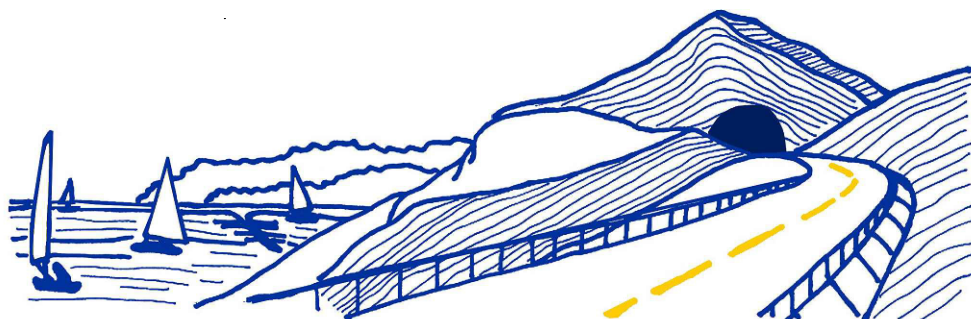


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO

PROGETTO ESECUTIVO

GE265



VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

Ing. Fabrizio CARDONE

RESPONSABILE
DELL'INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Alessandro RODINO

PROGETTISTA SPECIALISTA



Ing. Paolo Alberto COLETTI

IL COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Dott. Domenico TRIMBOLI

**IMPIANTI TECNOLOGICI
IMPIANTI MECCANICI
RELAZIONE SPECIALISTICA IMPIANTI MECCANICI**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

P00IM00IMPRES02_A

DPGE0265 E 20

CODICE ELAB. P00IM00IMPRES02

A

-

C					
B					
A	EMISSIONE	Marzo 2021	F. Luraghi	G. Cassetti	D. Morgera
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE	pag.
1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	2
3. IMPIANTO DI VENTILAZIONE LONGITUDINALE	4
3.1 Dati di traffico.....	4
3.2 Esercizio ordinario: ventilazione sanitaria.....	5
3.2.1 Portate d'aria di rinnovo	5
3.3 Esercizio in emergenza	7
3.4 Caratterizzazione energetica della sorgente.....	8
3.5 Caratterizzazione del flusso dei prodotti della combustione	9
3.6 Modellizzazione del flusso del pericolo	10
3.7 Modellazione di calcolo.....	10
3.7.1 Modello di calcolo	12
3.7.2 Condizioni ambientali in fase di esercizio.....	14
3.8 Dotazioni di impianto	14
3.9 Risultati di calcolo	15
4. RINNOVO ARIA E PRESSURIZZAZIONE DELLE VIE DI ESODO	15
4.1 Obiettivi di sicurezza e raccomandazioni progettuali.....	15
4.2 Criteri progettuali.....	17
4.3 Funzionamento del sistema di pressurizzazione delle vie di fuga	17
5. IMPIANTO ANTINCENDIO.....	19
5.1 Rete idranti.....	19
5.2 Prestazioni di progetto	20
5.3 Equivalenza e confronto con la Normativa di riferimento.....	20
5.4 Alimentazioni idriche.....	20
5.5 Terminali di impianto	21
5.5.1 Idranti a colonna soprasuolo.....	21
5.5.2 Idranti a muro	21
5.5.3 Attacchi di mandata VV.F.....	21
5.6 Installazione tubazioni	22
5.6.1 Giunzioni	22
5.6.2 Sostegni gravitazionali delle tubazioni.....	22

5.6.3	Sostegni antisismici delle tubazioni	22
5.7	Dimensionamento dell'impianto	23
5.8	Perdite localizzate e lunghe condotte	24
5.9	Determinazione battente minimo (o massima altezza di aspirazione)	24
5.10	Verifica rischio gelo tubazione in acciaio	24
5.11	Protezione termica tubazioni in PEAD	25
5.12	Prevenzione colpo ariete	26

1. Premessa

Il presente documento tratta gli impianti meccanici installati a servizio della galleria Fornaci I, II, III e IV. La galleria presenta lunghezza complessiva del tratto coperto pari a 645 m ma ai fini della sicurezza e delle dotazioni minime di impianto si è considerata di lunghezza superiore a 1000 m. Pertanto, per la galleria, in accordo con il D.Lgs. 264/06 e con le Linee Guida ANAS per la Progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, si è prevista l'installazione di un impianto di ventilazione longitudinale meccanica e di un impianto antincendio reti idranti.

Lungo la tratta oggetto del presente progetto sono presenti altre due gallerie: Felettino 2 e Felettino 3 aventi lunghezza rispettivamente pari a 191m e 245m. Seguendo la Direttiva 2004/54/CE Relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea, ripresa dalle stesse Linee guida ANAS 2009 per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, per gallerie aventi lunghezza inferiore a 500m non sono previsti impianti antincendio né di ventilazione, le gallerie Felettino 2 e 3 non saranno quindi trattate nella presente relazione.

L'impianto di ventilazione meccanica è del tipo puramente longitudinale, realizzato mediante installazione di jet-fans reversibili sulla volta della galleria. L'impianto di ventilazione meccanica previsto per la galleria deve consentire, in tutti gli scenari di funzionamento:

- il controllo e la corretta diluizione degli inquinanti emessi dai veicoli circolanti all'interno della struttura, in caso di flussi di traffico normali ed intensi (picchi di traffico);
- il controllo degli stessi inquinanti in condizioni di arresto della circolazione per incidenti o anomalie sui flussi di traffico;
- il controllo del calore e del fumo prodotti in caso di incendio.

L'impianto antincendio è progettato in accordo con la normativa vigente e la buona tecnica progettuale al fine di assicurare sempre il corretto funzionamento e la continuità di esercizio richiesta.

L'impianto sarà costituito da una rete idrica alimentata da una stazione di pompaggio, collocata presso il portale nord di galleria, con annessa riserva idrica ed una rete idranti distribuita lungo la galleria costituita da idranti UNI45 e UNI70 ai portali. La rete idranti sarà realizzata ad anello con collettori principali di distribuzione installati in appositi alloggiamenti ricavati dietro i profili redirettivi della galleria adibiti a passaggio impianti e chiusure anello mediante attraversamenti stradali realizzate in prossimità dei portali.

La rete antincendio è preposta sia alla protezione interna che alla protezione esterna, in particolare realizzate a mezzo di:

- idranti UNI 45 a protezione interna della galleria, installati in apposite nicchie ricavate lungo i piedritti lato marcia in adiacenza alle postazioni SOS;
- idranti UNI 70 agli imbocchi delle gallerie.
- attacchi di mandata VVF agli imbocchi delle gallerie.

La rete sarà realizzata in modo che la distanza massima tra i presidi interno alla galleria non risulti mai superiore a 150 m.

La galleria inoltre sarà servita da un sistema di vie di esodo in grado di garantire, in caso di emergenza, il deflusso in sicurezza delle persone coinvolte in un ipotetico evento incendio. Le vie di esodo sono realizzate mediante collegamenti pedonali (vani scala): la prima attraverso

un cunicolo di sicurezza ricavato sotto la sede stradale della galleria, la seconda è realizzata tramite filtro a prova di fumo, vano scala e con percorso verso lo spazio a cielo aperto. Questi ultimi consentono il deflusso delle persone verso lo spazio a cielo aperto attraverso il camminamento protetto o all'interno del cunicolo a sua volta separato dalla galleria attraverso un'adeguata compartimentazione REI 120 e mediante l'installazione di un filtro a prova di fumo. La sovrappressione della zona filtro per la via di uscita N.1 alla progressiva 3685.00 è assicurata da un impianto di ventilazione dedicato costituito da una coppia di ventilatori assiali. La seconda zona filtro a prova di fumo presso la via di esodo N.2 alla progressiva 3988.00 sarà dotata di camino di estrazione fumi senza necessità di pressurizzazione.

2. Normativa di riferimento

Per quanto riguarda i sistemi di ventilazione in galleria, il principale riferimento normativo per la progettazione degli impianti tecnologici a servizio delle gallerie stradali è costituito dalla Direttiva Comunitaria 2004/54/CE e dal Decreto Legislativo 264/2006 che ne costituisce l'effettivo recepimento a livello nazionale.

A seguito dell'emanazione del Decreto Legislativo 264/2006, è stato redatto da parte dell'ANAS, un testo di "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali" con lo scopo di uniformare a livello nazionale i metodi di progettazione in ambito stradale emanando un testo di raccomandazioni congruente con i dettami della direttiva europea.

Il testo redatto dall'ANAS riporta uno standard di progettazione per le gallerie di nuova costruzione, stabilendo le dotazioni impiantistiche più idonee ad assolvere il compito della salvaguardia degli utenti nei diversi scenari di funzionamento. La progettazione della nuova galleria in esame, si pone l'obiettivo di rispettare gli standard di progettazione ANAS per le nuove costruzioni, mirati alla realizzazione di sistemi efficaci e funzionali volti al rispetto delle prescrizioni di sicurezza da garantire per la salvaguardia degli utenti.

La normativa tecnica applicabile per gli impianti di ventilazione della galleria e per gli impianti di ventilazione e rinnovo aria nei luoghi sicuri è rappresentata dalle norme:

Leggi e Decreti

- Direttiva 2004/54/CE Relativa ai requisiti minimi di sicurezza per le gallerie della Rete stradale transeuropea;
- D.Lgs. 264/06 - Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea;
- D.M. 30 Novembre 1983 - Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi;
- Testo coordinato del DM 03 agosto 2015 Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139 (Codice di Prevenzione Incendi).

Norme europee

- UNI EN 13501 - Classificazione al fuoco dei prodotti e degli elementi da costruzione;
- UNI EN 12101 - Sistemi per il controllo di fumo e calore.

Norme estere (applicabili come buona tecnica progettuale)

- Direttiva Svizzera: ASTRA 2004 - Ventilation des tunnels routiers – choix du système, dimensionnement et équipement;
- Direttiva Tedesca: RABT 2006 - Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln;
- Direttiva Francese: Circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national annexe n.2 instruction technique relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels routiers (conception et exploitation).

Sono da ritenersi validi ed applicabili tutti i riferimenti normativi espressamente richiamati nelle suddette norme. Inoltre, da sempre, nella progettazione della sicurezza nelle gallerie stradali, si trae insegnamento dagli studi e dalle ricerche sviluppate negli anni nel corso dei grandi progetti europei ed americani. I risultati sono stati negli anni recepiti nelle legislazioni di quegli stati più sensibili ed interessati al tema della sicurezza antincendi in galleria e nelle linee guida emanate dall'Associazione mondiale della strada PIARC. I principali riferimenti cui oggi si affida il progettista nella progettazione della sicurezza antincendio in galleria sono:

- Road Tunnels: Operational Strategies for Emergency Ventilation PIARC Technical Committee 3.3 Road Tunnel Operation;
- Road and Transportation Research Association Working Group Traffic Routing and Road Safety. Regulations for the equipment and operation of road tunnels – RABT;
- Fire and Smoke Control In Road Tunnels - PIARC World Congress 1999;
- NFPA 502 - Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.

Per quanto riguarda i presidi antincendio, a seguito dell'emanazione del D.P.R. n.151 del 01.08.2011 - Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi, a norma dell'articolo 49, comma 4-quater, del D.L. 31 maggio 2010, n. 78, convertito, con modificazioni, dalla legge 30 luglio 2010, n. 122 - l'attività "galleria" rientra nell'elenco delle attività soggette al controllo VV.F. di cui all'allegato A del medesimo decreto. Tutte le gallerie, di lunghezza superiore a 500 m, sono classificate come attività nr. 80.1.A e pertanto, in accordo con le nuove procedure di prevenzione incendi, sottoposte a Segnalazione Certificata di Inizio Attività (SCIA).

In attesa dell'emanazione di una regola tecnica di prevenzione incendi, la normativa e la buona tecnica progettuale applicabile o comunque riconducibile alla galleria sono rappresentate dal:

- D.Lgs. 264/2006 - Attuazione della direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea;
- Linee Guida ANAS per la Progettazione della Sicurezza nelle Gallerie Stradali.

La normativa tecnica e le linee guida di riferimento applicabili per gli impianti di estinzione incendi è rappresentata da:

- UNI 10779 Impianti di estinzione incendi, reti idranti, progettazione, installazione ed esercizio;
- UNI EN 12845 Installazioni fisse antincendio, sistemi automatici a sprinkler, progettazione, installazione e manutenzione;
- UNI 11292 Locali destinati ad ospitare gruppi di pompaggio per impianti antincendio - Caratteristiche costruttive e funzionali;
- Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018;

- DM 20 dicembre 2012 Regola tecnica di prevenzione incendi per gli impianti di protezione attiva contro l'incendio installati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi;
- Linee di indirizzo per la riduzione della vulnerabilità sismica dell'impiantistica antincendio – Ministero dell'Interno. Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile.

Sono inoltre da ritenersi valide ed applicabili tutte le normative di prodotto espressamente richiamate nelle suddette norme.

3. Impianto di ventilazione longitudinale

L'impianto di ventilazione di galleria deve assolvere a due compiti ben precisi:

- in condizione di funzionamento normale, deve assicurare il mantenimento del livello di inquinanti al di sotto delle soglie limite specificate;
- durante l'esercizio di emergenza in caso di incendio, deve garantire il salvataggio delle persone coinvolte nell'evento. In modo particolare deve controllare la diffusione dei fumi limitando l'estensione della sezione di galleria invasa dagli stessi e riducendo al minimo l'interazione con gli utenti coinvolti dall'evento.

Il sistema di ventilazione sarà dimensionato, in esercizio normale, sulla base dei volumi di traffico effettivi, caratteristici della galleria, e sulla base delle stime più recenti delle emissioni dei veicoli. In esercizio di emergenza il dimensionamento dovrà garantire la dispersione dell'energia termica prodotta dal focolaio di incendio e il corretto controllo del moto dei fumi (e la diluizione delle sostanze tossiche ad essi associate).

3.1 Dati di traffico

I dati di traffico relativi alla galleria, desumibili dalle analisi previsionali, sono espressi in forma di valori medi di traffico orario e traffico giornaliero riferiti all'anno 2011; si trova:

- TGM = 25.000 uve/giorno (complessivi).

Considerando un tasso di crescita complessivo a 30 anni pari al 20% si trova il nuovo TGM di progetto che vale:

- TGM = 30.000 uve/giorno (complessivi).

Dalla percentuale media del traffico pesante fissata pari al 29% di si determina:

- TGM (VL) = 21.300 vei leggeri/giorno;
- TGM (VP) = 8.700 vei pesanti/giorno.

Il Traffico orario medio TOM è calcolato a partire dal TGM sulla base di una concentrazione oraria calcolata su 16 ore giornaliere.

- TOM = TGM/16.

Il traffico di punta TP è calcolato a partire dal TOM assunto un fattore di picco pari a 1.5; si trova:

- TP = 1.2xTOM.

3.2 Esercizio ordinario: ventilazione sanitaria

Il sottosistema ventilazione, in condizioni di esercizio ordinario, è preposto a:

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

L'impianto di ventilazione deve mantenere la concentrazione degli inquinanti all'interno della struttura a livelli tali da non compromettere la visibilità e contenere la dose di inquinanti assunta dagli utenti. La ventilazione sanitaria deve essere dimensionata sulla base dei volumi di traffico e delle emissioni dei veicoli stimati per i primi 10 anni di esercizio. Il calcolo delle portate d'aria di rinnovo viene condotto sulla base dei possibili scenari "critici" di traffico, che possono verificarsi in galleria. Alla base dei calcoli stanno le considerazioni sopra riportate relativi ai valori di traffico utilizzati come caratteristici della rete viaria.

Si sono considerati, ai fini del calcolo, gli scenari di traffico equivalenti:

- al flusso massimo veicolare ($v=60$ km/h);
- al flusso veicolare rallentato con velocità media pari a 10 km/h;
- alla densità massima di veicoli per km di galleria, equivalente alla condizione di traffico bloccato.

Il reale flusso di veicoli viene calcolato a partire dalla composizione media del traffico veicolare e dalla tipologia prevalente di mezzi pesanti. Normalmente si assume un fattore convenzionale di conversione tra veicoli leggeri (VL) e pesanti (VP) pari a 3 e pertanto si considera la lunghezza convenzionale dei mezzi pesanti pari a 3 volte quella dei veicoli leggeri.

3.2.1 Portate d'aria di rinnovo

I valori limite per la concentrazione degli inquinanti, per diverse condizioni di flusso di traffico e per tipo di inquinante, sono stati desunti dalle raccomandazioni PIARC pubblicate in "Road tunnels: Vehicle Emissions and Air Demand for Ventilation" – 2019 (prospetto che segue).

Soglia di concentrazione degli inquinanti in galleria (PIARC)		
Condizioni di traffico	CO [ppm]	Opacità: coeffic. di estinzione [m-1]
fluido	50	0,005
congestionato	70	0,007
bloccato	100	0,009

In accordo con le più recenti pubblicazioni PIARC sulle emissioni veicolari ed il controllo delle portate inquinanti in galleria, si può definire la portata d'aria di rinnovo in galleria in un dato scenario di traffico come legata in modo direttamente proporzionale ai seguenti tre fattori:

- Il numero di veicoli n_{vei} presente in galleria nello scenario considerato;
- Il fattore base di emissione medio Q del totale dei veicoli presente in galleria nello scenario considerato;
- L'inverso della differenza tra la concentrazione ammissibile C_{adm} di inquinante in galleria e

quella di fondo presente in ambiente C_{amb} .

I tre fattori sono legati dalla relazione:

$$\dot{V} = n_{vei} \cdot Q \cdot \frac{1}{C_{adm} - C_{amb}}$$

dove il numero di veicoli n_{vei} può essere calcolato secondo la relazione:

- $n_{vei} = \frac{M \cdot L}{v}$ per $v > 0$ km/h
- $n_{vei} = D \cdot L$ per $v = 0$ km/h

dove:

- M rappresenta il traffico orario di riferimento per lo scenario considerato (vei/h/km);
- L la lunghezza della galleria (km);
- v la velocità media del flusso di traffico. Per traffico fermo nella relazione compare la densità veicolare massima D espressa in vei/km.

Il fattore base di emissione medio Q, riportato sulla pubblicazione PIARC di riferimento, esprime in forma di media pesata un fattore globale rappresentativo del parco veicoli circolante (paesi UE). Il fattore base viene quindi adeguato mediante l'utilizzo di un fattore di influenza precalcolato in funzione dell'evoluzione tecnologica e l'introduzione delle norme EURO sulle immatricolazioni dei nuovi veicoli. Risulta:

$$Q = Q_{(2010)} \cdot f_t$$

dove il fattore di influenza f_t è diagrammato nell'allegato di calcolo.

In linea generale, il fattore base di emissione, riportato nei documenti PIARC, è fedele alla composizione media del parco veicoli circolante ed è riproducibile in via analitica, come media pesata, sulla composizione percentuale delle classi, dei singoli fattori basi di emissione. La composizione media del parco veicoli, circolante sull'asse viario interessato, può, con buona approssimazione, farsi coincidere con quello Nazionale ed in ragione di ciò viene confermata l'adottabilità dei dati PIARC di riferimento.

I dati sulla tipologia e composizione media del traffico sono estratti dall'Annuario statistico dell'Automobil Club d'Italia (ACI2020 – riferito all'anno 2019) alla data di progetto.

CONSISTENZA PARCO AUTOVETTURE SECONDO L'ALIMENTAZIONE E LA CILINDRATA AL 31/12/2019

Regione	fino 800	801-1200	1201-1600	1601-1800	1801-2000	2001-2500	2501-3000	altro	TOTALE
Liguria	2,99%	23,36%	50,70%	3,27%	14,01%	3,57%	2,06%	0,04%	100,00%
	25.259	197.544	428.722	27.673	118.493	30.167	17.425	319	845.602
Altre	9	5							14
Benzina	22.759	186.570	219.182	9.498	14.766	1.893	1.679	2	459.439
Benzina/GPL	1.078	5.965	20.473	679	1.523	239	106	4	30.335
Benzina/Metano	12	2.869	5.832	89	215	29	11		9.064
Elettricità			1			1		307	309
Gasolio	1.384	2.083	179.052	15.788	101.463	27.439	11.177	1	339.284
Ibrido Benzina	17	49	4.113	1.619	334	557	40		6.795
Ibrido Gasolio			67		190	9	82		350
Non Definito		3	2		2			5	12

Regione	fino 800	801-1200	1201-1600	1601-1800	1801-2000	2001-2500	2501-3000	altro	TOTALE
Liguria	2,99%	23,36%	50,70%	3,27%	14,01%	3,57%	2,06%	0,04%	100,00%
Dato Nazionale	1.238.318	8.075.703	19.941.717	1.628.839	6.199.881	1.536.145	896.075	28.554	39.545.232
	3,13%	20,42%	50,43%	4,12%	15,68%	3,88%	2,27%	0,07%	100,00%

CONSISTENZA PARCO AUTOCARRI MERCI SECONDO L'ALIMENTAZIONE E IL PTT AL 31/12/2019

Regione	fino 2,5	2,6-3,5	3,6-7,5	7,6-12	12,1-14	14,1-16	16,1-32	oltre 32	Altro	TOTALE
Liguria	50,78%	40,82%	2,88%	1,72%	0,44%	0,63%	2,70%	0,01%	0,03%	100,00%
	43.797	35.206	2.480	1.480	382	541	2.333	12	24	86.255
Altre	1									1
Benzina	9.671	188	32	10	6	1	4		1	9.913
Benzina/GPL	1.469	117	3	2	1		1			1.593
Benzina/Metano	760	56	2							818
Elettricità	153	12								165
Gasolio	31.729	34.822	2.443	1.468	375	540	2.328	12	23	73.740
Ibrido Benzina	12	1								13
Ibrido Gasolio	1	10								11
Non Definito	1									1
Dato nazionale	1.782.826	1.875.694	167.443	110.261	18.985	26.855	192.493	1.213	2.296	4.178.066
	42,67%	44,89%	4,01%	2,64%	0,45%	0,64%	4,61%	0,03%	0,05%	100,00%

3.3 Esercizio in emergenza

La condizione di esercizio più gravosa per l'impianto di ventilazione è rappresentata dalla presenza di un focolaio di incendio in galleria. L'impianto di ventilazione è infatti, uno dei principali componenti impiantistici per la gestione degli effetti generati dall'evento incendio. Deve essere dimensionato per controllare l'evacuazione dei fumi, consentire l'autosoccorso degli utenti e permettere l'intervento dei soccorritori in sicurezza. Riassumendo, gli obiettivi di sicurezza che devono essere garantiti da un sistema di ventilazione possono essere così sintetizzati:

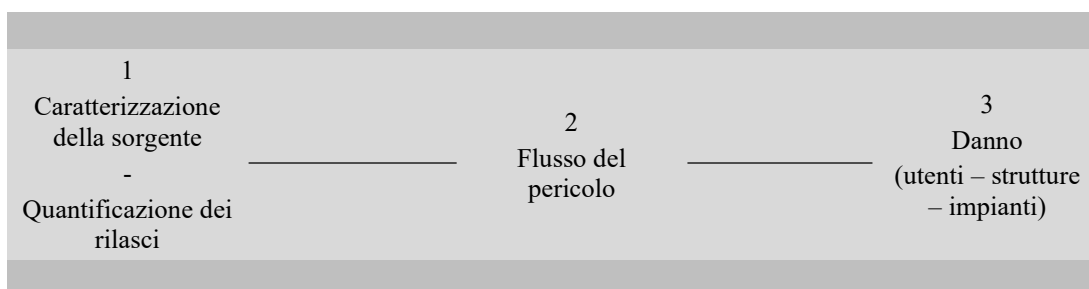
- assicurare la diluizione delle emissioni dei veicoli all'interno della galleria in condizioni di esercizio così che siano garantite idonee condizioni di salubrità dell'aria ed il comfort visivo degli utenti;
- assicurare la gestione ed il controllo degli eventi incidentali possibili in galleria, individuati come critici dalla legislazione vigente, assicurare la compatibilità ambientale della struttura.

Il D.Lgs. 264/06 identifica come eventi critici per una galleria stradale:

- collisioni seguite da incendio dei veicoli coinvolti;
- incendi dei veicoli;
- rilasci in fase liquida (sversamenti) di sostanze infiammabili;
- rilasci in fase gassosa di sostanze tossiche e nocive.

Il dimensionamento del sistema di ventilazione in condizioni di emergenza richiede la simulazione degli scenari di pericolo possibili in galleria generati dall'accadimento di eventi critici. Il successivo schema logico sintetizza le fasi in cui si articola la procedura di modellazione degli scenari di pericolo in una galleria. Essa è finalizzata alla determinazione

delle conseguenze sulla popolazione esposta al flusso del pericolo rappresentato dai fenomeni fisico-chimici pericolosi indotti dagli eventi critici.



3.4 Caratterizzazione energetica della sorgente

Essa è finalizzata alla determinazione delle conseguenze sulla popolazione esposta al flusso del pericolo rappresentato dai fenomeni fisico-chimici pericolosi indotti dagli eventi critici. La potenza termica generata da un focolaio costituito da autoveicoli può essere stimata a partire dall'energia posseduta dal combustibile attraverso relazioni di tipo empirico. I risultati di tali relazioni sono riassumibili nel prospetto che segue (estratto Linee Guida ANAS - 2009) dove:

- E è l'energia attribuita ai singoli componenti costituenti il focolaio;
- PT è l'energia complessiva attribuita al focolaio;
- Q è la potenza massima generata dal focolaio.

Veicolo	Tipologia	Energia - MJ	PT- MJ	Q - MW
Veicolo da turismo	Piccolo	6.000		
	Grande	12.000	18.000	8
Furgone carico	Allestimento	9.000		
	prodotti cellulosici	24.000	33.000	
	liquido infiammabile	54.000	63.000	15
Veicolo pesante	Motrice	7.000		
	Semi-rimorchio	25.000		
	Combustibile autotrazione (500 l)	18.000	50.000	30
Carico	prodotti cellulosici	280.000	330.000	
	liquido infiammabile	400.000	450.000	100

La potenza totale generata dal focolaio è comprensiva della componente convettiva e della componente radiativa. La componente radiativa può essere assunta, in prima approssimazione, pari al 30% della potenza massima. Le Linee Guida ANAS raccomandano che il dimensionamento del sistema di ventilazione sia condotto sulla base delle risultanze ottenute dalla simulazione di un numero finito, ma rappresentativo, di scenari di incendio possibili in galleria. Il modello, utilizzato per la verifica di calcolo, ha per oggetto la determinazione della spinta totale richiesta al sistema di ventilazione. La spinta è data dal prodotto della somma delle cadute di pressione e degli effetti di resistenza al moto dell'aria in galleria per il valore della sua sezione trasversale netta (metodologia descritta nel dettaglio nei successivi paragrafi).

3.5 Caratterizzazione del flusso dei prodotti della combustione

La velocità critica si assume dipenda da:

- componente convettiva della potenza termica generata dal focolaio;
- pendenza della galleria;
- sezione trasversale della galleria.

La stima della velocità critica nella pratica ingegneristica è effettuata risolvendo per via iterativa le seguenti relazioni accoppiate:

$$V_c = 0.61 \cdot k_p \left(\frac{g Q_c H}{\rho_a c_p T_f} \right)^{1/3}$$

$$T_f = T_a + \frac{Q_c}{\rho_a c_p A \cdot V_c}$$

dove:

- k_p è un coefficiente attraverso il quale si tiene conto della pendenza della galleria. Il coefficiente empirico introdotto assume i seguenti valori: $k_p = 1,0$ (0%) / $1,23$ (10%).

La velocità critica può essere altresì stimata dalla relazione:

$$V_c = \begin{cases} v_* \sqrt{gH} \left(\frac{Q_*}{Q_0} \right)^{1/3} & \text{se } (Q_* < Q_0) \\ v_* \sqrt{gH} & \text{se } (Q_* > Q_0) \end{cases}$$

con:

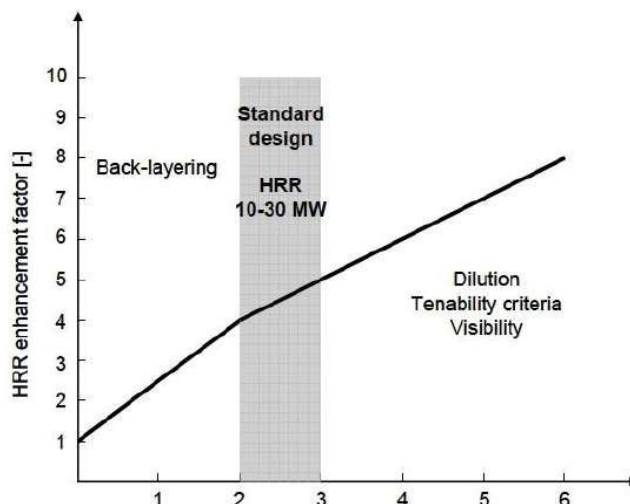
- $Q_0 = 0.12$
- $0.22 < v_* < 0.38$

$$Q_* = \frac{Q_c}{\rho_a \cdot c_p \cdot T_a \cdot g^{1/2} \cdot H^{5/2}}$$

dove:

- ρ_a , c_p , T_a rappresentano, rispettivamente, la densità, il calore specifico a pressione costante, la temperatura dell'aria in galleria;
- g è l'accelerazione di gravità;
- H è l'altezza della galleria.

La figura che segue esemplifica l'effetto della velocità del flusso d'aria in galleria sulla dinamica del focolaio ed evidenzia come essa possa modificare in modo sostanziale il flusso del pericolo all'interno della struttura.



3.6 Modellizzazione del flusso del pericolo

Il profilo di temperatura all'interno di una galleria, interessata da un evento di incendio, può essere determinato introducendo il modello di scambiatore di calore equivalente. L'evoluzione longitudinale della temperatura della miscela aria-fumi sottovento al focolaio può essere stimata attraverso la seguente relazione:

$$T_f(x, t) = T_a + [T_{f0}(\tau) - T_a] \left(\frac{hPx}{\rho_a c_p uA} \right)$$

con:

$$T_{f0}(\tau) = T_a + \frac{0.7 \cdot Q(\tau)}{\rho_a c_p uA}$$

$$\tau = t - \frac{x}{u}$$

La formula introdotta per il calcolo della temperatura della miscela aria-fumi in posizioni diverse all'interno della galleria ed in istanti diversi, stante la dipendenza esplicita dalla potenza termica generata dal focolaio fa sì che la temperatura della miscela debba essere considerata una grandezza stocastica. La variabile spaziale, che individua la sezione in corrispondenza della quale è valutata la temperatura della miscela, risulta essa stessa una grandezza stocastica in quanto la posizione del focolaio è per sua natura aleatoria.

3.7 Modellazione di calcolo

Il ricorso alla fluidodinamica computerizzata richiede, in genere, tempi e costi di calcolo ingenti e spesso, può essere utile, anche in relazione alla tipologia dei risultati attesi, fare ricorso a modellazioni semplificate. Nel caso specifico, un modello di simulazione 2D, denominato FAST2D applicato al contesto galleria è stato sviluppato da IMGECO con il fine di verificare la congruità delle misure di ventilazione proposte per la gestione degli scenari di incendio.

Nello specifico, la modellazione 2D consente di verificare il comportamento atteso nella propagazione dei fumi a seguito dell'applicazione delle metodologie di gestione adottate con particolare riferimento a velocità di progetto e tempi di regolazione. Il modello di calcolo semplificato consente un'analisi qualitativa puntuale dello scenario osservato evidenziando eventuali criticità relativamente a propagazione dei fumi, mantenimento della stratificazione e

distribuzione delle temperature.

Affinché i risultati della modellazione semplificata possano ritenersi congrui con gli scenari analizzati è fondamentale che venga preliminarmente verificata la capacità del sistema di far fronte, in termini di spinta e potenza totale installata, alla gestione proposta. Per questo, la modellazione 2D proposta prevede una subroutine di verifica prestazionale dell'impianto in presenza di un definito scenario di incendio di progetto. L'analisi di calcolo prevede che lo scenario di incendio possa diversificarsi per:

- potenze di riferimento;
- progressive di incendio - 5 per fornice equamente distribuite (tra le progressive chilometriche limite poste a 100 m dai portali);
- condizioni di ventilazione iniziale (valori compresi tra -3 e +2 m/s);
- condizioni al contorno (scambio termico di parete);
- caratteristiche geometriche e fisiche della galleria (geometria, nr. corsie, altezza libera volta, altimetria e pendenza del tracciato);
- tipologia/composizione del traffico presente/previsto (unidirezionalità/bidirezionalità – percentuali veicoli pesanti - formulazione delle perdite di pressione per effetto pistone);
- tempi di composizione della coda in relazione alla tipologia di traffico presente ed alle misure gestionali di sicurezza previste (chiusura tunnel – barriere – semafori);
- tipologia e prestazioni degli impianti di ventilazione installati (spinta nominale, dati aeraulici e coefficiente di installazione).

Nello specifico l'analisi condotta, in accordo con i valori e le grandezze di riferimento adottate in sede di progetto (vedi paragrafo successivo), ha previsto la modellazione di scenari di incendio caratterizzati da:

- presenza di un focolaio all'interno della galleria e regime di ventilazione in direzione Sud (discesa);
- progressive di incendio pari 100 m, 211 m, 323 m, 434 m, 545 m dal portale Nord;
- potenza massima rilasciata dal focolaio di 30 MW;
- andamento della curva di rilascio termico caratterizzata da:
 - durata totale pari a 2 h;
 - tempo di picco pari a 600 s
 - tasso di crescita con andamento quadratico;
 - permanenza a picco 3600 s;
 - decadimento lineare (a zero) in 3000 s.
- frazione radiativa di incendio (quota parte del calore rilasciato dall'incendio e ceduto direttamente alle pareti e alla volta della galleria per irraggiamento – solo prossimità del focolaio) pari a 30%;
- condizioni di isoterma di parete per incrementare l'effetto di raffreddamento dei fumi per scambio convettivo con le pareti e la volta della galleria (ragionevole se commisurato al tempo di analisi (< 30 minuti);
- condizioni di ventilazione iniziale ponderati sulla variabilità del traffico (diurno/notturno); in particolare è prevista l'analisi degli scenari diurni ad elevato traffico (valori punta TP) e velocità iniziali positive (1 – 2 m/s - velocità superiori non richiedono attivazione dell'impianto di ventilazione) e di quelli notturni a traffico ridotto e velocità iniziali

negative (valori compresi tra -3 e 0 m/s);

- composizione del traffico come da riferimento progettuale;
- prestazioni dell'impianto di ventilazione come da progetto.

Il codice prevede l'esportazione dei risultati in forma grafica e numerica riportando per ogni progressiva di incendio sopra definita un prospetto contenente:

- l'andamento, nel tempo, delle pressioni richieste nei diversi regimi di ventilazione iniziale;
- l'andamento, nel tempo, del numero di jet-fans richiesto per il più gravoso degli scenari calcolato come funzione della differenza di pressione richiesta e dell'efficienza attesa dell'impianto (installazione, velocità residua di ventilazione naturale, temperature/densità fumi);
- l'andamento, nel tempo, delle velocità regolate secondo il modello di sicurezza proposto.

La curva rappresentata in rosso nel grafico centrale (vedi allegato di calcolo) costituisce quindi il risultato dell'analisi di dimensionamento dell'impianto di ventilazione; in particolare, è riportato a lato di ogni grafico, il risultato numerico relativo al numero massimo calcolato di jet-fan richiesti per far fronte alla ventilazione di tutti gli scenari analizzati (per singola progressiva di incendio).

A completamento dell'analisi, nel grafico delle velocità, sono riportate anche le velocità critiche calcolate per lo scenario di riferimento, in accordo con quanto definito nei paragrafi precedenti.

3.7.1 Modello di calcolo

Il modello di calcolo contenuto nell'applicativo FAST2D consente come detto la verifica, per gli scenari di incendio, della spinta totale richiesta al sistema di ventilazione. La spinta è data dal prodotto della somma delle cadute di pressione e degli effetti di resistenza al moto dell'aria in galleria per il valore della sua sezione trasversale netta. I contributi di caduta di pressione e resistenza al moto dell'aria possono essere calcolati come nella formulazione che segue:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_f + \Delta p_{vei} + \Delta p_{mc} + \Delta p_{fuoco} + \Delta p_{camino}$$

Ricordando che la spinta totale è definita come:

$$S = \Delta p_{tot} \cdot A$$

Si determina, per ogni scenario, il numero di jet-fans necessari per il corretto funzionamento del sistema mediante la:

$$N_{jf} = \frac{S}{S_{jf}}$$

dove con S_{jf} si intende la spinta netta prodotta da ciascun jet-fan installato in galleria. Nell'analisi dei fattori che compongono la caduta di pressione totale del sistema si possono definire:

- Le perdite per attrito: sono le perdite prodotte sull'aria, per effetto del suo moto, dalla presenza delle pareti e della volta della galleria. La galleria può essere considerata come un tubo ad elevata scabrezza di diametro uguale al diametro idraulico. Sono calcolate considerando un coefficiente di attrito parietale costante funzione della sola scabrezza relativa della galleria.
- La resistenza prodotta dal moto dei veicoli: è l'effetto pistone prodotto dai veicoli presenti

in galleria ed esposti al flusso d'aria di ventilazione. Vengono calcolate considerando le aree resistenti per le diverse categorie di veicoli suggerite dal PIARC. La resistenza opposta al moto dell'aria si tramuta in effetto utile quando la velocità media di percorrenza dei veicoli è concorde e superiore alla componente longitudinale di velocità dell'aria. Generalizzando, si può affermare che, a prescindere dalle condizioni al contorno della galleria (pressioni e temperature ai portali):

- per velocità del traffico superiori a 15 km/h e concordi con la direzione del flusso di ventilazione, l'effetto pistone produce un effetto utile di spinta sull'aria che è causa di un aumento di velocità;
 - per traffico fortemente rallentato o bloccato o in presenza di flussi bidirezionali compensati, la componente di spinta viene meno e la presenza dei veicoli lungo la galleria è responsabile di un'ostruzione al moto dell'aria al suo interno.
- Gli effetti meteo-climatici: sono le condizioni al contorno della galleria dovute alla presenza di vento o di differenze di tipo climatico (pressione e temperatura) ai portali. Si può, in via generale, affermare che:
- le temperature all'interno della galleria si mantengono generalmente intorno ad un valore costante durante tutto l'arco dell'anno e questo valore è qualche grado superiore alla temperatura media annuale di riferimento esterna;
 - a generare flussi di ventilazione naturale sono le differenze e le fluttuazioni di temperatura che si verificano tra l'interno e l'esterno della galleria. Le differenze di temperatura danno vita ad una spinta sull'aria che si muove in galleria come equilibrio delle distribuzioni di pressione al contorno;
 - a generare il moto dell'aria è l'effetto camino prodotto dalle differenze di densità prodotte dalle diverse condizioni di temperatura. Per calcolare l'effetto di moto, in via del tutto cautelativa, è bene considerare il valore massimo delle differenze di temperatura (per assicurare sempre il corretto funzionamento dei sistemi di ventilazione);
 - il valore massimo della differenza di temperatura può essere stimato, in assenza di dati precisi, secondo una metodologia riconosciuta a livello internazionale, come 1 °C ogni 450 m di lunghezza della galleria.
 - Ai fini della definizione delle cadute di pressione dovute agli effetti meteo-climatici al contorno della galleria, si considerano i valori di progetto riportati nel successivo paragrafo.
- Caduta di pressione dovuta al fuoco: è la caduta che si genera sul flusso di ventilazione per la presenza del focolaio, a causa dell'incremento di turbolenza e accelerazione che viene a crearsi sul flusso;
- Effetto camino: è l'effetto di spinta generato sul flusso d'aria di ventilazione dalle spinte di galleggiamento prodotte per effetto delle differenze di densità tra zona calda e fredda della galleria. Per un tratto di galleria di lunghezza L e pendenza i, in presenza di fumi caldi a temperatura T, l'espressione dell'effetto camino si può scrivere come:

$$\Delta p_{\text{camino}} = -(\rho - \rho_0) \cdot g \cdot L \cdot i$$

dove con ρ e ρ_0 si indicano le densità dell'aria in galleria alla temperatura T e di quella esterna alla temperatura ambiente.

3.7.2 Condizioni ambientali in fase di esercizio

L'effetto meteorologico caratteristico della zona in cui si trova la galleria è stato sintetizzato considerando nel dimensionamento e nelle verifiche una differenza di pressione tra i portali pari a 30 Pa, effetto che si considera sempre opposto alla normale direzione di spinta dei ventilatori e genera all'interno della galleria un flusso d'aria opposto al flusso generato dagli stessi. La contropressione meteo è stata determinata sulla base delle valutazioni relative a:

- Contropressione meteo – è stata ipotizzata una contropressione meteorologica di 25 Pa per effetto della differente azione dei venti sui portali della galleria;
- Contropressione per effetto camino in galleria – ipotizzata pari a 5 Pa.

3.8 Dotazioni di impianto

I principali dati tecnici dei jet-fans, in termini di prestazioni aerauliche, sono riportati nel prospetto che segue.

Caratteristiche jet-fans				
Diametro girante [mm]	Portata [mc/s]	Velocità [m/s]	Spinta [N]	Pot. meccanica [kW]
1.000	24,0	30,5	900	27

Caratteristiche jet-fans 710mm				
Diametro girante [mm]	Portata [mc/s]	Velocità [m/s]	Spinta [N]	Pot. meccanica [kW]
710	15,2	38,4	700	25

I jet-fans con girante paria a 710mm sono previsti all'interno delle gallerie naturali Le Fornaci II, III e IV aventi sezioni minori, i jet-fans con girante pari a 1000mm sono previsti all'interno della galleria Le Fornaci I disposti a coppie con passo pari a circa 130m.

Si ricorda che:

- Tutti i ventilatori sono da intendersi di tipo reversibile;
- Per spinta si intende la spinta nominale in aria libera del ventilatore alla densità di riferimento di 1.20 kg/mc e pressione standard a livello mare di 101.325 Pa;
- Per consentire la corretta gestione di tutti gli scenari di emergenza è necessario che gli acceleratori siano tutti del tipo reversibile e resistenti alla temperatura di 400 °C per almeno 2 h;
- Le prestazioni aerauliche di progetto si riferiscono al ventilatore completo di tutti gli accessori necessari al corretto funzionamento.

I dati riportati sopra sono stati utilizzati per il calcolo e si riferiscono a prestazioni minime inderogabili per ciascun ventilatore, in esercizio, pena l'invalidità dei risultati di calcolo riportati nell'elaborato P00IM07IMPRES01.

È bene considerare che le spinte nominali dichiarate si riferiscono ad un funzionamento in aria libera del ventilatore e nelle condizioni standard di pressione e temperatura (densità di

riferimento). Nel calcolo della spinta reale prodotta da ciascun ventilatore si è tenuto in considerazione del:

- rendimento di spinta legato alla presenza in galleria di una velocità residua del flusso d'aria di ventilazione; all'aumentare della velocità dell'aria in galleria decresce la spinta prodotta dal ventilatore secondo la formula;
- rendimento di installazione legato all'influenza sulla spinta prodotta data dalla presenza delle pareti vicine al ventilatore; è funzione del rapporto tra la distanza asse ventilatore-parete (parete o volta sulla quale è installato il jet-fan);
- fattore di spinta legato alla densità dell'aria che decresce con l'altitudine della galleria (diminuisce la pressione atmosferica) e con la temperatura dell'aria (fattore di spinta unitario per valori di densità dell'aria superiori a 1.0 kg/mc).

Per non degradare l'efficienza di funzionamento del sistema di ventilazione la distanza tra i ventilatori in senso longitudinale non deve essere inferiore a 10 diametri idraulici (80 m), valore che sale a 12 diametri (100 m) per quelli posti in prossimità dei portali.

3.9 Risultati di calcolo

All'interno dell'elaborato P00IM07IMPRES01 sono riportati i risultati del modello di calcolo descritto, sia in condizioni di esercizio normale che di esercizio in emergenza.

4. Rinnovo aria e pressurizzazione delle vie di esodo

Il sistema di vie di esodo previsto per la galleria è realizzato a mezzo di vani scala e di camminamenti pedonali protetti. I camminamenti pedonali sono realizzati mediante l'installazione di un cunicolo di sicurezza ricavato sotto la sede stradale della galleria. I vani scala collegano la galleria al cunicolo, consentendo il deflusso delle persone verso i luoghi sicuri o aperti (a cielo libero).

I vani scala sono costituiti da un locale filtro e da un vano scala vero e proprio aperto e comunicante direttamente con il cunicolo. Il filtro separa la galleria dai percorsi sicuri attraverso una doppia compartimentazione REI 120.

Le condizioni di sicurezza degli utenti che hanno accesso ai luoghi sicuri sono assicurate da un impianto di ventilazione dedicato. L'impianto assolverà i compiti descritti nel dettaglio nei paragrafi successivi ed in particolare dovrà mantenere le strutture libere da fumi ed in sovrappressione rispetto alla galleria. Per la pressurizzazione delle uscite di emergenza e delle relative zone filtro è previsto un sistema di ventilazione locale installato sulle pareti divisorie delle zone filtro.

Alla progressiva 3988.00 l'uscita di sicurezza è dotata di zona filtro con camino di estrazione fumi, grazie all'utilizzo del camino, avente sezione libera pari ad almeno 0.2mq, non sarà presente sistema di pressurizzazione del filtro.

4.1 Obiettivi di sicurezza e raccomandazioni progettuali

Nel presente paragrafo vengono definiti i parametri caratteristici dei sistemi di sicurezza delle gallerie adibiti a via di fuga protetta. Riprendendo dalle "Linee Guida per la Progettazione della Sicurezza nelle Gallerie Stradali" redatte dall'ente ANAS si forniscono a seguire alcune utili definizioni e raccomandazioni per la progettazione:

- Una *via di fuga* è una zona destinata all'esodo sufficientemente illuminata, separata dalla

galleria mediante strutture e porte caratterizzate da un grado di protezione REI 120;

- Una *via di fuga protetta* è una zona destinata all'esodo delle persone sufficientemente illuminata, mantenuta libera da fumi ed in sovrappressione rispetto alla galleria mediante ventilazione naturale o forzata e separata dalla galleria mediante strutture e porte caratterizzate da un grado di protezione REI 120;
- Un *luogo sicuro temporaneo* è un luogo di stazionamento costituito da una zona separata fisicamente mediante una zona filtro a prova di fumo rispetto alla canna incidentata, in grado di ospitare in condizioni di sicurezza un numero di persone fissate per un intervallo di tempo limitato e comunque non inferiore a 30 minuti, collegato ad una via di fuga verso l'esterno. Le condizioni di sicurezza degli utenti che in esso stazionano devono essere assicurate da un impianto di ventilazione dedicato capace di immettere aria direttamente dall'esterno della galleria.

Le stesse LINEE GUIDA, riprendendo dal D.M. 30 novembre 1983 *Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi*, definiscono *zona filtro* a prova di fumo un vano delimitato da strutture con resistenza REI predeterminata e comunque non inferiore a 60 minuti, dotato di due o più porte munite di congegno di autochiusura con resistenza al fuoco REI predeterminata e comunque non inferiore a 60 minuti con camino di ventilazione di sezione adeguata e comunque non inferiore a 0.10 mq sfociante al di sopra della copertura dell'edificio, oppure vano con medesime caratteristiche di resistenza al fuoco mantenuto in sovrappressione ad almeno 30 Pa, anche in condizioni di emergenza, oppure aerato direttamente verso l'esterno con aperture libere di superficie non inferiore ad 1 mq con esclusione dei condotti.

In accordo con le definizioni sopra riportate, il cunicolo di sicurezza, separato dalla galleria a mezzo di zone filtro compartimentate REI 120 rispetto alla galleria: di cui la prima (Uscita N.1) mantenuta in sovrappressione da un impianto di ventilazione dedicato e la seconda (Uscita N.2) dotata di camino di estrazione fumi internamente al filtro, può classificarsi come via di esodo protetta della galleria.

La creazione di una zona calma in sommità ai vani scala consente l'installazione dei sistemi di comunicazione con l'utenza (SOS) e dei presidi antincendio (Estintori).

L'accesso degli utenti alle vie di fuga deve essere garantito da apposite uscite di emergenza realizzate tramite un'apertura sull'involucro delle strutture stesse. Le porte delle uscite di emergenza, devono aprirsi sempre nella direzione dell'esodo e presentare, il medesimo grado di protezione della via di fuga alla quale consentono l'accesso (REI 120). Devono essere normalmente chiuse e dotate di dispositivo di autochiusura. La larghezza complessiva delle uscite di emergenza deve risultare non inferiore al valore determinato dalla seguente relazione:

$$L = A/50 \cdot 0.6 \text{ [m]}$$

dove:

- A è l'affollamento della zona servita dalla via di fuga in esame;
- 0.60 m è il modulo unitario di passaggio, vale a dire la larghezza necessaria e sufficiente a consentire il transito di una persona;
- 50 è il numero di persone che possono defluire attraverso il modulo unitario di passaggio in un tempo medio di evacuazione prefissato.

La larghezza delle porte di uscita di emergenza dovrà essere un multiplo di 0.6 m (con tolleranza del 5%). La larghezza di un'uscita non potrà comunque risultare inferiore a 0.8 m.

Le linee Guida consigliano l'utilizzo di aperture realizzate con un modulo da 120 cm per gallerie a 2 corsie e volume di traffico compreso tra 2.000 e 12.000 vei/giorno/corsia e pertanto viene adottata tale misura per la configurazione delle porte di emergenza.

Il sistema di ventilazione preposto alla pressurizzazione ed al rinnovo d'aria delle zone filtro deve garantire:

- il rinnovo d'aria all'interno della zona filtro;
- la pressurizzazione della zona filtro rispetto alla canna incidentata al valore di almeno 30 Pa in condizioni di porte chiuse;
- una velocità del flusso d'aria in uscita dall'ambiente da proteggere verso la galleria non inferiore a 0.75 m/s in condizioni di porte aperte, al fine di impedire l'ingresso dei fumi nella struttura protetta;
- una velocità del flusso d'aria in uscita dall'ambiente da proteggere verso la galleria non inferiore a 2.00 m/s in condizioni di porte aperte al fine di consentire l'accesso alla canna incidentata dai luoghi sicuri agli addetti preposti allo spegnimento dell'incendio ed alle operazioni di soccorso (V.V.F.).

4.2 Criteri progettuali

In funzione degli scenari di funzionamento sopra descritti occorre eseguire il dimensionamento secondo i seguenti criteri:

- funzionamento a porte chiuse;
- funzionamento a porte aperte e velocità di 0.75 m/s sul varco pedonale;
- funzionamento a porte aperte e velocità di 2.00 m/s sul varco pedonale.

La pressurizzazione della zona filtro presso l'Uscita N.1 è garantita mediante l'installazione di una coppia di ventilatori assiali sospesi in prossimità dei divisori di separazione tra i compartimenti zona filtro e cunicolo di sicurezza. L'aria di rinnovo dei filtri è prelevata dal cunicolo e a sua volta aspirata dall'esterno mediante due aperture di ventilazione ricavate presso l'uscita all'aperto del cunicolo stesso al portale nord della galleria Le Fornaci.

Per l'uscita di emergenza N.2 non è previsto sistema di pressurizzazione essendo la zona filtro dotata di camino di estrazione fumi.

4.3 Funzionamento del sistema di pressurizzazione delle vie di fuga

Con riferimento ai dimensionamenti riportati all'interno dell'elaborato: P00IM07IMPRES01_Relazione di calcolo Impianti di Ventilazione - Cap. 3.3 Dimensionamento dell'impianto, vengono di seguito riportati i valori di portata e pressione richiesti dal sistema ai ventilatori.

Il funzionamento del sistema di pressurizzazione può essere così sintetizzato:

- Funzionamento a porte chiuse: la sovrappressione nella via di fuga rispetto ad entrambi i forni della galleria è mantenuta attivando uno dei due ventilatori in aspirazione dalla canna non incidentata. Portata minima nominale del ventilatore pari a 1.98 m³/s con pressione statica di 185 Pa;
- Funzionamento a porte aperte: l'accesso ad una via di fuga determina una riduzione della sovrappressione nel locale di accesso (per effetto dell'apertura della porta) e l'aumento locale della portata d'aria; la velocità del flusso d'aria di attraversamento delle porte

raggiunge il valore di progetto pari a 0.75 m/s. Portata minima nominale del ventilatore pari a 1.95 m²/s;

- Funzionamento a porte aperte per accesso dei soccorsi: attraverso l'azione sulla pulsantiera locale di comando, alloggiata nel collegamento pedonale, è possibile azionare il secondo ventilatore installato nella via di fuga per aumentare la velocità dell'aria al valore di progetto pari a 2.0 m/s in direzione del collegamento pedonale - galleria consentendo l'accesso sicuro degli addetti al soccorso e/o allo spegnimento dell'incendio. **Portata minima nominale del ventilatore pari a 2.60 m²/s con pressione statica di 230 Pa.**

Il funzionamento del ventilatore alla portata nominale di 2.60 mc/s ed alla pressione statica di 230 Pa (punto di funzionamento sulla curva pressione/portata caratteristica del ventilatore) è garanzia del corretto funzionamento del sistema in tutti gli scenari.

5. Impianto Antincendio

L'impianto antincendio a servizio della galleria sarà, in linea generale, costituito da una rete idrica principale di adduzione acqua ad anello e da una rete idranti. Le reti ad anello della galleria saranno realizzate principalmente mediante collettori in polietilene ad alta densità PE 100 conformi alla UNI EN 12201 - PSDR11. Laddove le condizioni di posa non lo dovessero consentire, le tubazioni in polietilene alta densità sono sostituite da tubazioni in acciaio per le parti esposte in galleria o all'aperto; in particolare le tubazioni in acciaio saranno installate in tutte le condizioni in cui è prevista una posa a vista, non interrata ed in linea generale non protetta meccanicamente e termicamente. È previsto l'utilizzo di tubazioni del diametro nominale di 100 mm (DN110 mm polietilene) e stacchi idranti di diametro proporzionale alla dimensione dell'utenza servita (DN40-DN80).

In linea generale l'installazione dei collettori principali della rete idrica avverrà mediante:

- un percorso interrato tra la stazione di pompaggio e l'innesto in galleria;
- un percorso in galleria ricavato all'interno di alloggiamenti ricavati dietro i profili redirettivi;
- un percorso di chiusura degli anelli in posizione interrata o in attraversamento in sede stradale.

La protezione termica delle condotte sarà assicurata, nel caso di tubazioni interrate o protette, dalla posa ad idonea profondità e/o dal ricoprimento di materiale stabilizzatore/coibente e nel caso delle tubazioni a vista in galleria da idoneo isolamento termico.

Per consentire il sezionamento della rete e l'esclusione di parti d'impianto, per manutenzione o modifica, senza ricorrere ogni volta alla messa fuori servizio dell'intero impianto, l'impianto sarà dotato di valvole di intercettazione presso i portali di galleria e presso gli stacchi idrante. Sui collettori le valvole saranno del tipo indicante la posizione di apertura/chiusura del tipo a farfalla con azionamento manuale a volantino e riduttore di manovra.

Non sono ammessi sezionamenti con organo di manovra a leva per chiusura rapida (rotazione 90°) su tubazioni e collettori del diametro nominale maggiore di 100 mm.

Sulle derivazioni di ogni idrante saranno posizionate valvole di sezionamento manuale (del tipo a sfera) per consentire gli interventi di manutenzione sui terminali. In tal caso le valvole non dovranno essere accessibili all'utenza o comunque normalmente non accessoriate di leva di manovra per evitare ogni possibile azione intempestiva ed errata.

Al fine di regolare la pressione di rete e mantenere per quanto più possibile uniformi le portate erogate dall'impianto, sui corpi idrante è prevista l'installazione di riduttori stabilizzatori di pressione.

5.1 Rete idranti

La rete antincendio è preposta sia alla protezione interna che alla protezione esterna in particolare mediante:

- idranti UNI 45 a parete a protezione interna della galleria, installati a quinconce lungo i piedritti in adiacenza alle postazioni SOS;
- idranti UNI 70 del tipo soprasuolo agli imbocchi delle gallerie;
- attacchi VVF presso i portali delle gallerie.

Gli stacchi idrante UNI 45 saranno realizzati a mezzo di tubazioni in acciaio UNI EN 10255 serie M aventi diametro nominale non inferiore a DN 40 mentre quelli per gli idranti soprasuolo UNI 70 saranno interrati e realizzati in polietilene o acciaio DN80/90.

5.2 Prestazioni di progetto

La rete idranti è preposta a strumento di protezione della struttura azionabile dal personale addetto al soccorso/salvamento delle persone e antincendio. Il dimensionamento dell'impianto avviene, in accordo con le Linee Guida ANAS, al fine di:

- consentire, sempre e comunque, il funzionamento contemporaneo di 4 idranti UNI 45 e 1 idrante UNI 70 installati nella posizione idraulicamente più sfavorevole.

Per gli idranti UNI 45 sono fissate le prestazioni di progetto di:

- 120 l/min di portata e 0,2 Mpa di pressione residua;

mentre per gli idranti UNI 70 le prestazioni sono di:

- 300 l/min a 0,3 Mpa.

In ragione di ciò la portata totale del sistema è fissata al valore di:

- 780 l/min.

L'alimentazione idrica deve essere in grado di:

- garantire la condizione più sfavorevole di funzionamento in termini di portata e prevalenza;
- assicurare il funzionamento della rete idranti per la durata di 2 h.

Il volume utile di riserva idrica disponibile per l'impianto antincendio di galleria è pari ad almeno 100mc.

In base alle verifiche si è constatato che le pressioni cui saranno soggette le tubazioni non saranno tali da richiedere materiali a pressione nominale superiore a PFA 16.

5.3 Equivalenza e confronto con la Normativa di riferimento

La galleria, stando alle prestazioni di progetto sopra dichiarate, viene equiparata in termini di protezione interna, ad un'area di livello di pericolosità 3 rispetto alla classificazione prevista dalla normativa di riferimento relativa alle reti idranti antincendio UNI 10779. In relazione alla protezione esterna (da considerare non contemporanea alla protezione interna) si può affermare che la portata di progetto prefissata assicura il funzionamento contemporaneo di almeno 2 attacchi idrante UNI 70 nella posizione idraulicamente più sfavorevole vale a dire di tutti gli attacchi contemporaneamente asservibili dall'impianto in relazione all'estensione della zona interessata dall'ipotetico evento incendio (installazione a i portali).

5.4 Alimentazioni idriche

In ragione di ciò la capacità utile minima dalla riserva idrica è fissata al valore di 100 m³.

La vasca è del tipo interrato in cemento armato ed è collocata nell'area esterna presso il portale nord della galleria Le Fornaci I.

Sopra alla vasca, fuori terra, sarà installato il locale pompe prefabbricato dotato di pompe ad

asse verticale secondo UNI12845.

L'alimentazione è costituita, oltre che dalla riserva idrica, anche da un gruppo di pompaggio UNI 12845. Il gruppo automatico antincendio è realizzato in modo da intervenire automaticamente qualora venga richiesta erogazione d'acqua da una qualunque utenza dell'impianto antincendio. Il gruppo di pompaggio è costituito da:

- una pompa principale, azionata da motore elettrico;
- una pompa principale, azionata da un motore diesel;
- un'elettropompa pilota ausiliaria di piccola potenza, con la funzione di mantenere in pressione l'impianto (compensazione);
- uno o più quadri di comando per l'avviamento automatico di ciascuna pompa.

L'elettropompa di compensazione ha il compito di mantenere l'impianto alla pressione nominale. Detta pompa dotata di proprio pressostato ed autoclave, entra in funzione per sopperire alle piccole perdite dell'impianto. L'apertura di una o più manichette, determina una caduta di pressione brusca che la pompa di compensazione non può neutralizzare. Raggiunta in rete la pressione minima (quella impostata come taratura di un secondo pressostato) avviene l'avviamento dell'elettropompa. Se l'elettropompa principale non si avvia per mancanza di energia elettrica, o è ferma per guasti o per manutenzione, l'ulteriore diminuzione di pressione comanda l'avviamento automatico della motopompa con motore diesel (intervento di un terzo pressostato). La massima garanzia di funzionamento è assicurata dalla presenza della motopompa azionata da motore diesel, in grado di erogare le medesime prestazioni dell'elettropompa di alimentazione, in caso di mancanza di energia elettrica.

5.5 Terminali di impianto

5.5.1 Idranti a colonna soprasuolo

Gli idranti saranno conformi alla norma UNI EN 14384 e corredati da tubazione flessibile DN 70 (n. 2 x 30 m cad.) di lunghezza normalizzata conforme alla norma UNI 9487, completa di raccordi e lancia di erogazione. La dotazione deve essere contenuta in apposita cassetta ed in prossimità dell'idrante.

5.5.2 Idranti a muro

Gli idranti devono essere conformi alla norma UNI EN 671-2. Essi sono costituiti da una valvola di intercettazione con attacco unificato, corredati da tubazioni flessibili di lunghezza normalizzata (n. 2 x 30 m cad.) conforme alla norma UNI EN 694, completa di raccordi e lancia di erogazione permanentemente collegati e contenuti in apposita cassetta. La lancia erogatrice deve essere dotata di valvola di regolazione del getto (chiuso, getto pieno e/o frazionato). Gli idranti a muro saranno dotati di dispositivo di regolazione della pressione a bordo idrante (premontato sul rubinetto) in modo da consentire la taratura del dispositivo di erogazione e consentire l'equilibratura delle portate.

5.5.3 Attacchi di mandata VV.F.

Apparecchiatura per l'immissione di acqua nella rete di idranti in condizioni di emergenza. Essa è costituita da due bocche di immissione con diametro non inferiore a DN 65 (attacco a vite a girello UNI 804), valvola generale di intercettazione, valvola di non ritorno, valvola di sicurezza tarata a 12 bar, cartello di segnalazione.

5.6 Installazione tubazioni

5.6.1 Giunzioni

La giunzione dei collettori antincendio è prevista mediante:

- Per le tubazioni in PE: l'utilizzo di raccordi ad elettrofusione in polietilene nero PE100 conforme UNI EN 12201 - Parte 3;

Le giunzioni dovranno essere eseguite solamente da personale qualificato ed addestrato per la saldatura di tubi e raccordi in PE secondo la normativa UNI9737.

- Per le tubazioni di acciaio: l'utilizzo di giunzioni a collare di tipo flessibile idonee per compensare movimenti lineari e/o angolari delle tubazioni. Questa tipologia di giunti consente di garantire la compensazione delle dilatazioni e gli scarti delle deviazioni angolari delle pose non rettilinee. Pertanto, tutte le tubazioni dovranno essere fornite in barre con estremità scanalate a cava rullata predisposte per la posa dei suddetti giunti.
- All'interfaccia Acciaio – PE potranno essere installati elementi e giunti di transizione (purché compatibili con la pressione nominale di impianto) o elementi conici con cartella, flangia libera e guarnizione; in questo caso la cartella sarà saldata alla tubazione in PEAD con sistema testa/testa o con manicotto elettrosaldabile e costituirà la base di appoggio per la flangia in acciaio.

5.6.2 Sostegni gravitazionali delle tubazioni

Tutte le tubazioni dovranno essere fissate ed ancorate a strutture fisse con sostegni adeguatamente dimensionati oltre a garantire i requisiti minimi di sicurezza sismica richiesti per gli impianti antincendio. In particolare, ciascun sostegno dovrà essere dimensionato per un carico almeno pari a 5 volte il peso della tubazione (piena d'acqua) più un carico accidentale di 120 kg. Per questo tutti i sostegni dovranno essere dimensionati per un carico di punta pari a 3,5 kN (idoneo per tubazioni sino a DN 150).

Le tubazioni in galleria poste dietro i profili redirettivi saranno fissate ai supporti all'interno dei relativi alloggiamenti e successivamente ricoperte sino al getto di chiusura superiore del profilo. Le tubazioni stacchi idrante in galleria saranno in acciaio, installate a vista mediante collari e dispositivi di sostegno a barra filettata.

Tutti i sostegni, in accordo con la UNI 10779, comunque, dovranno avere sezione minima netta pari a 35 mm² e spessore di almeno 2,5 mm, fissati con barre filettate di dimensione almeno pari a M12. I sostegni dovranno esser installati su ciascun tronco di tubazione ad una distanza massima di 3 m.

5.6.3 Sostegni antisismici delle tubazioni

Le Guida Tecnica – Linee di indirizzo per la riduzione della vulnerabilità sismica dell'impiantistica antincendio – definiscono i requisiti di sicurezza sismica degli impianti connessi alla sicurezza antincendio con riferimento ai diversi scenari d'installazione (pericolosità del sito e funzione strategica dell'installazione). In particolare, vengono definiti i requisiti minimi di sicurezza sismica ritenuti necessari per ottenere condizioni e caratteristiche di installazione che garantiscano, a seconda delle esigenze, l'incolumità delle persone, il mantenimento della funzionalità, il pronto ripristino post-sisma. Per ogni tipologia di impianto viene definito uno scenario di installazione che, combinato con la classe di pericolosità del sito, determina quali siano i requisiti di sicurezza sismica da rispettare. In particolare, si ha:

- tipologia di impianto: impianto idrico antincendio e impianto sprinkler a umido;
- categoria dello scenario d'installazione: categoria II (Attività/strutture/aree rilevanti per

l'elevata presenza di persone (maggiore di 100 unità) e relativo sistema di vie di esodo);

- livello di accelerazione a terra: $ag = 0,175g \div 0,200g$ (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale);
- classe di pericolosità del sito: A (Alta);

pertanto, i requisiti minimi di sicurezza sismica con riferimento a specifici obiettivi di sicurezza post-sisma da garantire sono:

- S: mantenimento della stabilità, con scopo di non generare situazioni di pericolo per le persone;
- D: assenza di perdite di fluidi, al fine di non generare situazioni di difficoltà o disagio nell'evacuazione per rilascio di sostanze o per caduta di elementi.

In relazione a quanto descritto si ritiene di assolvere tali precauzioni mediante l'installazione dei sostegni statici previsti che risultano già in grado di limitare la movimentazione verticale e trasversale dei collettori, garantendo solidarietà delle installazioni con la struttura e prevenendo gli urti e le rotture.

5.7 Dimensionamento dell'impianto

Il dimensionamento dell'impianto avviene attraverso la definizione delle portate di progetto, la determinazione dei diametri e tipologie di collettori di distribuzione idrica, la definizione dell'autonomia dell'impianto e delle caratteristiche prestazionali del gruppo di pompaggio. Tali operazioni sono state eseguite nel rispetto delle prestazioni di progetto riportate nei precedenti paragrafi.

Al fine di garantire la costanza delle portate di erogazione dei terminali installati in rete, a valle di ogni stacco idrante (o sul corpo idrante stesso), sarà posizionato un riduttore di pressione la cui taratura verrà effettuata in sede di collaudo. La portata dei terminali di erogazione è stata calcolata con la formula:

$$Q = K \cdot \sqrt{P}$$

dove:

- Q è la portata in litri al minuto al terminale;
- P è la pressione in bar residua;
- K rappresenta il coefficiente di efflusso caratteristico del terminale.

Nel rispetto delle prestazioni nominali di progetto si è ipotizzato l'utilizzo dei seguenti terminali:

- Idrante UNI 45 – 120 l/min @ 2 bar K=85;
- Idrante UNI 70 – 300 l/min @ 3.5 bar K=160.

Il dimensionamento di rete è stato quindi effettuato utilizzando la formulazione di Hazen-Williams per il calcolo delle perdite distribuite:

$$p_1 - p_2 = 6,05 \times Q^{1,85} \times 10^9 / (C^{1,85} \times D^{4,87})$$

dove:

- Q è la portata d'acqua in m³ al secondo;
- D è il diametro interno della tubazione in m;
- C è la costante di Hazen-Williams assunta pari a 150 per tubi in PE e 120 per tubi in

acciaio.

5.8 Perdite localizzate e lunghe condotte

Le perdite localizzate dovuta alla presenza di discontinuità geometriche o pezzi speciali lungo la rete sono state valutate con il metodo della lunghezza equivalente. Ad ogni tratto di tubazione, in sede di verifica, è stata sommata una lunghezza di tubazione equivalente pari alla somma della discontinuità effettivamente presenti; le lunghezze equivalenti standard, valide per velocità dell'acqua nell'intorno di 1 m/s, sono riportate nel prospetto che segue.

DN	Curve			Raccordi		Saracinesca	Valvola di ritegno
	45°	90°	90° ampio raggio	Tee	Croce		
	Lunghezza di tubazione equivalente (metri)						
40	0,6	1,2	0,6	2,4	2,4	-	2,7
50	0,6	1,5	0,9	3,0	3,0	0,3	3,3
65	0,9	1,8	1,2	3,6	3,6	0,3	4,2
80	0,9	2,1	1,5	4,5	4,5	0,3	4,8
100	1,2	3,0	1,8	6,0	6,0	0,6	6,6
125	1,5	3,6	2,4	7,5	7,5	0,6	8,3
150	2,1	4,2	2,7	9,0	9,0	0,9	10,4
200	2,7	5,4	3,9	10,5	10,5	1,2	13,5

5.9 Determinazione battente minimo (o massima altezza di aspirazione)

Per funzionare correttamente, un impianto non deve essere soggetto a fenomeni di cavitazione all'interno del gruppo di pompaggio - occorre quindi verificare che il valore di NPSH (Net Positive Suction Head) disponibile all'impianto sia maggiore di quello richiesto dal gruppo stesso.

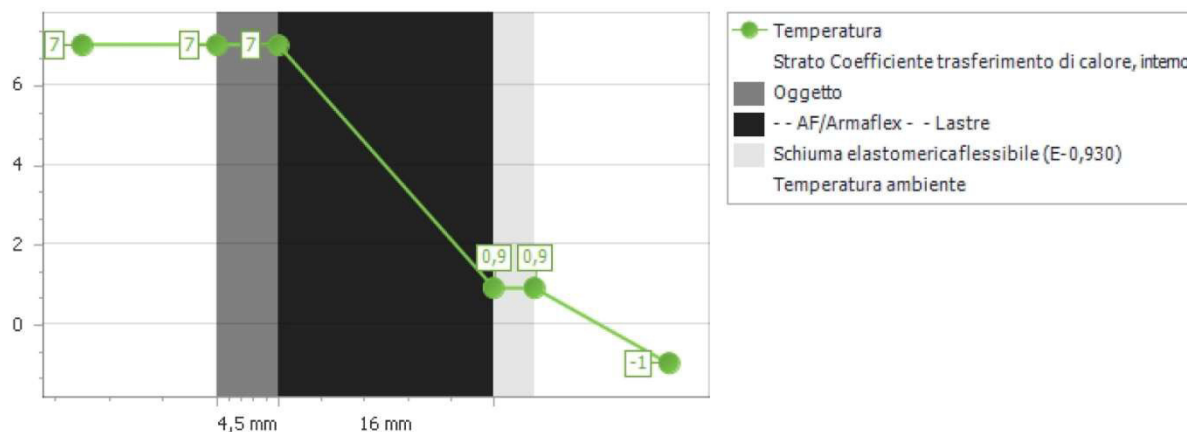
Il valore di NPSH richiesto dalla pompa è solitamente presentato sul diagramma della curva caratteristica della pompa; questa curva è determinata con misure sperimentali effettuate dal produttore. Rimane quindi a carico del fornitore la verifica di rispondenza tra il valore di NPSH disponibile di impianto e quello richiesto dalla pompa antincendio, anche in relazione al battente minimo di progetto della riserva idrica.

5.10 Verifica rischio gelo tubazione in acciaio

Le tubazioni antincendio installate in galleria sono sottoposte a rischio gelo (temperature minime di progetto pari o inferiori allo zero termico) e per questo si è resa necessaria una verifica in tal senso. La protezione dal gelo delle tubazioni principali acqua è garantita dalla presenza di un circolatore comandato da termostato ambiente che ha lo scopo di mantenere l'acqua in moto all'interno delle tubazioni all'abbassamento della temperatura sotto il livello di guardia di 5°C. Il circuito di ricircolo con rispettiva pompa è collocato all'interno della sala pompe come riportato nell'elaborato: P00IM09IMPSC01, è presente una sonda esterna di temperatura per l'attivazione del sistema di ricircolo acqua nelle tubazioni. Ciò nonostante, al fine di garantire la sicurezza intrinseca all'installazione, tutti i tratti di tubazione installati a vista in galleria saranno protetti mediante coibentazione termica e cavo scaldante autoregolante. La verifica di calcolo del rischio gelo è stata quindi eseguita mediante analisi del transitorio termico tramite software di calcolo dedicato (ArmWin di Armacell), nell'ipotesi di utilizzo di materiale isolante elastomerico, con le seguenti condizioni:

- temperatura esterna -1°C;

- temperatura iniziale acqua 7°C;
- velocità del vento 0 m/s;
- punto inizio congelamento 4 °C;
- coefficiente scambio convettivo 2,21 W/m²K;
- coefficiente scambio radiativo 4,29 W/m²K;
- acqua ferma (nessun ricircolo acqua in rete);
- esposizione alla temperatura per 12 ore (prolungata – es. notte).



I risultati evidenziano la necessità di proteggere la tubazione con guaina/lastra di isolante avente spessore minimo pari a 16 mm al fine di evitare un principio di congelamento nella tubazione antincendio.

5.11 Protezione termica tubazioni in PEAD

Per l'installazione delle tubazioni antincendio di polietilene in galleria è stata prevista una posa in alloggiamento dedicato dietro ai profili redirettivi delle gallerie. Per questo, al fine di verificare l'idoneità dell'installazione ai fini antincendio, è stata eseguita una verifica della sollecitazione termica risultante sulla tubazione in caso di evento incendio. L'analisi ha lo scopo di determinare la correttezza delle condizioni di installazione con particolare riferimento alla capacità della tubazione di garantire il pieno servizio antincendio, per la durata di 4 h, in presenza di incendio in galleria.

La verifica è stata quindi condotta mediante analisi del transitorio termico eseguita tramite software di calcolo dedicato. Le verifiche sono state condotte nell'ipotesi che il piano stradale, il piedritto di galleria ed il profilo redirettivo siano esposti ad una curva di incendio normalizzata; in particolare, in accordo con le richieste dettate dal DM 14/01/2008 (richiamate anche dalla Linee Guida ANAS per la Progettazione della Sicurezza nelle Gallerie Stradali) in tema di livelli di prestazione e conseguenti classi di resistenza al fuoco delle strutture, si richiede, alle strutture della galleria, un requisito di resistenza al fuoco non inferiore ad un tempo di 120 min per un incendio caratterizzato dalla curva nominale degli idrocarburi. Pertanto, la medesima curva di sollecitazione termica richiesta per gli elementi costruttivi viene utilizzata ai fini della verifica di stress termico sulla tubazione antincendio. La verifica termica è stata condotta con l'ausilio di un software di calcolo dedicato all'analisi FEM, denominato ThermoCAD (Concrete Srl), capace di analizzare il comportamento al fuoco di sezioni composte da materiali di qualsiasi natura. Il solutore agli elementi finiti

permette l'analisi termica della sezione sottoposta all'incendio normalizzato con condizioni al contorno assegnate, volta ad individuare la diffusione e l'andamento nel tempo della temperatura interna del corpo. Il programma permette l'analisi transitoria del flusso del calore all'interno della sezione, svolta dal solutore con il metodo degli elementi finiti.

Ai fini della valutazione della verifica si considerano i seguenti valori di riferimento:

- temperatura operativa di esercizio standard della tubazione: 20°C;
- pressione nominale tubazione: 1.6 MPa;
- pressione di esercizio massima ammissibile a 20°C: uguale PN (1.6 MPa);
- temperatura massima del fluido trasportato: 40°C;
- pressione di esercizio massima ammissibile a 40°C: 1.1 MPa;
- riduzione di resistenza meccanica delle tubazioni con fluido a 40°C;
- temperatura di rammollimento della tubazione: 74°C (da assimilarsi al limite di rottura).

Considerata la riduzione di caratteristica meccanica della tubazione, sino al valore limite di 1.1 MPa, indotta da un possibile aumento della temperatura di parete sino a 40°C, si considera tale valore di temperatura quale limite superiore della sollecitazione termica ammissibile.

5.12 Prevenzione colpo ariete

Al fine di proteggere le apparecchiature di impianto è necessario verificare le sovrappressioni causate dall'eventuale repentina chiusura di un sezionamento o di terminale di impianto. Per verificare l'eventuale sovrappressione generata da una brusca manovra (colpo d'ariete), è necessario ricorrere alla formulazione che segue. In particolare, le formulazioni per il calcolo della sovrappressione si distinguono in funzione del tempo di chiusura dell'organo di sezionamento; nel caso in cui la chiusura della valvola avvenga in tempi maggiori al tempo di fase (tempo in cui la perturbazione raggiunge il serbatoio o la pompa di servizio e ritorna alla valvola), vale:

$$\Delta H = \frac{2Lv}{gT}$$

dove:

- L è la lunghezza totale della condotta in m
- T è il tempo di chiusura della valvola in s
- v è la velocità iniziale dell'acqua in m/s.

Nel caso in cui la chiusura della valvola fosse istantanea o comunque inferiore a $T < 2L/a$, la formulazione è indipendente dal tempo di chiusura e vale:

$$\Delta H = \frac{av}{g}$$

dove a è la celerità caratteristica della tubazione, ovvero la velocità di propagazione delle onde di pressione nella tubazione. La celerità, che è funzione del fluido e delle caratteristiche della tubazione, si calcola con l'espressione seguente:

$$a = \frac{V_s}{\sqrt{\left(1 + \frac{\text{eps} \cdot D}{E \cdot e}\right)}}$$

dove:

- eps è il modulo di elasticità dell'acqua ($= 25 \cdot 10^8 \text{ kg/m}^2$);

- V_s è la velocità di propagazione del suono nell'acqua (= 1425 m/s);
- D è il diametro della tubazione principale in m;
- E è il modulo di elasticità del materiale costituente la tubazione;
- e è lo spessore della tubazione in m.

La verifica delle sovrappressioni dovute ad un possibile colpo d'ariete dell'impianto è riportata all'interno della Relazione di calcolo P00IM09IMPRES01.