * 0,774 * 0,004 = 0,46$ veicoli

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- Veicoli commerciali diesel $150 * 0,774 * 0,047 = 5,46$ veicoli
- Mezzi pesanti $150 * 0,774 * 0,013 = 1,51$ veicoli.

A questo punto è possibile determinare le emissioni totali per ciascun inquinante, come da tabella seguente.

	SALITA			DISCESA		
	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]	CO [g/h]	NOx [g/h]	Particolato [m ² /h]
Automobili benzina	256,24	7,54	-	256,24	7,54	-
Automobili diesel	11,48	109,78	8,42	11,48	109,78	8,42
Veicoli commerciali a benzina	1,27	0,06	-	1,27	0,06	-
Veicoli commerciali diesel	0,94	10,16	1,24	0,94	10,16	1,24
Mezzi pesanti	4,36	7,39	2,50	4,36	7,39	2,50
TOTALI PARZIALI PER CORSIA	274,29	134,93	12,16	274,29	134,93	12,16
TOTALE GALLERIA	548,58	269,86	24,32			

Tenuto conto che i limiti di concentrazione rimangono gli stessi, tranne che per il coefficiente di estinzione che sale a 0,009 e trascurando i valori di concentrazione in ambiente degli inquinanti, la necessità di aria di rinnovo per la diluizione di ciascun inquinante ammonta a:

$$Q_{CO} = 548,58 \text{ g/h} / 0,084 \text{ g CO} / \text{m}^3 / 3600 \text{ s/h} = 1,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{NO_2} = 296,86 \text{ g/h} * 0,2 / 0,0012 \text{ g NO}_2 / \text{m}^3 / 3600 \text{ s/h} = 12,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{OP} = 24,32 \text{ m}^2/\text{h} / 0,009 \text{ m}^{-1} \text{ OP} / 3600 \text{ s/h} = 0,97 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.4.4. Valore della portata d'aria di rinnovo

Sulla scorta dei calcoli appena introdotti, si deduce che il caso peggiore è determinato dalla diluizione del biossido di azoto in caso di traffico fermo, pari a 12,5 m³/s; in questa condizione, essendo la sezione della galleria pari a 86 m², viene imposta una velocità dell'aria in galleria pari a 12,8 / 86 = 0,15 m/s.

4.3.4.5. Numero di ventilatori necessari

Il moto dell'aria in galleria viene ostacolato dalle perdite di carico presenti che sono:

- attrito della galleria,
- effetto pistone degli autoveicoli (positivo o negativo);
- effetto meteorologico determinato dalla differenza di quota degli imbocchi.

Per calcolare la resistenza della galleria si utilizza la seguente formula:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \cdot \frac{L}{D_h} \right) \cdot \frac{\rho \cdot V_g^2}{2}$$

dove:

- R_g : resistenza [Pa],
 α : coefficiente di perdita all'entrata = 1,
 β : coefficiente di perdita all'uscita = 0,6,
 λ : coefficiente d'attrito delle pareti della galleria = 0,04,
 L : lunghezza galleria [m] = 774 m,
 D_h : diametro idraulico [m] = 10,4,

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- ρ : massa volumica [kg/m³] = 1,2,
 V_g : velocità dell'aria in galleria [m/s] = 0,15 m/s.

Introducendo questi dati nella formula, si ottiene una resistenza pari a 0,06 Pa.

L'effetto pistone può essere positivo o negativo, in funzione alla direzione del flusso veicolare (uguale o contrario al senso della ventilazione), oppure se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria in galleria.

Questa condizione può essere espressa mediante la seguente formula:

$$R_p = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_i \cdot n_i \cdot \frac{(C_x \cdot \Omega)_i}{A_t} \cdot \frac{\delta \cdot (V_i + \mu \cdot V_g)^2}{2}$$

dove:

- i $i = 1$ valori riferiti ad autoveicoli leggeri (benzina e diesel),
 $i = 2$ valori riferiti ad autoveicoli pesanti (autocarri),
 ε_i è un coefficiente +1 o -1 in funzione alla direzione, del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione) oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$,
 n_i numero dei veicoli presenti in galleria, 217,2 automobili e 14,86 mezzi pesanti
 $(C_x \cdot \Omega)_i$ area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione) [m²] = 1 per gli autoveicoli, = 3 per i mezzi pesanti,
 A_t area tunnel [m²] = 86,
 δ massa volumica [kg/m³] = 1,2,
 V_i velocità dei veicoli [m/s]
 μ +1 per veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione,
-1 per veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione,
 V_g velocità dell'aria in galleria [m/s], ossia 0,15 m/s.

Il caso peggiore è stato individuato con traffico fermo, per cui tutti i veicoli costituiscono ostacolo al transito dell'aria; quindi i coefficienti $\varepsilon_i = \mu = +1$.

Introducendo questi dati nella formula, si ottiene una resistenza pari a 0,04 Pa.

L'effetto meteorologico è la resistenza ingenerata dalla differenza di pressione esistente tra i due imbocchi della galleria e che si può opporre al moto forzato dell'aria attivato dalla ventilazione meccanica nella direzione desiderata; si tratta di un parametro dipendente dalla differenza di altitudine e pressione atmosferica tra gli imbocchi per l'orografia del luogo.

Poiché la differenza di quota tra gli imbocchi è minima e l'orografia non induce a considerare la formazione di significative contropressioni tra gli imbocchi, questa resistenza viene trascurata.

La resistenza totale è determinata dalla somma delle tre resistenze calcolate, ossia: 0,06 + 0,04 + 0 = 0,1 Pa.

La forza necessaria F_t per spingere la portata d'aria desiderata è data dalla perdita di carico per la sezione della galleria, quindi occorre una spinta pari a $0,1 \cdot 86 = 8,6$ N.

La forza così determinata è però riferita ad aria in movimento per cui, per poter scegliere il tipo e la quantità di ventilatori, è necessario trasformare F_t in forza in aria libera F_0 :

PROGETTAZIONE ATI:

$$F_o = \frac{F_t}{K \left(1 - \frac{V_g}{V_v} \right)}$$

dove

K coefficiente di posizionamento, che per ventilatori installati in volta a coppie vale 0,7;

V_g velocità dell'aria in galleria [m/s];

V_v velocità dell'aria in uscita dal ventilatore [m/s].

L'installazione prevedrà elettroventilatori assiali con girante direttamente accoppiata al motore elettrico completamente reversibili aventi le seguenti caratteristiche:

- diametro girante 1000 mm;
- portata d'aria 24,9 m³/s;
- velocità di uscita dell'aria 31,7 m/s;
- spinta nominale 900 N;
- velocità di rotazione 1480 giri/minuto;
- potenza assorbita 25,5 kW.

Applicando i dati fin qui determinati, risulta una spinta necessaria pari a:

$$F_o = 8,6 / 0,7 * (1 - 0,15 / 31,7) = 12,3 \text{ N.}$$

Il numero di acceleratori necessario è dato dal rapporto tra la spinta necessaria e la spinta della singola unità, ossia: 12,3 / 900 = 0,01.

Pertanto, il numero di ventilatori necessario per assicurare la ventilazione in condizioni ordinarie della galleria, arrotondata a coppie, è pari a 2.

4.3.5. GALLERIE URBANIA 1, URBANIA 2, URBANIA 3

Per le altre gallerie in esame possono essere sviluppati calcoli analitici come quelli esposti per la galleria Il Monte, ma, essendo le gallerie di estensione simile e interessate dallo stesso traffico, si giunge, dunque, per tutte le gallerie allo stesso numero di ventilatori determinato nel caso precedente, ossia 2 unità.

5. VENTILAZIONE IN CASO DI INCENDIO

5.1. OBIETTIVI

L'impianto di ventilazione delle gallerie in caso di incendio deve essere in grado di gestire un incendio di potenza pari a 30 MW.

Per la sua gestione, occorre poter instaurare un flusso d'aria alla velocità di 3 m/s nelle condizioni più svantaggiate (con direzione del flusso opposta all'effetto camino naturale); la velocità dell'aria indicata è, in accordo con le raccomandazioni internazionali, quella che consente di impedire il fenomeno del riflusso della miscela aria – fumi in direzione opposta a quella della ventilazione meccanica (fenomeno del backlayering) e, quindi, consentire di evacuare il fumo da un imbocco, liberando dai fumi il tratto di galleria che si trova a monte dell'incendio.

5.2. PORTA D'ARIA IN CASO DI INCENDIO

Per instaurare in galleria la velocità dell'aria prima precisata, occorre far circolare una portata d'aria pari alla sezione della galleria per la velocità dell'aria, ossia 86 m² * 3 m/s = 258 m³/s.

PROGETTAZIONE ATI:

5.3. RIALZO TERMICO

Per valutare la resistenza che si ingenerano contro il moto dell'aria in caso di incendio, occorre prioritariamente valutare il rialzo termico causato dall'evento, sia per definire le caratteristiche dei ventilatori, sia per valutare la densità dell'aria all'interno della galleria.

La temperatura che si instaura nel caso in esame può essere determinata con la seguente formula:

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

dove:

- T_f è la temperatura finale dell'aria in °K;
- E è l'energia termica sviluppata nell'incendio in W;
- ρ è la massa volumica dell'aria in kg/m³;
- C_p è il calore specifico dell'aria pari a 1005 J/kg/°K;
- Q_v è la portata d'aria di rinnovo in m³/s;
- 290 è la temperatura ambiente espressa in °K.

Nel caso in esame risulta:

$$T_f = 30000000 / (1,2 * 1005 * 258) + 290 = 386^\circ\text{K} = 113^\circ\text{C}.$$

5.4. PERDITE DI CARICO

Le perdite di carico che la ventilazione di emergenza dovrà vincere per assicurare la prestazione richiesta sono le stesse già considerate per la ventilazione sanitaria, ossia la resistenza della galleria, l'effetto pistone e l'effetto meteorologico, alle quali va aggiunta la perdita indotta dall'effetto camino che si instaura in caso di incendio.

5.4.1. EFFETTO CAMINO

L'effetto camino è dato dalla seguente formula:

$$E_c = g \times \Delta h \times (\rho_a - \rho_i) \times \eta$$

dove:

- E_c è la perdita per effetto camino [Pa];
- g è la costante di gravità;
- Δh è la differenza di quota tra i due imbocchi;
- ρ_a è la densità dell'aria all'esterno della galleria;
- ρ_i è la densità dell'aria nella zona dell'incendio, in funzione del rialzo termico;
- η è il rendimento del focolaio di incendio posto uguale a 0,75.

Con una temperatura di 386°K laddove si sviluppi un incendio, la densità dell'aria all'interno della galleria vale:

$$\rho_i = 1,293 * 273 / 386 = 0,91 \text{ kg/m}^3.$$

Per la galleria Il Monte, l'effetto camino comporta una perdita:

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

$$E_c = 9,8 * 7 * (1,2 - 0,91) * 0,75 = 14,9 \text{ Pa.}$$

Per la galleria Urbana 1, l'effetto camino comporta una perdita:

$$E_c = 9,8 * 6 * (1,2 - 0,91) * 0,75 = 12,8 \text{ Pa.}$$

Per la galleria Urbana 2, l'effetto camino comporta una perdita:

$$E_c = 9,8 * 11 * (1,2 - 0,91) * 0,75 = 23,4 \text{ Pa.}$$

Per la galleria Urbana 3, l'effetto camino comporta una perdita:

$$E_c = 9,8 * 8 * (1,2 - 0,91) * (1,2 - 0,91) * 0,75 = 17,1 \text{ Pa.}$$

5.4.2. RESISTENZA DELLA GALLERIA

Per calcolare la resistenza della galleria Il Monte, si utilizza la seguente formula:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda \cdot \frac{L}{D_h} \right) \cdot \frac{\rho \cdot V_g^2}{2}$$

dove:

- R_g : resistenza [Pa],
- α : coefficiente di perdita all'entrata = 1,
- β : coefficiente di perdita all'uscita = 0,6,
- λ : coefficiente d'attrito delle pareti della galleria = 0,04,
- L : lunghezza galleria [m],
- D_h : diametro idraulico [m] = 10,4,
- ρ : massa volumica [kg/m^3] = 1,2,
- V_g : velocità dell'aria in galleria [m/s] = 3 m/s.

Introducendo questi dati nella formula, si ottiene:

- per la galleria Il Monte una resistenza pari a 24,7 Pa;
- per la galleria Urbana 1 una resistenza pari a 23,3 Pa;
- per la galleria Urbana 2 una resistenza pari a 24,5 Pa;
- per la galleria Urbana 3 una resistenza pari a 23,0 Pa.

5.4.3. EFFETTO PISTONE

L'effetto pistone può essere espresso mediante la seguente formula:

$$R_p = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_i \cdot n_i \cdot \frac{(C_x \Omega)_i}{A_t} \cdot \frac{\delta \cdot (V_i + \mu \cdot V_{eg})^2}{2}$$

dove:

- i : $i = 1$ valori riferiti ad autoveicoli leggeri (benzina e diesel),
 $i = 2$ valori riferiti ad autoveicoli pesanti (autocarri),
- ε_i : è un coefficiente +1 o -1 in funzione alla direzione, del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione) oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$,
- n_i : numero dei veicoli presenti in galleria, 217,2 automobili e 14,86 mezzi pesanti

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- $(C_x \cdot \Omega)_i$ area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione)
[m²] = 1 per gli autoveicoli, = 3 per i mezzi pesanti,
- A_t area tunnel [m²] = 86,
- δ massa volumica [kg/m³] = 1,2,
- V_i velocità dei veicoli [m/s]
- μ +1 per veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione,
-1 per veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione,
- V_g velocità dell'aria in galleria [m/s], ossia 3 m/s.

In caso di incendio il traffico è fermo, per cui tutti i veicoli costituiscono ostacolo al transito dell'aria; quindi i coefficienti $\varepsilon_i = \mu = +1$.

Introducendo questi dati nella formula, si ottiene per tutte le gallerie una resistenza pari a 26,9 Pa.

5.4.4. EFFETTO METEOROLOGICO

L'effetto meteorologico è la resistenza ingenerata dalla differenza di pressione esistente tra i due imbocchi della galleria e che si può opporre al moto forzato dell'aria attivato dalla ventilazione meccanica nella direzione desiderata; si tratta di un parametro dipendente dalla differenza di altitudine e pressione atmosferica tra gli imbocchi per l'orografia del luogo.

Poiché la differenza di quota tra gli imbocchi è minima e l'orografia non induce a considerare la formazione di significative contropressioni tra gli imbocchi, questa resistenza viene trascurata.

5.4.5. CALCOLO DEL NUMERO DI VENTILATORI

La resistenza totale è determinata dalla somma delle resistenze calcolate, ossia:

- per la galleria Il Monte: 14,9 + 24,7 + 26,9 = 66,5 Pa;
- per la galleria Urbana 1: 12,8 + 23,3 + 26,9 = 63,0 Pa;
- per la galleria Urbana 2: 23,4 + 24,5 + 26,9 = 74,8 Pa;
- per la galleria Urbana 3: 17,1 + 23,0 + 26,9 = 67,0 Pa.

La forza necessaria F_t per spingere la portata d'aria desiderata è data dalla perdita di carico per la sezione della galleria, quindi occorre una spinta pari a:

- per la galleria Il Monte: 66,5 * 86 = 5.719 N;
- per la galleria Urbana 1: 63,0 * 86 = 5.418 N;
- per la galleria Urbana 2: 74,8 * 86 = 6.433 N;
- per la galleria Urbana 3: 67,0 * 86 = 5.762 N.

La forza così determinata è però riferita ad aria in movimento per cui, per poter scegliere il tipo e la quantità di ventilatori, è necessario trasformare F_t in forza in aria libera F_o :

$$F_o = \frac{F_t}{K \left(1 - \frac{V_g}{V_v} \right)}$$

dove

- K coefficiente di posizionamento, che per ventilatori installati in volta a coppie vale 0,7;
- V_g velocità dell'aria in galleria [m/s];

PROGETTAZIONE ATI:

V_v velocità dell'aria in uscita dal ventilatore [m/s].

L'installazione prevedrà elettroventilatori assiali con girante direttamente accoppiata al motore elettrico completamente reversibili aventi le seguenti caratteristiche:

- diametro girante 1000 mm;
- portata d'aria 24,9 m³/s;
- velocità di uscita dell'aria 31,7 m/s;
- spinta nominale 900 N;
- velocità di rotazione 1480 giri/minuto;
- potenza assorbita 25,5 kW;
- temperatura di funzionamento 400°C per 90 minuti.

Applicando i dati fin qui determinati, risulta una spinta necessaria pari a:

- per la galleria Il Monte: $F_0 = 5719 / 0,7 / (1 - 3 / 31,7) = 9.024$ N;
- per la galleria Urbana 1: $F_0 = 5418 / 0,7 / (1 - 3 / 31,7) = 8.549$ N;
- per la galleria Urbana 2: $F_0 = 6433 / 0,7 / (1 - 3 / 31,7) = 10.151$ N;
- per la galleria Urbana 3: $F_0 = 5762 / 0,7 / (1 - 3 / 31,7) = 9.092$ N.

Il numero di acceleratori necessario è dato dal rapporto tra la spinta necessaria e la spinta della singola unità, ossia:

- per la galleria Il Monte: $9024 / 900 = 10$;
- per la galleria Urbana 1: $8549 / 900 = 9,5$;
- per la galleria Urbana 2: $10151 / 900 = 11,3$;
- per la galleria Urbana 3: $9092 / 900 = 10,1$.

Sulla base di questi risultati, anche per prendere in carico eventuali modifiche a seguito degli approfondimenti progettuali successivi, il numero di ventilatori che sarà adottato in tutte le gallerie sarà pari a 12, suddivisi in 6 coppie.

6. PRESSURIZZAZIONE FILTRI

Si illustrano di seguito i calcoli effettuati per il dimensionamento del sistema di pressurizzazione dei filtri che immettono nel cunicolo di fuga delle gallerie oggetto del presente progetto.

Ogni eventuale riferimento nei calcoli ad apparecchiature specifiche di case costruttrici è presente solo al fine di stabilire il raggiungimento delle prestazioni richieste con apparecchiature presenti sul mercato; resta facoltà dell'appaltatore scegliere apparecchiature di sua preferenza, purché vengano garantite le prestazioni richieste e dimostrate nei calcoli.

6.1. INTRODUZIONE

Per consentire la fuga dalla galleria stradale in caso di evento grave, è stato realizzato in adiacenza ad essa un cunicolo di fuga che costituisce un compartimento antincendio separato dalla galleria stradale. Il livello di prestazione da assicurare, così come definito nel codice di prevenzione incendi, è il livello di prestazione III di resistenza al fuoco; la classe minima di resistenza al fuoco è fissata in REI 120.

Affinché il cunicolo costituisca un compartimento a prova di fumo, esso è separato da filtri a prova di fumo dal compartimento costituito dalla galleria stradale.

Il filtro a prova di fumo è un compartimento antincendio dotato di tutte le seguenti caratteristiche:

- a) avente classe di resistenza al fuoco ≥ 120 minuti;
- b) munito di due o più chiusure dei varchi almeno E 120-S_a;

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- c) avente carico di incendio specifico $q_f \leq 50 \text{ MJ/m}^2$;
- d) non vi si detengono o trattano sostanze o miscele pericolose;
- e) non vi si effettuano lavorazioni pericolose ai fini dell'incendio;
- f) mantenuto in sovrappressione, ad almeno 30 Pa in condizioni di emergenza, da specifico sistema progettato, realizzato e gestito secondo la regola dell'arte.

I filtri hanno un passo di circa 300 m; la loro pressurizzazione viene garantita mediante un ventilatore che preleva l'aria dal cunicolo di fuga e la immette nel filtro, affinché i fumi dell'incendio in galleria non entrino nel filtro e nel cunicolo di fuga nel momento in cui gli utenti vi accedano.

L'apertura delle porte e la loro chiusura sono segnalate al sistema di supervisione.

Ciascun filtro è individuabile con segnali a cartelli luminosi ad elevata visibilità, disposti sia sulla porta di accesso dai fornic, sia a distanza opportuna entro la galleria.

I filtri ed il cunicolo di fuga saranno accessibili agli utenti che si spostano con la sedia a rotelle.

6.2. REQUISITI DELL'IMPIANTO

La pressurizzazione dei filtri sarà progettata affinché il suo funzionamento sia compatibile con la ventilazione della galleria stradale; essa dovrà mantenere, in ogni momento, un'atmosfera sana e sicura.

Il sistema di ventilazione sarà costituito da:

- blocco sovrappressione, costituito da un ventilatore, posizionato su una parete del filtro adiacente al cunicolo di fuga;
- sistema di serrande, costituito da serrande di regolazione per la corretta taratura della pressione all'interno del luogo sicuro temporaneo;
- sistema di alimentazione di emergenza, mediante cavi resistenti al fuoco collocati in posizione protetta;
- sistema di gestione e controllo gestito tramite PLC locale e con comandi duplicati presso centro di controllo locale;
- sistema di comunicazione fonica e video tra gli utenti presenti nel cunicolo di fuga e il centro di controllo locale;
- compartimentazioni del locale e della zona filtro con strutture REI 120 e porte aventi caratteristiche E 120-S_a.

Nella costruzione delle prese d'aria, si dovrà aver cura che l'aria immessa nel filtro non venga contaminata dall'aria uscente dal fornice della galleria in allarme.

Il sistema di pressurizzazione opererà in automatico sotto la gestione del sistema di telecontrollo, ma dovrà essere comunque possibile il suo azionamento manuale, sia localmente, sia a distanza.

L'appaltatore avrà cura che i passaggi di tubazioni, canalizzazioni e simili, interessanti i filtri ed i cunicoli di fuga, vengano sigillati accuratamente, in modo da impedire percolamento di liquidi o penetrazione di fumi e gas di scarico.

6.3. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO VENTILAZIONE FILTRI

Per definire il sistema di ventilazione dei filtri occorre distinguere tre condizioni:

- Caso A: le porte sono chiuse;

PROGETTAZIONE ATI:

- Caso B: una porta è aperta evacuazione utenti;
- Caso C: una porta è aperta intervento VVF.

A ciascuna condizione corrisponderà una certa portata d'aria, che sarà prelevata dal cunicolo di fuga mediante un ventilatore del quale occorrerà determinare le caratteristiche in termini di portata Q [m³/h] e prevalenza H [Pa].

6.3.1. FILTRO CON PORTE CHIUSE

Nel primo caso (Caso A), la perdita d'aria per mancanza di tenuta delle porte chiuse dipende sia dalla pressione differenziale tra galleria e filtro, sia dall'efficienza delle guarnizioni delle porte tagliafuoco; di norma, la superficie di fuga considerata ammonta a circa 0,0034 m² per metro di perimetro della porta.

Le perdite d'aria si determinano con la formula dovuta al Lessieur:

$$Q = 3600 \times \varphi \times S_f \times \sqrt{\frac{2 \times g \times \Delta p}{\rho}}$$

dove:

Q è la portata d'aria richiesta in m³/ora,

φ è il coefficiente di flusso pari a 0,675,

S_f è la superficie delle fessure in m²,

g è l'accelerazione di gravità pari a 9,81 m/s²,

Δp è la pressione differenziale richiesta di 30 Pa,

ρ è la densità dell'aria, fissata in 1,2 kg/m³.

Tenuto conto delle dimensioni delle due porte, ciascuna delle quali ha perimetro di circa 6,80 m, ed inserendo nella formula i dati sopra introdotti, si ottiene una perdita d'aria nel filtro a porte chiuse di circa 793 m³/ora.

Inoltre, occorre tener conto anche le perdite attraverso le microfessure dei muri, valutate nell'ordine di 0,000010 m² per metro quadrato di parete.

La superficie totale del filtro, dedotta la superficie delle due porte, vale circa 30 m²; inserendo nella formula questi dati, si ottiene una perdita d'aria attraverso le pareti di circa 5,4 m³/ora.

La portata d'aria da compensare è pari alla somma delle perdite, aumentata da un coefficiente di sicurezza 1,20 (20%); pertanto, la portata prevista è di circa 1.000 m³/ora.

Il sistema di ventilazione del filtro dovrà garantire che, in tutte le condizioni di ventilazione naturale o forzata della galleria stradale, la pressione differenziale consenta una facile apertura delle porte da parte di persone disturbate dai fumi ed in stato di panico.

Il calcolo della forza necessaria per aprire una porta tagliafuoco si effettua con la seguente relazione:

$$F = F_{FP} + \frac{2,23 \times L_P \times S \times \Delta p}{2b}$$

PROGETTAZIONE ATI:

dove:

F è la forza necessaria per aprire la porta in N,

F_{FP} è la forza generata dal fermaporta in N,

L_P è la larghezza della porta in m,

S è la superficie della porta in m^2 ,

D_p è la pressione differenziale sulla porta in Pa,

b è il braccio di apertura, misurato dalla maniglia all'asse di rotazione della porta medesima in m.

Tenuto conto che l'anta ha dimensioni 1,25 x 2,15 m, che il braccio di apertura è di 1,00 m e che il fermaporta sia tarato a 25 N, con una pressione differenziale di 30 Pa imposta dal ventilatore, come definito nel successivo paragrafo, la forza necessaria per aprire la porta sarà di 137 N (circa 14,0 kg).

6.3.2. FILTRO CON UNA PORTA APERTA (EVACUAZIONE UTENTI)

Nel caso B, per evitare che i fumi provenienti dalla galleria invadano il filtro quando la porta tagliafuoco venga aperta, in accordo con le linee guida ANAS, è necessario mantenere un flusso d'aria attraverso la porta avente una velocità di 0,75 m/s.

Essendo la superficie della porta di 2,6875 m^2 , questa condizione si traduce in una portata d'aria, tenendo conto di un coefficiente di sicurezza del 20%, di circa 8.700 m^3 /ora.

6.3.3. FILTRO CON UNA PORTA APERTA (INTERVENTO VVF)

Nel caso C, per evitare che i fumi provenienti dalla galleria invadano il filtro quando la porta tagliafuoco venga aperta, in accordo con le linee guida ANAS, è necessario mantenere un flusso d'aria attraverso la porta avente una velocità di 2 m/s.

Essendo la superficie della porta di 2,6875 m^2 , questa condizione si traduce in una portata d'aria, tenendo conto di un coefficiente di sicurezza del 20%, di circa 23.200 m^3 /ora.

6.3.4. VENTILAZIONE FILTRO E CONSIDERAZIONI

Pertanto, ciascun filtro sarà mantenuto in sovrappressione da un ventilatore assiale montato a parete, che preleva l'aria dal cunicolo di fuga tramite una griglia di presa collegata al ventilatore.

Ciascun filtro sarà dunque dotato di un ventilatore della portata di 24.000 m^3 /ora; poiché, in base alla letteratura tecnica, in un compartimento sinistrato (incendio in galleria) l'aumento di pressione può arrivare fino a 30 Pa, il ventilatore dovrà fornire una pressione statica di almeno 60 Pa per garantire la sovrappressione di 30 Pa richiesta. I ventilatori saranno comandati da convertitore di frequenza in modo da garantire gli scenari descritti.

Sulla parete lato galleria di ogni filtro, inoltre, sarà installata una serranda di sovrappressione tarata a 30 Pa, in modo che quando la pressione interna al filtro supera di 30 Pa quella in galleria, la pressione in eccesso possa essere sfiorata verso la canna stradale.

Questa serranda sarà protetta da una serranda tagliafuoco EI 120 che, in caso di incendio, interviene per ripristinare la compartimentazione del filtro.

6.3.5. CARATTERISTICHE DEL VENTILATORE DI PRESSURIZZAZIONE

In base al calcolo precedentemente effettuato, le caratteristiche di ciascun ventilatore idonee allo scopo, dovranno essere le seguenti:

- Diametro girante: 800 mm;

PROGETTAZIONE ATI:

IMPIANTI TECNOLOGICI – ELABORATI GENERALI – CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

- Portata d'aria: 6,50 m³/s;
- Pressione totale: 80 Pa;
- Potenza motore: 4,40 kW;
- Potenza assorbita girante: 2,95 kW;
- Rendimento motore: 0,91;
- Temperatura massima: 400°C per 120 minuti.

6.3.6. PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO

La gestione del ventilatore del filtro sarà asservita a contatti magnetici installati sulle porte di delimitazione e comandata dal PLC locale; il principio di funzionamento sarà il seguente:

- con le porte del filtro chiuse, il ventilatore viene attivato periodicamente (ad esempio 5 minuti ogni 12 ore) per consentire il lavaggio dell'aria al suo interno e, per depressione, anche del cunicolo di fuga; una serranda di sovrappressione tarata a 30 Pa consentirà di sfiorare l'aria in eccesso e garantire l'apertura della porta con la spinta già determinata in precedenza;
- quando viene registrato un allarme incendio, il sistema di telecontrollo riporta l'evento ai PLC dei filtri e questi comandano l'avviamento dei ventilatori di pressurizzazione dei filtri;
- quando si apre una delle porte del filtro, il contatto magnetico installato su di essa riporta l'evento al PLC del filtro e quest'ultimo comando l'avviamento del ventilatore di pressurizzazione del filtro che è stato aperto;
- alla cessazione dell'allarme, la ventilazione viene riportata alla condizione ordinaria e le serrande tagliafuoco, poste a protezione delle serrande di sovrappressione, che fossero intervenute, vengono ripristinate manualmente.

Ogni condizione di funzionamento del sistema di pressurizzazione sarà inviata al sistema di telecontrollo, quali:

- apertura porte filtri;
- stato dei ventilatori di pressurizzazione;
- comando dei ventilatori di pressurizzazione;
- intervento delle serrande tagliafuoco.

PROGETTAZIONE ATI: