

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)
 SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)
 COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)
 SACYR S.A.U. (MANDANTE)
 ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)
 A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA</p>  <p>Dott. Ing. I. Barilli Ordine Ingegneri V.C.O. n° 122 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA</p> <p>Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA</p> <p>Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	SS1033_F0
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE STRADALI – IMPIANTI TECNOLOGICI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	GALLERIA NATURALE – LE FOSSE	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	

CODICE C G 0 7 0 0 P 4 R D S S I 0 0 G N F 4 0 0 0 0 0 5 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	D. RE	G. LUPI	I. BARILLI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

INDICE

INDICE	i
1 Dati per la progettazione – prescrizioni e prestazioni previste per gli impianti	1
1.1 Impianto di ventilazione in galleria	1
1.1.1 Dati geometrici.....	1
1.1.2 Condizioni di traffico	1
1.1.2.1 Traffico scorrevole	1
1.1.2.2 Traffico congestionato	4
1.1.2.3 Valori traffico congestionato.....	4
1.1.2.4 Traffico bloccato	4
1.1.2.5 Valori traffico bloccato	5
1.1.3 Velocità di progetto	5
1.1.4 Casistiche esaminate.....	5
1.1.5 Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato), NO _x .	6
1.1.6 Calcolo delle portate di aria di ventilazione Galleria Le Fosse.....	11
1.1.7 Calcolo delle cadute di pressione	21
1.1.8 Calcolo della velocità critica dell'aria in caso di incendio.....	22
1.1.9 Calcolo della ventilazione in caso di incendio in galleria per la Galleria Le Fosse	25
1.1.10 Dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria Le Fosse.....	27
1.1.11 Ventilatori ad induzione utilizzati per il calcolo	29
1.2 Impianto pressurizzazione by-pass	30
1.2.1 Dati geometrici e prestazione richieste	30
1.2.2 Equazioni di calcolo	31
1.2.3 Scelta dei ventilatori.....	33
1.3 Leggi e norme di riferimento	34

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1 Dati per la progettazione – prescrizioni e prestazioni previste per gli impianti

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

Si espone nel seguito il calcolo dell'impianto di ventilazione effettuato per la galleria Le Fosse.

1.1 Impianto di ventilazione in galleria

Per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria Le Fosse sono stati assunti i seguenti dati geometrici generali, che ci sono stati forniti dai progettisti delle opere stradali.

1.1.1 Dati geometrici

Fornice di salita (Ponte Stretto → Messina)

- Lunghezza della galleria : $L = 2.811,10 \text{ m}$
- Sezione trasversale media della galleria: $\Omega = 98,23 \text{ m}^2$
- Diametro equivalente medio della galleria: $D = 10,05 \text{ m}$
- Altezza media sul livello del mare: $H = \approx 130 \text{ m}$
- Pendenza media della galleria: $i = +2,35\%$

Fornice di discesa (Messina → Ponte Stretto)

- Lunghezza della galleria : $L = 2.748,46 \text{ m}$
- Sezione trasversale media della galleria: $\Omega = 98,81 \text{ m}^2$
- Diametro equivalente medio della galleria: $D = 10,07 \text{ m}$
- Altezza media sul livello del mare: $H = \approx 130 \text{ m}$
- Pendenza media della galleria: $i = -2,25\%$

Per ulteriori dati geometrici si faccia riferimento alle Tavole Edili.

1.1.2 Condizioni di traffico

1.1.2.1 Traffico scorrevole

I valori del traffico veicolare sono stati desunti da uno studio trasportistico a servizio delle gallerie di collegamento fra la Calabria e la Sicilia ed il Ponte sullo Stretto di Messina.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Da tale studio è stato possibile desumere i seguenti dati suddivisi nelle categorie delle seguenti classi autostradali:

- Classe A: motoveicoli ed autoveicoli con massa inferiore ai 3,5 q.li;
- Classe B: veicoli commerciali con massa superiore ai 3,5 q.li;
- Classe 3: autobus e veicoli pesanti con massa pari a 10 tonnellate;
- Classe 4: veicoli pesanti con massa pari a 20 tonnellate;
- Classe 5: veicoli pesanti con massa pari o superiore a 30 tonnellate.

La tabella seguente fornisce i dati di traffico annuale, relativi ai veicoli da e per la Sicilia, utilizzati per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione negli anni 2016, 2025 e 2036.

Categoria (classi autostradali)	2016	2025	2036
A	3.695.797	4.725.965	5.489.767
B	607.465	776.790	902.333
3	94.772	121.189	140.775
4	85.641	109.513	127.212
5	462.563	591.498	687.095

Si fa presente che le emissioni dei veicoli, fornite in sede internazionale dal PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), sono disponibili solo fino all'anno 2030.

Pertanto le emissioni all'anno 2010 sono state associate al traffico dell'anno 2016, le emissioni all'anno 2020 sono state associate al traffico dell'anno 2025 e le emissioni all'anno 2030 sono state associate al traffico dell'anno 2036.

Tale assunzione è conservativa.

Sulla base dei più recenti dati di traffico relativi alle autostrade italiane, la stima dei traffici giornalieri (TGM) e di quelli orari (THM, traffico orario medio e THP, traffico orario di punta), a partire dai traffici annuali, può essere così ricavata:

- $TGM = \text{Traffico annuale} / 310$
- $THM = TGM * 0,06$
- $THP = TGM * 0,12$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

a1.	Veicoli leggeri/(ora-carreggiata) di cui 50% a benzina (VLB/h-carr) e 50% a gasolio (VLG/h-carr)	716 (VL/h-carr)
a2.	Veicoli commerciali/(ora-carreggiata)	118 (VC/h-carr)
a3.	Veicoli pesanti/(ora-carreggiata)	125 (VP/h-carr)

I veicoli pesanti (VP) sono stati ripartiti secondo i seguenti tonnellaggi:

- Veicoli pesanti 10t = 18 VP10t/(h-carreggiata) (~ 15% del VP/h-carr)
- Veicoli pesanti 20t = 17 VP20t/(h-carreggiata) (~ 13% del VP/h-carr)
- Veicoli pesanti 30t = 90 VP30t/(h-carreggiata) (~ 72% del VP/h-carr)

Lo stesso ragionamento è stato applicato per gli anni 2025 e 2036, di cui sono forniti i valori del traffico.

Pertanto per ciascuna carreggiata i valori orari del traffico di punta all'anno 2025, utili ai fini del calcolo delle portate di aria fresca da introdurre in ciascun fornice per la diluizione degli inquinanti, risultano:

a1.	Veicoli leggeri/(ora-carreggiata) di cui 50% a benzina (VLB/h-carr) e 50% a gasolio (VLG/h-carr)	915 (VL/h-carr)
a2.	Veicoli commerciali/(ora-carreggiata)	151 (VC/h-carr)
a3.	Veicoli pesanti/(ora-carreggiata)	159 (VP/h-carr)

I veicoli pesanti (VP) sono stati ripartiti secondo le percentuali sopra indicate, nei seguenti tonnellaggi:

- Veicoli pesanti 10t = 23 VP10t/(h-carreggiata)
- Veicoli pesanti 20t = 21 VP20t/(h-carreggiata)
- Veicoli pesanti 30t = 114 VP30t/(h-carreggiata)

I valori orari del traffico di punta all'anno 2036 sono i seguenti:

a1.	Veicoli leggeri/(ora-carreggiata) di cui 50% a benzina (VLB/h-carr) e 50% a gasolio (VLG/h-carr)	1.063 (VL/h-carr)
a2.	Veicoli commerciali/(ora-carreggiata)	175 (VC/h-carr)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

a3. Veicoli pesanti/(ora·carreggiata) 185 (VP/h·carr)

I veicoli pesanti (VP) sono stati ripartiti secondo le percentuali sopra indicate, nei seguenti tonnellaggi:

- Veicoli pesanti 10t = 27 VP10t/(h·carreggiata)
- Veicoli pesanti 20t = 25 VP20t/(h·carreggiata)
- Veicoli pesanti 30t = 132 VP30t/(h·carreggiata)

1.1.2.2 Traffico congestionato

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

1.1.2.3 Valori traffico congestionato

Carreggiata congestionata:

Valore calcolato:	1.239 Ve/h·carreggiata congestionata
Valore assunto:	1.239 Ve/h·carreggiata congestionata
VLB/(h·carreggiata)	463
VLG/(h·carreggiata)	463
VC/(h·carreggiata)	152
VP10t/(h·carreggiata)	23
VP20t/(h·carreggiata)	22
VP30t/(h·carreggiata)	116

1.1.2.4 Traffico bloccato

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1.1.2.5 Valori traffico bloccato

Carreggiata bloccata:

Valore calcolato:	265 Ve/(km-carreggiata)
Valore assunto:	265 Ve/(km-carreggiata)
VLB/(km-carreggiata)	99
VLG/(km-carreggiata)	99
Vc/(km-carreggiata)	33
VP10t/(km-carreggiata)	5
VP20t/(km-carreggiata)	5
VP30t/(km-carreggiata)	24

1.1.3 Velocità di progetto

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

- traffico scorrevole: corsia lenta 80÷100 km/h
- traffico scorrevole: corsia veloce 100÷130 km/h
- traffico congestionato 10 km/h
- traffico bloccato 0 km/h

1.1.4 Casistiche esaminate

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

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

I calcoli sono stati effettuati sia per i fornici verso Messina, che per i fornici verso il Ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

E' stata inoltre effettuata la verifica della ventilazione sanitaria anche nel caso di utilizzo in modo bidirezionale di uno dei due fornici, in caso di chiusura dell'altro fornice (manutenzione, incidente, etc.).

Le casistiche per il traffico bidirezionale esaminate sono riportate nella seguente tabella:

Caso A CO scorr. squilibrato Ponte⇒ME	Caso B CO scorr. squilibrato ME⇒Ponte	Caso C CO scorr. equilibrato	Caso D CO cong. in direzione Ponte⇒ME	Caso E CO cong. in direzione ME⇒Ponte	Caso F CO cong. in tutta la galleria	Caso G CO blocc. in direzione Ponte⇒ME	Caso H CO blocc. in direzione ME⇒Ponte	Caso I CO blocc. in tutta la galleria
Caso J Fumi scorr. squilibrato Ponte⇒ME	Caso K Fumi scorr. squilibrato ME⇒Ponte	Caso L Fumi scorr. equilibrato	Caso M Fumi cong. in direzione Ponte⇒ME	Caso N Fumi cong. in direzione ME⇒Ponte	Caso O Fumi cong. in tutta la galleria	Caso P Fumi blocc. in direzione Ponte⇒ME	Caso Q Fumi blocc. in direzione ME⇒Ponte	Caso R Fumi blocc. in tutta la galleria
Caso S NO _x scorr. squilibrato Ponte⇒ME	Caso T NO _x scorr. squilibrato ME⇒Ponte	Caso U NO _x scorr. equilibrato	Caso V NO _x cong. in direzione Ponte⇒ME	Caso X NO _x cong. in direzione ME⇒Ponte	Caso Y NO _x cong. in tutta la galleria	Caso Z NO _x blocc. in direzione Ponte⇒ME	Caso α NO _x blocc. in direzione ME⇒Ponte	Caso β NO _x blocc. in tutta la galleria

Nell'ipotesi di traffico scorrevole squilibrato si è ipotizzato di avere in una corsia un traffico pari all'70% del traffico totale, mentre nell'altra corsia si è assunto il rimanente 30% del traffico totale. E' inoltre stato esaminato il caso di traffico congestionato e bloccato su entrambe le corsie per ogni senso di marcia.

1.1.5 Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato), NO_x

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il calcolo di dimensionamento dell'impianto di ventilazione è stato effettuato agli anni 2010 e 2030. Non essendo disponibili, per la presente galleria, le diverse classi di ripartizione del parco veicolare (veicoli leggeri, commerciali, pesanti, etc.), a seconda del combustibile usato, ed in funzione delle diverse categorie di emissioni (Pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3 ed Euro 4) abbiamo utilizzato studi della Comunità Europea, che forniscono l'andamento del parco veicolare fino all'anno 2030. Tali studi formulano una stima sul numero di veicoli circolanti in Italia nei vari anni, suddiviso in funzione della tipologia di veicoli (veicoli leggeri, commerciali, pesanti, etc.) ed in funzione delle diverse categorie di emissioni (Pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4 ed oltre).

Nella tabella 1.1.5.1 sono riportati i valori limiti degli inquinanti o valori di soglia di riferimento indicati dal PIARC, che l'impianto di ventilazione deve essere in grado di controllare.

T. 1.1.5.1

Condizioni di traffico	CO		Visibilità	NO _x
	1995 p.p.m.	Anno 2010 p.p.m.		
Scorrevole di punta a 50 ÷ 100 km/h	100	70	Coefficiente di estinzione k 10 ⁻³ m ⁻¹ 5	p.p.m. 25 (*)
Congestionato	150	70	7	25 (*)
Bloccato	250	100	9	25 (*)

(*) PIARC, Bruxelles, 1987.

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

Nel seguito sono riportate le tabelle contenenti i valori delle emissioni inquinanti dei veicoli, in funzione della velocità dei veicoli, dell'altezza media s.l.m. e dei valori di pendenza riscontrati per la galleria in oggetto per gli anni 2010, 2020 e 2030.

- tabella 1.1.5.2 : valori dell'Ossido di carbonio (CO)
- tabella 1.1.5.3 : valori del particolato (fumi od opacità, OP)
- tabella 1.1.5.4 : valori degli Ossidi di Azoto (NO_x)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0

T. 1.1.5.2

Emissioni di CO risultanti

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di CO [m ³ /h·VE]					
		Pendenza media [%]					
		Dir. Ponte -2,25%			Dir. Messina +2,35%		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030
VLB	0	0,026	0,007	0,004	0,026	0,007	0,004
VLG		0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
VC		0,005	0,003	0,003	0,005	0,003	0,003
VP _{10t}		0,020	0,009	0,007	0,020	0,009	0,007
VP _{20t}		0,033	0,012	0,010	0,033	0,012	0,010
VP _{30t}		0,043	0,012	0,010	0,043	0,012	0,010
VLB	10	0,068	0,024	0,014	0,091	0,036	0,022
VLG		0,007	0,006	0,005	0,008	0,007	0,007
VC		0,020	0,012	0,011	0,022	0,015	0,014
VP _{10t}		0,025	0,011	0,009	0,045	0,014	0,011
VP _{20t}		0,042	0,016	0,013	0,077	0,019	0,016
VP _{30t}		0,061	0,024	0,020	0,112	0,029	0,023
VLB	80	0,090	0,027	0,015	0,344	0,133	0,083
VLG		0,012	0,009	0,009	0,015	0,012	0,012
VC		0,038	0,020	0,018	0,049	0,026	0,024
VP _{10t}		0,053	0,025	0,021	0,137	0,044	0,036
VP _{20t}		0,076	0,032	0,027	0,199	0,057	0,047
VP _{30t}		0,120	0,066	0,057	0,298	0,117	0,098
VLB	100	0,158	0,048	0,028	0,791	0,314	0,199
VLG		0,015	0,012	0,012	0,020	0,016	0,016
VC		0,050	0,027	0,024	0,063	0,035	0,032
VP _{10t}		/	/	/	/	/	/
VP _{20t}		/	/	/	/	/	/
VP _{30t}		/	/	/	/	/	/

T. 1.1.5.3

Emissioni di OP risultanti

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di OP [m ² /h·VE]					
		Pendenza media [%]					
		Dir. Ponte -2,25%			Dir. Messina +2,35%		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030
VLB	0	0	0	0	0	0	0
VLG		1,2	0,7	0,6	1,2	0,7	0,6
VC		3,2	2,4	1,1	3,2	2,4	1,1
VP _{10t}		15	4	3	15	4	3
VP _{20t}		27	8	5	27	8	5
VP _{30t}		38	10	7	38	10	7
VLB	10	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
VLG		4	2	2	4	2	2
VC		15	5	3	18	6	4
VP _{10t}		23	9	8	39	11	9
VP _{20t}		37	14	11	67	17	13
VP _{30t}		50	16	12	92	19	14
VLB	80	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2	7,2
VLG		13	10	9	18	12	11
VC		43	23	18	63	30	21
VP _{10t}		73	48	45	133	59	52
VP _{20t}		99	58	52	196	78	66
VP _{30t}		119	66	57	248	94	76
VLB	100	9	9	9	9	9	9
VLG		22	15	13	31	19	17
VC		71	38	27	110	52	33
VP _{10t}		/	/	/	/	/	/
VP _{20t}		/	/	/	/	/	/
VP _{30t}		/	/	/	/	/	/

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

T. 1.1.5.4

Emissioni di NO_x risultanti

Tipo di veicolo	Velocità Veicolo [km/h]	Emissione di NO _x [m ³ /h·VE]					
		Pendenza media [%]					
		Dir. Ponte -2,25%			Dir. Messina +2,35%		
		2010	2020	2030	2010	2020	2030
VLB	0	0,0008	0,0002	0,0001	0,0008	0,0002	0,0001
VLG		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
VC		0,006	0,004	0,003	0,006	0,004	0,004
VP _{10t}		0,032	0,017	0,014	0,032	0,017	0,014
VP _{20t}		0,061	0,035	0,028	0,061	0,035	0,028
VP _{30t}		0,080	0,044	0,035	0,080	0,044	0,035
VLB	10	0,002	0,0005	0,0002	0,003	0,0007	0,0003
VLG		0,003	0,002	0,002	0,005	0,003	0,003
VC		0,008	0,005	0,003	0,013	0,009	0,006
VP _{10t}		0,045	0,023	0,018	0,090	0,039	0,029
VP _{20t}		0,084	0,047	0,036	0,169	0,078	0,059
VP _{30t}		0,111	0,059	0,046	0,225	0,098	0,074
VLB	80	0,019	0,004	0,002	0,041	0,009	0,004
VLG		0,010	0,007	0,006	0,022	0,014	0,012
VC		0,033	0,018	0,012	0,068	0,036	0,024
VP _{10t}		0,151	0,069	0,044	0,508	0,229	0,139
VP _{20t}		0,275	0,144	0,093	0,926	0,478	0,291
VP _{30t}		0,357	0,185	0,120	1,203	0,615	0,375
VLB	100	0,035	0,008	0,003	0,070	0,017	0,008
VLG		0,016	0,010	0,009	0,033	0,021	0,018
VC		0,050	0,027	0,018	0,105	0,055	0,036
VP _{10t}		/	/	/	/	/	/
VP _{20t}		/	/	/	/	/	/
VP _{30t}		/	/	/	/	/	/

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1.1.6 Calcolo delle portate di aria di ventilazione Galleria Le Fosse

I valori della portata di aria in galleria vengono calcolati sulla base delle relazioni indicate dal PIARC con riferimento ai valori delle emissioni indicati dal PIARC nel 2004.

I valori che si ottengono per le diverse condizioni di traffico sono riassunti nelle Tabelle 1.1.6.1a (anno 2010), 1.1.6.1b (anno 2020) e 1.1.6.1c (anno 2030) per il caso unidirezionale con direzione Messina → Ponte (fornice di discesa) e 1.1.6.2a (anno 2010), 1.1.6.2b (anno 2020) e 1.1.6.2c (anno 2030) per il caso unidirezionale con direzione Ponte → Messina (fornice di salita).

La tabella 1.1.6.3 riassume i valori relativi al caso bidirezionale per il fornice di maggiore lunghezza.

Nel caso unidirezionale i valori massimi di portata, per la ventilazione meccanica, si ottengono nel caso di traffico congestionato o bloccato con inquinamento dovuto al particolato.

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

La relazione applicata è la seguente :

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

dove :

Q	=	portata aria espressa in	[m ³ /h]
M	=	intensità del traffico	[veicoli/h]
L	=	lunghezza della galleria	[km]
V	=	velocità dei veicoli	[km/h]
q	=	emissione per veicolo	[m ³ /h·Ve; m ² /h·Veh]
		per CO (ossido di carbonio), NO _x (ossidi di azoto), fumi da motori diesel, particolato da usura del manto stradale, pneumatici, freni;	
i	=	pendenza corsia	[%]
h	=	quota s.l.m.	[m]
t	=	età dei veicoli (ripartizione del parco automobilistico in funzione degli anni di riferimento)	
C _{adm}	=	concentrazione ammissibile per CO ed NO _x ; per la visibilità (particolato) C _{adm} è sostituito da k _{adm}	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.1a

FORNICE DI DISCESA (MESSINA → PONTE) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2010

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	9	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	51	35	6
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	32	51	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	54	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	128	54	8
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	114	59	8
Caso G	NO _x	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	22	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	59	37	6
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	87	56	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.1b

FORNICE DI DISCESA (MESSINA → PONTE) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2020

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	4	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	21	28	4
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	10	50	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	43	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	49	34	6
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	39	51	8
Caso G	NO _x	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	13	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	31	31	4
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	52	52	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.1c

FORNICE DI DISCESA (MESSINA → PONTE) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2030

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	4	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	14	27	4
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	7	50	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	42	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	39	32	6
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	26	50	8
Caso G	NO _x	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	10	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	24	29	4
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	41	51	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.2a

FORNICE DI SALITA (PONTE → MESSINA) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2010

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	33	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	72	40	6
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	33	51	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	94	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	201	79	12
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	117	60	10
Caso G	NO _x	Scorrevole	358	358	118	18	17	90	80, 100	66	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	152	23	22	116	10	117	52	8
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	89	56	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.2b

FORNICE DI SALITA (PONTE → MESSINA) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2020

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	17	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	29	30	4
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	10	50	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	57	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	57	36	6
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	40	51	8
Caso G	NO _x	Scorrevole	458	458	151	23	21	114	80, 100	39	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	153	23	21	116	10	53	35	6
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	25	0	53	52	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0

T. 1.1.6.2c

FORNICE DI SALITA (PONTE → MESSINA) – TRAFFICO UNIDIREZIONALE – ANNO 2030

Caso	Inquinante	Traffico	Numero Veicoli						Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP [Pa]	Numero booster
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP _{10t} /h	VP _{20t} /h	VP _{30t} /h				
Caso A	CO	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	14	/	/
Caso B	CO	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	21	28	4
Caso C	CO	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	7	50	8
Caso D	FUMI	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	55	/	/
Caso E	FUMI	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	45	33	6
Caso F	FUMI	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	26	51	8
Caso G	NO _x	Scorrevole	532	532	175	27	25	132	80, 100	30	/	/
Caso H	NO _x	Congestionato	463	463	152	24	22	115	10	40	32	6
Caso I	NO _x	Bloccato (*)	99	99	33	5	5	24	0	42	51	8

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

T. 1.1.6.3

FORNICE DI SALITA (PONTE → MESSINA) – TRAFFICO BIDIREZIONALE – ANNO 2010

Caso	Inquinante	Traffico	Veicoli corsia Ponte – Messina				Veicoli corsia Messina – Ponte				Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP1 Po-ME [Pa]	ΔP2 ME-Po [Pa]	N. booster Po-ME	N. booster ME-Po
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP/h(**)	VLB/h	VLG/h	VC/h	VP/h(**)						
Caso A	CO	Scorrevole	501	501	165	174	215	215	71	75	80	37	/	145	/	20
Caso B	CO	Scorrevole	215	215	71	75	501	501	165	174	80	25	142	/	20	/
Caso C	CO	Scorrevole	358	358	118	125	358	358	118	125	80	31	57	57	8	8
Caso D	CO	Congestionato	198	198	65	70	358	358	118	125	10	39	157	/	22	/
Caso E	CO	Congestionato	358	358	118	125	198	198	65	70	10	45	/	159	/	22
Caso F	CO	Congestionato	198	198	65	70	198	198	65	70	10	53	58	58	8	8
Caso G	CO	Bloccato (*)	50	50	16	17	358	358	118	125	0	22	160	/	22	/
Caso H	CO	Bloccato (*)	358	358	118	125	50	50	16	17	0	33	/	162	/	22
Caso I	CO	Bloccato (*)	50	50	16	17	50	50	16	17	0	34	51	51	8	8
Caso J	FUMI	Scorrevole	501	501	165	174	215	215	71	75	80	152	11	184	2	26
Caso K	FUMI	Scorrevole	215	215	71	75	501	501	165	174	80	123	172	/	24	/
Caso L	FUMI	Scorrevole	358	358	118	125	358	358	118	125	80	138	91	91	14	14
Caso M	FUMI	Congestionato	198	198	65	70	358	358	118	125	10	124	180	/	26	/
Caso N	FUMI	Congestionato	358	358	118	125	198	198	65	70	10	118	/	178	/	24
Caso O	FUMI	Congestionato	198	198	65	70	198	198	65	70	10	144	81	81	12	12
Caso P	FUMI	Bloccato (*)	50	50	16	17	358	358	118	125	0	88	172	/	24	/

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

Segue T. 1.1.6.3

Caso	Inquinante	Traffico	Veicoli corsia Ponte – Messina				Veicoli corsia Messina – Ponte				Velocità nelle corsie [km/h]	Portata aria [m ³ /s]	ΔP1 Po-ME [Pa]	ΔP2 ME-Po [Pa]	N. booster Po-ME	N. booster ME-Po
			VLB/h	VLG/h	VC/h	VP/h(**)	VLB/h	VLG/h	VC/h	VP/h(**)						
Caso Q	FUMI	Bloccato (*)	358	358	118	125	50	50	16	17	0	108	/	177	/	24
Caso R	FUMI	Bloccato (*)	50	50	16	17	50	50	16	17	0	120	61	61	10	10
Caso S	NO _x	Scorrevole	501	501	165	174	215	215	71	75	80	102	/	164	/	22
Caso T	NO _x	Scorrevole	215	215	71	75	501	501	165	174	80	68	153	/	22	/
Caso U	NO _x	Scorrevole	358	358	118	125	358	358	118	125	80	85	72	72	10	10
Caso V	NO _x	Congestionato	198	198	65	70	358	358	118	125	10	72	165	/	22	/
Caso X	NO _x	Congestionato	358	358	118	125	198	198	65	70	10	90	/	170	/	24
Caso Y	NO _x	Congestionato	198	198	65	70	198	198	65	70	10	77	63	63	10	10
Caso Z	NO _x	Bloccato (*)	50	50	16	17	358	358	118	125	0	67	167	/	24	/
Caso α	NO _x	Bloccato (*)	358	358	118	125	50	50	16	17	0	110	/	178	/	24
Caso β	NO _x	Bloccato (*)	50	50	16	17	50	50	16	17	0	91	56	56	8	8

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

(**) Valore totale dei VP/h dato dalla somma dei VP_{10t}/h, VP_{20t}/h e VP_{30t}/h

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

Dalle tabelle precedenti si evidenzia che il valore della portata dell'aria, scelto per dimensionare l'impianto di ventilazione, risulta conservativo per gli anni 2020 e 2030, in quanto l'evolversi delle classi di emissione da E₀, E₁, E₂, E₃ ad E₄, E₅, E₆ imposta dalla normativa CE, porta ad una riduzione degli inquinanti principali CO, particolato ed NO_x, con conseguente riduzione della portata di aria sanitaria per la ventilazione della galleria.

1.1.7 Calcolo delle cadute di pressione

I valori delle cadute di pressione, necessari per la circolazione dell'aria secondo le portate previste, risultano dal calcolo delle singole cadute di pressione per resistenze continue e localizzate, della differenza di pressione dovuta all'effetto pistone del traffico, delle differenze delle condizioni barometriche fra gli imbocchi, dell'effetto del vento sui portali di ingresso.

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

$$\Delta p = \Delta p_R \pm \Delta p_{pi} \pm \Delta p_b \pm \Delta p_w \quad [1.1]$$

dove:

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

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

Per l'effetto del vento, che può essere presente in funzione delle condizioni meteo, si è assunto un valore di sovrappressione sull'imbocco, contrario alla spinta dei ventilatori, pari a 50 Pa,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

corrispondente ad un vento con velocità di ≈ 33 km/h e con verso normale alla sezione di uscita dalle gallerie.

Sulla base dei valori delle portate volumiche dell'aria, necessarie per diluire gli inquinanti al di sotto dei valori di soglia ammessi e nelle diverse condizioni di traffico, sono state calcolate, con la relazione [1.1], le cadute di pressione totali entro la galleria e quindi il numero dei ventilatori ad induzione necessari per garantire le portate d'aria sopra indicate.

Il numero dei ventilatori necessari risulta per i diversi casi esaminati, è riportato nelle tabelle 1.1.6.1a, 1.1.6.1b, 1.1.6.1c, 1.1.6.2a, 1.1.6.2b, 1.1.6.2c e 1.1.6.3.

1.1.8 Calcolo della velocità critica dell'aria in caso di incendio

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

E' noto infatti che in caso di incendio in una galleria a percorrenza unidirezionale, i veicoli che sono a valle dell'incendio nel verso del traffico, escono dalla galleria senza avvertire l'incendio, in quanto la loro velocità è notevolmente maggiore di quella della propagazione longitudinale dei fumi.

I veicoli che restano fermi a monte dell'incendio vengono protetti dal flusso dell'aria, che spinge nel verso del traffico, se il flusso dell'aria ha una velocità longitudinale sufficiente ad evitare, per effetto dei moti convettivi dovuti all'incendio, il fenomeno del riflusso dei fumi verso i veicoli fermi (fenomeno di backlayering). La velocità critica è calcolata mediante la formula di Kennedy.

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

Le equazioni utilizzate per il calcolo sono le seguenti:

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

$$K_1 = Fr_c^{1/3} \quad [\text{Eq. 2}]$$

$$K_g = 1 + 0,0374 \cdot (\text{grade})^{0,8} \quad [\text{Eq. 3}]$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

$$T_f = \frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot A \cdot V_c} + T \quad [\text{Eq. 4}]$$

dove :

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

Il calcolo per evitare il riflusso viene effettuato tenendo conto che l'incendio si possa sviluppare a livello dell'asse del veicolo pesante.

Si è supposto di avere una potenza di incendio di 30 MW, corrispondente a quella dell'incendio di un veicolo pesante trasportante materiale solido infiammabile, una potenza di incendio di 50 MW, corrispondente alla potenza di riferimento degli standard ANAS ed una potenza di 100 MW corrispondente all'incendio di una cisterna di combustibile liquido (ad es. gasolio).

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

Va tenuto presente che in caso di incendio il verso della velocità longitudinale e quindi il livello della spinta dei ventilatori, che sono in grado di funzionare, deve coincidere con il verso del traffico. Situazioni particolari nel corso dell'intervento di spegnimento dell'incendio possono richiedere l'inversione del flusso longitudinale da parte del personale di soccorso o dei VV.F.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	Codice documento SS1033_F0.doc	Rev. 0

T. 1.1.8.1

Riepilogo velocità critiche

Incendio di riferimento della potenza di 30 MW

Direzione	Pendenza [%]	ΔH [m]	Tf [°C]	Vc [m/s]	Δp totale [Pa]	Numero Ventilatori	Velocità spinta Ventilatori [m/s]
ME – Po	-2,25	4	113	1,61	62	9	1,64
Po– ME	+2,35	4	121	1,49	61	9	1,65

Incendio di riferimento della potenza di 50 MW

Direzione	Pendenza [%]	ΔH [m]	Tf [°C]	Vc [m/s]	Δp totale [Pa]	Numero Ventilatori	Velocità spinta Ventilatori [m/s]
ME – Po	-2,25	4	155	1,84	66	10	2,01
Po– ME	+2,35	4	167	1,71	64	10	2,02

Incendio di riferimento della potenza di 100 MW

Direzione	Pendenza [%]	ΔH [m]	Tf [°C]	Vc [m/s]	Δp totale [Pa]	Numero Ventilatori	Velocità spinta Ventilatori [m/s]
ME – Po	-2,25	4	250	2,17	72	11	2,32
Po– ME	+2,35	4	270	2,00	69	11	2,32

Legenda

- ΔH = Distanza fra la quota a cui avviene l'incendio e la sommità della galleria
 Tf = Temperatura media della miscela aria-fumo
 Vc = Velocità critica
 ΔP_{totale} = Caduta di pressione totale calcolata in funzione della velocità critica in galleria

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

1.1.9 Calcolo della ventilazione in caso di incendio in galleria per la Galleria Le Fosse

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

- mantenere la velocità longitudinale dell'aria al di sopra di determinati valori critici, in funzione della potenza dell'incendio (V. par. 1.1.8);
- mantenere il controllo della propagazione dei fumi, onde evitare la destratificazione, in modo tale che i fumi restino confinati nella sezione trasversale superiore, in volta alla galleria. Questa situazione è particolarmente importante nel caso di una galleria a traffico monodirezionale con ventilazione longitudinale, per il controllo della direzione di propagazione dei fumi in presenza di traffico congestionato o bloccato;
- mantenere la temperatura sufficientemente bassa per consentire l'esodo e l'accesso dei soccorsi e nel contempo mantenere la visibilità entro valori accettabili per consentire l'evacuazione della galleria.

Va tenuto presente che il fenomeno è ulteriormente complicato se il fornice ha una pendenza longitudinale elevata e si è in presenza di veicoli fermi in galleria a monte dell'incendio.

In tal caso si manifesta l'effetto del tiraggio termico dovuto all'incendio (effetto camino) particolarmente elevato, contrastato dalla resistenza fluidodinamica costituita dalla colonna di veicoli fermi in galleria.

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

Si è assunta una velocità longitudinale pari a ~ 3 m/s, nella sezione a monte dell'incendio, che costituisce un valore cautelativo, anche nei riguardi di un incendio della potenza di 100 MW.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

L' equazione utilizzata per il calcolo è la seguente:

$$\Delta p = \Delta p_R + \Delta p_{pi} + \Delta p_w \pm \Delta p_{nat} \pm \Delta p_{incendio} \quad [Eq. 5]$$

dove:

- Δp_R è la caduta di pressione causata dalle resistenze passive continue e localizzate, dovute al flusso dell'aria;
- Δp_{pi} è la caduta di pressione dovuta all'effetto esercitato dai veicoli fermi in galleria;
- Δp_w è la pressione cinetica esercitata dal vento sugli imbocchi;
- Δp_{nat} è la caduta di pressione dovuta all'effetto termico in galleria;
- Δp_{pi} è la caduta di pressione dovuta all'incendio in galleria;
- Δp è la prevalenza che deve essere esercitata dall'impianto meccanico di ventilazione.

Va tenuto presente che nel caso del fornice con traffico in discesa (Messina → Ponte) l'effetto del tiraggio termico dovuto all'incendio è a sfavore rispetto al verso della ventilazione meccanica, mentre nel caso del fornice con traffico in salita (Ponte → Messina) l'effetto del tiraggio termico dovuto all'incendio è a favore rispetto al verso della ventilazione meccanica.

La tabella 1.1.9.1. riporta il numero dei ventilatori ad induzione risultanti necessari per il controllo dell'incendio, numero che è stato adottato per i ventilatori da installare nella galleria suddetta.

T. 1.1.9.1

RIEPILOGO VENTILATORI PER CONTROLLO INCENDIO

Carreggiata	Pendenza [%]	Lunghezza fornice [m]	Numero booster
Ponte → Messina	+2,35	2.811,10	14
Messina → Ponte	-2,25	2.748,46	26

Va rilevato che il numero dei ventilatori previsti per il caso di incendio è in grado di soddisfare anche all'utilizzo di un solo fornice della galleria in condizioni di traffico bidirezionale.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

1.1.10 Dimensionamento dell'impianto di ventilazione della galleria Le Fosse

Anno 2010

Per il fornice di discesa (Messina → Ponte), dai calcoli della portata massima necessaria (128 mc/s) riportata in tabella 1.1.6.1a (caso con utilizzo della galleria in modalità unidirezionale) e delle cadute di pressione che si verificano in tale condizione, risulta che il numero massimo di ventilatori assiali da installare è pari a 8 (4 coppie).

Per il fornice di salita (Ponte → Messina), dai calcoli della portata massima necessaria (201 mc/s) riportata in tabella 1.1.6.2a (caso con utilizzo della galleria in modalità unidirezionale) e delle cadute di pressione che si verificano in tale condizione, risulta che il numero massimo di ventilatori assiali da installare è pari a 12 (6 coppie).

In ogni fornice sono stati valutati i ventilatori necessari per tenere conto della possibilità di controllo del verso e del valore della velocità critica longitudinale dell'aria in galleria in caso di incendio (V. Φ 1.1.8.).

Sia per il fornice di discesa (Messina → Ponte) che per il fornice di salita (Ponte → Messina) sono necessari 10 ventilatori assiali (5 coppie).

In entrambi i casi il calcolo è stato effettuato per un incendio di riferimento di 30 MW.

Infine sono stati calcolati, per ogni fornice, i ventilatori necessari per il controllo dell'incendio, tenendo in conto tutti i parametri che lo possono influenzare (tiraggio termico dovuto all'incendio, resistenza fluidodinamica dovuta all'attrito sulle pareti della galleria ed alla colonna di veicoli bloccati a monte dell'incendio, spinta del vento, etc.) (V. Φ 1.1.9.).

Per il fornice di discesa (Messina → Ponte) sono necessari 26 ventilatori assiali (13 coppie), mentre per il fornice di salita (Ponte → Messina) sono necessari 14 ventilatori assiali (7 coppie).

E' stata prevista una coppia di ventilatori di riserva per ogni fornice; pertanto il numero totale dei ventilatori previsti risulta pari a 28 nella canna di discesa (Messina → Ponte) e pari a 16 nella canna di salita (Ponte → Messina).

Anni 2020÷2030

Per gli anni 2020÷2030 i risultati dei calcoli sono analoghi per le condizioni sanitarie, con valori di portata ridotti a causa della riduzione dell'inquinamento prodotto dai veicoli dovuto al rinnovo del

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

parco veicolare.

Il numero dei ventilatori da prevedere in galleria dipende dal calcolo relativo al controllo dell'incendio, che è indipendente da tali fattori e non varia nel tempo.

Pertanto il numero dei ventilatori negli anni 2020 e 2030 è identico a quello calcolato alla anno 2010 ed installato in galleria.

Per il fornace di discesa (Messina → Ponte) devono pertanto essere installate 14 coppie di ventilatori assiali (28 ventilatori totali), mentre per il fornace di salita (Ponte → Messina) devono essere installate 8 coppie di ventilatori assiali (16 ventilatori totali), disposti in volta del fornace.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

1.1.11 Ventilatori ad induzione utilizzati per il calcolo

I ventilatori adottati per il calcolo sono ad induzione del tipo reversibile, costituiti da :

- Una girante assiale speciale per alte temperature con pale a profilo alare tale da assicurare in controrotazione 100% della portata volumetrica nominale a flusso unidirezionale.
- Un motore elettrico, asincrono, trifase, ad induzione, con rotore a gabbia di scoiattolo, adatto per avviamento diretto e per funzionamento continuo secondo, I.E.C. 34-1. Protezione meccanica IP55, secondo I.E.C. 34-5.
- Una cassa d'alloggiamento del gruppo motore/girante, costruita in acciaio inox Grado AISI 316L.
- La cassa è predisposta per l'installazione di sensore di vibrazioni e di un dispositivo tecnico per il controllo della orizzontalità.
- I ventilatori sono adatti per funzionamento in emergenza in caso d'incendio con temperatura di 400 °C per 120 minuti.
- Due silenziatori cilindrici, di lunghezza 1D, costruiti in acciaio inox Grado AISI 316L con spessore minimo di 1 mm.
- Due bocchelli in lamiera collegato al corpo silenziatore di acciaio inox Grado AISI 316L.

Le caratteristiche dei ventilatori sono le seguenti:

- Diametro girante : 1000 mm
- Portata aria : 24.5 m³/s
- Spinta in aria ferma : 900 N
- Velocità in uscita aria : 30.5 m/s
- Velocità di rotazione : 1470 giri/min.
- Potenza motore : 27 kW
- Livello di rumorosità : 71 dB(A) a 10 m a 45° in campo libero emissione emisferica
- Cos \varnothing : 0.89
- Classe isolamento : H
- Alimentazione elettrica : 400V \pm 690V/50Hz/3f
- Temperatura max. : +40 °C oppure 400 °C per 90 minuti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

1.2 Impianto pressurizzazione by-pass

Le gallerie stradali del versante siciliano sono del tipo monodirezionale a doppia canna, provviste di collegamenti pedonali o pedonali/carrabili, che mettono in comunicazione le due canne.

Nel caso di incendio in uno dei due fornic, il by-pass rappresenta per gli utenti una via di fuga verso il fornice indenne ed un eventuale punto di accesso per i soccorritori.

Come richiesto dalle Linee Guida Anas 2009, per le gallerie di lunghezza superiore a 1000 m, i by-pass sono provvisti di un impianto di ventilazione meccanica, che li mantiene in sovrappressione rispetto alla galleria incidentata e quindi liberi dai fumi dell'incendio.

Per ciascuna parete di accesso dalla galleria al by-pass è prevista l'installazione dei seguenti componenti:

- Griglia in acciaio zincato di presa aria
- Serranda tagliafuoco REI 120'
- Elettroventilatore
- Serranda di regolazione motorizzata
- Serranda tagliafuoco REI 120'
- Griglia in acciaio zincato di espulsione aria

La pressurizzazione del by-pass è assicurata, durante l'incendio, dal ventilatore attestato sulla parete che mette in comunicazione il by-pass con il fornice indenne. Il ventilatore installato sulla parete del fornice incidentato rimane inattivo.

Nella galleria Le Fosse sono presenti 9 by-pass pedonali.

1.2.1 Dati geometrici e prestazione richieste

- lunghezza by-pass : $L = 13 \text{ m}$
- sezione trasversale by-pass: $\Omega = \approx 9,2 \text{ m}^2$
- perimetro della sezione trasversale: $P = 10,23 \text{ m}$
- dimensione porte (nr. 4): $\text{Dim.} = 0,9 \times 2,1 \text{ m}$

Prestazioni richieste dallo Standard Anas

- sovrappressione richiesta a porte chiuse: $\Delta p = 50 \text{ Pa}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

- velocità in presenza di una porta aperta: $v \geq 0,75 \text{ m/s}$

Delle due prestazioni sopra indicate quella più restrittiva è la seconda, quindi è quella che determina la scelta del ventilatore.

Mantenendo il filtro chiuso ad una sovrappressione di 50 Pa, si deve fornire una portata pari alle perdite di aria attraverso le fughe delle porte e delle micro fessure dei muri.

Per mantenere una velocità $\geq 0,75 \text{ m/s}$ il ventilatore deve elaborare una portata, che dipende dalla sezione della porta, ma che comunque è di un ordine di grandezza superiore rispetto alla portata a porte chiuse.

1.2.2 Equazioni di calcolo

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

Perdita di aria attraverso le fessure delle porte:

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

dove :

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

Perdita di aria attraverso le fessure dei muri:

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

dove :

Q_M	=	portata aria per metro lineare di porta	[m ³ /s/m]
S_M	=	superficie delle fessure per metro lineare di porta	[m ² /m]
C_F	=	coefficiente di flusso	
Δp	=	sovrappressione	[Pa]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE		<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011

ρ = densità dell'aria [kg/m³]

La portata totale a porte chiuse risulta essere

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

dove :

P_P = perimetro delle porte [m]

S = superficie laterale del filtro [m²]

La portata di aria necessaria a mantenere una data velocità a porta aperta è data dalle seguente formula:

$$Q_A = S_P \cdot V \quad [4]$$

dove :

V = velocità dell'aria attraverso la porta aperta [m/s]

S_P = superficie porta aperta [m²]

Le perdite di pressioni corrispondenti sono calcolate con la formula:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_d + \Delta p_c = \frac{\rho}{2} \left(\lambda \cdot \frac{l}{D_e} \cdot V^2 + \sum_j C_j \cdot V_j^2 \right) \quad [5]$$

dove:

Δp_{tot} = perdita di pressione totale [Pa]

Δp_d = perdita di pressione distribuita [Pa];

Δp_c = perdite di pressione concentrate [Pa];

λ = fattore di attrito adimensionale;

l = lunghezza del circuito [m];

D_e = diametro equivalente [m];

V = velocità media del fluido [m/s].

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

V_j = velocità media del fluido nel punto j-esimo [m/s];

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

I coefficienti C_j sono determinati sperimentalmente e disponibili nell'ambito della letteratura scientifica, ad esempio nelle pubblicazioni ASHRAE, Fundamentals Handbook.

1.2.3 Scelta dei ventilatori

Sono previsti ventilatori assiali con le seguenti caratteristiche:

- Diametro girante : 634 mm
- Portata aria : 5,4 m³/s
- Pressione totale : 834 Pa
- Potenza motore : 7,5 kW

Ciascuno dei due ventilatori del by-pass garantisce:

alla portata nominale e una porta aperta

- velocità attraverso la porta: $v = 2,65$ m/s
- sovrappressione: $\Delta p = 10$ Pa

a portata ridotta e porte chiuse:

- sovrappressione: $\Delta p = 50$ Pa

Il mantenimento di una sovrappressione di 50 Pa fra il by-pass ed i fornici assicura inoltre, al momento della apertura della porta, una velocità iniziale attraverso questa pari a ~ 6 m/s, garantendo il cosiddetto "effetto bolla", effetto che impedisce l'ingresso dei fumi dalla galleria incidentata al by-pass a porta aperta di accesso al by-pass stesso.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

1.3 Leggi e norme di riferimento

Nello sviluppo del progetto definitivo delle opere impiantistiche descritte nel presente documento, oltre ai riferimenti legislativi, alle circolari ed alle norme tecniche indicate nel documento GCG.F.01.02 (Ottobre 2004), sono stati considerati, in particolare, anche i seguenti riferimenti:

Leggi e Circolari

- D.Lgs n° 264 del 5/10/2006 di attuazione della Direttiva europea 2004/54/CE (nel seguito indicata brevemente con DLgs)
- Circolare ANAS n. 179431/09 “Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali” – Seconda edizione 2009 (nel seguito indicata brevemente con LG)
- AIPCR Association Internazionale Permanente des Congrès de la Route – XVIIIe Congrès Mondial de la Route à Bruxelles, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Bruxelles septembre 1987 ;
- AIPCR Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XIXe Congrès Mondial de la Route à Marrakech, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Marrakech septembre 1991;
- AIPCR Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – XXe Congrès Mondial de la Route à Montréal, Comité technique des tunnels routiers, rapport. Montreal septembre 1995;
- AIPCR Association mondiale de la Route – Comité AIPCR des tunnels routiers : “Fire and Smoke Control in Road Tunnels » - ed. 1999;
- AIPCR Association mondiale de la Route – Comité technique AIPCR de l’exploitation des tunnels routiers : “Tunnel Routiers : Émission des Véhicules et besoins en air pour la ventilation » - ed. 2004.
- AIPCR Association Internationale Permanente des Congrès de la Route – “Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels” – 2007.
- Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement - Circulaire interministérielle n. 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national – Bulletin Officiel – Sept. 2000;
- Office fédéral des routes OFROU - Directive - Ventilation des tunnels routiers choix du système, dimensionnement et équipement – Avril 2008

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE	<i>Codice documento</i> SS1033_F0.doc	<i>Rev.</i> 0	<i>Data</i> 24/03/2011	

Si precisa come per l'opera di cui trattasi, facendo parte della rete TERN, risulta cogente il Dlgs n. 264/06 mentre le Linee guida ANAS costituiscono uno strumento che rendono pratica l'applicazione del Dlgs per quegli aspetti impiantistici in merito ai quali il Dlgs stesso si limita a fornire delle indicazioni prescrittive generali.