

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
 Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
 Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
 e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
 1° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

Ing. *VINCENZO MARZI*
 Ordine Ingegneri di Bari n. 3594

IL GEOLOGO

Geol. *FRANCESCO MATALONI*
 Ordine Geologici del Lazio n. 725

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. *GIOVANNI MAGARO'*
 Ordine Architetti di Roma n. 16183

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. *FABIO QUONDAM*

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. *ACHILLE DEVITOFRANCESCHI*

PROTOCOLLO

DATA:

Impianti tecnologici

RELAZIONE DI CALCOLO IMPIANTO DI VENTILAZIONE

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. L0702M D 1801		T00IM00IMPRE04_B			B	***
		CODICE ELAB. T00IM00IMPRE04				
D						
C						
B	AGGIORNAMENTO		Luglio 19			
A	EMISSIONE		Giugno 2018			
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

1) <i>PREMESSA</i>	2
2) <i>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</i>	2
3) <i>GENERALITA'</i>	3
4) <i>CRITERI GENERALI PER IL DIMENSIONAMENTO</i>	4
5) <i>CRITERI SPECIFICI DIMENSIONAMENTO</i>	5
5) <i>ACCELERATORI E FATTORI DI PERDITA</i>	7
7) <i>CONDIZIONI METEOROLOGICHE DI RIFERIMENTO</i>	7
8) <i>DATI DI TRAFFICO</i>	7
9) <i>DIMENSIONAMENTO IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO (Sanitaria)</i>	8
9.1) <i>Determinazione quantità di aria</i>	11
9.2) <i>Resistenza della galleria</i>	11
9.3) <i>Effetto pistone</i>	12
9.4) <i>Effetto meteorologico</i>	13
9.5) <i>Resistenza totale</i>	13
10) <i>CONDIZIONI DI EMERGENZA</i>	14
10.1) <i>Calcolo della velocità critica</i>	15
10.1) <i>Calcolo delle perdite di carico</i>	16
11) <i>CONCLUSIONE</i>	16

**IMPIANTI TECNOLOGICI A SERVIZIO DEL TRATTO STRADALE GALLERIA
GUINZA (lotto 2) E DEL TRATTO GUINZA – MERCATELLO OVEST (lotto 3)
SULLA E78 S.G.C. GROSSETO-FANO**

RELAZIONE DI CALCOLO

1) PREMESSA

La presente relazione di calcolo è finalizzata al dimensionamento e alla verifica dell'impianto di ventilazione a servizio della galleria Guinza sul nuovo tratto stradale sulla E78 S.G.C. Grosseto – Fano, identificato come galleria Guinza e tratto galleria Guinza - Mercatello Ovest. Si tratta di una galleria naturale con uno sviluppo di 5.963 metri costituita da una singola corsia di marcia nella direzione Fano - Grosseto (mono direzionale con senso unico di marcia).

Si tratta di una galleria esistente realizzata da oltre un decennio non ancora aperta al traffico in quanto completamente sprovvista di qualsiasi impianto tecnologico.

Per quanto riguarda l'impianto di ventilazione, considerato la geometria e le caratteristiche dimensionali della sezione trasversale, in accordo a quanto previsto dal documento "valutazione dei rischi", l'impianto di ventilazione previsto è del tipo longitudinale, integrato da un impianto di rilevamento della qualità dell'aria (opacimetri, analizzatori di CO ed NO), di controllo del traffico mediante un impianto TVCC, da sensori di misurazione della velocità e direzione del vento e da un impianto di rivelazione di calore.

Il dimensionamento del nuovo impianto di ventilazione è stato effettuato in modo da assicurare un'elevata quantità dell'aria all'interno della galleria oltre che ad assicurare un'adeguata diluizione degli inquinanti, nella peggiore condizione di traffico stimata ed in condizioni di emergenza, per mezzo di ventilatori assiali detti anche "acceleratori" o "jet-fan" ad impulso, ancorati alla volta della galleria. Nella verifica e dimensionamento dell'impianto nelle condizioni di un incendio (30MW), si è tenuto conto della necessità di garantire la stratificazione dei fumi, nella fase iniziale dell'incendio, in modo tale da garantire sia l'evacuazione delle persone che l'accesso dei mezzi di soccorso.

In particolare, nella presente relazione di calcolo sono stati analizzati i diversi scenari di funzionamento dell'impianto in condizioni di esercizio ordinario (sanitaria) e in condizioni di emergenza (incendio)

2) NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I riferimenti normativi e legislativi posti alla base per la verifica ed il dimensionamento dei ventilatori hanno come riferimento le linee guida che Anas ha emanato nel corso degli anni,

con particolare riferimento alla edizione II dell'ottobre 2009. Tali linee guida all'art. 3.4.2.2.1, in merito al “ livello massimo degli inquinanti” indica come “raccomandazioni” di riferimento, quelli riportati nelle guide PIARC (World Road Association) vigenti al momento della progettazione dell'impianto di ventilazione”. Nel nostro caso si tratta della edizione PIARC del 2004.

Di seguito vengono riportate altri riferimenti normativi presi in considerazione:

- *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;
- *Systems and Equipment for Fire and Smoke control in Road Tunnels (PIARC 2007)*: riferimenti per la definizione degli scenari di incendio e per il dimensionamento degli impianti di ventilazione;
- *Pollution by NO₂ in road Tunnels (PIARC 2000)*
- *Fire and Smoke control in road tunnels (PIARC 1999)*
- *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.

3) GENERALITA'

Le funzioni che devono essere assolte da un impianto di ventilazione all'interno di una galleria stradale possono essere riassunte nel successivo elenco:

- controllo e gestione del livello degli elementi inquinanti (CO, CO₂, NO, NO₂) e della OPACITA' presenti, emessi dai veicoli circolanti all'interno della struttura, sia in condizione di traffico “normale” che di “picco”;
- controllo e gestione degli stessi parametri in condizioni particolarmente gravosi generati da un arresto della circolazione per incidenti od anomalie sulla normale viabilità;
- controllo e gestione delle condizioni dell'aria interna in caso di produzione di calore e di fumo derivanti da incendi.

Riassumendo quanto sopra indicato, si può affermare che l'impianto di ventilazione a servizio di una galleria stradale deve assolvere a due compiti ben precisi:

- assicurare il mantenimento del livello di inquinanti al di sotto delle soglie limite

impostate in condizione di funzionamento normale;

- controllare la diffusione dei fumi, in caso di *condizioni di emergenza* dovute a incendio in galleria o traffico bloccato, al fine di garantire il salvataggio delle persone coinvolte nell'evento

Sulla base di quanto sopra, l'impianto di ventilazione sarà dimensionato, in esercizio normale, sulla base dei volumi di traffico effettivi, caratteristici della galleria, e in condizioni di emergenza ipotizzando di avere un carico di incendio con una potenza termica non inferiore a 30MW.

Come ribadito è importante avere una gestione corretta dell'impianto durante un eventuale incendio, in modo tale da poter controllare il moto dei fumi unitamente alla diluizione delle sostanze tossiche ad essi associate).

4) CRITERI GENERALI PER IL DIMENSIONAMENTO

La continua innovazione tecnologica in ambito automobilistico ha ridotto notevolmente i valori di emissione degli inquinanti. Questo costante abbassamento ha ridotto l'importanza della ventilazione in condizioni di normale esercizio come fattore di sicurezza per la galleria.

Di conseguenza, nei criteri di calcolo dell'impianto di ventilazione, oltre che tener conto delle condizioni più gravose di traffico, si è tenuto prioritariamente conto del controllo del fumo in caso di incendio in galleria.

Durante l'incendio vengono liberati nell'ambiente fumo, gas di combustione e calore. In questi casi anche se la temperatura viene mitigata, i gas prodotti dalla combustione mantengono inalterate le loro proprietà tossiche mettendo fortemente a rischio la salute degli utenti. Inoltre il fumo sprigionato, abbate la visibilità impedendo un facile raggiungimento delle zone filtro (ove presenti) o dei fornice di uscita della galleria.

Nel caso in esame, dato che la galleria è a singolo fornice con traffico unidirezionale, si presuppone che parte dei veicoli a valle e monte dell'incendio siano liberi di uscire della galleria e parte sono potenzialmente bloccati ed accodati ai veicoli coinvolti nell'incidente. Si considera inoltre che non è necessario adottare modelli che tengano conto di un evento incidentale combinato ad un precedente evento incidentale.

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

In condizione di esercizio normale, invece, l'impianto di ventilazione deve generare una portata d'aria tale da garantire la diluizione degli inquinanti emessi dai veicoli che transitano all'interno della galleria sino a livelli raccomandati.

5) CRITERI SPECIFICI DIMENSIONAMENTO

L'impianto di ventilazione, per la gestione ordinaria in condizione di esercizio, segue gli indirizzi tipici della ventilazione longitudinale in cui viene generata una portata d'aria tale da diluire le sostanze inquinanti emesse dai veicoli ad una concentrazione, che nel caso peggiorativo, è pari a quella massima ammessa dalle raccomandazioni internazionali.

Come anticipato in premessa, si tratta di una galleria del tipo monodirezionale. Ai fini del calcolo delle portate d'aria di rinnovo nelle condizioni di esercizio normale sono stati considerati i seguenti scenari di traffico:

- traffico fluido;
- traffico congestionato;
- traffico bloccato in galleria.

Per la determinazione dei volumi di traffico in transito all'interno della galleria nei differenti scenari di traffico si considerano rispettivamente:

- i flussi di traffico orario massimi, riferito sostanzialmente alle prime due condizioni;
- la densità di veicoli massima che porta alla saturazione della lunghezza totale della galleria nelle ipotesi di traffico bloccato.

Il numero di veicoli presenti in galleria, nell'unità di tempo viene calcolata come rapporto diretto tra il traffico orario considerato e la relativa velocità media.

Per tutti gli scenari si considera una percentuale costante di mezzi pesanti secondo la composizione del parco veicoli fissata al paragrafo precedente.

In accordo con i dettami del PIARC:

- la velocità del flusso di traffico che porta ai valori massimi del traffico orario è fissata a 50 km/h;
- per lo scenario di traffico congestionato si utilizza la velocità di 10 km/h;
- la densità massima di veicoli in galleria in condizioni di traffico bloccato è fissata in ragione della lunghezza equivalente dei veicoli per km per corsia.

Per i tre scenari esaminati è stata calcolata la portata d'aria di rinnovo necessaria a garantire la corretta diluizione degli inquinanti (così come imposto dal PIARC).

Il calcolo è stato effettuato considerando che nel futuro (proiezione all'anno 2025) le emissioni di inquinanti all'interno delle gallerie saranno inferiori rispetto allo stato

previsionale a breve termine, tenendo conto che lo sviluppo tecnologico sarà ancor più rivolto ad una maggiore riduzione delle emissioni di inquinanti in atmosfera.

Ai fini del calcolo della portata d'aria nelle condizioni di emergenza si è considerato lo scenario con la presenza di un focolaio di incendio nella struttura.

La potenza fissata per il focolaio di riferimento è di 30 MW (equivalente all'incendio di un mezzo pesante per trasporto merci combustibili).

Il flusso di ventilazione è stato considerato nella condizione di spinta più sfavorevole è cioè prevedendo l'allontanamento dei fumi in discesa. Così facendo, l'impianto previsto sarà capace di contrastare le perdite al camino dovute al moto dell'aria ascendente causa della differenza di densità tra l'aria in galleria lontana dal focolare e l'aria calda presente nella zona occupata dai fumi. Dal calcolo della portata d'aria eseguito in tutti i possibili scenari (normali e di emergenza) si determina dunque la spinta richiesta al sistema di ventilazione per il mantenimento delle condizioni di funzionamento calcolate in relazione alle cadute di pressione prodotte dal moto dell'aria all'interno della galleria (attrito, effetto pistone, effetti meteo climatici ...). Dalla spinta utile si ricava in modo diretto il numero di jet-fan necessari. La galleria è del tipo stradale con lunghezza pari a 5.963m, a singolo fornice con traffico unidirezionale, con una unica corsia di marcia.

Il criterio di ventilazione adottato per le condizioni di esercizio rispecchia sostanzialmente il sistema di ventilazione longitudinale. La presente verifica aeraulica valuta il sistema di ventilazione in condizione di normale esercizio (ventilazione sanitaria) e in condizioni di emergenza (evento incidentale con sviluppo incendio). Vengono riportati a seguito le grandezze principali relative alla galleria ai fini della valutazione aeraulica.

caratteristiche geometriche della galleria.

Caratteristiche	Galleria Guinza
Lunghezza (m)	5963
area sezione (m²)	57
diametro idraulico (m)	7,6
pendenza media (%)	0,4
quota media s.l.m. (m)	580

5) ACCELERATORI E FATTORI DI PERDITA

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

Caratteristiche	Jet Fan
diametro interno	1.000mm
Flusso	Reversibile
Spinta in senso diretto	900N
Portata d'aria	24,3 m ³ /s

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

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

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

7) CONDIZIONI METEOROLOGICHE DI RIFERIMENTO

Secondo le raccomandazioni svizzere, *“Ventilation des tunnels routieres – Chiox du système, dimensionnement et exploitation (Office fédéral des routes)*, per il dimensionamento e le verifiche delle prestazioni di un impianto di ventilazione, devono essere considerati gli effetti meteorologici caratteristici della zona. In mancanza di dati attendibili di considera una differenza di pressione tra i portali pari a circa 150Pa.

8) DATI DI TRAFFICO

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

- velocità di percorrenza;
- numero di veicoli in galleria;
- composizione del traffico.

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

1) Velocità di percorrenza:	50km/h
2) TGM:	2.500 (veicoli/giorno)
3) % veicoli Leggeri	100%
4) % veicoli pesanti	0%
5) % veicoli benzina	40%
6) % veicoli diesel	60%

9) DIMENSIONAMENTO IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO (Sanitaria)

L'impianto di ventilazione, per la gestione ordinaria in condizione di esercizio, segue gli indirizzi tipici della ventilazione longitudinale in cui viene generata una portata d'aria tale da diluire le sostanze inquinanti emesse dai veicoli ad una concentrazione, che nel caso peggiorativo, è pari a quella massima ammessa dalle raccomandazioni internazionali.

Gli inquinanti considerati sono quelli prodotti dal funzionamento dei veicoli che percorrono la galleria, costituiti prevalentemente da monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x) e particolato (PM₁₀) descritti di seguito.

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, nelle diverse condizioni di flusso di traffico, sono state ricavate dalla pubblicazione [2] e cautelativamente riferiti ai valori soglia di concentrazione più restrittivi previsti per l'anno 2025.

Soglia di concentrazione degli inquinanti			
Condizioni di traffico	CO ⁽¹⁾ (ppm)	opacità: k ⁽¹⁾ (m ⁻¹)	NO ₂ ⁽²⁾ (ppm)
fluido	70	0,005	1
congestionato	70	0,007	1
bloccato	100	0,009	1
manutenzione	20	0,003	1

Tabella 1 - Soglie limite di inquinanti

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

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

Traffico fluido: si prendono come riferimento i dati riportati nella tabella 2 uguali per le due direzioni di percorrenza (due fornici).

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

Traffico bloccato (veicoli fermi in galleria): si prende come riferimento la pubblicazione [2],

Tunnel Galleria Guinza			
POLLUTANTS AND AIR FLOW DEMAND			
pollutants in the tunnel for different modes of traffic			
Direction	Marche - Umbria		
Traffic arrangements	CO(g/s)	NOx(g/s)	PM(g/s)
Fluid	0,22	0,09	0,01
Congested	3,06	0,42	0,06
Blocked	1,47	0,48	0,04
Maintenance + congest.	3,06	0,42	0,06
Maintenance + blocked	1,47	0,48	0,04
PIARC concentration limits			
Traffic arrangements	ppmCO	k(m ⁻¹)	ppmNOx
Fluid (50-100km/h)	70	0,005	1
Congested	70	0,007	1
unusually congested	100	0,009	1
Maintenance + traffic	20	0,003	1
Tunnel closed	200	0,012	1
Air flow (m³/s) to dilute pollutants			
Direction	Marche - Umbria		
Traffic arrangements			
Fluid	5	(NO ₂)	
Congested	36	(CO)	
Blocked	24	(NO ₂)	
Maintenance + congest.	128	(CO)	

che specifica per il traffico bloccato una densità di veicoli di 150 pcu/km per i tunnel extraurbani e l'equivalenza 1VP = 3 pcu (*).

Le portate di inquinanti emesse da un veicolo (CO, NO₂ e particolato), sono calcolate in funzione della velocità e della pendenza stradale della galleria, utilizzando le tabelle riportate sulla la pubblicazione [2].

Traffico con una corsia sotto manutenzione: si fa riferimento ad una condizione di esercizio particolarmente gravosa per gli addetti alle operazioni di manutenzione. In questo scenario si ipotizza che una corsia sia chiusa al traffico per lo svolgimento delle operazioni di manutenzione, mentre la restante corsia, è invece sotto traffico. (il presente paragrafo è indicato solo a titolo informativo. NON è presente nel nostro caso)

Di seguito sono riportate le caratteristiche del traffico stimato nella galleria oggetto di studio.

Tunnel Galleria Guinza

AIR SPEED AND POLLUTANT CONCENTRATION AT PORTAL

Min. Air speed (m/s) to dilute pollutants

Direction *Marche - Umbria*

Traffic arrangements

Fluid	0,08	m/s
Congested	0,64	m/s
Blocked	0,42	m/s
Maintenance + congest.	2,24	m/s

Pollutants concentration at portal (mg/m³)

Direction *Marche - Umbria*

Traffic arrangements	CO	NO ₂	PM
Fluid	48	20	3
Congested	84	11	2
Blocked	61	20	2
Maintenance + congest.	24	3	0
Maintenance + blocked	24	8	1

Pollutants concentration at portal (mg/m³)

Direction *Marche - Umbria*

Traffic arrangements	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	PM (m ⁻¹)
Fluid	39,7	1,0	0,014
Congested	70,0	0,6	0,008
Blocked	50,7	1,0	0,008
Maintenance + congest.	20,0	0,2	0,002
Maintenance + blocked	20,0	0,4	0,003

9.1) Determinazione quantità di aria

I principali inquinanti sono il CO ed i fumi.

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

$$Q_{co} = \frac{q_{co} * f_v * f_i * f_h}{3600} * (D_{bc}) * \frac{10^6}{CO_{lim}} * L \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

dove:

$$Q_{co} \quad \text{portata aria fresca per diluire il CO} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$q_{co} \quad \text{emissione base per autoveicolo di CO} \quad \left[\frac{m^3}{h \cdot \text{veicolo}} \right]$$

f_v coefficiente di velocità

f_i coefficiente di gradienza

f_h coefficiente di altitudine

D_{bc} numero veicoli a benzina e camion al km (un camion emette la stessa quantità di CO di un autoveicolo) [veicoli/km]

CO_{lim} concentrazione ammissibile di CO [p.p.m.]

L lunghezza galleria [km]

Sostituendo i valori si determina la portata di aria necessaria per il “lavaggio” della galleria.

Per indurre a trasportare lungo la galleria la portata d'aria calcolata (m^3/s) é necessario determinare le perdite di carico generate da: attrito della galleria, effetto pistone degli autoveicoli (positivo o negativo), effetto meteorologico.

9.2) Resistenza della galleria

Per calcolare la resistenza della galleria si è usata la seguente formula:

$$R_g = \left(\alpha + \beta + \lambda * \frac{L}{D_h} \right) * \frac{\rho * V_g^2}{2} \quad [Pa]$$

dove:

R_g	resistenza dovuto all'attrito	[Pa]
α	coefficiente di perdita all'entrata	
β	coefficiente di perdita all'uscita	
λ	coefficiente d'attrito delle pareti della galleria	
L	lunghezza della galleria	[m]
D_h	diametro idraulico	[m]
ρ	massa volumica dell'aria	[kg/m ³]
V_g	velocità dell'aria in galleria	[m/s]

9.3) Effetto pistone

Questa resistenza può essere positiva o negativa in funzione alla direzione del flusso veicolare; l'effetto pistone dovuto ai veicoli che avanzano nello stesso verso del flusso d'aria indotto genera una sovrappressione favorevole alla spinta esercitata dai ventilatori, ovvero una resistenza negativa. Nel nostro caso, essendo la galleria del tipo monodirezionale, l'effetto pistone è solo a vantaggio della circolazione dell'aria. Le formule riportate sono solo di riferimento.

$$R_p = \sum_{i=1}^2 \varepsilon_j * n_i * \frac{(C_x \Omega)_i}{A_i} * \frac{\rho * (V_i + \mu * V_g)^2}{2} \quad [Pa]$$

dove:

i $i=1$ valori riferiti ad autoveicoli leggeri (benzina e diesel)

$i=2$ valori riferiti ad autoveicoli pesanti (autocarri)

ε è un coefficiente -1 o +1 in funzione alla direzione del traffico (uguale o contrario al senso della ventilazione)

n_i numero dei veicoli presenti in galleria

$(C_x \Omega)_i$ area frontale dei veicoli corretta dal coefficiente di penetrazione [m²]

A_t	area tunnel	$[m^2]$
V_i	velocità dei veicoli	$[m/s]$
μ	+1 per veicoli che viaggiano in senso contrario rispetto alla ventilazione -1 per veicoli che viaggiano nello stesso senso della ventilazione	
V_g	velocità dell'aria in galleria	$[m/s]$
ρ	massa volumica dell'aria	$[kg/m^3]$

9.4) Effetto meteorologico

Si stima una velocità del vento di 0 m/s a cui corrisponde una resistenza di

$$R_m = 0 \quad [Pa]$$

9.5) Resistenza totale

$$R_t = R_g + R_p + R_m \quad [Pa]$$

Sostituendo i valori si determina il valore della resistenza totale a cui corrisponde un valore della spinta complessivamente richiesta al sistema di ventilazione pari a:

$$F_t = R_t * A_t = [N]$$

La forza teorica sviluppata dal singolo ventilatore (F_v) è calcolata come segue:

$$F_v = \rho * Q_v * V_v \quad [N]$$

dove:

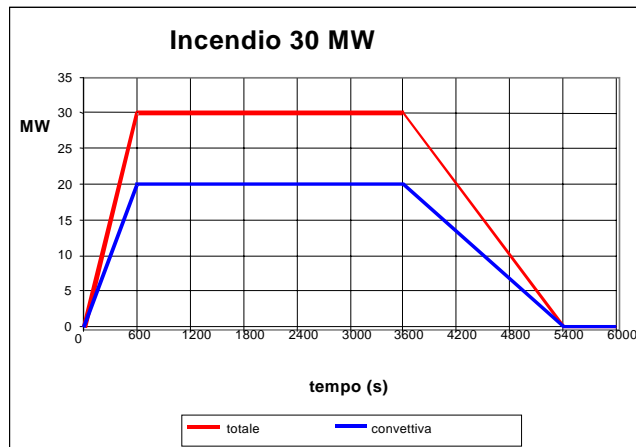
$$Q_v \quad \text{portata volumetrica del ventilatore} \quad [m^3/s]$$

$$V_v \quad \text{velocità di scarico media dell'aria dal ventilatore} \quad [m/s]$$

Si ipotizza di poter usare un ventilatore ad impulso del tipo reversibile con una portata di 27 m^3/s , una velocità in uscita di 35 m/s ed una spinta unitaria di 950 N in aria ferma.

A causa delle inevitabili perdite il ventilatore non sviluppa totalmente la spinta teorica; la forza sviluppata dal ventilatore risulta pari quindi a:

$$F_{v(reale)} = F_v * K_1 * K_2 = [N]$$



andamento della potenza dell'incendio da 30 MW

La verifica dell'impianto di ventilazione è stata condotta con uno schema di calcolo analitico, considerando un incendio di potenza pari a 30. Gli incendi sono stati collocati in corrispondenza del 10% e del 90% della lunghezza del fornice al fine di valutare l'effetto camino. Si è inoltre prevista la presenza di traffico bloccato nei tratti di galleria a monte e valle dell'incendio.

10.1) Calcolo della velocità critica

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. I veicoli che restano fermi a monte dell'incendio risultano 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 ritorno dei fumi verso i veicoli fermi (fenomeno di backlayering).

Per il calcolo della velocità critica si è utilizzata l'equazione proposta da Kennedy:

$$V_c = K_1 K_g \left[\frac{g H E_c}{\rho C_p A T_f} \right]^{1/3}$$

- V_c velocità critica (m/s),
- K_1 numero di Froude,
- K_g fattore relativo alla pendenza del tunnel,
- g accelerazione di gravità,
- H distanza dalla base del fuoco al punto più elevato della volta della galleria,
- E_c potenza dell'incendio,
- A area della sezione di galleria,
- C_p calore specifico dell'aria
- ρ e T densità e temperatura medie dell'aria verso l'incendio.

Nel calcolo della velocità critica, l'influenza della pendenza sulla propagazione dei fumi è determinante, in quanto quando il fornice è in discesa nel verso di percorrenza dei veicoli si

Relazione Calcolo Impianto Ventilazione

deve contrastare la maggiore tendenza che i fumi hanno nel risalire verso il portale a quota maggiore.

10.1) Calcolo delle perdite di carico

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

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

- E_c perdita per effetto camino Pa,
- g costante di gravità,
- Δh differenza di quota tra i due imbocchi,
- ρ_a densità dell'aria all'esterno della galleria,
- ρ_i densità dell'aria nella zona dell'incendio,
- η rendimento del focolaio di incendio.

Anche in questo caso, inserendo i valori nelle tabelle precedenti ed utilizzando la formula

$$n_v = \frac{F_t + 50\%}{F_{v(reale)}}$$

Si avrà che il numero dei ventilatori richiesti, considerando tutte le tolleranze e "raccomandazioni" richieste nella approssimazione in aumento degli stessi, è pari a

$$\underline{n_v = 36 \text{ unità}}$$

11) CONCLUSIONE

Dalle verifiche sopra riportate risulta che il numero dei ventilatori necessari per lo scenario peggiore, incendio, è pari a 36 unità

Il presente progetto, considerando la distribuzione elettrica prevista per la galleria (n. 3 cabine MT/BT) prevede di installare n. 36 ventilatori disposti a coppie con il seguente criterio:

- n. 6 coppie (12 ventilatori posti a partire dall'imbocco lato Fano)
- n. 6 coppie (12 ventilatori posti al centro della galleria)
- n. 6 coppie (12 ventilatori posti a partire dall'uscita lato Grosseto)

La prima coppia di ventilatori deve essere installato ad una distanza dal fornice di uscita della galleria superiore o uguale a 12 diametri idraulici; l'interdistanza tra una coppia e la successiva deve essere superiore a 10 diametri idraulici, così da garantire una buona efficienza degli stessi.