

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 1 di 11</p>

INDICE

1. OGGETTO DELLA RELAZIONE	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	2
3. DATI DI BASE.....	3
3.1. Caratteristiche geometriche della galleria.....	3
3.2. Valori limite di concentrazione degli inquinanti.....	3
3.3. Portate di inquinante emesse da un veicolo	4
3.4. Condizioni di traffico ipotizzate	4
3.5. Composizione del traffico	4
3.6. Potenza dell'incendio	4
4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE SANITARIA	5
4.1. Generalità.....	5
4.2. Determinazione quantità aria di rinnovo.....	5
4.2.1. Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO.....	5
4.2.2. Determinazione quantità aria di rinnovo per gli NOx.....	6
4.2.3. Determinazione quantità aria di rinnovo per i fumi.....	6
4.3. Perdite di carico	6
4.3.1. Resistenza della galleria.....	6
4.3.2. Effetto pistone	7
4.3.3. Effetto meteorologico	7
4.4. Risultati del calcolo.....	8
5. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE DI EMERGENZA	8
5.1. Obiettivi	8
5.2. Perdite di carico	8
5.2.1. Effetto camino.....	8
5.3. Rialzo termico.....	9
5.4. Risultati del calcolo.....	9
6. IMPIANTO DI VENTILAZIONE	9
ALLEGATI.....	11

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 2 di 11</p>

1. OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione riporta i calcoli di dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria Caltanissetta, nell'ambito dell'adeguamento alla categoria B della S.S. n. 640 di Porto Empedocle, tronco tra il km 44+400 fino allo svincolo con la A19.

La galleria sarà di tipo naturale, costituita da due fornici monodirezionali a due corsie di marcia di cui quello in direzione A19 sarà di lunghezza pari a 4044 m, mentre quello in direzione Agrigento sarà di lunghezza pari a 4053 m.

Per la ventilazione di questa galleria, in sede di progetto definitivo è stato definito un impianto di tipo longitudinale; tale impianto dovrà essere dimensionato in modo da assicurare, in qualunque condizione atmosferica e di traffico, una elevata qualità dell'aria all'interno della galleria.

La verifica del dimensionamento dell'impianto è stata effettuata ipotizzando diversi scenari di funzionamento dell'impianto in condizioni esercizio ordinario e di emergenza. Conseguentemente, dall'analisi dei suddetti scenari, verificando la capacità di diluizione degli inquinanti e di spostamento dei fumi in caso di incendio, si è definito un impianto di ventilazione adeguato a gestire le normali condizioni di esercizio e le situazioni di emergenza.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Attualmente in Italia non sono vigenti normative che regolano la ventilazione nelle gallerie, per cui sono state seguite le seguenti guide tecniche internazionali:

- Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2004): riferimento per i limiti di concentrazione degli inquinanti e coefficienti di emissione dei veicoli;
- Fire and Smoke control in road Tunnel (PIARC 1999): riferimenti per la definizione degli scenari di incendio e per il dimensionamento degli impianti di ventilazione;
- Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels (UN trans/AC.7/9): definizione della potenza d'incendio e verifica dell'impianto di ventilazione in condizione di emergenza;
- Les études spécifiques des dangers (ESD) pour les tunnels du réseau routier(guida metodologica francese per l'analisi dei rischi nei tunnel): definizione dell'evoluzione nel tempo della potenza dell'incendio.

La relazione di calcolo del progetto definitivo ha assunto come dati di base quelli stabiliti dal PIARC nel corso del suo congresso mondiale di Città del Messico nel 1995 e di Kuala Lumpur nel 1999.

Questi riferimenti normativi sono stati superati dalle più recenti raccomandazioni PIARC, prima richiamate, edite nel 2004, che tengono conto della riduzione delle emissioni inquinanti dei veicoli imposte dalla legislazione europea e nazionale.

Il dimensionamento dell'impianto, anche tenuto conto di quanto indicato nelle linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali secondo la normativa vigente, emesse dall'ANAS nell'ottobre 2009, all'art. 3.4.2.2.1 e cioè che "Il livello massimo degli inquinanti deve essere conforme alle indicazioni riportate nelle guide PIARC (World Road Association) vigenti al momento della progettazione dell'impianto di ventilazione", è stato eseguito con riferimento alle raccomandazioni PIARC del 2004.

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO	Rev. 0
RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE	Pag. 3 di 11

3. DATI DI BASE

3.1. Caratteristiche geometriche della galleria

La galleria è caratterizzata dai dati geometrici di seguito richiamati.

- Fornice destro, direzione traffico verso A19
 - lunghezza 4044 m
 - quota ingresso 530 m s.l.m.
 - quota massima raggiunta dal tratto in salita 550 m s.l.m.
 - distanza dall'imbocco della quota massima 2125 m
 - quota uscita 509 m s.l.m.
 - area della sezione della galleria 80 m²
 - diametro idraulico 10,1 m

- Fornice sinistro, direzione traffico verso Agrigento
 - lunghezza 4053 m
 - quota ingresso 508 m s.l.m.
 - quota massima raggiunta dal tratto in salita 550 m s.l.m.
 - distanza dall'imbocco della quota massima 1924 m
 - quota uscita 531 m s.l.m.
 - area della sezione della galleria 80 m²
 - diametro idraulico 10,1 m

3.2. Valori limite di concentrazione degli inquinanti

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, per diverse condizioni di flusso di traffico e per tipo di inquinante, sono stati presi dalle raccomandazioni PIARC 2004, con riferimento ai valori massimi ammessi per l'anno 2010 e riepilogati nella seguente tabella.

Soglia di concentrazione degli inquinanti per l'anno 2010		
<i>Condizioni di traffico</i>	<i>CO [ppm]</i>	<i>Opacità: coefficiente di estinzione [m⁻¹]</i>
fluido	70	0,005
congestionato	70	0,007
bloccato	100	0,009
una corsia in manutenzione	20	0,003

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto (NO) il valore limite assunto è quello definito dalla relazione di calcolo della ventilazione del progetto definitivo per del traffico congestionato, ossia 25 ppm.

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 4 di 11</p>

3.3. Portate di inquinante emesse da un veicolo

Le portate di inquinanti emesse dai veicoli (CO e Particolato), sono state dedotte in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, secondo le tabelle riportate nel documento del PIARC 2004; l'applicazione di questi dati, in virtù della progressiva applicazione delle nuove norme CEE, che prevedono una costante riduzione dei valori limite delle emissioni dei veicoli, rende la scelta estremamente cautelativa nel confronto dei risultati ottenuti.

3.4. Condizioni di traffico ipotizzate

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

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

I dati sul traffico fluido sono desunti dalla relazione di calcolo della ventilazione del progetto definitivo, mentre per le restanti condizioni di traffico (congestionato e bloccato), le caratteristiche sono quelle raccomandate dal PIARC 2004 per le gallerie extraurbane.

Di seguito sono riportate i dati utilizzati per definire le diverse condizioni di traffico:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| • traffico fluido a 60 km/h: | 1800 veicoli ora
30 veicoli/km |
| • traffico congestionato a 10 km/h: | 700 veicoli ora
70 veicoli/km |
| • traffico bloccato: | 150 veicoli/km |

3.5. Composizione del traffico

La composizione del traffico è stata desunta da quanto determinato dalla relazione di calcolo della ventilazione del progetto definitivo e cioè:

- | | |
|---|------|
| • incidenza di veicoli leggeri con motore a benzina | 40%; |
| • incidenza di veicoli leggeri con motore diesel | 25%; |
| • incidenza di veicoli furgonati diesel fino a 5 t | 20%; |
| • incidenza di mezzi pesanti con portata 20 t | 15%. |

Per tener conto dei mezzi furgonati e di quelli pesanti, nel calcolo è stata inserita la media pesata tra le due tipologie; pertanto, si è valutato un traffico di mezzi pesanti con peso medio di 12 t ed un'incidenza del 35%.

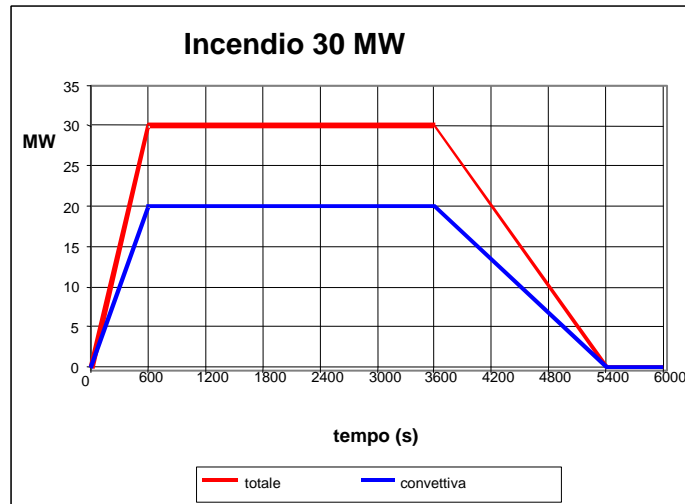
3.6. Potenza dell'incendio

Seguendo quanto indicato nelle "Recommendations of the group of experts on safety in road tunnels (UN trans/AC.7/9)", si è scelto di dimensionare l'impianto di ventilazione per un incendio di potenza termica pari a 30 MW.

Per descrivere l'evoluzione dell'incendio, ossia l'andamento della potenza termica rilasciata dal veicolo in fiamme al passare del tempo, si assume convenzionalmente la curva proposta nella guida

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 5 di 11</p>

metodologia francese “Les études spécifiques des dangers (ESD) pour les tunnels du réseau routier” e riportata nella seguente figura.



4. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE SANITARIA

4.1. Generalità

L'impianto di ventilazione sanitaria della galleria viene dimensionato per diluire, nella peggiore condizione di traffico stimata, le concentrazioni di inquinanti che possano creare pericolo per le persone o ridurre in misura eccessiva la visibilità.

La determinazione della quantità di inquinanti da diluire sarà calcolata in base alle indicazioni dell'AIPCR, l'Associazione Internazionale Permanente del Congresso della Strada, contenute nella già citata pubblicazione.

4.2. Determinazione quantità aria di rinnovo

4.2.1. Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire il CO, si è usata la seguente formula:

$$Q_{CO} = \frac{q_{CO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{CO_{lim} - CO_{amb}} \times L$$

dove:

Q_{CO} è la portata aria fresca per diluire il CO [m^3/s],

$q_{CO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo di CO [m^3/ora veicolo], in funzione della velocità v e della pendenza i ,

f_h è il coefficiente di altitudine,

f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche,

D_{bc} è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 6 di 11</p>

CO_{lim} è la concentrazione ammissibile di CO [ppm],
 CO_{amb} è la concentrazione ambiente di CO [ppm],
 L è la lunghezza della galleria [km].

4.2.2. Determinazione quantità aria di rinnovo per gli NOx

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire gli NOx, si è usata la seguente formula:

$$Q_{NO} = \frac{q_{NO(v,i)} \times f_h \times f_a}{3600} \times D_{bc} \times \frac{10^6}{NO_{lim}} \times L$$

dove:

Q_{NO} è la portata aria fresca per diluire gli NOx [m³/s],
 $q_{NO(v,i)}$ è l'emissione base per autoveicolo di NO [m³/ora veicolo], in funzione della velocità v e della pendenza i ,
 f_h è il coefficiente di altitudine,
 f_a è il coefficiente di invecchiamento delle marmitte catalitiche,
 D_{bc} è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
 NO_{lim} è la concentrazione ammissibile di CO [ppm],
 L è la lunghezza della galleria [km].

4.2.3. Determinazione quantità aria di rinnovo per i fumi

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire i fumi, si è usata la seguente formula:

$$Q_F = \frac{q_{t(v,i)} \times f_m \times f_h + q_{ne(v)}}{3600} \times D_c \times \frac{L}{K_{lim}}$$

dove:

Q_F è la portata aria fresca per diluire i fumi [m³/s],
 $q_{t(v,i)}$ è l'emissione base di fumi [m²/ora t],
 f_m è il coefficiente di massa,
 f_h è il coefficiente di altitudine,
 $q_{ne(v)}$ è il fattore di emissione di particolato non originato dallo scappamento [m²/ora],
 D_c è il numero di veicoli in galleria [veicoli/km],
 K_{lim} è il coefficiente di estinzione fumi [m⁻¹],
 L è la lunghezza della galleria [km].

4.3. Perdite di carico

Per indurre a trasportare lungo la galleria la portata d'aria fresca determinata, occorre vincere le perdite di carico generate dall'attrito della galleria e dall'effetto pistone degli autoveicoli (positivo e negativo).

4.3.1. Resistenza della galleria

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

dove:

1 - RELAZIONE CALCOLO VENTILAZIONE.DOC	Pagina 6 di 11
--	----------------

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 7 di 11</p>

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

R_g è la resistenza della galleria [Pa],
 α è il coefficiente di perdita all'entrata,
 β è il coefficiente di perdita all'uscita,
 λ è il coefficiente d'attrito delle pareti della galleria,
 D_h è il diametro idraulico [m],
 ρ è la massa volumica [kg/m³],
 V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s],
 L è la lunghezza della galleria [km].

4.3.2. Effetto pistone

L'effetto pistone può essere una resistenza negativa o positiva, in funzione della concordanza o meno tra la direzione del flusso veicolare e quello dell'aria in galleria, oppure se la velocità del traffico è inferiore alla velocità dell'aria in galleria.

Quanto sopra può essere espresso mediante la seguente formula:

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

dove:

R_p è la resistenza per effetto pistone [Pa],
 $i=1$ sono valori riferiti ad autoveicoli leggeri,
 $i=2$ sono valori riferiti a mezzi pesanti,
 ε_i è un coefficiente pari a +1 od a -1 in funzione della direzione del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione), oppure se $V_i > V_g$ o $V_i < V_g$,
 n_i è il numero dei veicoli presenti in galleria;
 $(C_x \times \Omega)_i$ è l'area resistente dei veicoli (area frontale corretta dal coefficiente di penetrazione) [m²],
 A_t è l'area del tunnel [m²],
 δ è la densità dell'aria [m³/kg],
 $\mu=+1$ per i veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione,
 $\mu=-1$ per i veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione,
 V_i è la velocità dei veicoli [m/s],
 V_g è la velocità dell'aria in galleria [m/s].

4.3.3. Effetto meteorologico

L'effetto meteorologico è la contropressione naturale che si instaura tra i due imbocchi.

È stato sintetizzato considerando nel dimensionamento e nelle verifiche una differenza di pressione tra i portali pari a 6 Pa, effetto che si oppone alla spinta dei ventilatori e genera all'interno della galleria un flusso d'aria opposto al flusso generato dai ventilatori.

Questo dato è stato assunto dalla relazione di calcolo della ventilazione del progetto definitivo, per il caso incendio.

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 8 di 11</p>

4.4. Risultati del calcolo

I risultati di calcolo, alle diverse velocità del traffico, sono riportati nelle tabelle allegate alla presente relazione.

Da esse si desume che la condizione peggiore è quella relativa a traffico che procede alla velocità di 5 km/h, si può notare che è sufficiente avere due soli ventilatori in funzione.

5. DIMENSIONAMENTO DELL'IMPIANTO DI VENTILAZIONE DI EMERGENZA

5.1. Obiettivi

L'impianto di ventilazione di emergenza deve essere in grado di gestire il caso di un incendio in galleria; la condizione che è stata presa in considerazione è quella di un incendio di potenza pari a 30 MW.

Per la sua gestione, occorre poter instaurare un flusso d'aria alla velocità di 2,5 m/s nelle condizioni più svantaggiate (con direzione del flusso opposta all'effetto camino naturale ed alla contropressione meteorologica).

La velocità dell'aria indicata è quella ritenuta idonea nella relazione di calcolo del progetto definitivo e, comunque, in accordo con le raccomandazioni internazionali, per impedire il fenomeno del riflusso della miscela aria – fumi in direzione opposta a quella della ventilazione meccanica (fenomeno del backlayering) e, quindi, consentire di evacuare il fumo da un imbocco, liberando dai fumi il tratto di galleria che si trova a monte dell'incendio.

5.2. Perdite di carico

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

5.2.1. 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.

L'effetto camino è stato trascurato nel calcolo della ventilazione del progetto definitivo; è parso, invece, opportuno tenerne conto qualora l'incendio si sviluppi nel tratto percorso in discesa e, quindi, occorra vincere tale effetto per allontanare i fumi dalla galleria.

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 9 di 11</p>

5.3. Rialzo termico

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

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

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 in J/kg/°K;

Q_v è la portata d'aria di rinnovo in m³/s;

290 è la temperatura ambiente espressa in °K.

5.4. Risultati del calcolo

I risultati di calcolo in caso di incendio, sono riportati anch'essi nelle tabelle allegate alla presente relazione.

Si può notare che sono necessari 24 ventilatori in funzione per il fornice destro e 19 per quello sinistro.

6. IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Sulla base dei calcoli prima esposti, il caso peggiore che si presenta è quello dell'incendio, per affrontare il quale occorre attivare 24 ventilatori nel fornice destro e 19 in quello sinistro.

Per consentire la massima sicurezza in caso di incendio, anche qualora si stia utilizzando il fornice sinistro della galleria in bidirezionale, per chiusura di quello destro per manutenzione, si ritiene opportuno installare in entrambi i fornici lo stesso numero di ventilatori, e cioè 24 unità.

Non si ritiene opportuno installare apparecchi di scorta perché il rialzo termico in caso di incendio porta la temperatura a 415°K, ossia 125°C; a questa temperatura, i ventilatori sono ancora in grado di operare per novanta minuti.

L'impianto di ventilazione previsto per la galleria Caltanissetta utilizzerà 24 acceleratori di tipo assiale reversibili in ciascun fornice, operanti in coppia e disposti lungo la galleria ad interdistanza di circa 100 m (circa 10 volte il diametro idraulico della galleria) in modo da evitare interferenze di funzionamento e una conseguente riduzione del rendimento dei ventilatori; la prima coppia sarà posta a circa 150 m di distanza dall'imbocco.

Caratteristiche dei ventilatori

diametro girante	1000 mm
spinta	900 N
portata d'aria	24 m ³ /s
velocità aria in uscita	30,5 m/s
velocità di rotazione	1470 giri/minuto
potenza elettrica	27 kW
tensione / frequenza / fasi	690 V / 50 Hz / 3
temperatura di funzionamento	400°C per 90 minuti

	<p style="text-align: center;">CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO</p>	<p style="text-align: center;">Rev. 0</p>
	<p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE</p>	<p style="text-align: center;">Pag. 10 di 11</p>

Rispetto al progetto definitivo si può notare che il numero di ventilatori da installare sia sceso da 36 a 24 unità; questo risultato è correlato all'adozione delle normative più recenti per il dimensionamento della ventilazione.

Infatti, le 36 unità richieste nel progetto definitivo servivano per la diluizione degli inquinanti emessi dal traffico circolante; con il ridotto rilascio di inquinanti del parco veicolare legato alle più stringenti norme sulle emissioni, questo numero si è drasticamente ridotto.

Di contro, nel progetto definitivo erano previsti solo 10 ventilatori per affrontare l'incendio, mentre i nuovi calcoli portano a più che raddoppiare il numero di macchine a disposizione.

	CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO-NORD EUROPA ITINERARIO AGRIGENTO – CALTANISSETTA – A19 S.S. N. 640 DI PORTO EMPEDOCLE AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5/11/2001 DAL KM 44+400 ALLO SVINCOLO CON L'A19 PROGETTO ESECUTIVO	Rev. 0
	RELAZIONE DI CALCOLO VENTILAZIONE	

ALLEGATI

TABULATI DI CALCOLO DELLA VENTILAZIONE

Dati generali della galleria

Dati geometrici ed atmosferici

Area della sezione	80 m ²
Diametro idraulico	10,1 m
Altitudine media	520 m s.l.m.
Densità dell'aria	1,2 kg/m ³
Contropressione atmosferica	6 Pa
Coefficiente d'attrito	0,04
Fattore di altezza del vento	0,65

Dati del traffico

Anno di entrata in servizio	2015
Direzione del flusso	unidirezionale
N° corsie per senso di marcia	2
Flusso del traffico scorrevole	1800 pcu/h,corsia
Flusso del traffico congestionato	700 pcu/h,corsia
Densità del traffico fermo	150 pcu/km,corsia
Percentuale mezzi pesanti nel traffico totale	35 %
Percentuale autovetture diesel tra le autovetture totali	38 %

	Fornice 1 direzione A19	Fornice 2 direzione Agrigento	autovetture	mezzi pesanti
Lunghezza	4044 m	4053 m	Velocità massima veicoli 130 km/h	80 km/h
Quota ingresso	530 m s.l.m.	508 m s.l.m.	Area frontale apparente veicoli 1,5 m ²	6 m ²
Quota uscita	509 m s.l.m.	531 m s.l.m.	Peso medio veicoli 1,1 t	12 t
Lunghezza tratto 1	2125 m	1924 m	Anno adozione EURO 2 1997	1997
Pendenza tratto 1	0,94 %	2,18 %	Veicoli rispondenti a EURO 2 0,0 %	0 %
Lunghezza tratto 2	1919 m	2129 m	Percorrenza veicoli EURO 2 0,000	0,000
Pendenza tratto 2	-2,14 %	-0,89 %	Anno adozione EURO 3 2000	2000
Lunghezza tratto 3			Veicoli rispondenti a EURO 3 12,5 %	12,5 %
Pendenza tratto 3			Percorrenza veicoli EURO 3 0,872	0,872
Lunghezza tratto 4			Anno adozione EURO 4 2005	2005
Pendenza tratto 4			Veicoli rispondenti a EURO 4 87,5 %	87,5 %
			Percorrenza veicoli EURO 4 1,128	1,128

Valori limite inquinanti ammessi

CO di fondo	2,5 ppm
CO limite	70 ppm
CO limite traffico fermo	100 ppm
K limite traffico fluido	0,005 m ⁻¹
K limite congestione	0,007 m ⁻¹
K limite traffico fermo	0,009 m ⁻¹
NO limite =	25 ppm

Dati ventilazione (girante da 1000 mm - 1470 giri/min - 27 KW)

Potere calorifico in caso di incendio	30 MW
Velocità aria in caso di incendio	2,5 m/s
Spinta ventilatori	900 N
Velocità di uscita ventilatori	30,5 m/s
Rendimento ventilatori	90 %
Coefficiente di posizionamento ventilatori	0,7

Portata d'aria di rinnovo per diluizione CO direzione A19 [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
<i>Auto EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Auto EURO 3</i>	0,69	4,44	2,61	2,43	2,43	1,88	1,61	1,42	1,51	1,88	2,57	3,77	5,69	8,80	11,78
<i>Auto EURO 4</i>	2,70	15,09	8,93	8,31	8,24	6,39	5,43	4,82	5,18	6,37	8,12	11,42	16,93	26,08	34,88
<i>Auto diesel EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Auto diesel EURO 3</i>	0,08	0,26	0,22	0,34	0,43	0,34	0,26	0,21	0,17	0,15	0,15	0,16	0,17	0,19	0,20
<i>Auto diesel EURO 4</i>	0,66	2,18	1,88	2,81	3,63	2,86	2,23	1,73	1,41	1,24	1,24	1,32	1,42	1,57	1,71
<i>Mezzi pesanti EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mezzi pesanti EURO 3</i>	0,78	1,19	0,78	0,94	1,17	0,99	0,84	0,76	0,70	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
<i>Mezzi pesanti EURO 4</i>	5,37	6,97	4,79	6,21	7,71	6,51	5,60	5,07	4,72	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83
TOTALE [m³/s]	10,28	30,14	19,21	21,04	23,59	18,97	15,97	14,02	13,69	15,18	17,63	22,22	29,77	42,19	54,12

Portata d'aria di rinnovo per diluizione CO direzione Agrigento [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
<i>Auto EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Auto EURO 3</i>	0,70	4,98	2,91	2,69	2,69	2,13	1,87	1,77	2,11	2,85	3,99	5,97	9,17	13,95	18,60
<i>Auto EURO 4</i>	2,70	16,95	9,99	9,24	9,15	7,21	6,34	5,98	7,24	9,67	12,60	18,02	27,23	41,34	55,07
<i>Auto diesel EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Auto diesel EURO 3</i>	0,08	0,27	0,24	0,35	0,46	0,36	0,28	0,22	0,18	0,16	0,16	0,17	0,18	0,20	0,22
<i>Auto diesel EURO 4</i>	0,66	2,31	1,99	2,98	3,84	3,03	2,36	1,83	1,50	1,32	1,33	1,41	1,53	1,69	1,84
<i>Mezzi pesanti EURO 2</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Mezzi pesanti EURO 3</i>	0,78	1,23	0,82	1,01	1,27	1,09	0,94	0,86	0,81	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
<i>Mezzi pesanti EURO 4</i>	5,38	7,21	5,02	6,65	8,38	7,17	6,24	5,72	5,35	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
TOTALE [m³/s]	10,31	32,96	20,96	22,92	25,79	20,98	18,04	16,37	17,18	20,34	24,41	31,91	44,44	63,52	82,06

Portata d'aria di rinnovo per diluizione NOx direzione A19 [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Auto EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto EURO 3	0,09	0,11	0,07	0,15	0,25	0,24	0,24	0,24	0,26	0,29	0,37	0,46	0,59	0,77	0,93
Auto EURO 4	0,22	0,31	0,20	0,49	0,84	27,92	26,65	25,98	26,93	30,22	38,05	48,92	63,37	84,06	103,62
Auto diesel EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto diesel EURO 3	0,32	0,41	0,26	0,44	0,61	0,53	0,45	0,40	0,39	0,41	0,46	0,51	0,56	0,60	0,63
Auto diesel EURO 4	1,93	1,96	1,19	1,99	2,75	2,40	2,05	1,82	1,77	1,86	2,08	2,31	2,52	2,69	2,81
Mezzi pesanti EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mezzi pesanti EURO 3	4,99	6,82	4,10	5,86	8,04	7,56	7,33	7,46	7,65	8,07	8,07	8,07	8,07	8,07	8,07
Mezzi pesanti EURO 4	29,58	36,92	21,36	28,87	37,65	33,53	30,80	29,66	28,77	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87	28,87
TOTALE [m³/s]	37,14	46,53	27,19	37,80	50,14	72,19	67,53	65,58	65,76	69,72	77,89	89,14	103,99	125,06	144,94

Portata d'aria di rinnovo per diluizione NOx direzione Agrigento [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Auto EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto EURO 3	0,09	0,11	0,07	0,17	0,29	0,28	0,28	0,29	0,32	0,36	0,45	0,57	0,71	0,90	1,08
Auto EURO 4	0,22	0,33	0,23	0,58	0,99	0,95	0,94	0,95	1,01	1,12	1,40	1,74	2,17	2,76	3,32
Auto diesel EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto diesel EURO 3	0,32	0,45	0,30	0,52	0,72	0,63	0,54	0,48	0,46	0,48	0,54	0,60	0,68	0,74	0,79
Auto diesel EURO 4	1,94	2,14	1,37	2,35	3,26	2,85	2,43	2,17	2,10	2,21	2,46	2,73	3,04	3,32	3,53
Mezzi pesanti EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mezzi pesanti EURO 3	5,00	7,46	4,68	7,03	9,93	9,56	9,45	9,79	10,18	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89	10,89
Mezzi pesanti EURO 4	29,64	39,85	24,03	34,24	45,93	41,76	39,00	38,08	37,28	37,71	37,71	37,71	37,71	37,71	37,71
TOTALE [m³/s]	37,22	50,34	30,68	44,89	61,12	56,03	52,64	51,76	51,34	52,78	53,46	54,24	55,20	56,32	57,33

Portata d'aria di rinnovo per diluizione fumi direzione A19 [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Auto EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto EURO 3	0,00	0,52	0,73	1,52	2,28	2,37	2,32	2,37	2,33	2,37	2,34	2,37	2,35	2,35	2,35
Auto EURO 4	0,00	4,73	6,62	13,77	20,65	21,44	20,97	21,44	21,10	21,44	21,18	21,44	21,23	21,24	21,26
Auto diesel EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto diesel EURO 3	0,90	1,60	1,49	2,32	3,31	3,50	15,55	19,37	19,57	19,53	24,71	33,07	41,38	50,92	60,64
Auto diesel EURO 4	3,01	7,21	7,62	13,26	19,16	20,09	87,96	109,95	116,49	125,43	148,91	186,42	220,51	260,37	300,88
Mezzi pesanti EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mezzi pesanti EURO 3	5,55	8,07	6,59	8,83	11,30	10,14	9,26	8,79	8,41	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65	8,65
Mezzi pesanti EURO 4	25,13	38,87	32,69	46,03	60,38	55,33	51,10	49,09	47,22	48,39	48,39	48,39	48,39	48,39	48,39
TOTALE [m³/s]	34,59	61,00	55,75	85,73	117,08	112,87	187,15	211,00	215,12	225,81	254,18	300,35	342,50	391,92	442,16

Portata d'aria di rinnovo per diluizione fumi direzione Agrigento [m³/s]

Velocità [km/h]	0	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Auto EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto EURO 3	0,00	0,52	0,73	1,52	2,29	2,37	2,32	2,37	2,34	2,37	2,35	2,37	2,35	2,35	2,35
Auto EURO 4	0,00	4,74	6,64	13,80	20,69	21,49	21,01	21,49	21,15	21,49	21,23	21,49	21,27	21,29	21,31
Auto diesel EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Auto diesel EURO 3	0,90	1,64	1,55	2,42	3,48	3,72	16,69	20,77	20,88	20,86	26,73	36,16	45,67	56,51	67,57
Auto diesel EURO 4	3,01	7,36	7,82	13,64	19,79	20,84	91,91	114,81	121,02	130,10	155,92	197,09	235,26	279,61	324,72
Mezzi pesanti EURO 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mezzi pesanti EURO 3	5,57	8,32	6,91	9,46	12,29	11,13	10,26	9,82	9,45	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
Mezzi pesanti EURO 4	25,19	40,14	34,20	48,97	64,85	59,75	55,63	53,76	51,93	53,65	53,65	53,65	53,65	53,65	53,65
TOTALE [m³/s]	34,67	62,73	57,85	89,82	123,39	119,31	197,83	223,02	226,77	238,29	269,68	320,57	368,00	423,23	479,42

Calcolo ventilazione direzione A19

<i>Velocità traffico</i>	<i>Velocità traffico</i>	<i>Velocità aria</i>	<i>Perdite agli imbocchi</i>	<i>Perdite pareti</i>	<i>Effetto meteorologico</i>	<i>Perdite totali</i>	<i>Effetto pistone autovetture</i>	<i>Effetto pistone mezzi pesanti</i>	<i>Spinta ventilatore</i>	<i>Ventilatori teorici</i>	<i>Ventilatori richiesti</i>
[km/h]	[m/s]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[N]	[n°]	[n°]
0	0,00	0,46	0,2	2,1	6	8,3	0,3	0,6	620	1,2	2
5	1,39	0,76	0,6	5,6	6	12,1	-0,5	-1,0	614	1,4	2
10	2,78	0,70	0,5	4,7	6	11,1	-2,6	-5,7	616	0,4	1
20	5,56	1,07	1,1	11,0	6	18,1	-13,0	-27,9	608	0,0	0
30	8,33	1,46	2,1	20,6	6	28,7	-31,0	-66,8	600	0,0	0
40	11,11	1,41	1,9	19,1	6	27,1	-46,4	-99,9	601	0,0	0
50	13,89	2,34	5,3	52,6	6	63,9	-52,6	-113,3	582	0,0	0
60	16,67	2,64	6,7	66,9	6	79,6	-64,7	-139,3	576	0,0	0
70	19,44	2,69	6,9	69,5	6	82,5	-79,1	-170,3	574	0,0	0
80	22,22	2,82	7,6	76,6	6	90,3	-92,7	-199,8	572	0,0	0
90	25,00	3,18	9,7	97,1	6	112,8	-104,3	-224,7	564	0,0	0
100	27,78	3,75	13,5	135,5	6	155,1	-113,8	-245,1	552	0,0	0
110	30,56	4,28	17,6	176,3	6	199,9	-123,7	-266,5	542	0,0	0
120	33,33	4,90	23,0	230,8	6	259,8	-132,8	-286,1	529	0,0	0
130	36,11	5,53	29,3	293,8	6	329,1	-141,9	-305,5	516	0,0	0
Incendio	0,00	2,50	6,0	60,1	6	72,1	8,2	17,6	578	23,6	24

Rialzo termico in caso di incendio
415,4 °K
Effetto camino in caso di incendio
72,9 Pa
Calcolo ventilazione direzione Agrigento

<i>Velocità traffico</i>	<i>Velocità traffico</i>	<i>Velocità aria</i>	<i>Perdite agli imbocchi</i>	<i>Perdite pareti</i>	<i>Effetto meteorologico</i>	<i>Perdite totali</i>	<i>Effetto pistone autovetture</i>	<i>Effetto pistone mezzi pesanti</i>	<i>Spinta ventilatore</i>	<i>Ventilatori teorici</i>	<i>Ventilatori richiesti</i>
[km/h]	[m/s]	[m/s]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	100	[Pa]	[Pa]	[N]	[n°]	[n°]
0	0,00	0,47	0,2	2,1	6	8,3	0,3	0,6	620	1,2	2
5	1,39	0,78	0,6	5,9	6	12,5	-0,4	-1,0	614	1,4	2
10	2,78	0,72	0,5	5,0	6	11,5	-2,6	-5,5	615	0,4	1
20	5,56	1,12	1,2	12,1	6	19,4	-12,7	-27,4	607	0,0	0
30	8,33	1,54	2,3	22,9	6	31,2	-30,4	-65,4	598	0,0	0
40	11,11	1,49	2,1	21,4	6	29,6	-45,7	-98,5	599	0,0	0
50	13,89	2,47	5,9	58,9	6	70,8	-51,5	-110,9	579	0,0	0
60	16,67	2,79	7,5	74,9	6	88,4	-63,4	-136,6	572	0,0	0
70	19,44	2,83	7,7	77,4	6	91,2	-77,9	-167,7	571	0,0	0
80	22,22	2,98	8,5	85,5	6	100,0	-91,5	-197,0	568	0,0	0
90	25,00	3,37	10,9	109,5	6	126,4	-102,7	-221,2	560	0,0	0
100	27,78	4,01	15,4	154,8	6	176,2	-111,6	-240,5	547	0,0	0
110	30,56	4,60	20,3	203,9	6	230,3	-121,0	-260,6	535	0,0	0
120	33,33	5,29	26,9	269,7	6	302,6	-129,5	-278,9	521	0,0	0
130	36,11	5,99	34,5	346,1	6	386,6	-137,9	-297,0	506	0,0	0
Incendio	0,00	2,50	6,0	60,2	6	72,2	8,2	17,6	578	18,5	19

Rialzo termico in caso di incendio
415,4 °K
Effetto camino in caso di incendio
35,5 Pa