



ANAS S.p.A.

Direzione Generale

DG 41/08

LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA - CAT. B -
DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)

PROGETTO ESECUTIVO

IMPIANTI TECNOLOGICI

GALLERIA TREBISACCE

Relazione di calcolo e dimensionamento dell'impianto di ventilazione

CONTRAENTE GENERALE:

Società di Progetto

SIRJO S.C.p.A.

Presidente:

Dott. Arch. Maria Elena Cuzzocrea

PROGETTAZIONE :



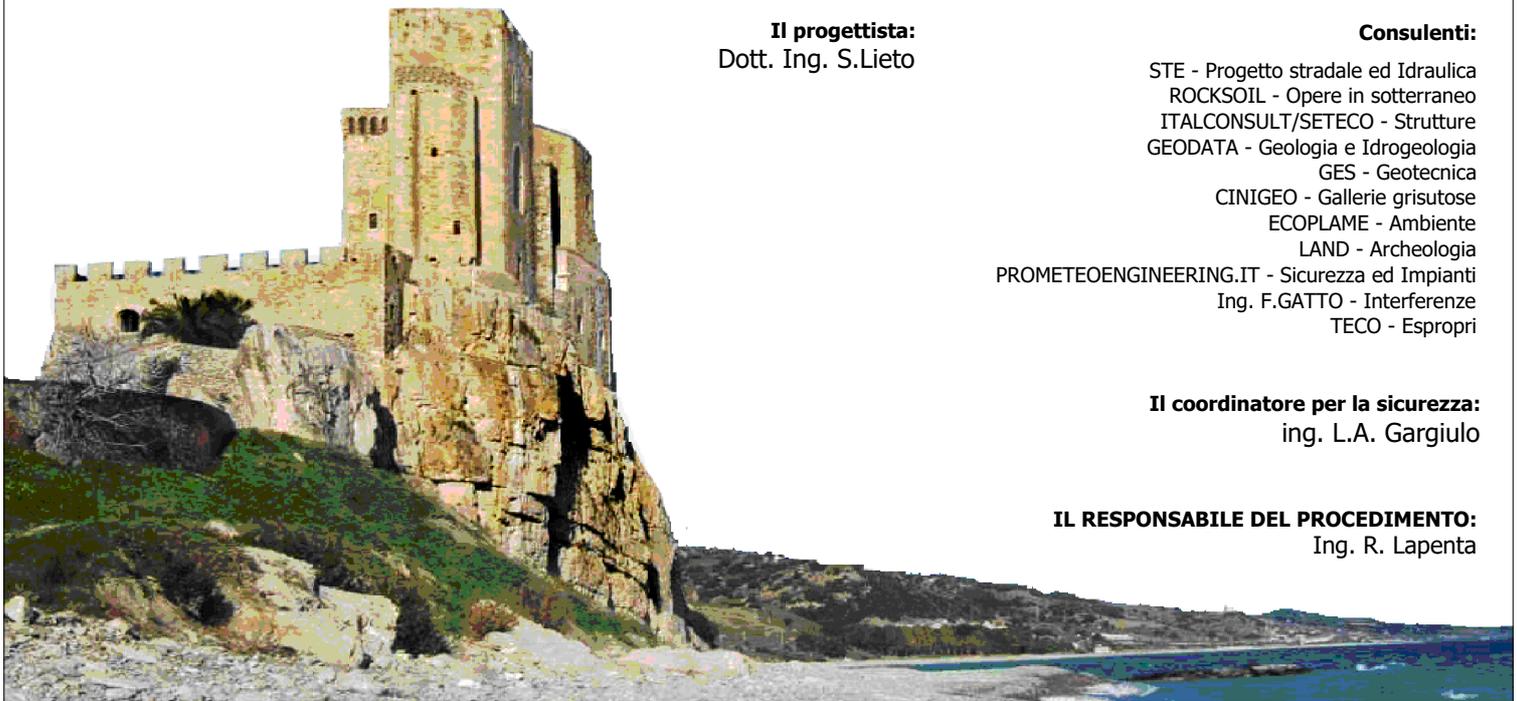
Il progettista:
Dott. Ing. S.Lieto

Consulenti:

- STE - Progetto stradale ed Idraulica
- ROCKSOIL - Opere in sottterraneo
- ITALCONSULT/SETECO - Strutture
- GEODATA - Geologia e Idrogeologia
- GES - Geotecnica
- CINIGEO - Gallerie grisutose
- ECOPLAME - Ambiente
- LAND - Archeologia
- PROMETEOENGINEERING.IT - Sicurezza ed Impianti
- Ing. F.GATTO - Interferenze
- TECO - Espropri

Il coordinatore per la sicurezza:
ing. L.A. Gargiulo

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Ing. R. Lapenta



Rep.: P/19-01

Scala di rappresentazione: -:----

Codice Progetto:

Codice Elaborato:

L	O	7	1	6	C	E	1	9	0	1	T	0	3	I	M	1	1	I	M	P	R	E	0	6	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
A	15.04.2019	Emissione	Ing M. Mauriello	Ing M. Minunno	Ing A. Focaracci
B	08.09.2019	Emissione per validazione	Ing M. Mauriello	Ing M. Minunno	Ing A. Focaracci

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 1 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

<INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1. Generalità.....	3
1.2. Caratteristiche gallerie	3
1.3. Leggi e Norme di riferimento	4
2. IMPIANTO DI VENTILAZIONE	6
2.1. Esigenze della ventilazione nelle gallerie stradali.....	6
2.2. Metodologia di ventilazione delle gallerie.....	7
2.3. Dimensionamento dell'impianto di ventilazione in galleria	8
2.3.1. Calcolo del fabbisogno di aria fresca in galleria.....	8
2.3.2. Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato), NOx..	9
2.3.3. Calcolo degli inquinanti in galleria	10
2.4. Calcolo delle cadute di pressione in galleria.....	11
2.5. Controllo della velocità critica in galleria.....	11
2.6. Incendio in galleria	12
3. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE	14
3.1. Caratteristiche geometriche gallerie	14
3.2. Valori limite di concentrazione degli inquinanti	14
3.3. Portate d'inquinante emesse dai veicoli.....	15
3.4. Condizioni di traffico ipotizzate	16
3.5. Composizione del traffico	16
3.6. Potenza dell'incendio.....	17
3.7. Dimensionamento impianto di ventilazione sanitaria.....	18
3.7.1. Calcolo delle quantità d'aria di rinnovo.....	18
3.7.2. Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO.....	18
3.7.3. Determinazione quantità aria di rinnovo per gli NOx.....	19
3.7.4. Determinazione quantità aria di rinnovo per i fumi	20
3.7.5. Calcolo del fabbisogno di aria fresca	21

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 2 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

3.7.6. Calcolo delle cadute di pressione	22
3.7.7. Resistenza della galleria	23
3.7.8. Resistenza dei veicoli	23
3.7.9. Effetto meteorologico.....	24
3.7.10. Risultati di calcolo	25
3.8. Dimensionamento impianto di ventilazione in emergenza.....	26
3.8.1. Perdite di carico	26
3.8.2. Effetto camino.....	26
3.8.3. Rialzo termico	27
3.8.4. Caduta di pressione dovuta all'incendio.....	27
3.8.5. Risultati di calcolo	28
3.8.6. Calcolo del numero dei ventilatori.....	30
4. FINESTRA TREBISACCE	33
4.1. Impianto di pressurizzazione zona filtro	33
4.2. Impianto di immissione aria.....	34
5. STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL'ATMOSFERA E DEL TRAFFICO IN GALLERIA	34
5.1. Modalità di misura del CO dell'NO e di OP	34
5.2. Sistema di conteggio e di controllo dei veicoli in ingresso ed in uscita dalla galleria	35
5.3. Misuratore di direzione e di velocità dell'aria.....	37
6. IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE BY-PASS PEDONALI E CARRABILI.....	37
6.1. Sistema di sovrappressione.....	39
6.1.1. Calcolo ventilatori di pressurizzazione by-pass	41
7. ALGORITMI DI VENTILAZIONE	43
7.1. Schema generale	44
7.2. Implementazione del software di controllo per la gestione della ventilazione	45
7.3. Variabili e parametri di controllo	46

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 3 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

1. INTRODUZIONE

1.1. Generalità

Il presente documento intende illustrare le soluzioni progettuali adottate nello sviluppo del progetto definitivo del DG41 per l'impianto di ventilazione e per gli impianti ad esso correlati, quali l'impianto di controllo dell'atmosfera, l'impianto di controllo del traffico e l'impianto di pressurizzazione a servizio dei by-pass pedonali e carrabili, nella parte pedonale del by-pass, che collegano fra di loro i due fornice di ogni galleria.

Pertanto gli impianti oggetto del presente documento sono i seguenti:

- impianto di ventilazione meccanica delle gallerie;
- sistemi di monitoraggio atmosferico (sensori CO/OP/NOx ed anemometri-AN);
- impianto rilievo traffico;
- impianto di pressurizzazione by-pass.

1.2. Caratteristiche gallerie

Il progetto è stato sviluppato considerando le seguenti opere principali:

Opera	Lunghezza Fornice Nord[m]	Lunghezza Fornice Sud [m]
Galleria Trebisacce	3.483	3.445

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 4 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

1.3. Leggi e Norme di riferimento

Una sintesi della normativa internazionale sulla sicurezza antincendio nelle gallerie stradali è riportata nel seguito:

Paese	Normativa
Italia	Decreto Legislativo 264/2006 Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale 4osea4europea.
Francia	Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national – Ministère de L'Équipement, des Transports et du Logement – direction des Journaux officiels – 26, rue Desaix – 75727 Paris Cédex 156
Germania	“Additional Technical Contract Conditions and Guidelines for Construction of Road Tunnels” (ZTV Tunnel); “Guidelines for Equipment and Operation of Road Tunnels” (RABT 1994)
Svezia	“Tunnel Regulations of Swedish Road Administration” (Tunnel 1995/32); “Regulations for the Planned Stockholm Ring Road”
USA	“FHWA Prevention and Control of Highway Tunnel Fires” (1984 Report n. FHWA/RD-83/032); “ASHRAE Handbook HVAC Applications”, Chapter 13 “Vehicular Facilities”; “NFPA 502 Fire Protection for Limited Access Highways, Tunnels, Bridges, Elevated Roadways and Air-Right Structures”
Canada	“Road Structure Regulations of the Ministry of Transportation of Ontario – National Fire Protection Guidelines and Building Standard Acts”
Giappone	“Road Structure Regulations of the Ministry of Construction – Fire Services Law and Building Standards Act”; Road Law Art. 46

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 5 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

- *Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation (PIARC 2012):* 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;
- *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 5osea routier (guida metodologica francese per l'analisi dei rischi nei tunnel):* definizione dell'evoluzione nel tempo della potenza dell'incendio.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 6 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

2. IMPIANTO DI VENTILAZIONE

2.1. Esigenze della ventilazione nelle gallerie stradali

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

Taluni inquinanti sono dannosi alla vita della fauna e della flora, mentre il particolato ed i fumi riducono la visibilità.

Nel caso delle gallerie stradali gli inquinanti debbono essere diluiti in modo da assicurare buone condizioni fisiologiche e di sicurezza agli utenti per la guida entro le gallerie stesse.

Per la diluizione in gallerie di modesta lunghezza (ad es. eguale o minore di 500 m, specie se a traffico unidirezionale) è sufficiente in genere la ventilazione naturale, causata dalle condizioni atmosferiche e dall'effetto di spinta conferito dai veicoli all'aria della galleria, condizioni ed effetto variabili nel tempo.

Poiché i tempi di attraversamento delle gallerie da parte degli utenti sono limitati a pochi minuti, gli inquinanti che maggiormente influiscono sulle condizioni di guida in galleria sono il CO ed il particolato; in tempi più recenti si è tenuto conto anche dell'NOx. I tempi di percorrenza possono però essere notevolmente aumentati nel caso di traffico intasato o bloccato in galleria.

Per le gallerie stradali di maggior lunghezza o per quelle di minor lunghezza, ma ad elevato traffico, occorre realizzare una ventilazione meccanica, onde ovviare all'inconveniente della concentrazione dannosa degli inquinanti.

Un avvenimento importante, che deve essere considerato nel funzionamento di una galleria, è l'incendio. In questo caso i criteri di sicurezza dipendono da molte circostanze, come vie di fuga per utenti e accessi per il personale di soccorso, sistemi di rilevamento e di allarme, sistemi di comunicazione, equipaggiamento stradale, controllo del traffico, sistemi antincendio, programmazione degli interventi di soccorso ed altri.

La ventilazione meccanica peraltro può giocare un ruolo importante nel caso di un incendio, ruolo dipendente dal sistema di ventilazione e da altre circostanze, come il tipo di galleria (uni – o bidirezionale), distribuzione del traffico, prodotti della combustione, magnitudo dell'incendio (può andare da circa 3 a 100 MW ed oltre) ed altre condizioni al contorno.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 7 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

Nel caso di un incendio in una galleria unidirezionale con ventilazione longitudinale, il traffico a monte dell'incendio viene fermato, mentre il traffico a valle dell'incendio può lasciare il tunnel. In questo caso i prodotti della combustione possono essere spinti dalla ventilazione nel verso del tronco di tunnel non più occupato da veicoli.

Quando si viene a creare una coda in galleria, rilevata dal sistema di controllo del traffico ovvero dal sistema Tvcc, il traffico deve essere fermato all'esterno della galleria, mediante i semafori posti agli imbocchi, fino al decongestionamento della galleria stessa. In tal modo si garantisce il corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanica longitudinale, evitando, in caso di incendio, che i fumi prodotti dall'incendio stesso investano gli utenti della galleria.

2.2. Metodologia di ventilazione delle gallerie

La ventilazione meccanica delle gallerie a servizio del dg41 viene dimensionata in modo da assicurare condizioni di benessere fisiologico agli utenti presenti nelle varie gallerie, mediante una ventilazione sanitaria in grado di mantenere:

- le condizioni degli inquinanti di riferimento (CO, Nox) al disotto dei valori stabiliti dalle raccomandazioni del PIARC (Permanent International Associations of Road Congressess);
- una buona visibilità in galleria, controllando l'opacità (OP) dell'aria, in modo da diluire sia i fumi emessi dai motori diesel sia il particolato, dovuto all'usura del manto stradale, dei pneumatici e dei freni, al disotto dei valori stabiliti dalle raccomandazioni del PIARC.

Per quanto attiene la sicurezza in caso di incendio, trattandosi di galleria a due fornici a traffico unidirezionale e con ventilazione meccanica longitudinale, l'impianto di ventilazione è stato proporzionato sia per evitare velocità critiche di riflusso dei fumi (back-layering), verso zone occupate da veicoli fermi, sia per ventilare la galleria con traffico bloccato a monte dell'incendio.

A tal fine l'impianto prevede per ciascun fornice un numero adeguato di ventilatori assiali ad induzione, posti in volta, in grado di garantire una idonea portata di ventilazione sanitaria ed una velocità longitudinale dell'aria in caso di incendio con veicoli bloccati in galleria a monte dell'incendio.

Nel caso in cui si verifichi un incendio nella condizione di traffico congestionato ovvero bloccato all'interno della galleria, dovuto a traffico intenso, si deve prevedere il blocco del traffico stesso all'imbocco della galleria e delle gallerie che la precedono, se le gallerie sono ravvicinate, mediante i semafori ed i PMV posti agli imbocchi. Infatti, in presenza di traffico congestionato o bloccato in galleria, nel caso di evento di incendio di un automezzo, non è possibile gestire la ventilazione

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 8 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

meccanica di tipo longitudinale, in modo sicuro, in quanto possono essere presenti veicoli sia a monte che a valle dell'incendio stesso.

Pertanto, il verificarsi di tale evento, comporta una gestione della ventilazione come prescritto dal Comitato Tecnico Internazionale per le Gallerie del PIARC (Permanent International Association Road Congressess), nel fascicolo "Fire and Smoke Control in Road Tunnel" 1999. In tale fascicolo si prescrive, per le gallerie in esercizio, che per il caso di incendio summenzionato, si debba operare in due fasi distinte e successive:

- fase 1: fase di evacuazione: permette la stratificazione dei fumi verso l'alto, così da consentire l'intervento del personale preposto allo spegnimento e la contemporanea evacuazione degli utenti dalla galleria;
- fase 2: fase di lavaggio: la galleria deve essere liberata dai fumi, in modo da consentire l'intervento del personale preposto allo spegnimento.

Fase 1 – Evacuazione	Fase 2 – Lavaggio
<ul style="list-style-type: none"> a. la stratificazione dei fumi non deve essere disturbata b. velocità longitudinale dell'aria relativamente debole c. nessun ventilatore deve operare nella zona dell'incendio 	<ul style="list-style-type: none"> a. evitare il riflusso dei fumi (backlayering) b. velocità longitudinale più elevata c. direzione del flusso d'aria adattabile

Tabella 1: Ventilazione longitudinale in una galleria unidirezionale a traffico bloccato in caso di incendio

2.3. Dimensionamento dell'impianto di ventilazione in galleria

2.3.1. Calcolo del fabbisogno di aria fresca in galleria

I valori della portata di aria in galleria per la ventilazione sanitaria vengono calcolati sulla base delle relazioni indicate dal PIARC con riferimento ai valori delle emissioni indicati dal PIARC nel 2012.

La determinazione del fabbisogno di aria fresca per la ventilazione delle gallerie a servizio del DG41, fa riferimento a relazioni di calcolo, correlanti i diversi parametri che entrano nella fenomenologia aeraulica del sistema. Una relazione di tipo generale è la seguente :

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 9 di 46
--	---	----------------------------	------------------------

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

dove :

Q = portata aria espressa in [m³/h]

M = intensità del traffico [veicoli/h]

L = lunghezza della galleria [km]

V = velocità dei veicoli [km/h]

q = emissione per veicolo [m³/h·Ve; m²/h·Veh]

per CO (ossido di carbonio), Nox (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 Nox; per la visibilità (particolato)

C_{adm} è sostituito da k_{adm}.

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 punti precedenti.

2.3.2. Valori base e valori ammessi di emissione di inquinanti CO, fumi (particolato), NOx

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 Nox 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, Nox e particolato al di sotto dei valori di soglia ammessi.

I valori delle emissioni adottati per gli inquinanti sono quelli definiti dal PIARC nel 2012.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 10 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

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.

2.3.3. Calcolo degli inquinanti in galleria

Per la definizione delle emissioni inquinanti nel tempo vengono presi in considerazione i valori indicati dal PIARC (Permanent International Association of Road Congresses).

Il PIARC ha pubblicato nel 2012 una nuova versione del fascicolo “Road Tunnels – Vehicle Emissions and Air Demand for Tunnel Ventilation” ove sono riportate le emissioni inquinanti per le diverse classi di veicoli leggeri, veicoli commerciali, veicoli pesanti, bus e per le diverse categorie (Pre-Euro, Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 ed Euro 6).

La pubblicazione è stata elaborata dal gruppo di lavoro del Comitato Tunnel del PIARC.

Il rapporto del PIARC tiene conto per le emissioni dei programmi di ricerca EU denominati Artemis, Particulates e Cost 344.

In Europa ed in altri paesi industrializzati sono in corso transizioni ed evoluzioni tecnologiche, concernenti gli standard di emissione dei veicoli ed in particolare di quelli pesanti.

E' probabilmente troppo presto per apprezzare i risultati di questa evoluzione tecnica, in quanto deve essere considerato che le tecniche motoristiche attuali o future, anche se sofisticate, sono soggette a fattori peggiorativi di invecchiamento e di deterioramento.

Occorre quindi procedere con cautela nel definire i diversi tempi di influenza delle normative nel campo delle emissioni, in relazione ai differenti livelli delle ispezioni periodiche dei veicoli ed alle diverse composizioni del parco veicolare in ogni paese.

I valori delle emissioni per i veicoli pesanti sono stati ottenuti facendo variare la massa globale dei veicoli. I risultati, ottenuti da prove su motori al banco e da prove su banchi dinamometrici, hanno dimostrato che le emissioni allo scarico sono pressoché proporzionali alla massa totale del veicolo. Conseguentemente è stata ricavata una serie di dati di emissione per veicoli con massa di 10 t per diverse velocità e pendenze stradali e, sulla base dei dati suddetti, sono stati definiti fattori di massa per valutare i dati di emissione dei veicoli pesanti e degli autobus di maggiore tonnellaggio.

L'evoluzione della motoristica dei veicoli con il passaggio dalle classi di emissioni E0, E1, alle classi E2, E3, E4 ed E5 e nel futuro E6 ha portato, porta e porterà ad una progressiva riduzione delle emissioni inquinanti allo scarico dei veicoli, in particolare degli inquinanti principali CO, Nox e del particolato esausto.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 11 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

2.4. Calcolo delle cadute di pressione in galleria

I valori delle cadute necessarie per la circolazione dell'aria in relazione alle portate d'aria previste, derivano 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 agli imbocchi e dell'effetto del vento sui portali d'ingresso.

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

$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_R \pm \Delta P_{\text{ppi}} \pm \Delta P_{\text{pb}} \pm \Delta P_{\text{pw}}$$

dove:

ΔP_R è la differenza di pressione causata dalle resistenze passive continue e localizzate, dovute al flusso dell'aria;

ΔP_{ppi} è la differenza di pressione dovuta all'effetto pistone, esercitato dai veicoli sull'aria in galleria;

ΔP_{pb} è la differenza di pressione causata dalle differenti condizioni barometriche fra gli imbocchi e dall'effetto camino;

ΔP_{pw} è la pressione cinetica esercitata dal vento sugli imbocchi;

ΔP_{tot} è la prevalenza che deve essere esercitata dall'impianto meccanico di ventilazione.

2.5. Controllo della velocità critica in galleria

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

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 12 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

effetto dei moti convettivi dovuti all'incendio, il fenomeno del riflusso dei fumi verso i veicoli fermi (fenomeno di backlayering).

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

Il calcolo per evitare il riflusso viene effettuato tenendo conto che l'incendio si possa sviluppare a livello del manto stradale, a causa di una perdita sulla carreggiata di liquidi infiammabili all'interno della galleria.

2.6. Incendio in galleria

Il problema dell'incendio nella galleria è un fenomeno complesso, che dipende da numerosi parametri, quali :

- potenza termica dell'incendio;
- calore scambiato per convezione termica;
- pendenza longitudinale della carreggiata;
- tipo di ventilazione;
- numero e tipo di veicoli presenti in galleria;
- dimensioni dello spazio di circolazione e possibili ostruzioni;
- effetto pistone causato dai veicoli in moto e resistenza fluidodinamica causata dai veicoli fermi in galleria;
- influenza meteo agli imbocchi (pressioni barometriche, vento).

L'incendio riferimento, secondo il PIARC, per le gallerie autostradali è quello di un autocarro, che trasporta merci solide infiammabili con una potenza dell'incendio massima di 30 MW, per un tempo di $\approx 1\div 1,5$ ore, con uno sviluppo di fumi di ≈ 80 m³/s e con una temperatura massima dell'ordine di 1.000 °C.

Si possono peraltro verificare incendi di maggior potenza (ad es. 100 MW nel caso di autobotti trasportanti liquidi infiammabili ed oltre) con sviluppo di fumi sino a 300 m³/s.

Nel caso di una galleria con percorrenza unidirezionale, i veicoli a valle dell'incendio nel verso del traffico possono uscire dalla galleria, in quanto la loro velocità è superiore a quella della propagazione dei fumi, mentre quelli a monte dell'incendio sono protetti dal flusso dell'aria fresca longitudinale, che proviene alle loro spalle.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 13 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

Occorre però che la velocità longitudinale abbia un valore superiore ad un valore critico, tale da impedire ai fumi di rifluire a monte dell'incendio, ove si trovano i veicoli fermi a monte dell'incendio stesso (V. paragrafo 2.4 precedente).

Va inoltre tenuto presente che si può verificare la situazione in cui i veicoli, bloccati a monte dell'incendio, occupino una lunghezza rilevante della galleria stessa. In questo caso la ventilazione meccanica longitudinale deve essere in grado di ventilare la galleria in funzione della resistenza fluidodinamica per attrito delle pareti della galleria e della colonna dei veicoli bloccati, nonché dell'effetto del tiraggio termico (effetto camino) provocato dall'incendio.

Nel dimensionamento della ventilazione meccanica nel caso di incendio delle gallerie a servizio del DG41 si è tenuto conto di questi parametri.

Nel caso in cui si verifichi la condizione di traffico congestionato ovvero bloccato all'interno della galleria, dovuto a traffico intenso, vale quanto detto al paragrafo 2.2.

La tabella seguente riporta il riepilogo dei ventilatori previsti nelle gallerie oggetto della presente relazione.

Opera	Numero ventilatori Fornice Nord	Numero ventilatori Fornice Sud
Galleria Trebisacce	18	18

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 14 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

3. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE

Vengono riportate nel seguito le grandezze principali, i dati di base utilizzati ed i calcoli di dimensionamento effettuati per le gallerie in oggetto.

3.1. Caratteristiche geometriche gallerie

Trebisacce:

- Fornice Nord
 - lunghezza 3.483 m;
 - pendenza media: 0,7 %;
 - sezione trasversale media della galleria 72,5 m²;
 - diametro idraulico 8,22 m.
- Fornice Sud
 - lunghezza 3.445 m;
 - pendenza media: - 0,7 %;
 - sezione trasversale media della galleria 72,5 m²;
 - diametro idraulico 8,22 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 del PIARC 2012, riepilogati nella seguente tabella.

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

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 15 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

3.3. Portate d'inquinante emesse dai veicoli

Le portate di inquinanti emesse dai veicoli (CO, NO_x e particolato), sono state dedotte in funzione della velocità e della pendenza stradale delle gallerie dalle tabelle riportate nel documento del PIARC 2012.

La determinazione delle quantità di inquinanti è stata determinata sulla base alle indicazioni fornite dal PIARC prendendo a riferimento per i calcoli l'anno 2020.

Applicando ai valori riferiti all'anno 2010, i coefficienti correttivi riportati nel medesimo documento relativi a:

- fattore di altitudine;
- influenza temporale;
- influenza tecnologica del parco veicoli;
- influenza della massa dei veicoli pesanti;

sono stati determinati i valori di portata per l'anno di riferimento.

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 (veicoli leggeri, veicoli pesanti, % diesel, % benzina, massa veicoli pesanti).

I dati sul traffico assunti sono quelli raccomandati dal PIARC 2012 per le gallerie extraurbane.

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

Tunnel Extraurbano					
		Traffico monodirezionale		Traffico bidirezionale	
	v [km/h]	uvp/km	uvp/h	uvp/km	uvp/h
Traffico fluido	60	30	1800	23	1400
Traffico congestionato	10	70	850	60	600
Arresto	0	150	0	150	0

3.5. Composizione del traffico

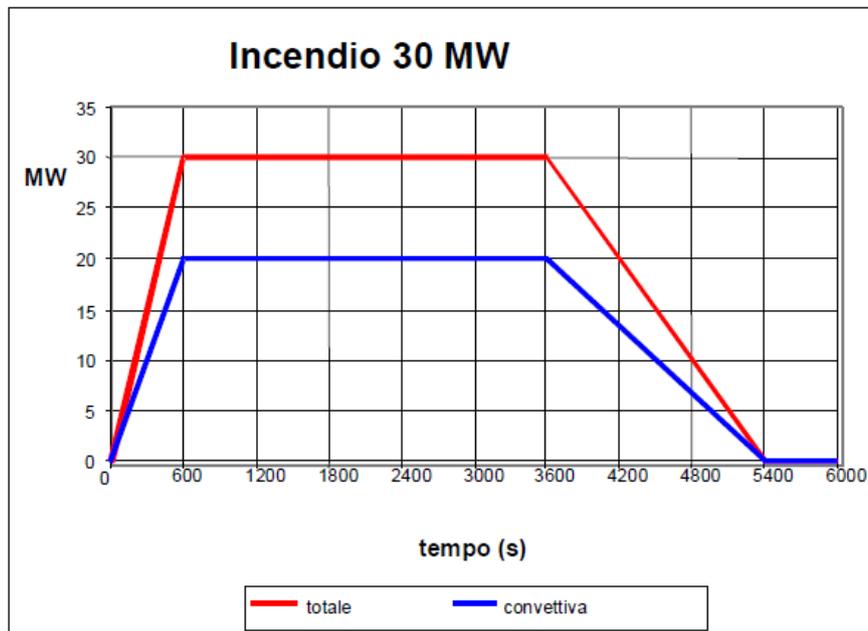
La composizione del traffico ipotizzata è la seguente:

- incidenza di veicoli leggeri con motore a benzina e diesel: 80 %;
- incidenza di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t: 10%;
- incidenza di mezzi pesanti: 10%.

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



Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 18 di 46
---	---	---------------------	------------------

3.7. Dimensionamento impianto di ventilazione sanitaria

L'impianto di ventilazione sanitaria è stato dimensionato per diluire nelle peggiori condizioni di traffico stimate, le concentrazioni di inquinanti che possono creare pericolo per le persone o ridurre in maniera eccessiva la visibilità.

3.7.1. Calcolo delle quantità d'aria di rinnovo

La quantità di aria fresca necessaria per diluire i singoli inquinanti (CO, NO_x e particolato) è stata determinata tramite la seguente formula:

$$\dot{V} = \sum n_{veh} \times Q \times \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}}$$

dove:

- \dot{V} è la portata aria fresca [m³/s];
- n_{veh} è il numero di veicoli nel tunnel;
- Q sono le emissioni di CO ed NO_x [g/(h × veh)]; e le emissioni di particolato [m²/(h × veh)];
- C_{adm} è la concentrazione ammissibile di inquinante [g/m³];
- C_{amb} è la concentrazione ambiente [g/m³];

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire i fumi dei motori diesel ed il particolato non esausto (non originato dai tubi di scappamento), $C_{adm} - C_{amb}$ è stato sostituito da

K_{adm} :

dove:

- K_{adm} è il coefficiente ammissibile di estinzione [m⁻¹];

3.7.2. Determinazione quantità aria di rinnovo per il CO

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire il CO, si ottiene:

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 19 di 46
---	---	---------------------	------------------

$$V_{CO} = \sum (n_{PC} \times Q_{CO}^{PC} + n_{LDV} \times Q_{CO}^{LDV} + n_{VP} \times Q_{CO}^{HGV}) \times \frac{1}{C_{CO\text{ adm}} - C_{CO\text{ amb}}}$$

dove:

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

n_{PC} è il numero di veicoli leggeri in galleria;

n_{LDV} è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;

n_{HGV} è il numero di veicoli pesanti in galleria;

Q_{CO}^{PC} è l'emissione base per autoveicolo leggero di CO in funzione della velocità e della pendenza;

Q_{CO}^{LDV} è l'emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di CO, in funzione della velocità e della pendenza;

Q_{CO}^{HGV} è l'emissione base per veicolo pesante di CO, in funzione della velocità e della pendenza;

$C_{CO, adm}$ è la concentrazione ammissibile di CO [g/m^3];

$C_{CO, amb}$ è la concentrazione ambiente di CO [g/m^3].

3.7.3. Determinazione quantità aria di rinnovo per gli NOx

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire gli NO_x, si ottiene:

$$V_{NO_x} = \sum (n_{PC} \times Q_{NO_x}^{PC} + n_{LDV} \times Q_{NO_x}^{LDV} + n_{VP} \times Q_{NO_x}^{HGV}) \times \frac{1}{C_{NO_x\text{ adm}} - C_{NO_x\text{ amb}}}$$

dove:

V_{NO_x} è la portata aria fresca per diluire gli NO_x [m^3/s];

n_{PC} è il numero di veicoli leggeri in galleria;

n_{LDV} è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;

n_{HGV} è il numero di veicoli pesanti in galleria;

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 20 di 46
---	---	---------------------	------------------

$Q_{NO_x}^{PC}$ è l'emissione base per autoveicolo leggero di NO_x , in funzione della velocità e della pendenza;

$Q_{NO_x}^{LDV}$ è l'emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di NO_x , in funzione della velocità e della pendenza;

$Q_{NO_x}^{HGV}$ è l'emissione base per veicolo pesante di NO_x , in funzione della velocità e della pendenza;

$C_{NO_x, adm}$ è la concentrazione ammissibile di NO_x [g/m^3];

$C_{NO_x, amb}$ è la concentrazione ambiente di NO_x [g/m^3].

3.7.4. Determinazione quantità aria di rinnovo per i fumi

Per la determinazione della quantità d'aria fresca per diluire i fumi, si ottiene:

$$V_F = \sum (n_{PC} \times Q_F^{PC} + n_{LDV} \times Q_F^{LDV} + n_{VP} \times Q_F^{HGV}) \times \frac{1}{K_{adm} - K_{amb}}$$

dove:

V_F è la portata aria fresca per diluire il CO [m^3/s];

n_{PC} è il numero di veicoli leggeri in galleria;

n_{LDV} è il numero di veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t in galleria;

n_{HGV} è il numero di veicoli pesanti in galleria;

Q_F^{PC} è l'emissione base per autoveicolo leggero di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;

Q_F^{LDV} è l'emissione base per veicoli pesanti con portata sino a 3,5 t di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;

Q_F^{HGV} è l'emissione base per veicolo pesante di fumi, in funzione della velocità e della pendenza;

K_{adm} è la concentrazione ammissibile di fumi [g/m^3];

K_{amb} è la concentrazione ambiente di fumi [g/m^3].

3.7.5. Calcolo del fabbisogno di aria fresca

Nel caso di esercizio normale, l'impianto di ventilazione dovrà sopperire alla peggiore situazione di traffico possibile.

Le gallerie della tratta in oggetto sono tutte caratterizzata d condizioni di traffico monodirezionale pertanto, le portate di aria fresca necessarie per la diluizione degli inquinanti sono state calcolate con riferimento ai seguenti scenari di traffico:

- traffico monodirezionale fluido: ($v = 60$ km/h);
- traffico monodirezionale congestionato: ($v = 10$ km/h);

Nelle tabelle sottostanti sono riepilogati i risultati ottenuti:

Galleria Trebisacce – Fornice Nord					
Lunghezza: km 3.484			Pendenza media: 0,7%		
Scenario	Velocità [km/h]	Portata CO [m ³ /s]	Portata Fumi [m ³ /s]	Portata NO [m ³ /s]	Portata Totale [m ³ /s]
Traffico Fluido	60	37	37,3	72,9	72,9
Traffico Congestionato	10	40,7	26,3	85,4	85,4

Tabella 2: fabbisogni di aria fresca Galleria Trebisacce stimati all'anno 2020

Galleria Trebisacce – Fornice Sud					
Lunghezza: 3.484 km			Pendenza media: - 0,7%		
Scenario	Velocità [km/h]	Portata CO [m ³ /s]	Portata Fumi [m ³ /s]	Portata NO [m ³ /s]	Portata Totale [m ³ /s]
Traffico Fluido	60	37	37,3	72,9	72,9
Traffico Congestionato	10	40,7	26,3	85,4	85,4

Tabella 3: fabbisogni di aria fresca Galleria Trebisacce stimati all'anno 2020

Stimata la portata d'aria necessaria per la diluizione degli inquinanti si ricava la velocità del flusso d'aria all'interno della galleria indotta dalla spinta esercitata dai ventilatori:

$$v_g = \frac{Q_T}{A_g}$$

essendo A_g l'area della sezione trasversale della galleria:

Galleria Trebisacce		
Fornice	Portata Totale [m ³ /s]	velocità [m/s]
Nord	85,4	1,18
Sud	85,4	1,18

Nei calcoli per la ventilazione sanitaria è stato considerato un valore cautelativo per la velocità dell'aria in galleria pari a 1,5 m/s.

3.7.6. Calcolo delle cadute di pressione

Una volta determinati i valori di portata e velocità dell'aria all'interno della galleria si è proceduto al calcolo delle perdite di pressione.

I valori delle cadute necessarie per la circolazione dell'aria in relazione alle portate d'aria previste, derivano 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 agli imbocchi e dell'effetto del vento sui portali d'ingresso.

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

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{tu} + \Delta P_{veh} + \Delta P_{MT}$$

dove:

ΔP_{tu} è la caduta di pressione dovuta alle perdite per attrito in galleria e delle perdite localizzate all'imbocco ed all'uscita della galleria [Pa];

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 23 di 46
---	---	---------------------	------------------

ΔP_{veh} è la caduta di pressione dovuta ai veicoli in galleria [Pa];

ΔP_{MT} è la caduta di pressione dovuta agli effetti meteorologici [Pa].

3.7.7. Resistenza della galleria

La resistenza totale della galleria ΔP_{tu} può essere scritta come:

$$\Delta P_{tu} = \Delta P_i + \Delta P_{fa} + \Delta P_u$$

dove:

$\Delta P_i = \frac{1}{2} \rho v_g^2 \zeta_i$ è la perdita all'ingresso della galleria [Pa];

$\Delta P_u = \frac{1}{2} \rho v_g^2 \zeta_u$ è la perdita all'uscita della galleria [Pa];

$\Delta P_{fa} = \frac{1}{2} \rho v_g^2 \left(\beta + f \frac{L}{D} \right)$ è la perdita per attrito [Pa];

ζ_i è il coefficiente di perdita all'entrata della galleria = 0,4;

ζ_u è il coefficiente di perdita all'uscita della galleria = 1;

β è il fattore di attrito = 2,5 ;

f è il coefficiente d'attrito delle pareti della galleria = 0,03;

D_h è il diametro idraulico della galleria [m];

ρ è la massa volumica [kg/m^3];

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

L è la lunghezza della galleria [km].

3.7.8. Resistenza dei veicoli

La perdita dovuta alla resistenza aerodinamica dei veicoli ΔP_{veh} può essere scritta come:

$$\Delta P_{veh} = n_{veh} C_x \frac{(c_w \times A)_{veh}}{A_t} \frac{1}{2} \rho v_g^2$$

dove:

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 24 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

n_{veh}	è il numero dei veicoli in galleria suddiviso in percentuali di veicoli leggeri e pesanti; (80 % veicoli leggeri – 20 % veicoli pesanti);
C_x	è il coefficiente di interdistanza tra i veicoli = 0,7;
C_w	è il coefficiente di resistenza aerodinamica dei veicoli; (c_w veicoli leggeri = 0,35; c_w veicoli pesanti = 0,8);
A	è l'area dei veicoli; (A veicoli leggeri = 2 m ² ; A veicoli pesanti = 7m ²);
A_t	è l'area della galleria;
ρ	è la massa volumica [kg/m ³];
V_g	è la velocità dell'aria in galleria [m/s];

3.7.9. Effetto meteorologico

L'effetto meteorologico è la contropressione naturale che si instaura tra i due imbocchi dovuto alle diverse condizioni barometriche agli imbocchi e dall'effetto del vento sui portali d'ingresso.

La caduta di pressione legata a tale effetto è stata valutata nel dimensionamento considerando una differenza di pressione tra i portali rispettivamente pari a 50 Pa per la galleria Trebisacce.

Tale effetto si oppone alla spinta dei ventilatori e genera all'interno della galleria un flusso d'aria opposto al flusso generato dei ventilatori.

3.7.10. Risultati di calcolo

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative dei risultati di calcolo necessari per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione in regime di normale funzionamento:

Galleria Trebisacce - Fornice Nord			
Velocità aria in galleria	v_g	1,5	[m/s]
Pendenza media	p	0,7	[%]
Lunghezza	L	3.484	[m]
Delta p attrito	ΔP_{fa}	20,35	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP_i	0,55	[Pa]
Delta p uscita	ΔP_u	1,38	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	$\Delta P_{veh\ pc}$	2,82	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	$\Delta P_{veh\ LDV}$	5,63	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP_{MT}	50,00	[Pa]
Coefficiente di sicurezza	K	1,15	
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	92,83	[Pa]

Tabella 4: risultati di calcolo ventilazione sanitaria – Galleria Trebisacce

Galleria Trebisacce - Fornice Sud			
Velocità aria in galleria	v_g	1,5	[m/s]
Pendenza media	p	- 0,7	[%]
Lunghezza	L	3.420	[m]
Delta p attrito	ΔP_{fa}	20,35	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP_i	0,55	[Pa]
Delta p uscita	ΔP_u	1,38	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	$\Delta P_{veh\ pc}$	2,82	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	$\Delta P_{veh\ LDV}$	5,63	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP_{MT}	50,00	[Pa]
Coefficiente di sicurezza	K	1,15	-
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	92,83	[Pa]

Tabella 5: risultati di calcolo ventilazione sanitaria– Galleria Trebisacce

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 26 di 46
---	---	---------------------	------------------

3.8. Dimensionamento impianto di ventilazione in emergenza

L'impianto di ventilazione di emergenza deve essere in grado di gestire il caso di un incendio in galleria; la condizione di riferimento per il dimensionamento è quella di un incendio di potenza pari a 30 MW.

Per la gestione dell'impianto di ventilazione, 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 definita 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.

3.8.1. 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 vanno aggiunte:

- ΔP_{th} : la perdita indotta dall'effetto camino che si instaura in caso di incendio;
- ΔP_{fire} : la caduta di pressione dovuta all'incendio.

La caduta di pressione totale ΔP entro la galleria sarà paria a:

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_{tu} + \Delta P_{veh} + \Delta P_{MT} + \Delta P_{th} + \Delta P_{fire}$$

3.8.2. Effetto camino

L'effetto camino è dato dalla seguente formula:

$$\Delta P_{th} = g \times \Delta h \times (\rho_a - \rho_i)$$

dove:

ΔP_{th} è la perdita per effetto camino [Pa];

g è la costante di gravità [m/s^2];

Δh è la differenza di quota tra i due imbocchi [m];

ρ_a è la densità dell'aria all'esterno della galleria [kg/m^3];

ρ_i è la densità dell'aria nella zona dell'incendio, in funzione del rialzo termico [kg/m^3];

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 27 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

3.8.3. Rialzo termico

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

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

dove:

- T_f è la temperatura finale dell'aria in K;
 E è l'energia termica sviluppata nell'incendio in W;
 ρ è la massa volumica dell'aria in kg/m³;
 C_p è il calore specifico dell'aria in J/kg/K;
 Q_v è la portata d'aria di rinnovo in m³/s;
293,15 è la temperatura ambiente espressa in K.

3.8.4. Caduta di pressione dovuta all'incendio

A causa dell'elevata velocità del rilascio termico durante l'incendio si generano turbolenze e un'accelerazione alla miscela di aria/fumi con conseguente caduta di pressione.

Il metodo migliore per determinare il valore esatto di tale perdita consiste nell'utilizzare un modello di calcolo numerico; nel presente calcolo sono stati considerati i valori indicati in letteratura tecnica secondo cui il ΔP_{fire} può variare da 10 a 20 Pa per un incendio con potenza pari a 30 MW sino a valori compresi tra i 40 ed i 100 Pa per un incendio da 200 MW.

3.8.5. Risultati di calcolo

Di seguito si riportano le tabelle riepilogative dei risultati di calcolo necessari per il dimensionamento dell'impianto di ventilazione in condizioni di emergenza:

Galleria Trebisacce – Fornice Nord			
Potenza incendio	W	30,0	[MW]
Velocità aria in galleria	v_g	2,5	[m/s]
Pendenza media	p	0,7	[%]
Lunghezza	L	3.484	[m]
Delta p attrito	ΔP_{fa}	56,53	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP_i	1,53	[Pa]
Delta p uscita	ΔP_u	3,83	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	$\Delta P_{veh\ pc}$	7,82	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	$\Delta P_{veh\ LDV}$	15,64	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP_{MT}	50,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP_{th}	11,32	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP_{fire}	20,00	[Pa]
Coefficiente di sicurezza	K	1,15	-
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	192,00	[Pa]

Tabella 6: risultati di calcolo ventilazione di emergenza – Galleria Trebisacce

Galleria Trebisacce - Fornice Sud			
Potenza incendio	W	30,0	[MW]
Velocità aria in galleria	v_g	2,5	[m/s]
Pendenza media	p	- 0,7	[%]
Lunghezza	L	3.484	[m]
Delta p attrito	ΔP_{fa}	56,53	[Pa]
Delta p imbocco	ΔP_i	1,53	[Pa]
Delta p uscita	ΔP_u	3,83	[Pa]
Delta p veicoli leggeri	$\Delta P_{veh\ pc}$	7,82	[Pa]
Delta p veicoli pesanti	$\Delta P_{veh\ LDV}$	15,64	[Pa]
Delta p meteorologico	ΔP_{MT}	50,00	[Pa]
Effetto camino	ΔP_{th}	-11,32	[Pa]
Delta p fuoco	ΔP_{fire}	20,00	[Pa]
Coefficiente di sicurezza	K	1,15	-
Caduta di pressione totale	ΔP_{tot}	166.0	[Pa]

Tabella 7: risultati di calcolo ventilazione di emergenza – Galleria Trebisacce

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 30 di 46
---	---	---------------------	------------------

3.8.6. Calcolo del numero dei ventilatori

Dalle risultanza di calcolo si è verificato come il caso peggiore che l'impianto di ventilazione debba gestire è il caso d'incendio.

Dopo aver valutato le portate d'aria si è proceduto al calcolo della spinta (quantità di moto del flusso) che i ventilatori dovranno impartire per ottenere, nelle diverse condizioni di esercizio, le portate richieste.

La spinta complessivamente richiesta dal sistema di ventilazione S_v sarà pari a:

$$S_v = \Delta P_{tot} \times A_t$$

La spinta fornita dal singolo ventilatore sarà pari a:

$$F_j = \Delta P_j \times A_t = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \rho Q_j (u_j - u^*)$$

dove:

- F_j è la spinta fornita dal singolo jet fan [N];
- ΔP_j è l'incremento di pressione fornito dal singolo jet – fan [Pa];
- A_t è l'area della galleria [m²];
- η_1 è l'efficienza del ventilatore;
- η_2 è il coefficiente correttivo legato all'installazione del ventilatore in galleria;
- η_3 è il coefficiente correttivo legato alla distanza tra i ventilatori (nel caso di installazione a coppie) e alla distanza tra ventilatori successivi;
- ρ è la densità dell'aria o dei fumi [kg/m³];
- Q_j è la portata attraverso il ventilatore [m³/s];
- u_j è la velocità attraverso il ventilatore [m/s];
- u^* è la velocità all'interno della galleria [m/s].

Indicando con n_j il numero complessivo dei ventilatori richiesti, combinando le due equazioni precedenti si ottiene:

$$S_v = n_j \times F_j = \Delta P_{tot} \times A_t$$

e quindi:

$$n_j = \frac{\Delta P_{tot} \times A_t}{F_j}$$

Si procede quindi, alla scelta del tipo di ventilatore ed alla verifica della corrispondente spinta.

Caratteristiche ventilatore:

- diametro girante 1250 mm
- spinta 1200 N
- portata d'aria 31,3 m³/s
- velocità aria in uscita 29 m/s
- velocità di rotazione 1460 giri/minuto
- potenza elettrica assorbita: 34 kW
- tensione / frequenza / fasi 400 V / 50 Hz / 3
- durata di funzionamento a 400°C: 120 minuti

Applicando la formula seguente si procede al calcolo della spinta reale e conseguentemente si ricava il valore reale del numero di jet-fan;

$$F_{i_reale} = (\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3) \times F_j \times \left(1 - \frac{u^*}{u_j}\right)$$

La tabella sottostante riporta i valori ottenuti:

Numero Jet Fan	n _j - teorico	n _j - reale
Galleria Trebisacce Fornice Nord	11	14
Galleria Trebisacce Fornice Sud	13	16

Tabella 8: Numero Jet Fan

Con riferimento ai dati sopra riportati, prendendo in considerazione il caso peggiore tra i due forni e tenendo in conto di possibili avarie o malfunzionamenti di una coppia di ventilatori per canna, si è ottenuto che:

- la gallerie Trebisacce sarà servita da 9 coppie di acceleratori per un totale di 18 ventilatori per fornice;

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 32 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

Gli acceleratori saranno in acciaio inox, del tipo reversibile, sospesi alla volta della galleria; ciascun ventilatore sarà dotato di due silenziatori cilindrici, uno per lato, e di boccaglio di aspirazione a forma toroidale.

La distanza reciproca tra i ventilatori sarà pari a 100 m ed i primi ventilatori disteranno dall'imbocco 100 m.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 33 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

4. FINESTRA TREBISACCE

Nell'ambito del presente intervento è prevista la realizzazione di una finestra intermedia all'interno della galleria Trebisacce.

La realizzazione della finestra intermedia determina indubbi vantaggi in termini di sicurezza, costi di esercizio e manutenzione determinando miglie in termini di gestione dell'emergenza, accessibilità e esodo degli utenti, razionalità dei layout impiantistici e manutenibilità degli impianti.

4.1. Impianto di pressurizzazione zona filtro

Il sistema di esodo in finestra prevede che la parte terminale lato galleria si allarghi a formare una zona destinata sia a consentire l'inversione di marcia dei veicoli di soccorso sia ad accogliere i passeggeri che iniziano il deflusso dalla galleria verso l'esterno.

Tale zona denominata "zona filtro" è a sua volta suddivisa tramite un setto in due aree, una adibita esclusivamente al passaggio pedonale ed una carrabile.

Entrambe le zone saranno dotate di un impianto di ventilazione in modo da mantenere la rispettiva camera in leggera sovrappressione rispetto alla galleria. La sovrappressione tra galleria e "zona filtro" sarà pari a 50 Pa (comunque non inferiore a 30 Pa o superiore a 80 Pa).

L'impianto di ventilazione, in caso di incendio in galleria, impedisce l'ingresso dei fumi nella finestra di esodo e consente un'evacuazione in sicurezza dei viaggiatori.

La pressurizzazione del collegamento pedonale avverrà tramite l'inserimento di due moduli by-pass prefabbricati secondo le stesse modalità previste per i by-pass lungo linea.

La zona carrabile sarà pressurizzata tramite mediante un elettroventilatore assiale canalizzato, con motore a velocità di rotazione variabile mediante inverter posizionato a soffitto. La captazione dell'aria esterna avviene con grigliato di protezione all'estremità della finestra.

Un opportuno dimensionamento dei componenti del sistema ed una idonea logica di gestione dell'impianto, garantiscono il mantenimento delle condizioni volute in qualsiasi situazione.

Il ventilatore è di tipo assiale monostadio direttamente accoppiato, con cassa di alloggiamento in acciaio zincato con flange, girante in lega di alluminio pressofuso, pale a profilo alare con passo regolabile da fermo e motore elettrico totalmente chiuso a velocità variabile

Caratteristiche ventilatore pressurizzazione:

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 34 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

- diametro girante 1.100 mm
- portata d'aria 20 m³/s
- prevalenza totale massima: 1.000 Pa
- potenza elettrica assorbita: 35 kW
- tensione / frequenza / fasi 400 V / 50 Hz / 3

4.2. Impianto di immissione aria

Il sistema di ventilazione può essere supportato nelle sue funzionalità di ventilazione sanitaria da un'immissione di aria fresca in corrispondenza della finestra, che si innesta nella sezione mediana della galleria.

Il sistema permette una diluizione degli inquinanti che aumenta le condizioni di confort per gli utenti e permette il rispetto del recettore, l'ambiente circostante, con rilascio in esterno, attraverso gli imbocchi, di quantità d'aria con ridotto concentrazione di inquinanti.

Il sistema è costituito da una coppia di ventilatori di grandi dimensioni di tipo assiale monostadio direttamente accoppiato, con cassa di alloggiamento in acciaio zincato con flange, girante in lega di alluminio pressofuso, pale a profilo alare con passo regolabile da fermo e motore elettrico totalmente chiuso a velocità variabile

Caratteristiche ventilatore:

- diametro girante 2.000 mm
- portata d'aria 75 m³/s
- prevalenza totale massima: 1.500 Pa
- potenza elettrica assorbita: 160 kW
- tensione / frequenza / fasi 400 V / 50 Hz / 3

5. STRUMENTI PER IL CONTROLLO DELL'ATMOSFERA E DEL TRAFFICO IN GALLERIA

5.1. Modalità di misura del CO dell'NO e di OP

La strumentazione per il controllo dell'atmosfera e del traffico in galleria è costituita da una serie di apparecchi per il rilievo di:

- Ossido di carbonio (CO), misurato in ppm [parti per milione] mediante analizzatori di CO (banda di lunghezza d'onda 4,5÷4,9 µm);

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 35 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

- ossido di Azoto (NO), misurato in ppm mediante analizzatore di NO (banda 5,1÷5,6 μm);
- particolato o fumi emessi dalla combustione del gasolio e da polveri dovute al traffico, che danno luogo ad una riduzione della visibilità; tale parametro viene misurato come coefficiente di estinzione $k [\text{m}^{-1}]$, mediante opacimetri (OP).

Per quanto attiene il CO e l'NO, vengono installati misuratori del tipo ad assorbimento nel campo dell'infrarosso da parte delle molecole del CO e dell'NO.

È composto da una testa ottica, che fa da emettitore, e da un altro elemento ottico, che rappresenta il ricevitore.

Per quanto riguarda i misuratori di OP, viene usato un analizzatore dell'opacità dell'aria di tipo ottico, basato sull'assorbimento di un fascio luminoso di lunghezza d'onda specifica.

È composto da una testa ottica con due unità identiche, una funzionante come emettitore e ricevitore e l'altra come ricevitore ed emettitore.

I misuratori di CO, NO e di OP sono installati, come indicato sulle tavole progettuali.

Essi fanno capo ad una unità di misura dei valori di CO, di NO e di OP e quest'ultima dà in uscita valori analogici di CO, NO e di OP, nel campo 4÷20 mA. Tali valori sono trasmessi agli apparecchi di trattamento dei segnali in galleria, installati in appositi armadi a tenuta e da questi, tramite apposito cavo (bus), al sistema di controllo e di regolazione del regime di ventilazione, in funzione dei valori misurati di CO, di NO e di OP.

Va prevista un'alimentazione elettrica degli apparecchi di misura a 230 V in c.a. attraverso quadri posti in galleria, denominati Q_BY.

Gli apparecchi di misura del CO, del NO e dell'OP debbono essere messi in funzione in galleria a cura del costruttore degli apparecchi e dal costruttore stesso deve esserne verificata la taratura.

La taratura degli analizzatori deve poter essere controllata periodicamente mediante apparecchi appositi di taratura da parte del fornitore.

5.2. Sistema di conteggio e di controllo dei veicoli in ingresso ed in uscita dalla galleria

Ai fini del controllo del traffico, sia per ragioni di sicurezza, sia per un efficace conduzione della ventilazione meccanica, è opportuno installare un sistema, che individui i veicoli in ingresso ed in uscita per ogni fornice.

Il sistema, costituisce un importante dispositivo per la valutazione continua del numero dei veicoli presenti in ogni corsia con misura della velocità ed interdistanza, per il riporto periodico del valore del traffico orario e della sua derivata temporale; in tal modo si dispone di un parametro

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 36 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

addizionale per la regolazione della ventilazione meccanica attraverso il sistema di regolazione e controllo dell'impianto di ventilazione.

Inoltre il sistema rappresenta un elemento rilevante per la sicurezza in galleria, in quanto segnala le eventuali fermate di traffico, che possono essere causate da incidenti o da guasti di veicoli.

Il sistema è del tipo combinato a scanner laser e sensori radar, costituito da un emettitore-ricevitore ad impulsi. Esso è installato in volta all'ingresso ed all'uscita della galleria, come indicato sulle tavole progettuali, ed è in grado di effettuare il conteggio dei veicoli entranti ed uscenti dalla galleria, il tipo dei veicoli in transito e la loro velocità.

A circa 50÷70 m a valle della sezione di ingresso ed a monte della sezione di uscita del fornice, viene installato al centro della volta il sistema costituito da n.3 sensori (1 laser e 2 radar) in grado di elaborare i dati di due corsie di marcia.

Il principio di funzionamento dei sensori laser è basato sulla misura del cosiddetto tempo di volo. Un piccolissimo impulso di luce laser (della durata di qualche nanosecondo) viene inviato contro un veicolo in transito e viene misurato il tempo impiegato dalla luce riflessa per tornare al sensore. Sulla base di tale misura, una volta misurato il tempo di fondo scala, ossia il tempo che un impulso inviato contro il terreno impiega per essere riflesso, si è in grado di misurare l'altezza degli oggetti che si interpongono con il terreno. Facendo scorrere il fascio laser trasversalmente su una strada, si è quindi in grado di ricostruire, in tempo reale, la sagoma dei veicoli che, passando sotto il campo di azione del sensore, interagiscono con i raggi laser riflettendoli prima del dovuto.

Tale tecnica di misura deve permettere di ottenere una precisione accurata, consentendo di discriminare anche i casi di veicoli incolonnati ed attaccati gli uni agli altri. Essa deve risultare insensibile alle variazioni climatiche, presenza di nebbia, pioggia, neve, etc., e non richiedere lavori di manutenzione sul fondo stradale.

I due sensori radar hanno fascio parallelo al traffico, quello laser perpendicolare.

Tali sensori fanno capo ad una unità elettronica di elaborazione, con adeguata potenza di calcolo, in grado di elaborare i dati e di classificare i tipi di veicolo (motociclette, veicoli leggeri, furgoni, autocarri, mezzi articolati), nonché la velocità e la distanza dei veicoli.

L'unità elettronica, installata nei quadri Q_RT...., comunica via seriale i dati al PLC del sistema di controllo della ventilazione di competenza, il quale provvede alla gestione della ventilazione in funzione dei parametri di traffico rilevati.

5.3. Misuratore di direzione e di velocità dell'aria in galleria

In prossimità di ciascun imbocco della galleria, vanno previsti misuratori di velocità dell'aria in galleria. Inoltre, in considerazione dell'elevata lunghezza delle gallerie, per Trebisacce sono previsti ulteriori tre misuratori di velocità dell'aria posti rispettivamente in mezzeria ad ogni fornice e a circa 600 metri dalla mezzeria della galleria.

Il misuratore, indicato nel seguito con AN (anemometro), funziona mediante impulsi ad ultrasuoni.

Due unità, sorgente e ricevitore, sono montati ai due lati del tunnel con angolo α di inclinazione fisso, solitamente compreso fra i 45° e i 60°; l'angolo va stabilito in accordo con il costruttore dell'apparecchio (vedi Tavole progettuali).

L'altezza di installazione deve essere definita con il costruttore dell'apparecchio.

Ogni unità contiene un trasduttore piezoelettrico ad ultrasuoni, che funziona alternativamente come sorgente o ricevitore.

Gli impulsi ad ultrasuoni sono irradiati con l'angolo α nella direzione del flusso d'aria.

Per ogni direzione alternativa del suono, le onde ultrasoniche sono accelerate nel verso concorde con il flusso dell'aria e rallentate nel verso opposto.

Pertanto nel verso concorde il tempo di transito degli impulsi risulta maggiore di quello nel verso contrario. La differenza tra i tempi di transito cresce proporzionalmente alle velocità dell'aria nel tunnel e pertanto la velocità è misurata in funzione di tale differenza.

L'insieme sorgente-ricevitore è connesso con una interfaccia RS 485 all'apparecchio di misura e di elaborazione a sua volta collegata all'impianto di supervisione.

6. IMPIANTO DI PRESSURIZZAZIONE BY-PASS PEDONALI E CARRABILI

Le gallerie in oggetto sono composte da due fornici unidirezionali fra loro collegati mediante by-pass pedonali e carrabili (solo per la galleria Trebisacce) disposti lungo la galleria con interasse rispettivamente di 500 m e 1500 m.

La tabella sottostante riporta il numero e la tipologia di previsti per le gallerie in oggetto:

Opera	N ° by – pass pedonali	N ° by – pass carrabili
Galleria Trebisacce	7	2

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 38 di 46
---	---	---------------------	------------------

I collegamenti tra le due canne sono realizzati mediante strutture modulari (“*modulo by – pass*”) che contengono tutte le dotazioni necessarie a garantire la sicurezza degli utenti ed in particolare l’impianto di sovrappressione.

La struttura modulare consente un’installazione e manutenzione semplificate per via della leggerezza e versatilità della struttura.

Tali collegamenti saranno dotati di impianti di pressurizzazione al fine di evitare che il fumo sprigionatosi all’interno di una canna invada l’altra corsia che diventa un luogo di esodo grazie alla presenza dei by-pass.

Lo scopo del sistema di sovrappressione è quello di confinare il fumo ed i gas tossici nella canna incidentata senza invadere l’altra corsia che viene considerata luogo sicuro.

Il sistema ha lo scopo di mantenere in sovrappressione i comparti adiacenti all’incendio ed in depressione il comparto sede dell’incendio.

Il by-pass così previsto costituisce, pertanto, “filtro a prova di fumo” in quanto delimitato da strutture REI dotato di due porte munite di congegni di autochiusura e sistema di sovrappressione pari a 50 Pa (comunque non inferiore a 30 Pa o superiore a 80 Pa).

La pressurizzazione del by-pass è effettuato mediante due ventilatori assiali, disposti uno su ogni parete di separazione fra fornice e by-pass.

In caso di incendio in un fornice, il by-pass viene utilizzato per accedere dal fornice incidentato verso il fornice indenne. All’apertura della porta del by-pass, lato fornice incidentato, il ventilatore installato sulla parete opposta si avvia automaticamente, aspirando l’aria fresca dal fornice indenne.

In tal modo si crea una sovrappressione nel by-pass rispetto al fornice incidentato, che impedisce ai fumi di entrare nel by-pass.

Ciascun ventilatore di by-pass è alimentato tramite inverter per consentirne il corretto funzionamento sia in condizioni normali per il lavaggio del by-pass, sia in condizioni di emergenza per la sovrappressione fra la galleria ed il by-pass stesso.

All’interno del locale di by-pass è ricavata una nicchia protetta, nella quale sono disponibili il quadro di by-pass (Q_BY/...) che alimenta gli elettroventilatori, le serrande tagliafuoco, le serrande di regolazione, l’illuminazione del locale di by-pass, nonché le apparecchiature di sicurezza (TVcc, SOS), etc.

Il collegamento carrabile (by-pass carrabile, presente solo nella galleria Trebisacce) è dotato di una porta di accesso carrabile REI 120’, che collega i due fornici della galleria.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 39 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

All'interno del collegamento carrabile è previsto un by-pass pedonale in cui è installato il sistema di pressurizzazione già descritto precedentemente. Tale sistema assicura la pressurizzazione del by-pass carrabile, nella sola parte pedonale, solo in caso di apertura delle porte di accesso pedonale.

La porta carrabile può essere aperta solo dai VV.F., dal personale di soccorso e/o di manutenzione.

6.1. Sistema di sovrappressione

Essendo stati previsti tra le due canne della galleria by-pass pedonali e carrabile - pedonale, sarà necessario evitare che il fumo sprigionatosi all'interno di una delle due canne invada quella non incidentata che diventa un luogo di esodo grazie alla presenza dei by-pass.

Si dovranno quindi installare:

- porte REI 120 all'ingresso dei by-pass;
- un sistema di sovrappressione (50 Pa) all'interno dei by-pass pedonali e della sezione pedonale del by-pass carrabile mediante elettroventilatori di portata adeguata e serrande tagliafuoco (utilizzate per evitare che il fumo penetri nel by-pass attraverso i condotti dei ventilatori posti sul lato della canna incidentata che rimangono fermi e chiudere i fori per realizzare la sovrappressione);
- sistema di controllo dell'ingresso dei fumi nei by-pass pedonali in occasione dell'apertura delle porte di compartimentazione, mediante ventilatori assiali collocati all'interno del by-pass in prossimità degli accessi dalle due canne;
- due guide luminose ai lati della sezione pedonale del by-pass;
- una colonnina SOS;
- un impianto di diffusione sonora;
- un impianto di video sorveglianza.

Il sistema di sovrappressione sarà composto da:

- due ventilatori assiali disposti nella parte alta di ciascuno dei portali del by-pass;
- serranda tagliafuoco motorizzata (bocca di decompressione);
- due pressostati differenziali.

La sovrappressione sarà stabilita al momento dell'emergenza avviando il ventilatore del lato del fornice non incidentato; dall'altro lato invece si chiuderà la serranda tagliafuoco.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 40 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

Al fine di permettere il passaggio degli utenti, le porte dei by-pass dovranno essere apribili dalle persone solamente verso l'interno. La forza applicata al momento dell'apertura non deve superare i 220 N.

L'apertura verso l'esterno potrà essere permessa solo dal centro di controllo che provvederà alla chiusura della galleria e si assicurerà che la canna non incidentata non sia percorsa da alcun veicolo.

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 41 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

6.1.1. Calcolo ventilatori di pressurizzazione by-pass

L'impianto di sovrappressione è stato dimensionato in accordo alle Linee Guida Anas, secondo le seguenti condizioni di calcolo:

- sovrappressione a porte chiuse: 50 Pa
- velocità attraverso le porte : 2 m/s;
- superficie porta: $\Omega_p = 900\text{mm} \times 2150 \text{ mm}$
- numero di porte aperte: $n_p=1$

La relazione adottata per il calcolo della portata è la seguente:

$$Q_{\max} = n_p \times \Omega_p \times V_p \text{ [m}^3/\text{s]} \quad \text{ove } n_p(\text{ numeroporte aperte})=1$$

Introducendo i valori precedentemente richiamati, si ottiene:

$$Q = 3,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

Per tener conto delle microperdite d'aria attraverso le strutture del by-pass la portata d'aria massima del sistema di pressurizzazione è stata maggiorata ed assunta pari a:

$$Q_{\max} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

I ventilatori per i by-pass pedonali sono stati previsti di diametro 710 mm. La scelta dei componenti circolari, effettuata con $D_c = 710 \text{ mm}$, comporta una velocità di attraversamento della portata d'aria massima pari a:

$$V_c = \frac{4 Q_{\max}}{\pi D_c^2} = 10,10 \text{ [ms}^{-1}\text{]}$$

Il calcolo procede con la determinazione delle perdite di carico (esclusivamente localizzate) dei componenti dell'impianto con la relazione:

$$\Delta p_o = C_o \times \rho_a \times \frac{V_c^2}{2} \text{ [Pa]}$$

e riguarda l'imbocco dell'aria in ingresso ($\Delta p_i, C_{oi}$), la serranda tagliafuoco ($\Delta p_{stf}, C_{ostf}$) e lo sbocco dell'aria in uscita ($\Delta p_u, C_{ou}$).

Codifica: LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	Data: 08.09.2019	Pag. 42 di 46
---	---	---------------------	------------------

La pressione statica del circuito è data dalla sommatoria delle perdite di carico dei componenti con la sovrappressione minima garantita.

$$P_{sc} = \Delta p_i + \Delta p_{stf} + \Delta p_{pu} + \Delta p_{min} \text{ [Pa]}$$

Il valore della pressione statica del ventilatore, con l'adozione del coefficiente di sicurezza ($k_s = 1,1$), è il seguente:

$$P_{sv} = P_{sc} \times k_s \text{ [Pa]}$$

Il valore della pressione dinamica del ventilatore è dato dalla relazione:

$$P_{dv} = \rho_a \times \frac{V_c^2}{2} \text{ [Pa]}$$

mentre quello della pressione totale è:

$$P_{tv} = P_{sv} + P_{dv} \text{ [Pa]}$$

Infine, viene calcolata la potenza assorbita dal ventilatore, con $\eta_v = 0,55$, con la seguente formula:

$$W_v = \frac{P_{tv} \times Q_{max}}{\eta_v \times 10^3} \text{ [kW]}$$

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella sottostante.

Q [m ³ /s]	Δp_i [Pa]	Δp_{stf} [Pa]	Δp_u [Pa]	Δp_{min} [Pa]	P_d [Pa]	P_{tv} [Pa]	W_v [kW]
4	27,20	110,54	27,20	50	61,24	310	3

Tabella 9: Calcolo ventilatori pressurizzazione by – pass

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 43 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

7. ALGORITMI DI VENTILAZIONE

La minimizzazione del rischio si ottiene, nell'ambito della gestione dell'emergenza, incrementando il tempo disponibile per l'esodo ovvero riducendo il tempo necessario all'esodo considerando tutte le possibili anomalie di funzionamento dei sistemi di sicurezza.

L'incremento del tempo disponibile per l'esodo è ottenuto mediante un'adeguata gestione della ventilazione considerandone la mutua interazione con tutti i sistemi presenti in galleria.

La gestione della ventilazione in gallerie monodirezionali è caratterizzata da due fenomeni opposti e contrastanti:

- l'incremento della velocità dell'aria in galleria determina l'incremento della potenza termica generata dall'incendio e del tasso di crescita;
- l'incremento della potenza dell'incendio richiede velocità dell'aria incrementate per contrastare il fenomeno della risalita dei fumi controcorrente (back-layering).

La gestione di un fenomeno fisico complesso caratterizzato da comportamento caotico quale è l'incendio richiede l'applicazione di filtri in grado di smorzare il sistema nei tempi caratteristici dell'evoluzione evento al fine di consentire agli utenti di mettersi in salvo.

La minimizzazione del rischio per l'utenza si ottiene minimizzando la velocità dei fumi in particolare nelle zone in cui sono presenti gli utenti della galleria.

La gestione della ventilazione sarà condotta sulla base della minimizzazione del rischio per gli utenti presenti in galleria.

La gestione della ventilazione sia in condizioni di normale funzionamento, sia in condizioni di emergenza, sarà realizzata mediante specifici algoritmi per il controllo della velocità longitudinale da realizzarsi con idonee procedure (controllo tipo feedforward e feedback) in grado di gestire i vari scenari incidentali possibili (traffico monodirezionale, traffico congestionato, traffico bidirezionale).

Le specifiche tecniche degli algoritmi di ventilazione saranno definite a valle della realizzazione finale dell'opera e dell'installazione dell'impianto di ventilazione.

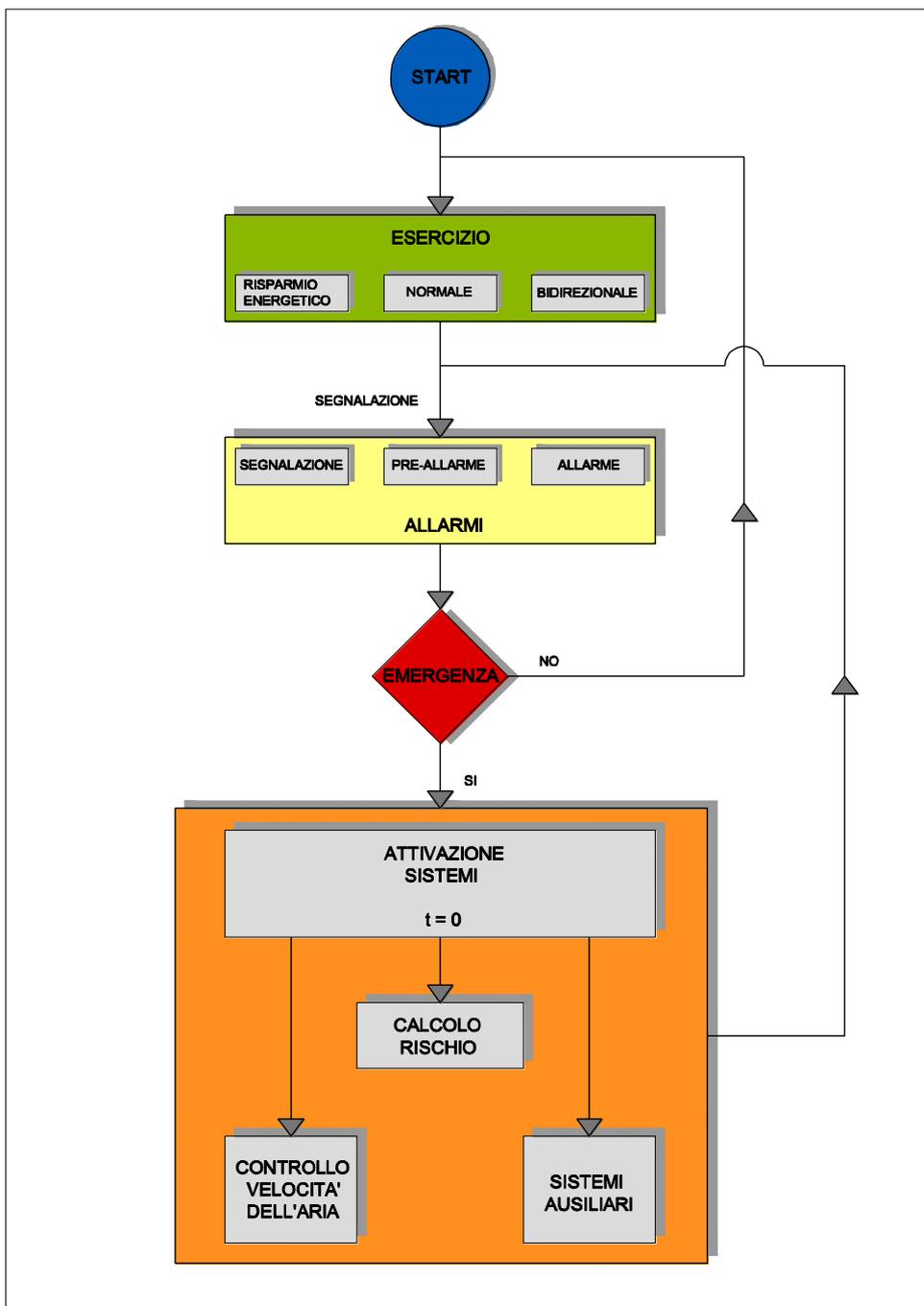
Gli algoritmi per la gestione della ventilazione sono caratterizzati da incrementata efficacia per la riduzione del rischio, mentre svolgono funzioni base in caso di:

- evento incidentale che coinvolga veicoli adibiti al trasporto di merci pericolose,
- condizioni di fuori progetto degli impianti,
- guasti ed anomalie di funzionamento degli impianti,
- elevata frequenza di congestione o di traffico bidirezionale,

- malfunzionamento dei sistemi di sicurezza interconnessi quali monitoraggio, comunicazione, illuminazione, segnaletica.

7.1. Schema generale

Il sistema di gestione della ventilazione è attivo durante tutte le fasi di esercizio e di emergenza della galleria ed opera con tempi ciclo predefiniti per ciascuno dei compiti principali ad esso ascritti illustrati nello schema mostrato in figura.



<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 45 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

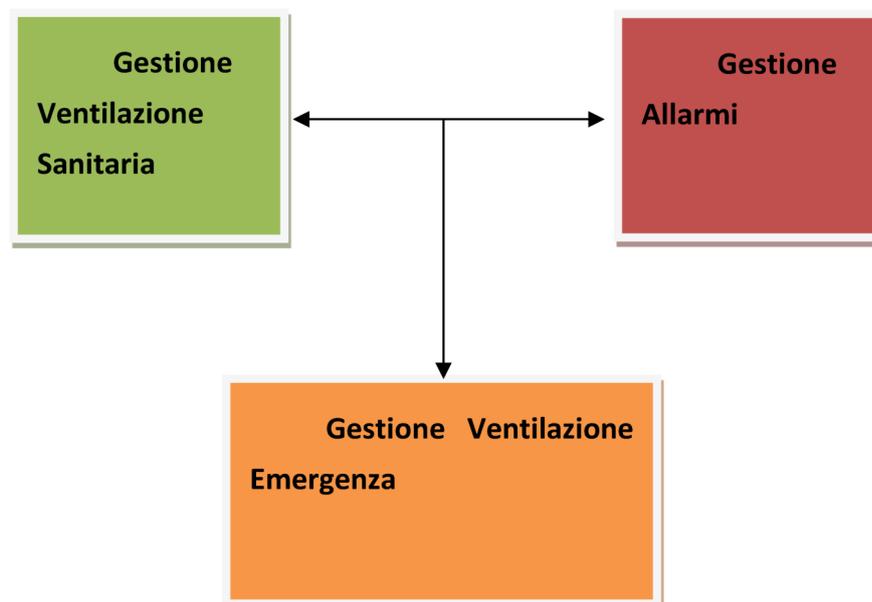
I dati sono acquisiti con cadenza fissata e le elaborazioni sono effettuate in parallelo tra gestione della ventilazione in esercizio ed acquisizione degli allarmi con priorità sempre all'acquisizione degli allarmi (in caso di malfunzionamento della procedura di esercizio deve essere garantito il monitoraggio degli allarmi).

In caso di allarme o preallarme cessa la modalità esercizio e prende la priorità la modalità emergenza mantenendo attiva la procedura di monitoraggio finalizzata alla validazione degli allarmi ed al cessato allarme automatico.

La cessata emergenza avviene automaticamente in caso di pre allarme e manualmente da personale autorizzato in caso di allarme.

7.2. Implementazione del software di controllo per la gestione della ventilazione

La successiva figura mostra una schematizzazione delle tecniche utilizzate dal sistema di gestione della ventilazione in galleria.



Il sistema di gestione è costituito da tre moduli primari:

1. modulo gestione ventilazione sanitaria (MVS) basato sul controllo della velocità,

<i>Codifica:</i> LO716C E 1901 T03 IM11 IMP RE06 B.DOCX	GALLERIA TREBISACCE RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IMPIANTO di VENTILAZIONE	<i>Data:</i> 08.09.2019	<i>Pag.</i> 46 di 46
--	---	----------------------------	-------------------------

2. modulo di gestione degli allarmi (MA) basato sull'albero degli eventi e sulla stima bayesiana delle probabilità condizionate,
3. modulo di gestione della ventilazione di emergenza (MVE) basato sul controllo della velocità in funzione dello scenario iniziale e dell'evoluzione dell'evento.

In condizioni di esercizio i moduli MVS e MA operano tramite polling verso la strumentazione a cadenze definite.

Il modulo MVS provvede a definire il numero ottimale di ventilatori da attivare.

Il modulo MA individua le condizioni di allarme a partire dalle informazioni fornite dai sensori stimando la verosimiglianza di determinate condizioni di allarme.

In caso di rilevazione di anomalie (allarme) il sistema di gestione passa le consegne al modulo MVE disabilitando il modulo MVS.

7.3. Variabili e parametri di controllo

Al fine di poter configurare l'algoritmo è prevista una serie di parametri che devono poter essere configurabili dall'utente.

I parametri principali devono poter essere impostabili attraverso una schermata a video, mentre i parametri secondari possono essere inseriti in un file di configurazione.

I parametri configurabili sono tutte le variabili sia numeriche sia booleane correlate alla gestione della ventilazione, presenti negli algoritmi di seguito riportati.

Tutte le variabili devono poter essere accessibili/modificabili da personale incaricato dal gestore.