



**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001**

**Chantier Opérationnel 04 – Cantiere Operativo 04
CIG Ze11ed230d**

**Travaux de réalisation des niches de retournement et d'aménagement intérieur de la galerie de La Maddalena, transport et mise en dépôt des matériaux excavés
Lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di sistemazione interna della galleria La Maddalena, trasporto e messa a deposito del materiale di scavo**

**Projet Exécutif – Progetto Esecutivo
Génie civil – Opere civili**

**Ventilation et système de refroidissement - Rapport – Impianto di ventilazione e raffrescamento -
Relazione**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	29.04.2020	Première diffusion/Prima emissione	W. LANCIANO	M. GATTI	G. CASSANI
A	12.05.2020	Élaboré approuvé/Elaborato approvato	W. LANCIANO	M. GATTI	G. CASSANI
B	29.05.2020	Élaboré approuvé/Elaborato approvato	W. LANCIANO	M. GATTI	G. CASSANI

0	4	A	1	7	3	5	7	0	0	G	N	2	0	K	Z	
Cantiere Operativo Chantier Opérationnel		Contratto Contrat				Opera Ouvrage			Tratta Tronçon	Parte Partie						

E	R	E	I	M	4	0	0	1	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document	Oggetto Objet		Numero documento Numéro de document			Indice		

Consulenza specialistica / Consultation spécialisée
INGEGNERE
Ing. Walter Lanciano
LAUREA MAGISTRALE
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma
Codice iscrizione 29994A



-

Scala / Echelle

A	P
Stato / Statut	

Indirizzo / Adresse GED

Il progettista / Le designer
ROCK SOIL S.p.A.
CONTRATTI E SERVIZI S.p.A.
V. 2007

L'appaltatore / L'entrepreneur

Il Direttore dei Lavori / Le Maître d'Oeuvre

**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001**

Chantier Opérationnel 04 – Cantiere Operativo 04
CIG Ze11ed230d

*Travaux de réalisation des niches de retournement et d'aménagement intérieur de la galerie
de La Maddalena, transport et mise en dépôt des matériaux excavés
Lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di sistemazione interna della galleria La
Maddalena, trasporto e messa a deposito del materiale di scavo*

Projet Exécutif – Progetto Esecutivo
Génie civil – Opere civili

**Ventilation et système de refroidissement – Rapport
Impianto di ventilazione e raffrescamento - Relazione**

Consulenza specialistica a cura di:

Ing. Walter Lanciano

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Parma
Codice iscrizione 2994A

SOMMAIRE / INDICE

1	INTRODUZIONE	6
2	ELENCO ELABORATI	7
3	RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI.....	8
4	IMPIANTO DI VENTILAZIONE	9
4.1	Principio di ventilazione in fase di scavo e basi del metodo di calcolo	9
4.2	Caratteristiche geometriche	12
4.2.1	Andamento planimetrico.....	12
4.2.2	Sezioni trasversali	13
4.2.3	Individuazione delle nicchie da ventilare oggetto dei lavori di scavo	15
4.3	Stima del fabbisogno d'aria fresca	16
4.3.1	Prescrizioni normative	16
4.3.2	Inventario mezzi di cantiere e attività	16
4.3.3	ventilation et du refroidissement en phase de constructionCalcolo del fabbisogno di aria fresca per attività.....	17
4.4	Tubazioni di ventilazione	19
4.5	Dimensionamento e verifica del sistema di ventilazione	22
4.5.1	Considerazioni preliminari e margini di ottimizzazione	22
4.5.2	Stima analitica prestazionale del sistema presente senza punto di rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196	24
4.5.3	Individuazione della progressiva per installazione unità di ventilazione di rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196.....	25
4.5.4	Stima analitica prestazionale dal punto rilancio fino a fondo scavo con foglio di calcolo applicando formule SIA 196	26
4.5.5	Stima analitica prestazionale dal portale fino al punto rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196.....	27
4.5.6	Conclusioni prestazionali applicando calcolo analitico	27
4.6	Simulazione termofluidodinamica.....	28
4.6.1	Stima prestazionale del sistema presente senza punto di rilancio con simulazione CFD 1D	29
4.6.2	Stima prestazionale del sistema presente con punto di rilancio con simulazione CFD 1D	31
4.6.3	Riepilogo risultati	32
4.7	Sistema di ventilazione individuato	33
4.7.1	Unità ventilante presente in cantiere.....	33
4.7.2	Unità ventilante al portale.....	37
4.7.3	Conclusioni sulle unità ventilanti.....	39
4.8	Elementi di uso, manutenzione e stoccaggio di tubazioni flessibili	39
4.8.1	Ispezione e manutenzione.....	39
4.8.2	Riparazione in esercizio	40
4.9	Sistema di ventilazione di tipo premente: controllo dei parametri di ventilazione della galleria (stralcio da NI Emilia Romagna – Toscana 10 prot. N° 27963/PRC)...	41

4.10	Modalità di gestione della ventilazione durante le lavorazioni	42
4.11	Conclusioni del sistema di ventilazione	42
5	IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO	43
5.1	Dati climatici del sito.....	43
5.2	Definizione della potenza richiesta per il raffrescamento del cantiere	43
5.3	Concetto generale di raffrescamento.....	44
5.4	Verifica a partire dai dati di progetto	45
5.5	Conclusioni.....	48

RESUME / RIASSUNTO

Ce rapport est établi dans le cadre du projet exécutif des travaux prévus pour la construction des niches d'échange à l'intérieur du tunnel exploratoire de La Maddalena et pour l'installation du revêtement de la première phase à l'intérieur du tunnel lui-même, pour toute la section excavée au TBM.

En particulier, le dimensionnement des systèmes de ventilation et de refroidissement à préparer pour la gestion du site pendant l'exécution des travaux est décrit.

Tous les aspects, caractéristiques de la phase de construction, seront définis en détail lors de l'exécution des travaux.

La presente Relazione viene redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo dei lavori previsti per la realizzazione delle nicchie di interscambio da eseguirsi all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena e per la posa in opera del rivestimento di prima fase all'interno della galleria stessa, per tutto il tratto scavato con TBM.

In particolare viene descritto il dimensionamento degli impianti di ventilazione e raffrescamento da predisporre per la gestione del cantiere nel corso dell'esecuzione dei lavori.

La totalità degli aspetti, che sono caratteristici della fase di cantierizzazione, verranno definiti in dettaglio in fase esecutiva dei lavori.

1 INTRODUZIONE

La presente relazione si inserisce tra i documenti previsti nell'ambito del Progetto Esecutivo dei lavori previsti per la realizzazione delle nicchie di interscambio da eseguirsi all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena e per la posa in opera del rivestimento di prima fase all'interno della galleria stessa, per tutto il tratto scavato con TBM.

In particolare viene descritto il dimensionamento degli impianti di ventilazione e raffrescamento da predisporre per la gestione del cantiere nel corso dell'esecuzione dei lavori.

La totalità degli aspetti, che sono caratteristici della fase di cantierizzazione, verranno definiti in dettaglio in fase esecutiva dei lavori.

2 ELENCO ELABORATI

CO	Contratto	Opera	Tratta	Parte	Fase	Tipo documento	Oggetto	Numero documento	Titolo
04A	1735700	GN20	K	Z	E	RE	IM	4001	Impianto di ventilazione e di raffrescamento - Relazione
04A	1735700	GN20	K	Z	E	RE	IM	4002	Gestione della ventilazione durante le lavorazioni - Relazione
04A	1735700	GN20	K	Z	E	PL	IM	4004	Impianto di ventilazione e di raffrescamento – Planimetria generale
04A	1735700	GN20	K	Z	E	SE	IM	4005	Impianto di ventilazione e di raffrescamento – Sezioni trasversali
04A	1735700	GN20	K	Z	E	PL	IM	4006	Gestione della ventilazione durante le lavorazioni – Pianta con sezioni tipo e particolari di installazione della cortina d'acqua

3 RIFERIMENTI NORMATIVI E RACCOMANDAZIONI

La presente relazione è sviluppata con riferimento alle seguenti normative e raccomandazioni:

- D.P.R. del 20 marzo 1953, n.320 “Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro in sotterraneo”. Pubblicato nella Gazz. Uff. 5 maggio 1956, n. 109, S.O.;
- PSC - ALLEGATO 01 - Regole operative comuni Italo-Francesi (112 04A 17333400 SI02 1 Z E RE SI 7002 0);
- SIA 196 “ Ventilation des chantiers souterrains” (1998);
- D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81 - Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro. Testo coordinato con il D.Lgs. 3 agosto 2009, n. 106, Attuazione dell’articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Note interregionali Emilia-Toscana-Servizio Sanitario Regionale “Lavori in sotterraneo. Scavo in terreni grisutosi. Grisù 3.a edizione”;
- AITES ITA Report N1 WG5 P “Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction” (2008)
- AITES ITA Report N8 WG5 P “Guidance on the safe use of temporary ventilation ducting in tunnels” (2011)
- AFTES GT27R1A1 “Ventilation of underground works during construction” (2003)
- VentsimTM User Guide (version 4.8) – Ventsim Software
- MDG 29 “Guideline for the management of diesel engine pollutants in underground environments” NSW Department of Primary Industries, Australian Government
- Bauarbeiterschutverordnung – BauV, BGBl. Nr. 340/1994 idF BGBl. Nr. 706/1995, BGBl. II. Nr. 121/1998 und BGBl. II Nr. 368/1998;
- SUVA. Misure di prevenzione contro il rischio di incendi ed esplosioni provocati dalla presenza di gas naturale negli strati rocciosi durante i lavori in sotterraneo. Fascicolo tecnico 66102.i. Luzern, marzo 2002.
- SUVA. Grenzwerte am Arbeitsplatz 2014. MAK- Werte, BAT-Werte, Grenzwerte für physikalische Ein- Wirkungen, Richtlinie 1903.d, Luzern, Januar 2014.

4 IMPIANTO DI VENTILAZIONE

4.1 Principio di ventilazione in fase di scavo e basi del metodo di calcolo

Ricordiamo che fra le diverse soluzioni di ventilazione di opere nel sottosuolo in fase di scavo abbiamo:

- Ventilazione premente, soffiante o in mandata;
- Ventilazione in estrazione;
- Ventilazione per circolazione d'aria.

Delle suddette la soluzione scelta è quella di tipo premente o in mandata.

In questo tipo di ventilazione il condotto fornisce una importante quota parte di aria fresca direttamente sul fronte di scavo e l'aria che si vizia avanzando sulla sezione libera, fuoriesce dal tunnel e infine dalla finestra di accesso.

Le motivazioni che portano in generale alla scelta di questa soluzione sono:

- L'aria fresca che può essere portata direttamente sul fronte, che rappresenta il principale luogo di lavoro;
- La diluizione dei contaminanti è propriamente garantita;
- La temperatura e l'umidità sulla zona di lavoro può essere controllata;
- Facilità di manutenzione delle condotte in poliestere.

La scelta della ventilazione di tipo premente, oltre che per i vantaggi suddetti, si rivela anche di significativa necessità ed esigenza per il cantiere in esame.

La sezione trasversale infatti, essendo particolarmente limitata, consente l'installazione di una tubazione del diametro di 2000 mm. Aggiungere una tubazione per l'estrazione risulterebbe di estrema difficoltà sia per l'installazione che per la fase operativa, oltre che ha eventuale necessità di booster lungo linea, fin dal fronte scavo.

L'attività prevista nel presente cantiere consiste nella sola costruzione di nicchie in un unico fornice, per cui si ritiene opportuno garantire la fase di sfumo post volata, dalla sezione piena della galleria, semplificare l'impianto ai fini della sicurezza e della gestione operativa, garantire aria fresca in maniera più che adeguata.

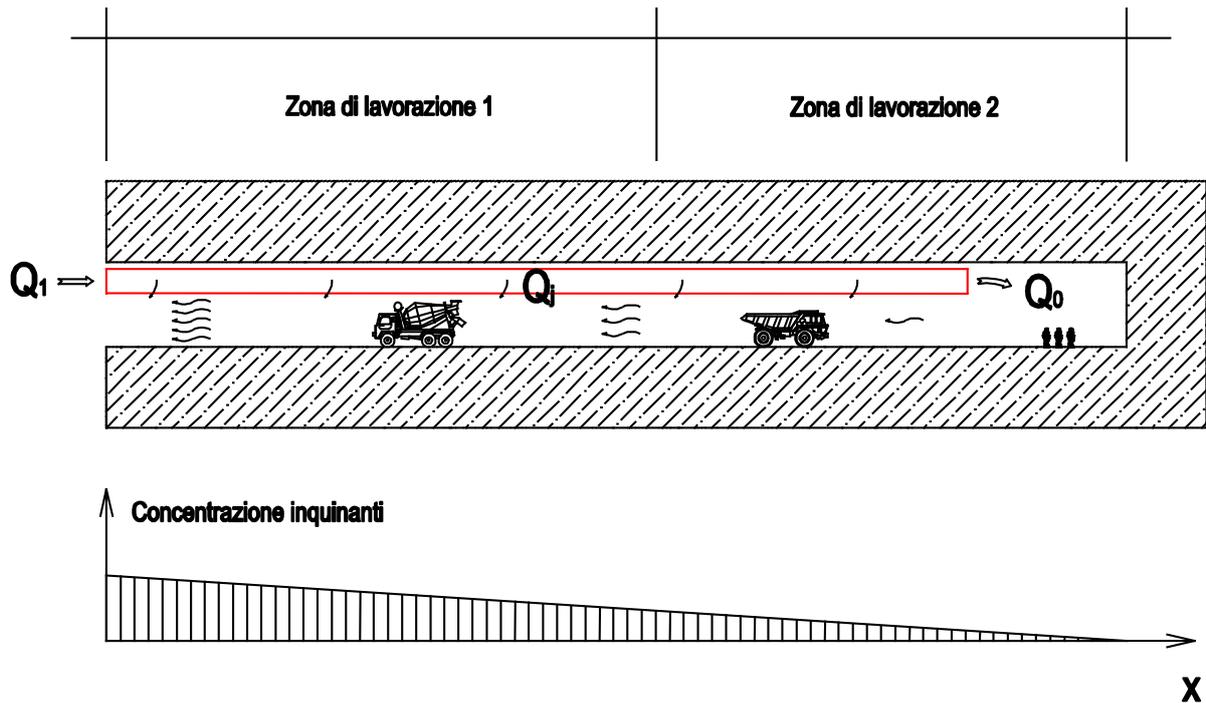


Figura 1 - Concetto di ventilazione premente, distribuzione della portata, concentrazione degli inquinanti

Applicando l'equazione di continuità della fluidodinamica si ottiene la seguente espressione:

$$Q_1 = Q_0 + \sum_{j=1}^n Q_j$$

Si definisce dunque:

- Q_0 la portata necessaria sul fronte in fase di scavo per la diluizione dei contaminanti strettamente in sito;
- Q_j la perdita specifica di progetto dell'aria nel tronco considerato;
- $\sum_j Q_j$ la portata complessiva per diluizione dei contaminanti dei mezzi diesel in transito e per le lavorazioni di rivestimento;
- Q_1 come portata necessaria a monte del condotto.

La pressione totale che il sistema di ventilazione (ventilatore singolo o insieme di ventilatori) deve fornire a monte del circuito si ottiene concettualmente dalla somma dei seguenti addendi:

- Perdita di carico statica nel condotto:

$$\Delta p_{statica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot \Delta x$$

- Perdita di carico dinamica all'estremità del condotto:

$$\Delta p_{dinamica} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2$$

- Perdite di carico concentrate (ingresso, uscita, gomiti, diramazioni, bruschi allargamenti, bruschi restringimenti):

$$\Delta p_{concentrata} = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2$$

- Δp : perdita di carico sulla lunghezza Δx
- Δx : unità di lunghezza o lunghezza del trono considerato
- λ : coefficiente di scabrezza
- D : diametro del condotto
- ρ : densità dell'aria
- u_x : velocità media dell'aria nel tronco considerato
- u : velocità media dell'aria
- ζ : coefficiente di perdita concentrata

Di seguito una forma differenziale proposta dalla norma SIA 196 ed una rappresentazione concettuale di tronco di condotto:

$$dp = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot u^2 \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot dx$$

$$du = \frac{4 \cdot f'}{D} \cdot \sqrt{\frac{2p}{\rho \cdot (1 + \zeta)}} dx$$

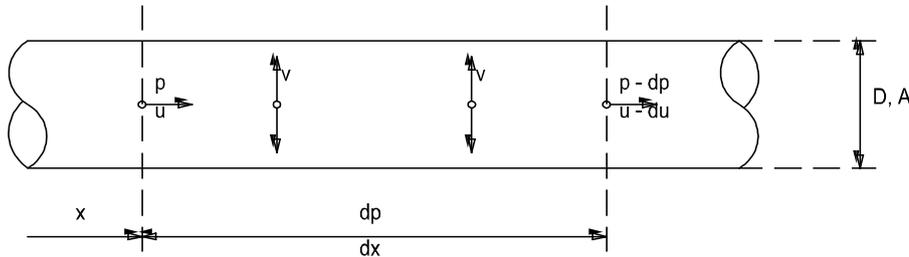
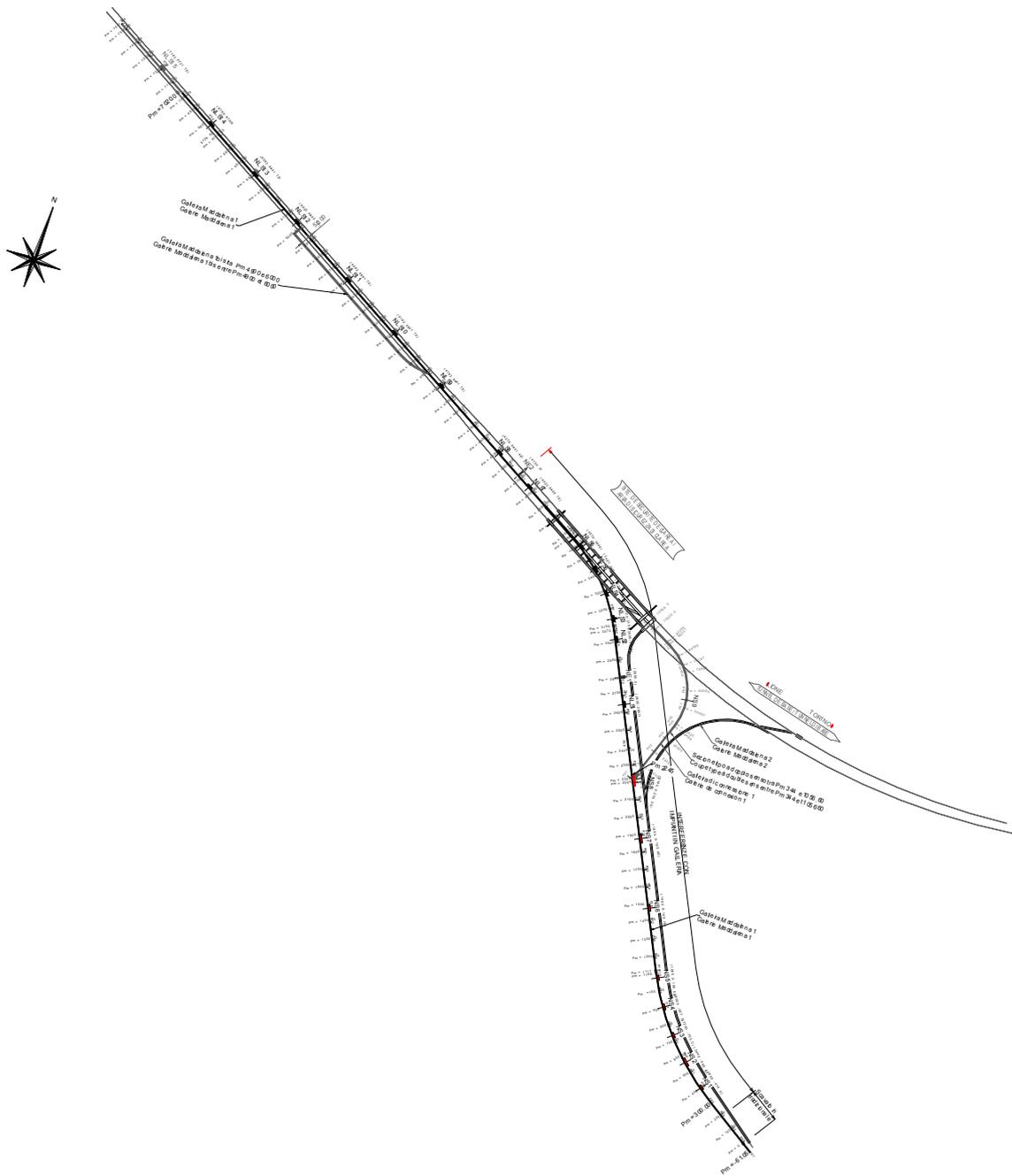


Figura 2 - Rappresentazione di tronco di condotto e relative perdite, SIA 196 e AFTES GT27-R1

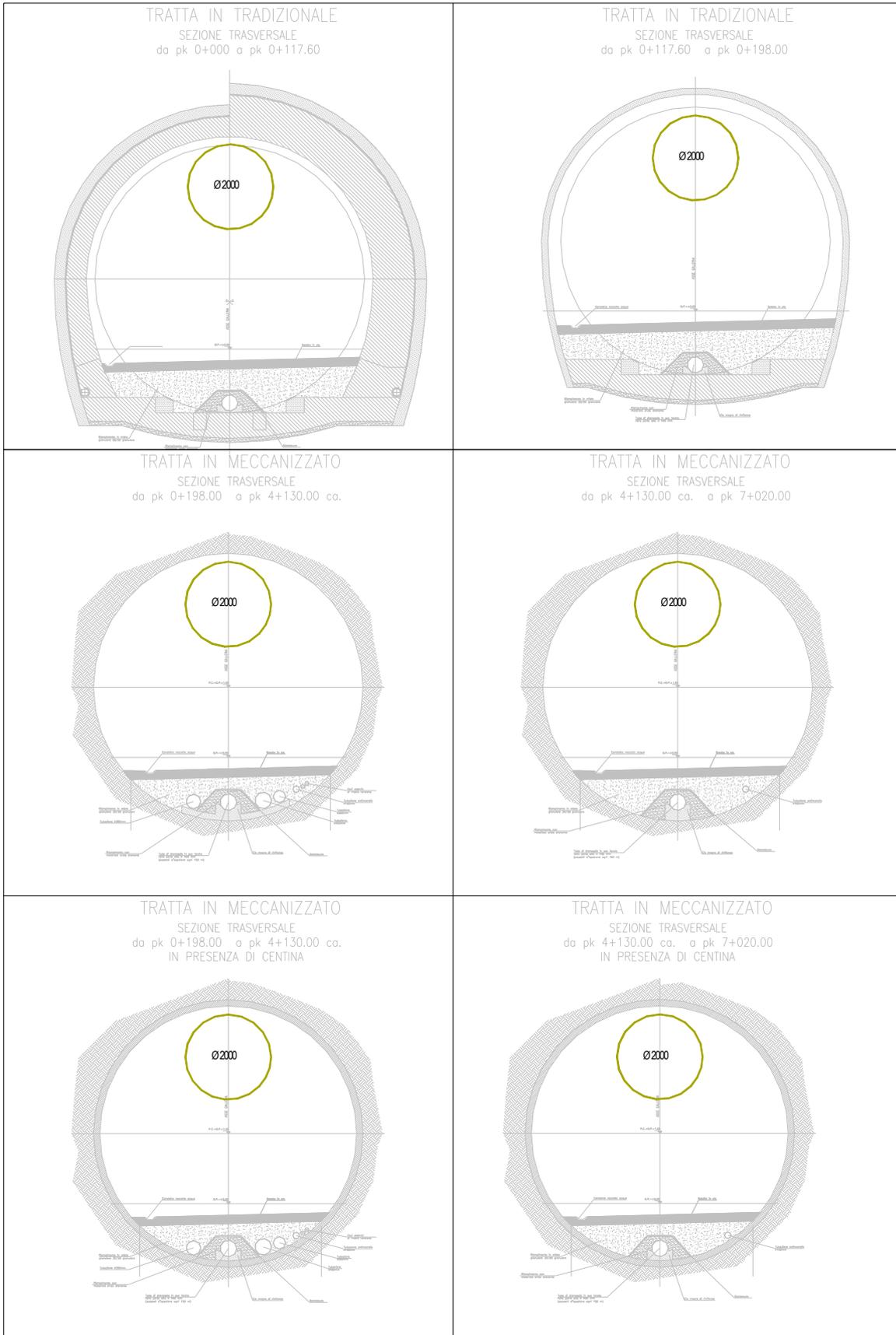
4.2 Caratteristiche geometriche

4.2.1 Andamento planimetrico

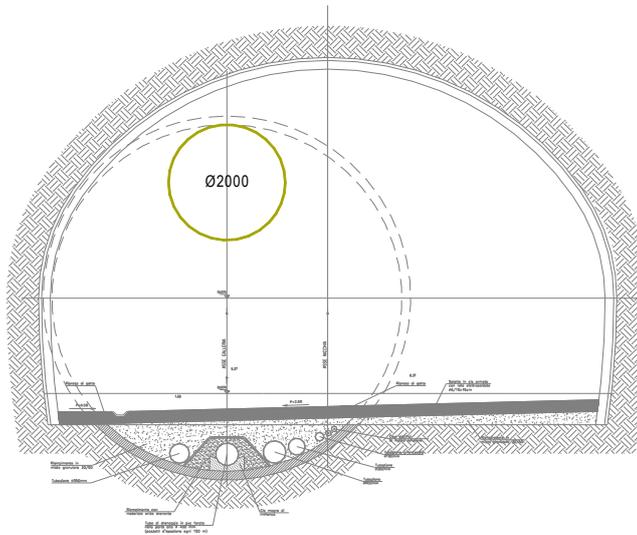


Sviluppo totale dal portale fino a fondo scavo 7020 metri con un totale di 22 nicchie da realizzare.

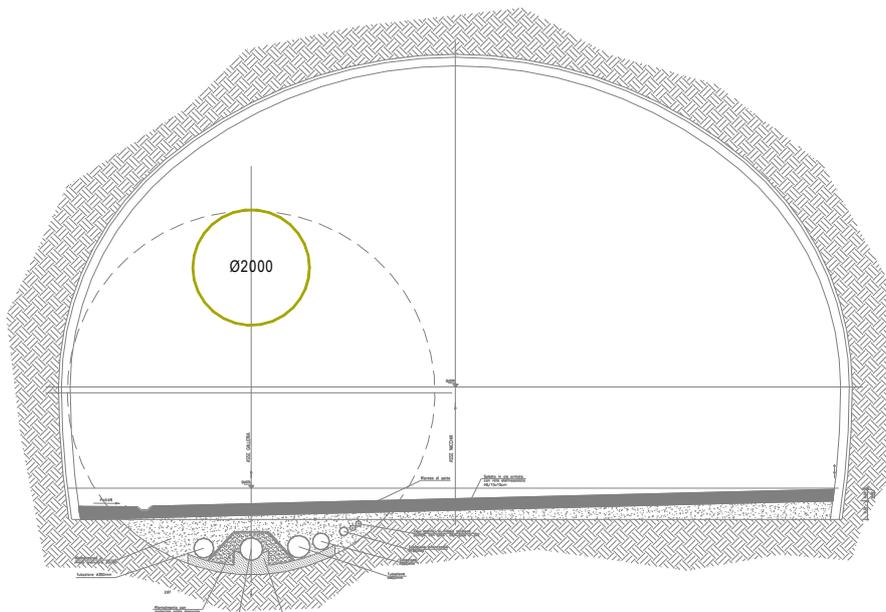
4.2.2 *Sezioni trasversali*



TRATTA IN MECCANIZZATO
SEZIONE TRASVERSALE NICCHIA CORRENTE



TRATTA IN MECCANIZZATO
SEZIONE TRASVERSALE NICCHIA NS8



Al fine di semplificare il modello, l'analisi aeraulica dell'impianto di ventilazione è stata condotta con riferimento alla geometria indicata di seguito (sezioni nette o profili interni di sezione trasversale):

Sezione	Descrizione	Sezione trasversale (m ²)	Perimetro aeraulico (m)	Diametro aeraulico (m)
Sezione tipo con rivestimento definitivo	Galleria	17,75	15,3	4,64
	Nicchia	35,9	23,2	6,19
Sezione tipo per lo scavo delle nicchie	Galleria	24,62	18,16	5,42
	Nicchia	46,45	26,56	7,00

4.2.3 Individuazione delle nicchie da ventilare oggetto dei lavori di scavo

DENOMINAZIONE NICCHIA	PROGRESSIVA INIZIO	PROGRESSIVA FINE	LUNGHEZZA NICCHIA	PROGRESSIVA MEDIA
	[m]	[m]	[m]	[m]
NS1	385	415	30	400
NS2	544	596	52	570
NS3	722,5	757,5	35	740
NS4	892,5	927,5	35	910
NS5	1065	1095	30	1080
NS6	1462,5	1497,5	35	1480
NS7	1854	1906	52	1880
NS8	2180	2245	65	2212,5
NLS1	2632	2667	35	2649,5
NLS2	3005	3040	35	3022,5
NLS3	3123	3158	35	3140,5
NLS4	3272	3307	35	3289,5
NLS5	3421	3456	35	3438,5
NLS6	3570	3605	35	3587,5
NLS7	4022,5	4057,5	35	4040
NLS8	4279,5	4314,5	35	4297
NLS9	4782,5	4817,5	35	4800
NLS10	5182,5	5217,5	35	5200
NLS11	5582,5	5617,5	35	5600
NLS12	6022,5	6057,5	35	6040
NLS13	6382,5	6417,5	35	6400
NLS14	6760	6795	35	6777,5

4.3 Stima del fabbisogno d'aria fresca

4.3.1 Prescrizioni normative

Il DPR 320/53 Capo V – Ventilazione, Limitazione della temperatura interna, articolo 30. Responsabilità dell'aria ambiente negli scavi.

Prescrive che: *“Ad ogni lavoratore deve essere assicurato un minimo di 3 metri cubi di aria fresca al minuto primo, salvo che l'ispettore del lavoro non prescriva un più elevato limite in rapporto alla presenza in sotterraneo di particolari cause di inquinamento dell'atmosfera. “*

E all'articolo 61 la velocità massima della corrente d'aria in galleria, *“Salvo quanto è prescritto nell'art. 31 secondo comma, nei pozzi e nelle gallerie normalmente percorsi dai lavoratori, la velocità dell'aria immessa deve essere contenuta entro limiti tali da non sollevare la polvere depositatasi sulle pareti e sul suolo; in ogni caso, la velocità non deve superare i 5 metri al minuto secondo.”*

Da quest'ultima si può ricavare la portata massima ammissibile che può fluire per ogni specifica galleria, ossia in funzione della sezione trasversale.

Si sintetizzano a seguire le basi di calcolo del fabbisogno in forma tabellare:

CONDIZIONE	BASE DI CALCOLO	RIFERIMENTO
Apporto di aria fresca per lavoratore	$\geq 3 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{lavoratore})$	DPR 320/56
Apporto di aria fresca per la diluizione di sostanze nocive emesse da motori diesel	$\geq 4,08 \text{ m}^3/(\text{min}, \text{kW})$ <i>[per valori nominali di potenza]</i>	PSC
Velocità dell'aria nella sezione libera della galleria	$\geq 0,2 \text{ m/s}$	BauV, BGBl. N 340/94
	$\leq 5,0 \text{ m/s}$	DPR 320/53

4.3.2 Inventario mezzi di cantiere e attività

Di seguito si riporta la tabella sintetica dei mezzi diesel coinvolti nel fabbisogno di aria fresca:

Mezzo	Modello	Costruttore	Potenza nom.	Emissioni
			kW diesel	EURO
Pompa Spritz	CST 8.20	CIFA	72	2
Sollevatore telescopico	Roto K-XG	MERLO	74,9	2
Escavatore gommato	M318F	CAT	129,4	4
Escavatore cingolato	R900C	LIEBHERR	95	3
Pala caricatrice	LH410	SANDVIK	235	2
Pala gommata compatta	910M	CAT	76	4
Dumper	TA6/TA6s	TEREX	62,5	2
Mini escavatore compatto	304 CR	CAT	26,5	2
Jumbo a trazione diesel	DT1130i	SANDVIK	110	2
Dumper a cassone rib.	PMKM/PMKT	HERMANN PAUS	170	3

4.3.3 ventilazione et du refroidissement en phase de construction *Calcolo del fabbisogno di aria fresca per attività*

Di seguito si riporta l'indicazione delle lavorazioni previste e dei relativi macchinari più critici:

- 1) Perforazione volata nicchia i e smarino da nicchia i-1 verso portale: Jumbo / pala tipo Toro LH401 + n° 2 Paus Muledenkipper;
- 2) caricamento volata nicchia i e smarino da nicchia i-1 verso portale: n° 1 carrello elevatore / pala tipo Toro LH401 + n° 2 Paus Muledenkipper;
- 3) spostamento tubazioni/pista davanti e spritz-beton nelle retrovie: n° 2 carrelli elevatori / pompa spritz CIFA CST 8.20 + autobetoniera F.Ili Dieci (5m³);
- 4) disaggio davanti e spritz-beton nelle retrovie: n° 1 escavatore cingolato 20ton / pompa spritz CIFA CST 8.20 + autobetoniera F.Ili Dieci (5m³)
- 5) posa rete metallica di armatura:

Lavorazione 1

Q.tà	Mezzo diesel	Modello	Costruttore	EURO	kW	Fabbisogno da PSC (m ³ /min,kW)	Q _{tot} (m ³ /s)
1	Pala caricatrice	LH410	SANDVIK	2	235	4,08	16,0
2	Dumper a cassone rib.	PMKM/PMKT	HERMANN PAUS	3	170	4,08	23,1
Totale fabbisogno di aria fresca per lavorazione tipo 1							39,1

Lavorazione 2

Q.tà	Mezzo diesel	Modello	Costruttore	EURO	kW	Fabbisogno da PSC (m ³ /min,kW)	Q _{tot} (m ³ /s)
1	Sollevatore telescopico	Roto K-XG	MERLO	2	74,9	4,08	5,1
1	Pala caricatrice	LH410	SANDVIK	2	235	4,08	16,0
1	Dumper a cassone rib.	PMKM/PMKT	HERMANN PAUS	3	170	4,08	11,6
Totale fabbisogno di aria fresca per lavorazione tipo 2							32,6

Lavorazione 3

Q.tà	Mezzo diesel	Modello	Costruttore	EURO	kW	Fabbisogno da PSC (m ³ /min,kW)	Q _{tot} (m ³ /s)
2	Sollevatore telescopico	Roto K-XG	MERLO	2	74,9	4,08	10,2
1	Autobetoniera cabinata	ABF 7000	DIECI	3	93	4,08	6,3
Totale fabbisogno di aria fresca per lavorazione tipo 3							16,5

Lavorazione 4

Q.tà	Mezzo diesel	Modello	Costruttore	EURO	kW	Fabbisogno da PSC (m ³ /min,kW)	Q _{tot} (m ³ /s)
1	Escavatore cingolato	R900C	LIEBHERR	3	95	4,08	6,5
1	Autobetoniera cabinata	ABF 7000	DIECI	3	93	4,08	6,3
<i>Totale fabbisogno di aria fresca per lavorazione tipo 4</i>							12,8

Lavorazione 5

Q.tà	Mezzo diesel	Modello	Costruttore	EURO	kW	Fabbisogno da PSC (m ³ /min,kW)	Q _{tot} (m ³ /s)
1	Sollevatore telescopico	Roto K-XG	MERLO	2	74,9	4,08	5,1
<i>Totale fabbisogno di aria fresca per lavorazione tipo 5</i>							5,1

4.4 Tubazioni di ventilazione

Tutti gli avanzamenti sono ventilati con aria fresca immessa tramite condotte. La lunghezza delle condotte è funzione dell'avanzamento del fronte di scavo.

Nei calcoli vengono considerate condotte di tubo flessibile in tessuto poliestere spalmato antistatico e autoestinguente.

Le condotte nuove devono soddisfare la tenuta e l'impermeabilità della relativa classe. Ricordiamo la classe della tubazione utilizzata nel progetto in esame, che ne definisce caratteristiche di scabrezza e perdita come segue:

CARATTERISTICHE DELLA TUBAZIONE FLESSIBILE			
Classe della tubazione	Area di dispersione o superficie di fuga f* (mm ² /m ²)	Coefficiente di scabrezza λ	Coefficiente di dispersione ζ (difetti di emerticità)
S	5	0,015	da 0,10 a 20
A	10	0,018	
B	20	0,024	

Tabella 1 - Definizione caratteristiche tubazioni flessibili in accordo con SIA 196 e AFTES GT27-R1

In considerazione delle portate in mandata nel sistema di ventilazione e delle lunghezze delle gallerie in esame, per il cantiere in esame si individua la Classe A opportuna allo stato di fatto e cautelativa per i calcoli nel seguito trattati.

Queste tubazioni oltre che alle caratteristiche tecniche di resistenza alla trazione di trama e orditura, dovranno soddisfare resistenza alla temperatura per valori consigliabili nell'intervallo da -25°C a + 70°C, in ragione delle temperature previste nella roccia.

È da evidenziare inoltre che molto spesso l'efficienza di un impianto di ventilazione di tipo premente e la qualità dell'aria distribuita dipendano dall'installazione delle condotte.

Le tubazioni di tipo floscio sono concepite esclusivamente per lavorare con pressioni positive, ossia solo per aria in mandata.

Queste tubazioni oltre che alle caratteristiche tecniche di resistenza alla trazione di trama e orditura, dovranno soddisfare resistenza alla temperatura per valori consigliabili nell'intervallo da -25°C a + 70°C, in ragione delle temperature previste nella roccia.

È da evidenziare inoltre che molto spesso l'efficienza di un impianto di ventilazione di tipo premente e la qualità dell'aria distribuita dipendano dall'installazione delle condotte.



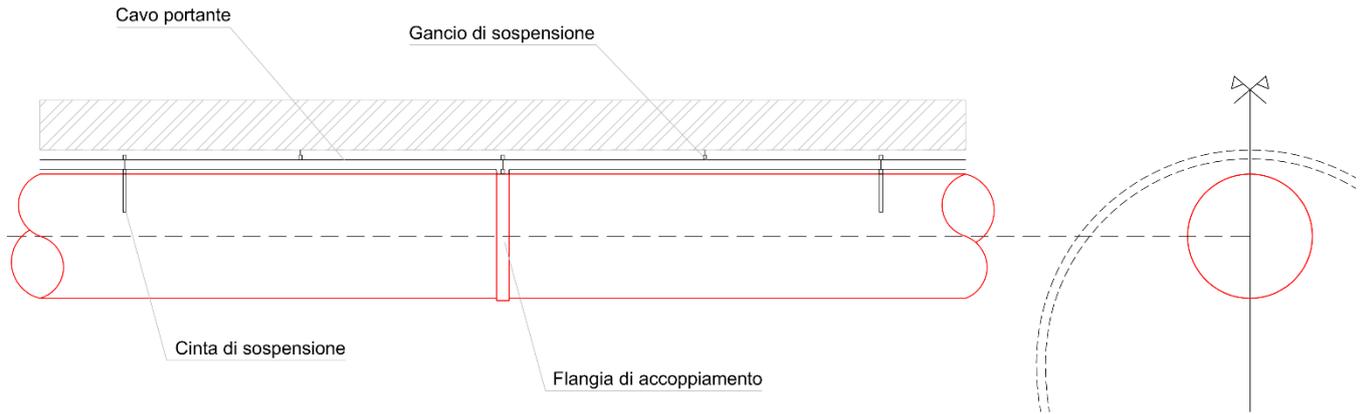


Figura 3 - nomenclatura di alcuni elementi portanti e unione delle tubazioni

Alcune raccomandazioni:

- Condotte di tipo sintetico flessibile devono essere sospese su cavi tesi (cavo portante)
- I tronchi di condotte devono essere collegati tramite flange o giunti di di connessione
- Si raccomanda che le condotte, per l'importanza che rivestono, abbiano un adeguato piano di ispezione e manutenzione.

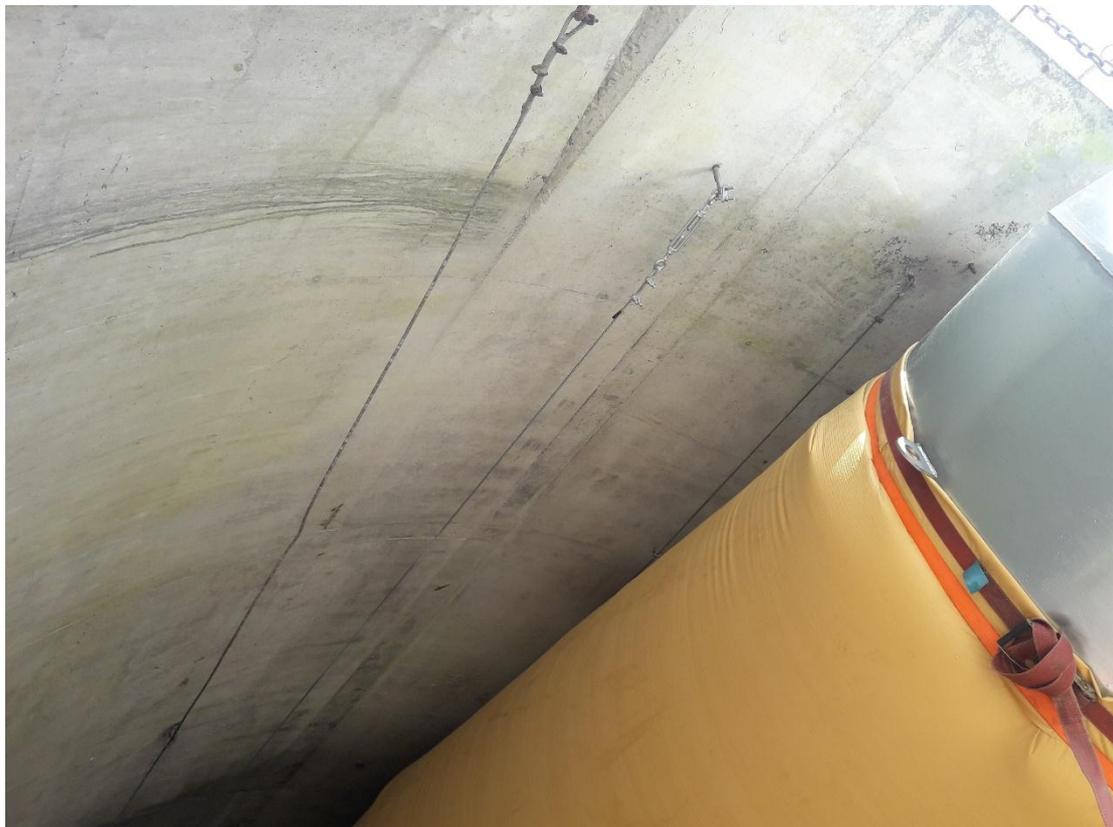


Figura 4 - sistema di sospensione presente in cantiere a cavi tesi portanti

È necessario il rispetto di una certa distanza tra l'estremità libera della tubazione e il fronte scavo, al fine di garantire nella zona di lavoro un corretto raggiungimento dell'aria fresca in tutta la sezione di scavo.

Di seguito una formula secondo raccomandazioni di settore:

$$D = 5 \log S$$

Dove D è la distanza tra l'estremità libera della tubazione e il fronte scavo espressa in metri, ed S la sezione trasversale del fronte espressa in metri quadri.

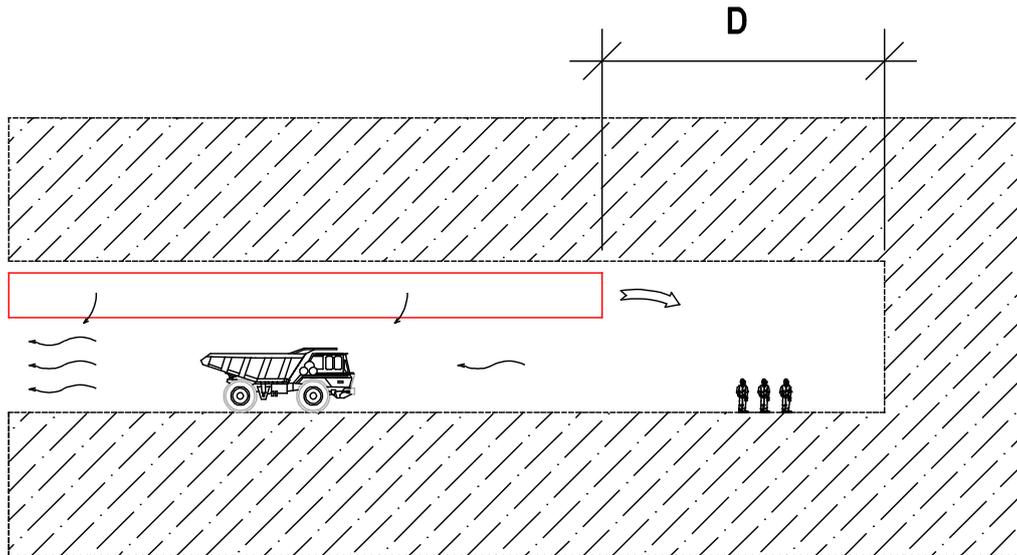


Figura 5 - distanza tra l'estremità libera della tubazione e il fronte scavo

A seguire si riporta parte della scheda tecnica della tubazione flessibile utilizzata.

CARATTERISTICHE	VALORI	METODI DI PROVA
Massa areica	650 [g/m ²]	EN ISO 2286-2
Resistenza alla trazione - Ordito	2000 [N/5cm]	EN ISO 1421 – DIN 53354
Resistenza alla trazione – Trama	2500 [N/5cm]	EN ISO 1421 – DIN 53354
Resistenza alla lacerazione – Ordito	350 [N]	EN 12311-2 - DIN 53363
Resistenza alla lacerazione - Trama	350 [N]	EN 12311-2 - DIN 53363
Resistenza alle temperature	Da -25 a +70 [°C]	-
Resistenza alla fiamma	< 100 mm/min	DIN 75200
Buona resistenza anche in ambienti con alto tasso igrometrico, gas, fumi.		

I dati tecnici sopra indicati sono ricavati da accurate prove effettuate dal produttore. Tolleranza 10%

Tabella 2 - scheda tecnica tubazione tipo

Per il dimensionamento aeraulico si individuano a seguire i dati di interesse:

- diametro Ø2000
- lunghezza spezzone 20 m
- pressione ammissibile 5000 Pa
- classe A / $\lambda = 0,018$ / $f^* = 10 \text{ mm}^2/\text{m}^2$

4.5 Dimensionamento e verifica del sistema di ventilazione

4.5.1 Considerazioni preliminari e margini di ottimizzazione

4.5.1.1 Definizione della frequenza e contemporaneità mezzi secondo AFTES Guide Lines GT27R1A1

L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES), associazione che collabora con AITES e CETU, probabilmente i più importanti a livello internazionale centri di studio e ricerca per tunnel e opere in sotterraneo, offre le Linee Guida "Ventilation of underground works during construction" (Ed. 2003) (Ventilazione di opere nel sottosuolo durante la fase di costruzione), uniche a livello internazionale nella loro specificità.

Scopo della raccomandazione è di servire come guida per la progettazione del sistema di ventilazione di un cantiere sotterraneo.

In particolare da tale Linea Guida si è individuato il principio secondo cui è necessario considerare la potenza effettivamente utilizzata, e ciò è possibile solo con la presenza di fattori di utilizzo e coefficienti di contemporaneità, al fine di ottimizzazioni ed evitare quindi sovradimensionamenti.

Di seguito un estratto al § 3.3.5.1

DESCRIZIONE	TRADUZIONE
<p>Dilution flow rate for diesel engine exhaust fumes (Q_{Ddt})</p> <p>For both blowing and extraction ventilation, the dilution flow rate (Q_b) to be provided by the ventilation system is calculated based on 50 l/s/developed effective horse power, for all active diesel engines simultaneously present in the tunnel.</p> <p>The notion of developed effective power warrants some explanation: if we consider the nominal power stated by the manufacturer, the effectively developed power depends on:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ the machine's effective load, ▪ the slope and location at which it operates, ▪ its general condition (maintenance, aging, etc.). <p>Developed effective power is therefore open to interpretation and caution is recommended, although it should be considered that systematically taking machine nominal power can lead to overdimensioning.</p>	<p>Portata di diluzione dei gas di scarico per motori diesel (Q_{Ddt})</p> <p>Sia per la ventilazione premente che in estrazione, il tasso di portata di diluizione (Q_b) da fornire dal sistema di ventilazione è calcolato sulla base di 50 l/s/effettiva potenza hp sviluppata, per tutti i motori diesel attivi simultaneamente presenti nel tunnel.</p> <p>La nozione di potenza effettiva sviluppata giustifica qualche spiegazione: se si considera la potenza nominale dichiarata dal costruttore, la potenza effettivamente sviluppata dipende da:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ carico effettivo sul mezzo, ▪ la pendenza e la posizione in cui opera, ▪ lo stato generale (manutenzione, invecchiamento, ect.). <p>L'effettiva potenza sviluppata è quindi suscettibile di interpretazione ed è consigliata cautela, sebbene dovrebbe essere considerato che l'assumere sistematicamente la potenza nominale può condurre a sovradimensionamento.</p>

4.5.1.2 Criteri di ottimizzazione proposti dalla norma SIA 196 - 1998

Pur avendo considerato quantitativi di aria fresca superiori alla SIA 196 si ritiene, ai fini dell'ottimizzazione del sistema, l'adozione di quanto previsto a seguire:

SIA 196 - § 2.33

DESCRIZIONE	TRADUZIONE
En présence d'engins d'excavation et de chargement électriques et d'une ventilation par pulsion, il est d'ordinaire possible d'admettre que le débit d'air prescrit pour la dilution des gaz d'échappement des engins de transport à moteurs ne soit mis à disposition qu'au début du conduit (les pertes du conduit servent à diluer les émissions le long du parcours).	In presenza di macchine di scavo e di apparecchiature elettriche e di una ventilazione premente, solitamente è possibile ammettere che il fabbisogno d'aria prescritto per la diluzione dei gas di scarico dei mezzi di trasporto a motore verrà reso disponibile all'inizio del condotto (le perdite nel condotto servono a diluire le emissioni lungo il percorso).

Da cui assumiamo il principio di distribuzione delle portate come segue:

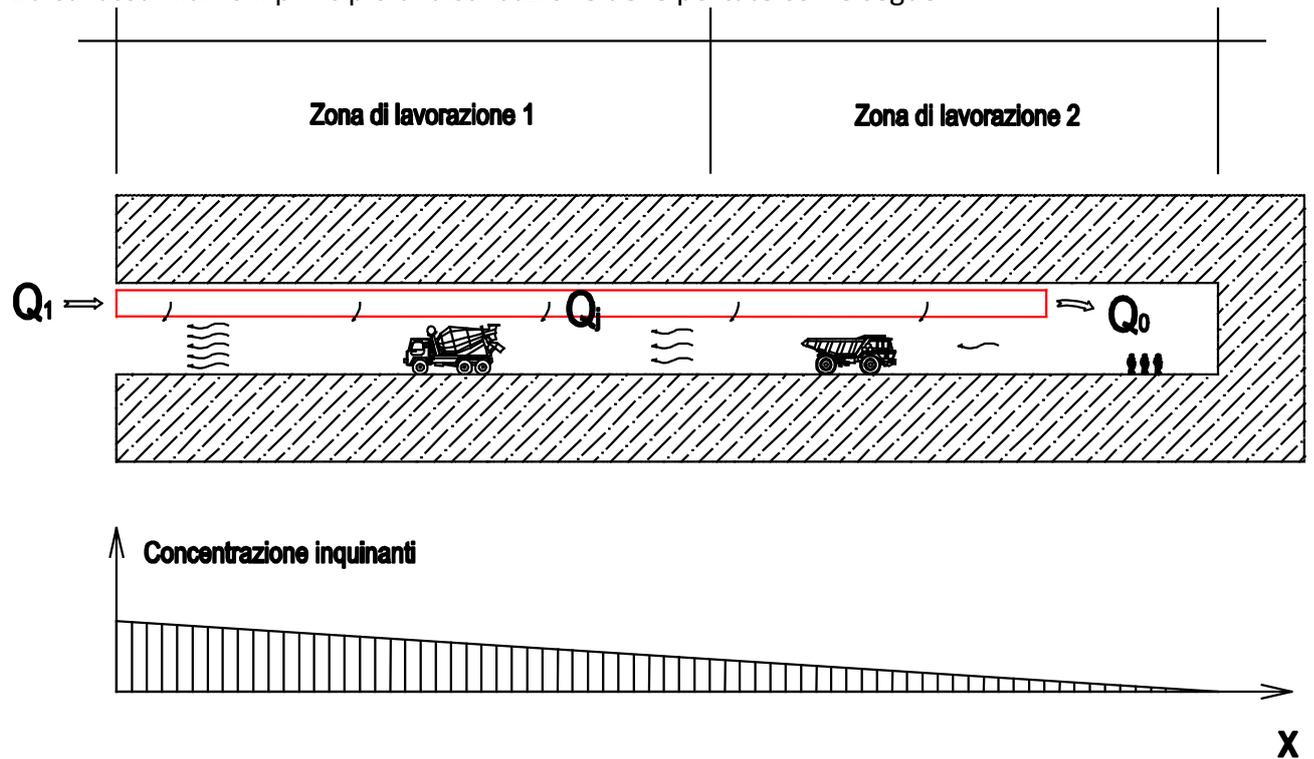


Figura 6 - Concetto di ventilazione premente, distribuzione della portata, concentrazione degli inquinanti

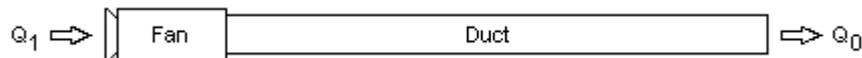
4.5.2 Stima analitica prestazionale del sistema presente senza punto di rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196

TELT CO4

Analisi prestazionale della tubazione su tutta la lunghezza della galleria

Dati in ingresso

Lunghezza tubazione:	7.020 m
Sezione trasversale galleria:	24,6 m ²
Velocità minima dell'aria:	0,3 m/s
Altitudine:	760 m a.s.l.
Temperatura media all'esterno:	25 °C
Coefficiente di scabrezza λ:	0,018
Fattore o coefficiente di fuga f*:	10 mm ² /m ²
Pressione rilasciata alla fine della tubazione:	50 Pa
Coefficiente di perdita locale ζ:	1,00
Efficienza del ventilatore:	80 %
Massima pressione:	5.000 Pa
Densità dell'aria:	1,10 kg/m ³



Dati in uscita

Diametro tubazione [mm]	Lunghezza totale [m]	Portata d'aria in ingresso Q_1 [m ³ /s]	Massima pressione nella tubazione [Pa]	Portata d'aria in uscita Q_0 [m ³ /s]	Perdita di portata d'aria lungo il tracciato ΣQ_j [m ³ /s]
2.000	7.020	51,0	5.100	27,0	24,0

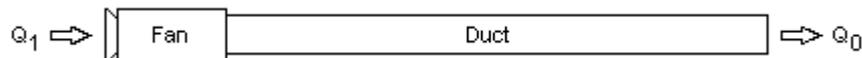
4.5.3 Individuazione della progressiva per installazione unità di ventilazione di rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196

TELT CO4

Analisi prestazionale della tubazione fino alla progressiva che soddisfa l'erogazione del massimo fabbisogno per lavorazione

Dati in ingresso

Lunghezza tubazione: 4500 m
Sezione trasversale galleria: 24,6 m ²
Velocità minima dell'aria: 0,3 m/s
Altitudine: 760 m a.s.l.
Temperatura media all'esterno: 25 °C
Coefficiente di scabrezza λ : 0,018
Fattore o coefficiente di fuga f^* : 10 mm ² /m ²
Pressione rilasciata alla fine della tubazione: 50 Pa
Coefficiente di perdita locale ζ : 1,00
Efficienza del ventilatore: 80 %
Massima pressione: 5.000 Pa
Densità dell'aria: 1,10 kg/m ³



Dati in uscita

Diametro tubazione [mm]	Lunghezza totale [m]	Portata d'aria in ingresso Q_1 [m ³ /s]	Massima pressione nella tubazione [Pa]	Portata d'aria in uscita Q_0 [m ³ /s]	Perdita di portata d'aria lungo il tracciato ΣQ_j [m ³ /s]
2.000	4500	55,7	5.100	39,2	16,5

Si conclude che il ventilatore di rilancio deve essere posizionato ad una distanza uguale o inferiore ai 4500 metri dal portale della galleria.

In considerazione degli spazi che necessita il ventilatore di rilancio, si prevede l'installazione dell'unità ventilante in corrispondenza della nicchia NLS6.

DENOMINAZIONE NICCHIA	PROGRESSIVA INIZIO	PROGRESSIVA FINE	LUNGHEZZA NICCHIA	PROGRESSIVA MEDIA
	[m]	[m]	[m]	[m]
NLS6	3570	3605	35	3587,5
NLS7	4022,5	4057,5	35	4040

4.5.4 Stima analitica prestazionale dal punto rilancio fino a fondo scavo con foglio di calcolo applicando formule SIA 196

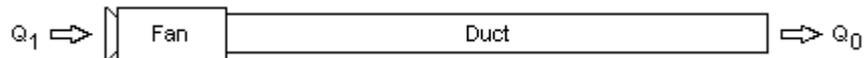
Individuato come punto di rilancio la nicchia NLS6, si procede la seguente calcolo:

TELT CO4

Analisi prestazionale della tubazione dalla NSL6 fino a fondo scavo

Dati in ingresso

Lunghezza tubazione:	3432,5 m
Sezione trasversale galleria:	24,6 m ²
Velocità minima dell'aria:	0,3 m/s
Altitudine:	760 m a.s.l.
Temperatura media all'esterno:	25 °C
Coefficiente di scabrezza λ:	0,018
Fattore o coefficiente di fuga f*:	10 mm ² /m ²
Pressione rilasciata alla fine della tubazione:	100 Pa
Coefficiente di perdita locale ζ:	1,00
Efficienza del ventilatore:	80 %
Massima pressione:	4.000 Pa
Densità dell'aria:	1,10 kg/m ³



Dati in uscita

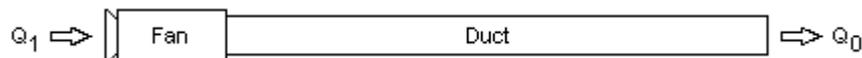
Diametro tubazione [mm]	Lunghezza totale [m]	Portata d'aria in ingresso Q_1 [m ³ /s]	Massima pressione nella tubazione [Pa]	Portata d'aria in uscita Q_0 [m ³ /s]	Perdita di portata d'aria lungo il tracciato ΣQ_j [m ³ /s]
2.000	3432,5	50,1	3500	39,2	10,9

4.5.5 Stima analitica prestazionale dal portale fino al punto rilancio con foglio di calcolo applicando formule SIA 196

TELT CO4 Analisi prestazionale della tubazione dal portale fino alla NSL6

Dati in ingresso

Lunghezza tubazione: 3587,5 m
Sezione trasversale galleria: 24,6 m ²
Velocità minima dell'aria: 0,3 m/s
Altitudine: 760 m a.s.l.
Temperatura media all'esterno: 25 °C
Coefficiente di scabrezza λ : 0,018
Fattore o coefficiente di fuga f^* : 10 mm ² /m ²
Pressione rilasciata alla fine della tubazione: 50 Pa
Coefficiente di perdita locale ζ : 1,00
Efficienza del ventilatore: 80 %
Massima pressione: 5.000 Pa
Densità dell'aria: 1,10 kg/m ³



Dati in uscita

Diametro tubazione [mm]	Lunghezza totale [m]	Portata d'aria in ingresso Q_1 [m ³ /s]	Massima pressione nella tubazione [Pa]	Portata d'aria in uscita Q_0 [m ³ /s]	Perdita di portata d'aria lungo il tracciato ΣQ_j [m ³ /s]
2.000	3587,5	63	5200	50,1	12,9

4.5.6 Conclusioni prestazionali applicando calcolo analitico

Si conclude che nelle ipotesi del presente paragrafo, la tubazione di diametro 2000 mm e classe A, è in grado di veicolare fino a fondo scavo la portata d'aria fresca necessaria per la lavorazione che richiede fabbisogno maggiore di aria fresca.

4.6 Simulazione termofluidodinamica

La simulazione termofluidodinamica per la ventilazione e per il raffreddamento è stata eseguita con un software commerciale specifico per la ventilazione, il raffreddamento e il controllo dell'ambiente, applicabile a una vasta gamma di opere estrattive in sotterraneo.

Il programma di simulazione è specificamente progettato per aiutare ingegneri e i professionisti per il controllo della ventilazione sotterranea e per pianificare, progettare e gestire i sistemi di ventilazione in galleria in fase di scavo.

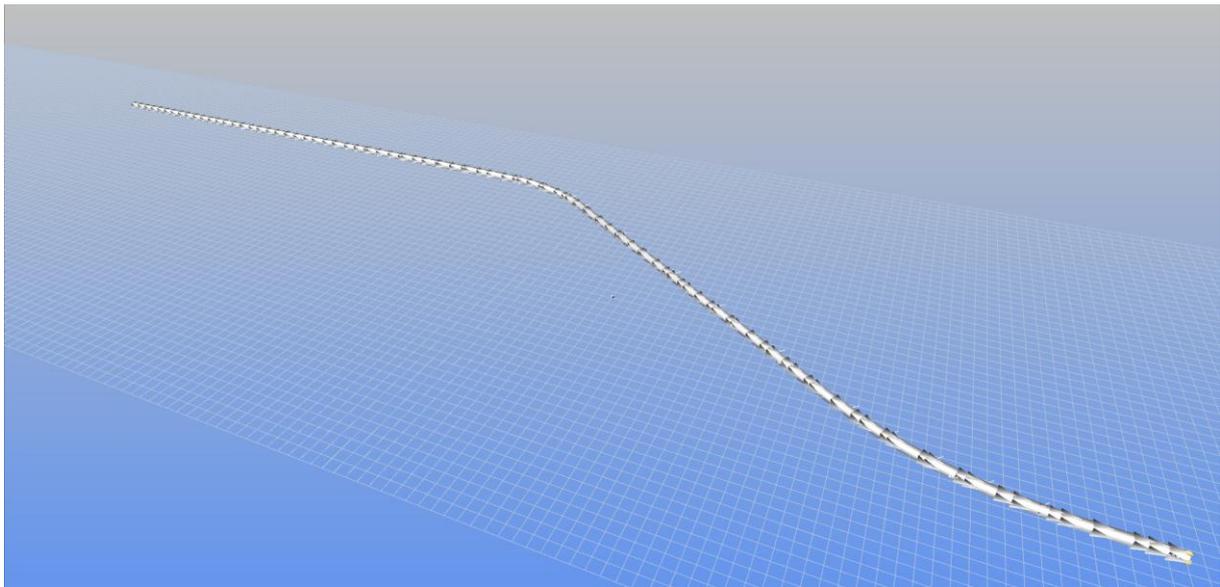


Figura 7 - Rappresentazione dell'intero modello della galleria Maddalena

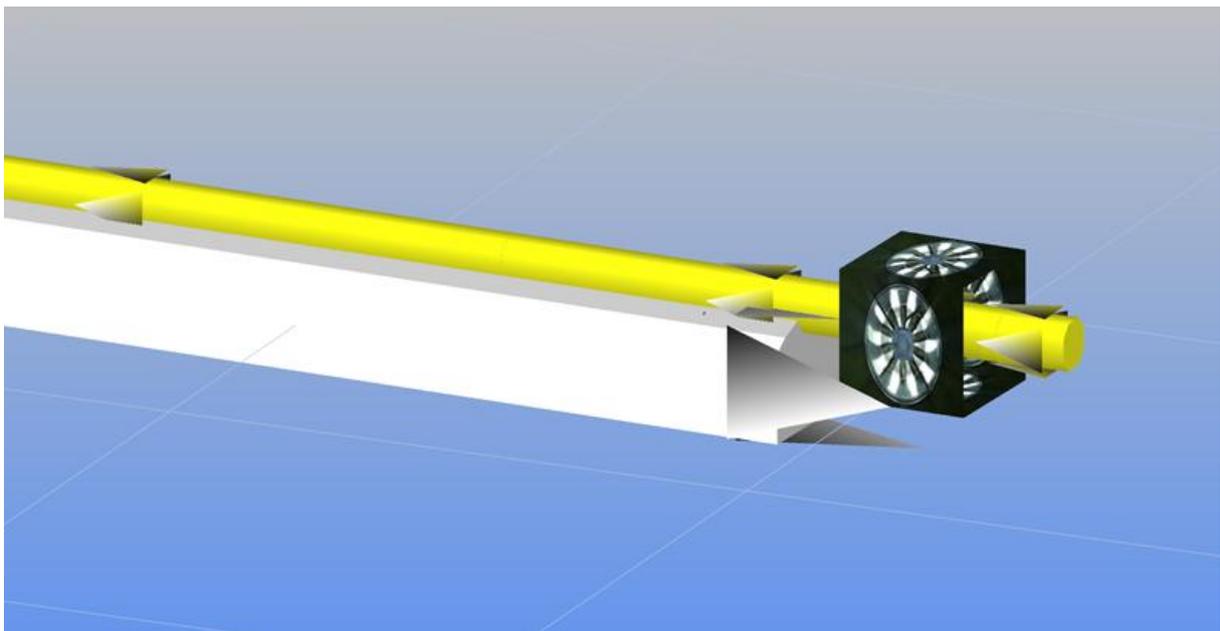


Figura 8 - Inquadramento su portale ed unità ventilante

4.6.1 Stima prestazionale del sistema presente senza punto di rilancio con simulazione CFD 1D

Il calcolo della curva di resistenza viene fatto alla massima estensione delle tubazioni, ovvero in corrispondenza del fondo scavo posto a 7020 metri di distanza dal portale.

CARATTERISTICHE DELLA TUBAZIONE FLESSIBILE			
Classe della tubazione	Area di dispersione o superficie di fuga f^* (mm ² /m ²)	Coefficiente di scabrezza λ	Coefficiente di dispersione ζ (difetti di emerticità)
A	10	0,018	da 0,10 a 20

Essendo in linea teorica la massima pressione ammissibile dalla tubazione pari a 5000 Pa, nel seguito si analizza la quantità di aria che arriva al fronte scavo, applicando tale valore di prevalenza all’inizio della tubazione sul portale.

Lunghezza totale della tubazione	7.020,0 m
Q_1 portata d’aria entrante	49.4 m ³ /s
Q_0 portata d’aria su fronte scavo	28,0 m ³ /s
Resistenza della tubazione	3,19253 Ns ² /m ⁸
Massima pressione totale relativa	5.000 Pa

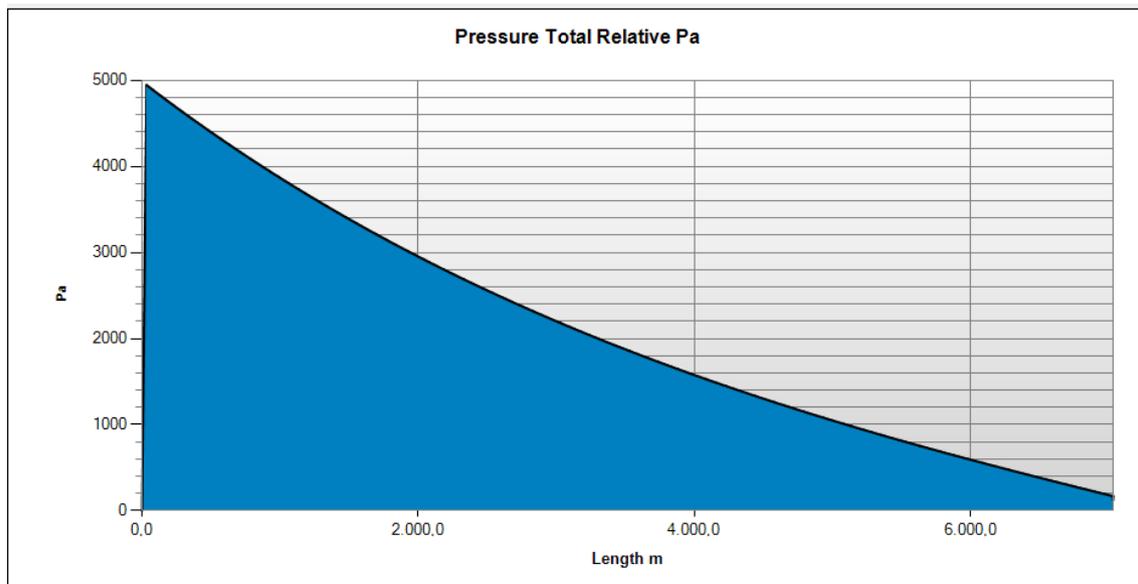


Figura 9 - Andamento della pressione totale relativa all’interno della tubazione fino a fronte scavo

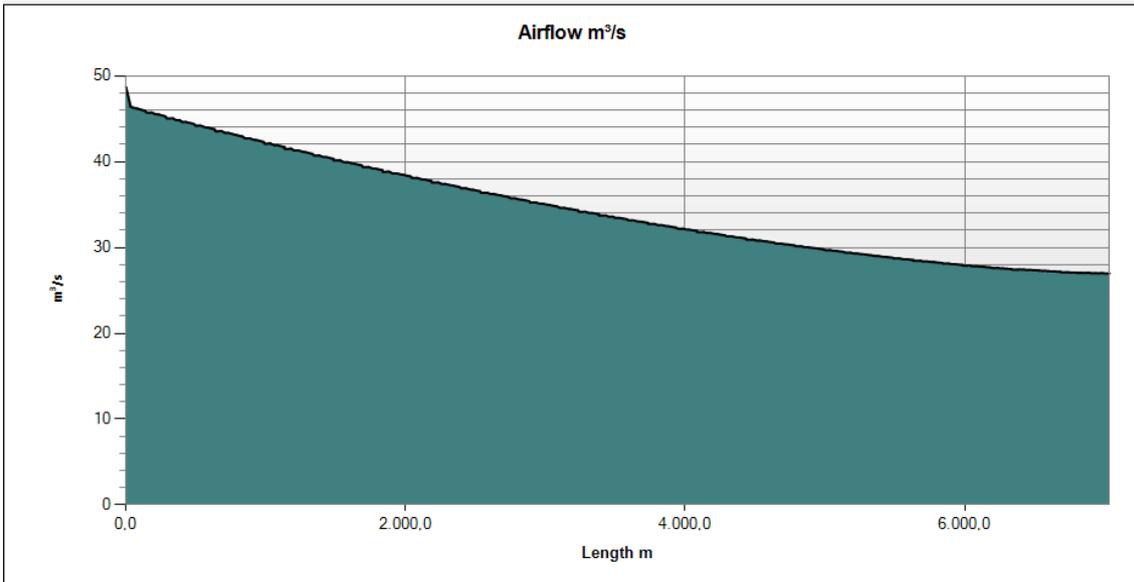


Figura 10 - andamento della portata d'aria fresca all'interno della tubazione fino a fronte scavo

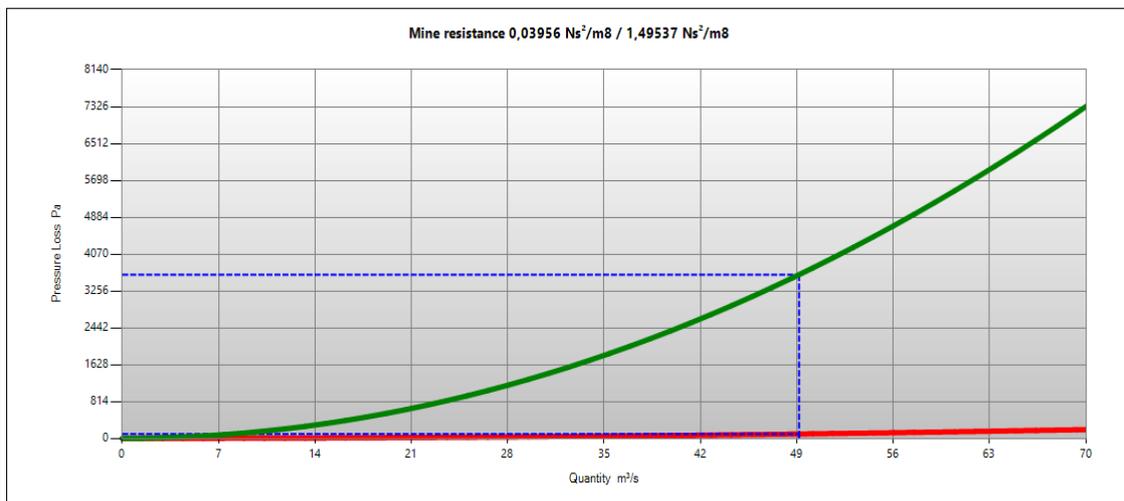


Figura 11 - curva di resistenza totale del sistema complessivo

Punto di lavoro per macchina assiale installata solo su portale (nessun rilancio), con un solo ventilatore sul portale:

- **Immissione** 49,4 m³/s da portale
- **Arrivo al fronte** 28,0 m³/s da portale
- **Pressione totale massima** registrata alla tubazione 5.000,0 Pa

4.6.2 Stima prestazionale del sistema presente con punto di rilancio con simulazione CFD 1D

Analogamente a prima il calcolo della curva di resistenza viene fatto alla massima estensione delle tubazioni, ovvero all'attuale fondo scavo posto a 7020 metri di distanza dal portale

CARATTERISTICHE DELLA TUBAZIONE FLESSIBILE			
Classe della tubazione	Area di dispersione o superficie di fuga f* (mm ² /m ²)	Coefficiente di scabrezza λ	Coefficiente di dispersione ζ (difetti di emerticità)
A	10	0,018	da 0,10 a 20

Essendo in linea teorica la massima pressione ammissibile dalla tubazione pari a 5000 Pa, nel seguito si analizza la quantità di aria che arriva al fronte scavo, applicando tale valore di prevalenza all'inizio della tubazione sul portale ed un valore inferiore, pari a 4000 Pa, in un punto intermedio della tubazione ottenuto da calcolo analitico, risulta come segue:

Lunghezza totale della tubazione	7.020,0 m
Q ₁ portata d'aria entrante	60,5 m ³ /s
Q ₀ portata d'aria su fronte scavo	39,2 m ³ /s
Resistenza della tubazione	3,48837 Ns ² /m ⁸
Massima pressione totale relativa	5.000 Pa
Pressione totale di rilancio	4.000 Pa

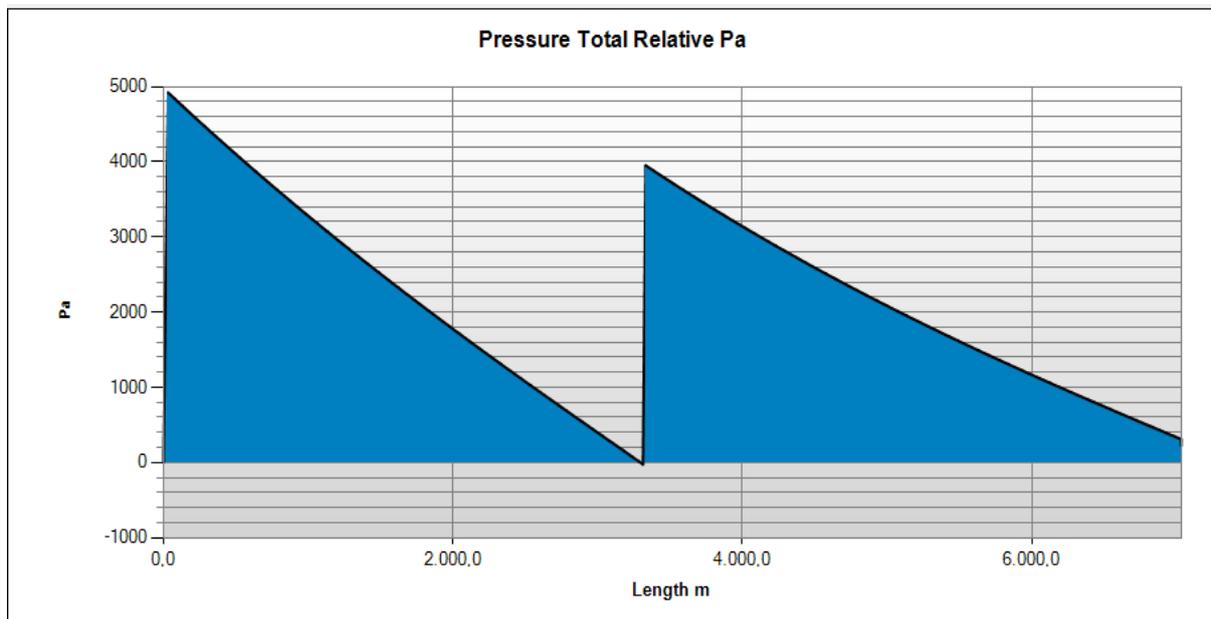


Figura 12 - andamento della pressione totale relativa all'interno della tubazione fino a fronte scavo

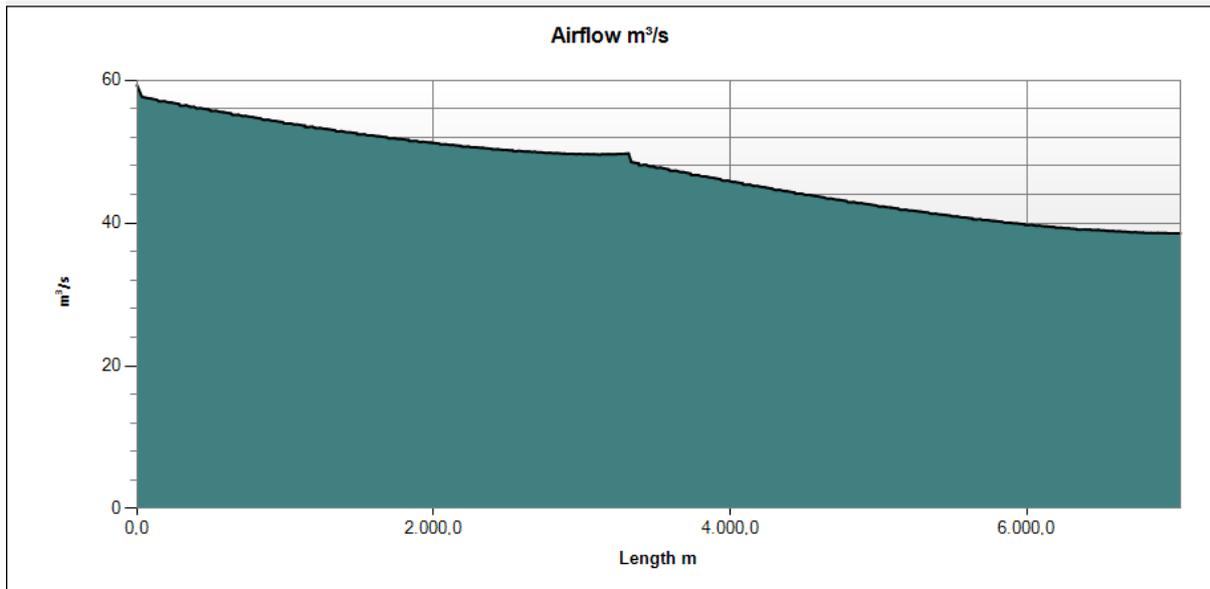


Figura 13 - andamento della portata d'aria fresca all'interno della tubazione fino a fronte scavo

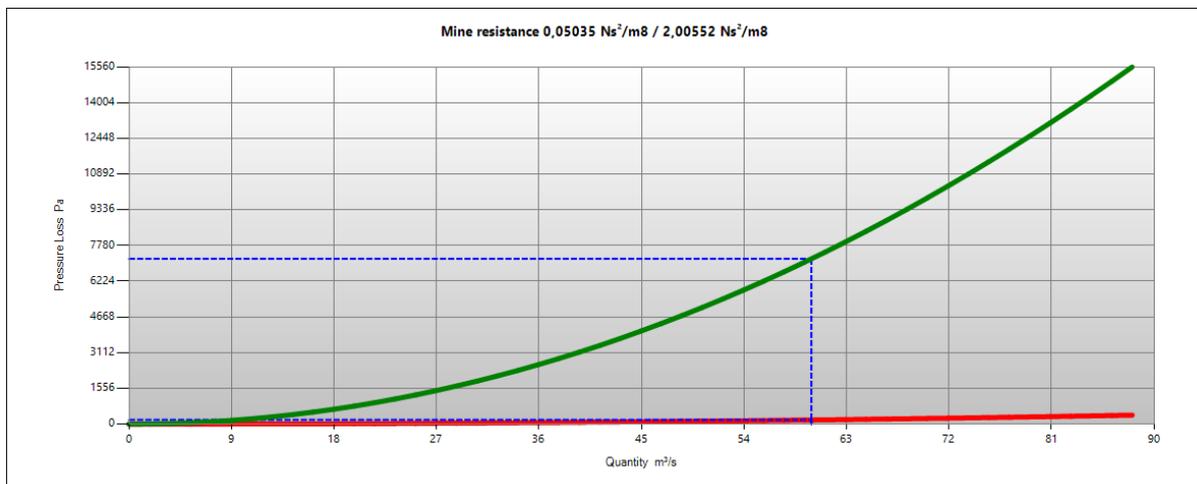


Figura 14 - curva di resistenza totale del sistema complessivo

Punto di lavoro per macchine assiali installate:

- **Immissione** 60,5 m³/s da portale
- **Arrivo al fronte** 39,2 m³/s da portale
- **Pressione totale massima** registrata alla tubazione 5.000,0 Pa
- Punto di lavoro sul portale: 60,5 m³/s @ 5000 Pa
- Punto di lavoro di rilancio: 50 m³/s @ 4000 Pa

4.6.3 Riepilogo risultati

Modalità	Q ₁ (m ³ /s)	Q ₀ (m ³ /s)
Senza rilancio	48,7	27,0
Con rilancio	60,5	39,2

4.7 Sistema di ventilazione individuato

Nel seguito si presentano le due curve caratteristiche dei ventilatori individuati per il sistema di ventilazione in esame.

4.7.1 Unità ventilante presente in cantiere

In cantiere e in comodato d'uso è presente il seguente ventilatore assiale tri-stadio, caratterizzato dalla curva di funzionamento (angolo di calettamento 9°) indicata nella figura seguente:

Ventilateur à 3 étages Ø1400 - C2-9 pales, 1500 tr/min

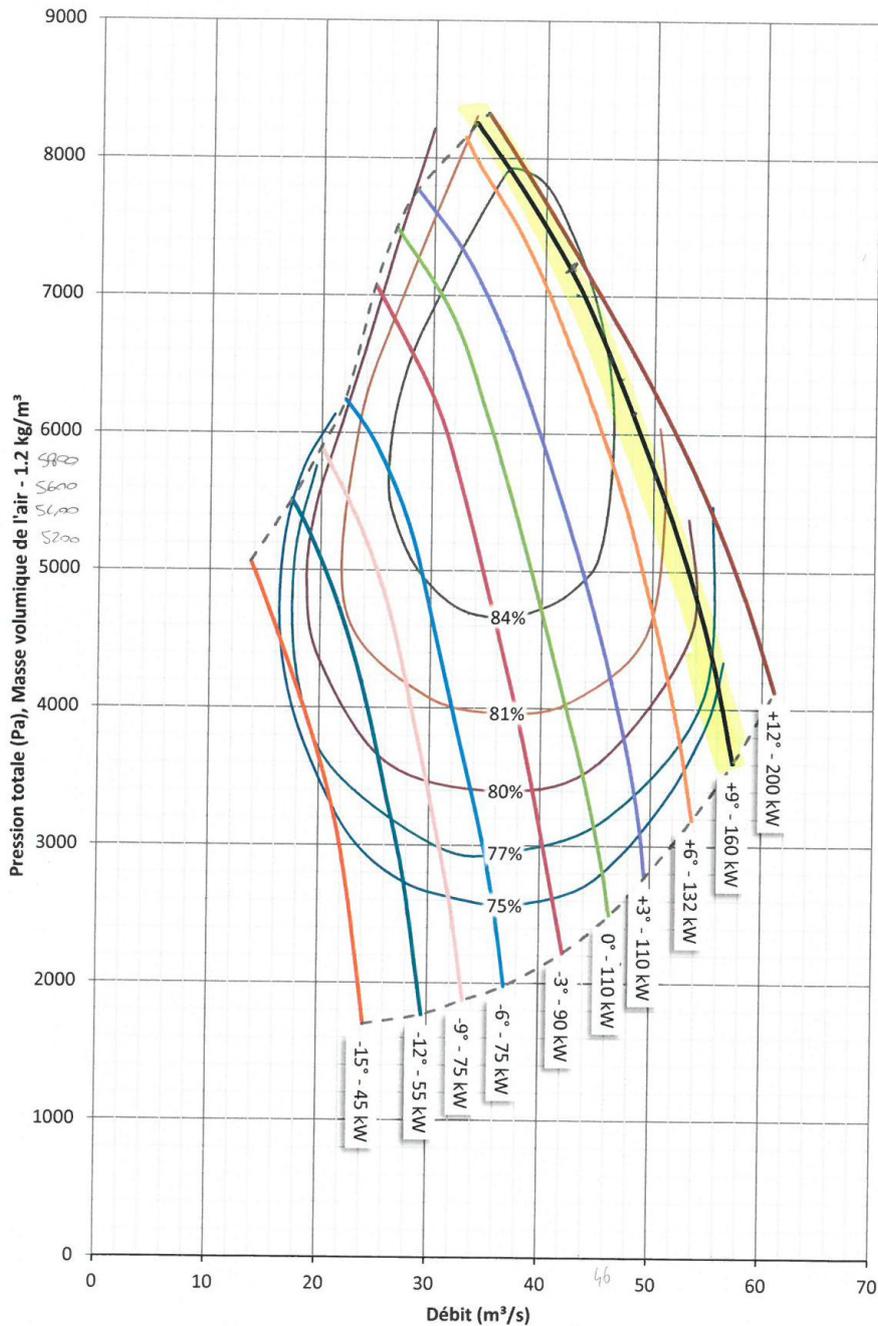




Figura 15 - ventilatore assiale presente in cantiere e tubazione in acciaio fino all'innesto in galleria



Figura 16 - ventilatore assiale presente in cantiere

Dai risultati prestazionali a seguire del ventilatore in oggetto, si evince che esso non è in grado di soddisfare da solo il massimo fabbisogno d'aria richiesto fino a fondo scavo.

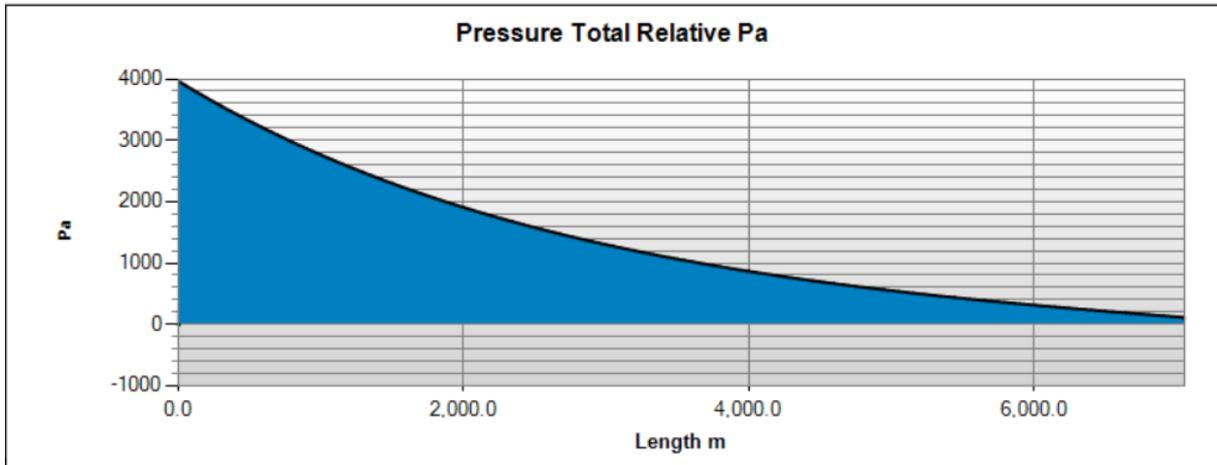


Figura 17 - Andamento della pressione totale relativa all'interno della tubazione fino a fronte scavo

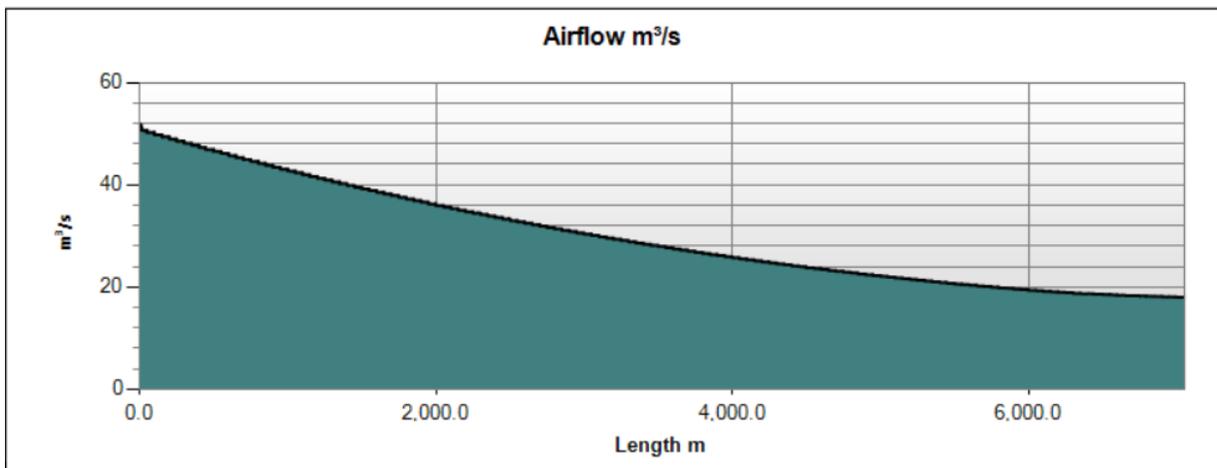


Figura 18 - andamento della portata d'aria fresca all'interno della tubazione fino a, fronte scavo

I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente:

Modalità	Q_1 (m ³ /s)	Q_0 (m ³ /s)
Senza rilancio	51,7	18,0

Il ventilatore riesce a introdurre nel Sistema alla quota portale 51,7 m³/s alla pressione totale 4940,8 Pa (comprese perdite in/out) all'interno del ventilatore. La tubazione registra quindi un massimo di 3945 Pa di pressione totale.

Nella figura seguente è indicato il punto di lavoro massimo raggiungibile dall'unità ventilante presente in cantiere:

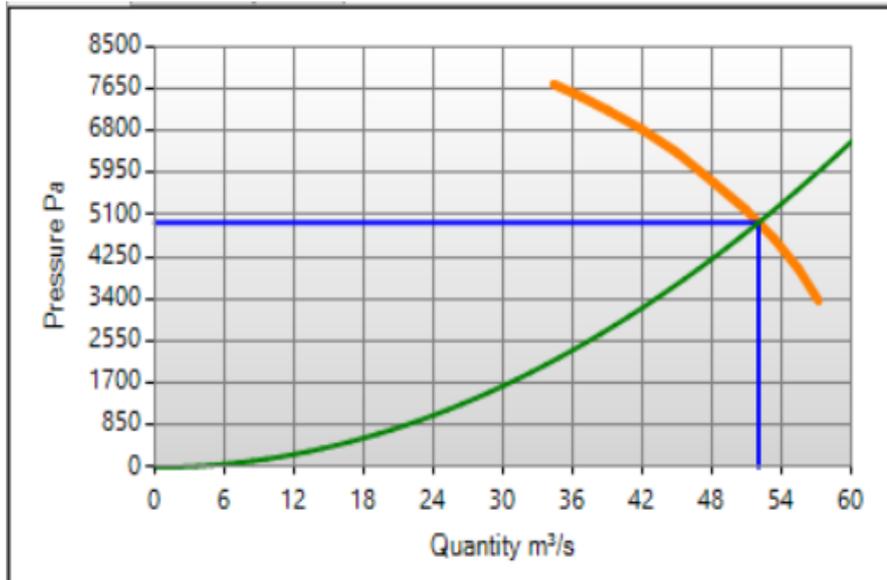


Figura 19 – punto di lavoro per il ventilatore presente in cantiere installato sul portale (senza rilancio)

Il ventilatore presente in cantiere potrà quindi essere utilizzato solo fino ad una distanza massima dal portale tale da garantire una portata minima di progetto pari a $39,1 \text{ m}^3/\text{s}$ Q_0 .

Dopodiché lo stesso potrà essere utilizzato come ventilatore di rilancio e garantire la portata di design fino ai 7020 metri.

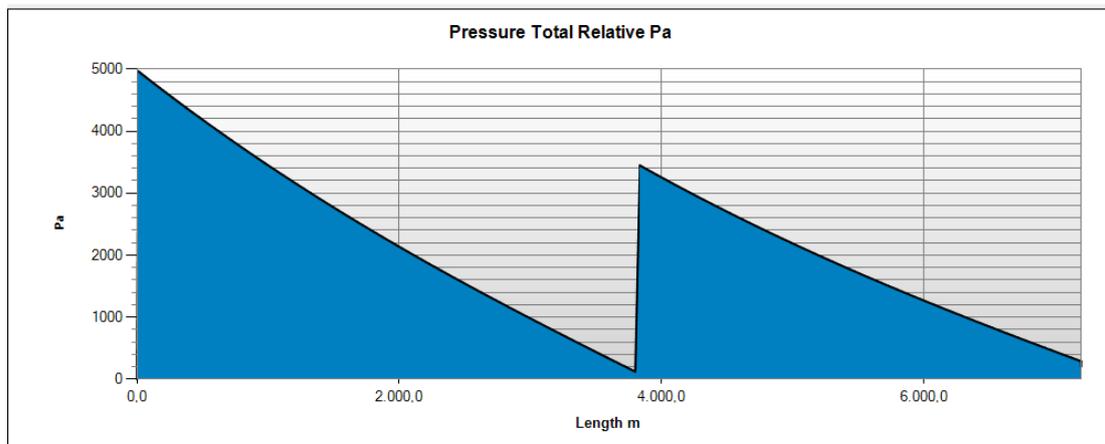


Figura 20 - andamento della pressione totale relativa all'interno della tubazione fino a fronte scavo

Lunghezza totale della tubazione	7.020,0 m
Q_1 portata d'aria entrante	67,1 m^3/s
Q_0 portata d'aria su fronte scavo	39,1 m^3/s
Resistenza della tubazione	3,78349 Ns^2/m^8
Massima pressione totale relativa	5.000 Pa
Pressione totale di rilancio	4.046 Pa
Pressione totale al ventilatore di rilancio (comprese perdite)	4.512 Pa

Distanza (m)	Portata d'aria (m ³ /s)	Pressione totale (Pa)
0	67,1	5000
3845	51,1	4046
7020	39,2	180

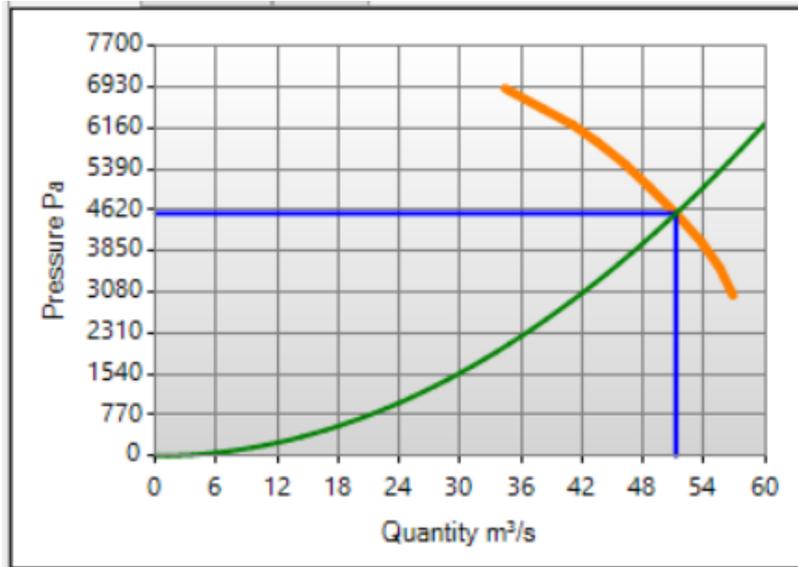
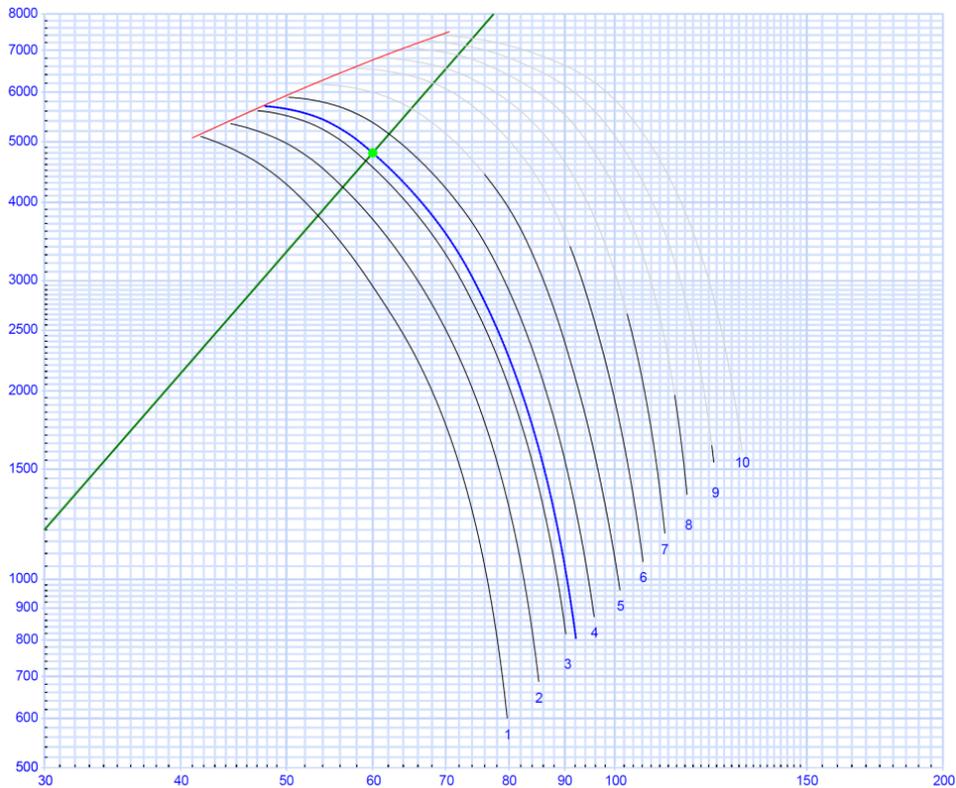


Figura 21 – punto di lavoro per il ventilatore presente in cantiere installato con funzione di rilancio.

4.7.2 Unità ventilante al portale

Ventilatore assiale bistadio monodirezionale 2x220 kW 4 poli diametro carcassa 1800 mm, dalla seguente curva prestazionale:



Principali caratteristiche prestazionali:

- Portata: 67,1 m³/s;
- Pressione totale incluse le perdite di carico interne del ventilatore: 5300 Pa;
- Densità dell'aria: 1,2 kg/m³;
- Grado di protezione delle apparecchiature e dei componenti elettrici min. IP55;
- Girante con pale a profilo alare non reversibile (assiale unidirezionale);
- Potenza nominale di ogni motore: 220 kW.

Ogni ventilatore deve essere costituito:

- Carcasa motore: Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura;
- Carcasa girante: Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura;
- Boccaglio di immissione (1 per tutto gli insieme): Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura;
- Griglia di sicurezza (1 per tutto gli insieme): Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento anticorrosivo: Zincato a caldo 60-80µm ISO 1461:2009;
- Piedi di supporto: Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura;
- Base di appoggio: Acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura.

2 Silenziatori:

- Lamiera interna ed esterna: acciaio dolce S-275 JR; Trattamento superficiale: sabbiatura secondo norma UNE-EN ISO 8501 + verniciatura;
- Isolamento acustico: con materiale insonorizzante lana minerale di roccia (Spessore: 100 mm; densità: 70 Kg/mc).

2 Giranti:

- Mozzo: in acciaio dolce S-355 JR ; trattamento anticorrosivo: Zincato 10-15µm;
- Pale ed elementi di fissaggio; materiale: Lega di alluminio con possibilità di cambiare l'angolo di calettamento della pala.

2 Motori da 220 kW:

- tipo gabbia di scoiattolo; tensione: 400Vac; frequenza: 50 Hz;
- isolamento: classe F;
- N° Poli : 4;
- avviamento: inverter;
- lubrificazione: Esterna;
- vita del cuscinetto (L10-L50): 20.000h-100.000h.

2 Morsettiere:

- Morsettiera di potenza posizionata sulla carcassa del motore con grado di protezione IP55.

4.7.3 Conclusioni sulle unità ventilanti

Il ventilatore assiale bistadio presente in cantiere potrà soddisfare fundamentalmente funzioni di rilancio.

Occorrerà installare un nuovo ventilatore assiale dalle seguenti caratteristiche:

- Potenza 2x220 kW 4 poli
- Diametro carcassa 1800 mm
- Punto di lavoro 67,1 m³/s a 5000 Pa di pressione totale

Si precisa che a 3660 metri dal portale il ventilatore sopra sarà in grado di fornire a tale distanza un flusso d'aria Q_0 su luogo di lavoro pari a 43,5 m³/s.

Visto l'ingombro il ventilatore di rilancio dovrà essere installato in corrispondenza di una nicchia di modo che i mezzi possano sfruttare l'intera larghezza di passaggio ed evitare di passare direttamente sotto il ventilatore.

La nicchia in cui verrà installato il ventilatore presente in cantiere, Cogemacoustic 1400 mm 3x160 kW, sarà la nicchia NLS6.

4.8 Elementi di uso, manutenzione e stoccaggio di tubazioni flessibili

Il produttore dovrebbe fornire informazioni su quanto segue:

- L'installazione e la manutenzione del condotto compresi i tipi di supporto richiesti;
- I parametri di progettazione per il condotto tra cui caratteristiche di pressione e flusso e attrito interno;
- I parametri di allineamento tra cui requisiti per curve rigide, raccordi ecc.;
- Le informazioni sulla riparazione e conservazione a lungo termine;
- Il controllo regolare della capacità del condotto durante l'uso.

4.8.1 Ispezione e manutenzione

Mentre il tunnel in fase di scavo si sviluppa e la sua lunghezza aumenta, la pressione nel condotto di ventilazione viene normalmente aumentata per compensare l'aumento della resistenza al flusso. Si verificano normalmente danni alle tubazioni dovute alla movimentazione e al funzionamento delle apparecchiature. L'ispezione e la manutenzione periodica devono essere effettuata per assicurare che i danni alle tubazioni siano identificati e riparati.

Ciò comprende:

- Deformazione nel condotto e deviazioni indesiderate nel suo allineamento, in particolare in presenza di significative variazioni di direzione.
- Collegamenti difettosi o danneggiati.
- Sospensione corretta del condotto per tutta la sua lunghezza.
- Libertà per il condotto di spostarsi lungo il filo di sospensione, se necessario.
- Bulloni sospesi difettosi o allentati.
- Correzione della tensione del filo di sospensione.
- Corretto funzionamento dei ventilatori, di altre apparecchiature e dei rispettivi sistemi di controllo.
- La velocità dell'aria, la pressione del condotto e il consumo di energia del ventilatore sono entro i limiti prescritti.
- Accumulazione di acqua e polvere nel condotto.

4.8.2 Riparazione in esercizio

4.8.2.1 Generalità

È importante realizzare ispezione e manutenzione della tubazione. Le riparazioni devono essere eseguite non appena si individuano danni.

4.8.2.2 Riparazione di fori e strappi su condotto flessibile installato

Il produttore deve fornire informazioni su come riparare il materiale durante l'uso.

4.8.2.3 Smontaggio

Prima di togliere il condotto dovrà essere controllato per danni classificati per lo stoccaggio o lo smaltimento e, se del caso, puliti per il riutilizzo. È preferibile che la tubazione destinate al riutilizzo vengano pulite.

Classe 1: tubazioni senza danni.

Classe 2: tubazioni con danni limitati che possono essere riparati.

Classe 3: tubazioni con danni estremi che non sono idonei al riutilizzo.

Le tubazioni per il riutilizzo devono essere conservate su pallet. Ogni pallet deve essere chiaramente contrassegnato con dettagli relativi alla qualità del materiale, al diametro, alla lunghezza e alla classe di riutilizzo di ogni sezione di condotta depositata. È preferibile che tutte le lunghezze di canalizzazione su un pallet siano simili in termini di qualità del materiale, diametro del condotto e classe di riutilizzo.

4.8.2.4 Immagazzinamento

Le tubazioni che vengono conservate sui pallet devono essere idoneamente fissate su esso. Se conservato all'aperto, il pallet deve essere coperto per proteggere il contenuto da polvere, calore e luce solare.

4.9 Sistema di ventilazione di tipo premente: controllo dei parametri di ventilazione della galleria (stralcio da NI Emilia Romagna – Toscana 10 prot. N° 27963/PRC)

Nel seguito si riporta quanto prescritto dalla Nota interregionale Emilia Romagna - Toscana 10 “Sistema di ventilazione di tipo premente: controllo dei parametri di ventilazione della galleria”

1) Misura della portata d’aria

Deve essere eseguita nella tubazione premente, almeno, in due punti:

- *immediatamente a valle dei ventilatori ed in prossimità della sezione terminale del condotto. I valori di portata misurati devono essere costantemente rilevabili (ad esempio tramite un display, ecc.) presso il quadro di comando del sistema di ventilazione.*
- *La differenza dei valori misurati, in assenza di spillamenti programmati, è un indice delle perdite accidentali di portata dovute alla mancanza di tenuta o a rotture della tubazione. La conoscenza di tali valori permette di eseguire con tempestività gli interventi di manutenzione.*
- *Qualora siano effettuati spillamenti (ad esempio per la ventilazione del cassero per il getto del rivestimento definitivo) è opportuno misurare la portata anche a monte dello spillamento.*

2) Registrazione dei valori di portata

Il sistema di misura della portata in mandata sopra descritto deve essere collegato con un sistema di registrazione automatica e continua dei dati.

La registrazione dei valori di portata costituisce un elemento qualificante della corretta gestione della ventilazione.

Nelle gallerie grisutose o sospettate di essere a rischio d’invasione di grisù (classi 2, 1c e 1b), il sistema di registrazione dei valori di portata, consente la gestione della ventilazione e permette di correlare, in caso di invasione di grisù, la concentrazione di gas ambientale con la portata d’aria immessa. In dette gallerie, infatti, è installato un sistema per il monitoraggio continuo del gas dotato di registrazione dei dati per seguire l’evoluzione del fenomeno di emissione grisutosa. Registrando anche la portata è possibile correlare l’emissione all’azione di diluizione del sistema di ventilazione e quindi determinare la quantità di grisù emessa. Questo dato costituisce un elemento fondamentale del sistema di gestione delle gallerie grisutose (modello di emissione e misure di sicurezza correlate).

3) Misura della prevalenza

Deve essere eseguita nella tubazione premente immediatamente a valle dei ventilatori.

4) Registrazione dei valori di prevalenza

Il sistema di misura della prevalenza sopra descritto deve essere collegato con un sistema di registrazione automatica dei dati.

5) Misure puntuali della velocità di riflusso in galleria

Tenendo conto che uno stesso valore di portata può determinare diversi profili di velocità in galleria in funzione della geometria dello scavo e degli ostacoli presenti, occorre integrare il controllo della portata con misure puntuali della velocità di riflusso in galleria.

Dette misure devono essere effettuate con strumentazione manuale al fine di verificare l’efficacia della ventilazione che si instaura effettivamente nelle postazioni di lavoro e devono essere riportati in apposito registro.

4.10 Modalità di gestione della ventilazione durante le lavorazioni

Per quanto riguarda le modalità di gestione dell'impianto di ventilazione durante le lavorazioni, specie in fase di esecuzione delle volate per lo scavo delle nicchie, si rimanda all'elaborato specifico 04A-C173570-N-0-E-RE-IM-0002 "Gestione della ventilazione durante le lavorazioni – Relazione".

4.11 Conclusioni del sistema di ventilazione

Si rimandano ulteriori dettagli alla fase di cantiere in cui verrà sviluppato il Progetto Esecutivo di Dettaglio e studiati per ogni fase delle lavorazioni, per l'esecuzione di ogni nicchia, il punto di lavoro richiesto al sistema di ventilazione.

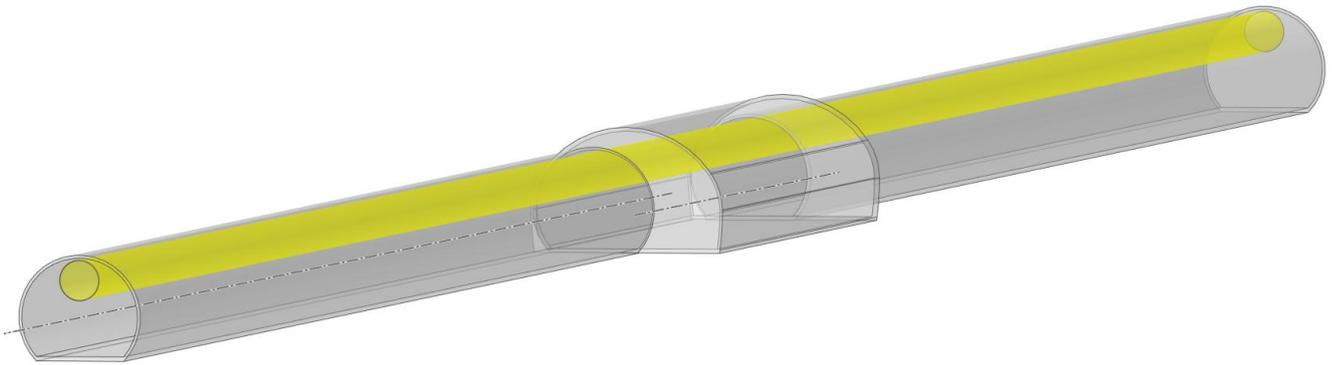


Figura 22 - Rappresentazione della tubazione di ventilazione passante per nicchia ultimata

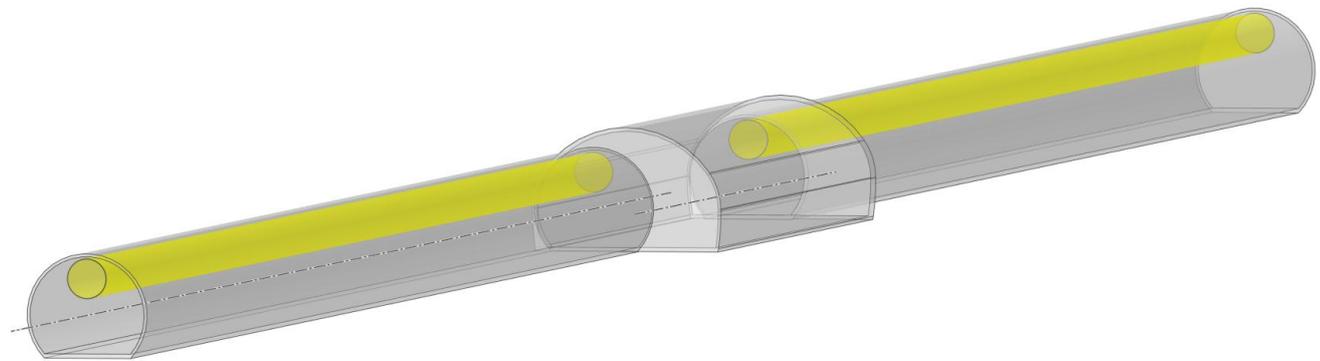
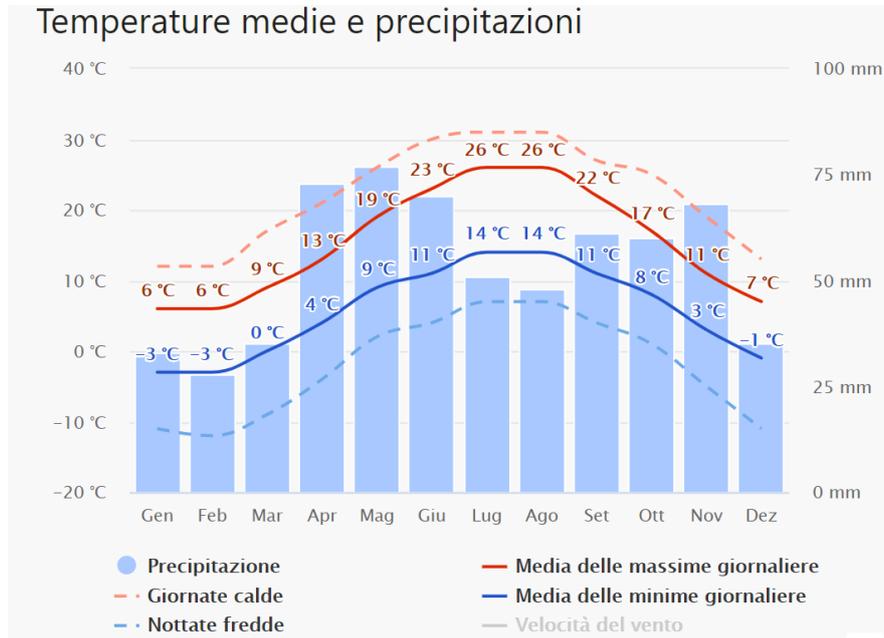


Figura 23 - Rappresentazione della tubazione di ventilazione durante le fasi di scavo della nicchia (interruzione localmente della tubazione)

5 IMPIANTO DI RAFFRESCAMENTO

5.1 Dati climatici del sito



Dai dati raccolti nella stazione meteo Susa, dal seguente sito web: <http://www.meteosusa.it/meteo/MeteoSusa.htm>, si sono estratti i seguenti dati:

Anno	Mese	Temperatura media	Umidità media	Media delle temperature massime giornaliere
		°C	%	°C
2016	Luglio	24,4	58	30,5
	Agosto	23,5	56	30,1
2017	Luglio	24	50	30,2
	Agosto	24,4	50	31
2018	Luglio	24,3	45	30,6
	Agosto	23,9	41	30,8
2019	Luglio	24,6	59	31
	Agosto	23,6	63	29,8

5.2 Definizione della potenza richiesta per il raffreddamento del cantiere

Calore della roccia

La temperatura della roccia lungo il tracciato della galleria arriva fino a ca. 30- 35°C. Il calcolo del calore trasmesso dalla roccia all'aria è complesso perché dipende, in ogni punto della galleria, dal tempo trascorso dal momento dello scavo, e diminuisce quindi dal fronte di scavo lungo il tracciato. Il calore risultante è dunque determinato in funzione dei parametri seguenti:

- Coefficiente di convezione locale (dipendente dal numero di Reynolds, dalla rugosità della parete e dal diametro)

- Temperatura iniziale della parete (temperatura del massiccio)
- Temperatura desiderata dell'aria

Le proprietà fisiche medie della roccia considerate sono:

- Capacità termica: 900 J/(kg K)
- Conduttività: 2,3 W/(m K)
- Densità: 2600 kg/m³

Calore dissipato dalle macchine motrici

Considerando l'efficienza di un mezzo diesel intorno al 30% della sua Potenza nominale, a partire dal numero di mezzi diesel presenti nel cantiere ed operanti in contemporaneo si ottiene la Potenza termica dissipata.

Calore liberato durante lo smarino

La temperatura del materiale di scavo è di ca. 35°C. Esso si raffredda parzialmente durante il disgaggio e lo smarino. Come ipotesi conservativa viene considerato un raffreddamento fino alla temperatura dell'aria della galleria.

Condizioni Ambientali

Si considera il seguente stato dell'aria prelevata dall'esterno:

- Temperatura esterna: 20°C
- Umidità iniziale: 100% (nessun effetto di raffreddamento per evaporazione è considerato)

5.3 Concetto generale di raffrescamento

Il raffreddamento deve garantire una temperatura massima di 26°C in corrispondenza dei posti di lavoro in galleria.

I refrigeratori d'acqua monoblocco della Serie RC/m condensati ad aria, sono stati progettati per produrre acqua fredda di processo destinata al raffreddamento di impianti industriali in circuito chiuso o aperto. Sono unità frigorifere monoblocco completamente autonome costituite da un circuito idraulico completo di elettropompa.

I concetti costruttivi impiegati permettono di ottenere un'alta efficienza, conseguenza di un minimo consumo energetico anche in condizioni estreme di impiego (climi tropicali con temperature ambiente fino a +45°C). In particolare il sovradimensionamento degli scambiatori impiegati consente al compressore di lavorare in condizioni ottimali elevando l'efficienza frigorifera. Il refrigeratore è controllato da un microprocessore di concezione NOVA FRIGO che permette di controllare in maniera ottimale la pressione di evaporazione e quella di condensazione e di effettuare misure estremamente precise dei parametri del sistema. È possibile gestire i gruppi frigoriferi con la modalità "MULTICHILLER" attraverso la quale, dopo aver analizzato il carico termico, si regola l'inserimento di ciascun compressore.

Si ottiene quindi una stabilità e precisione della temperatura di processo, un equilibrato lavoro dei compressori e quindi un risparmio energetico maggiore evitando spunti di corrente inutili.



Figura 24 - unità presente in cantiere

5.4 Verifica a partire dai dati di progetto

- Temperatura Aria (considerata) Immessa nel Tunnel +30 °C
- Umidità Relativa Aria Immessa nel Tunnel (UR) 50 %
- Carico termico Aria Immessa totale stimato 800+323 kWf

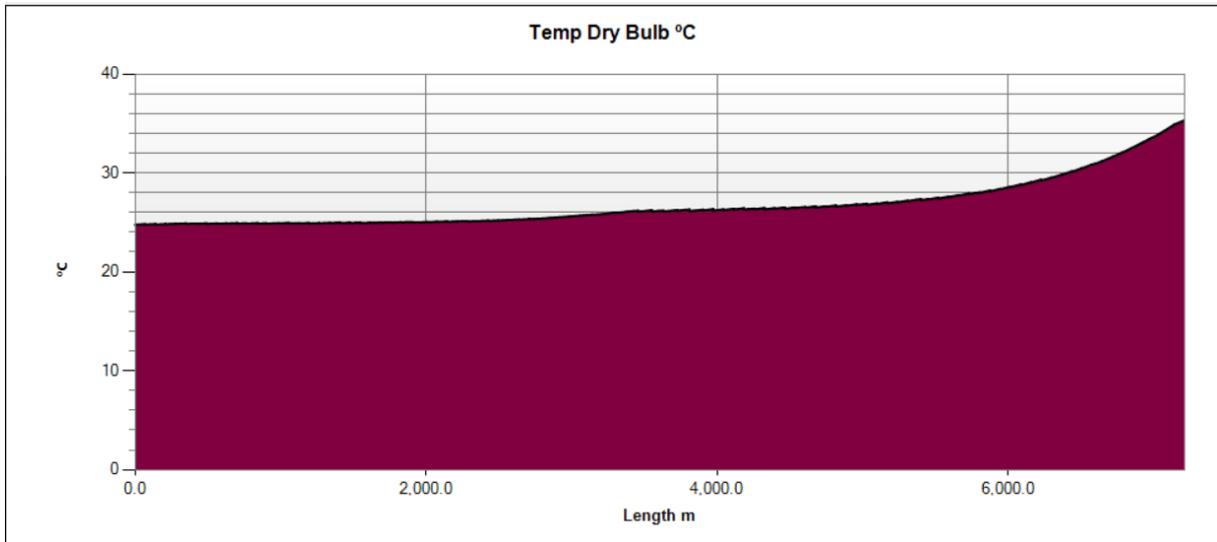
La Batteria di trattamento aria da 800 kWf avrà le seguenti caratteristiche principali:

- Portata aria 22 m³/s (79.200 m³/h);
- Resa Termica 800 kWf;
- Temperatura aria in Ingresso +30°C ed Umidità relativa 50 %;
- Temperatura aria in Uscita +14°C;

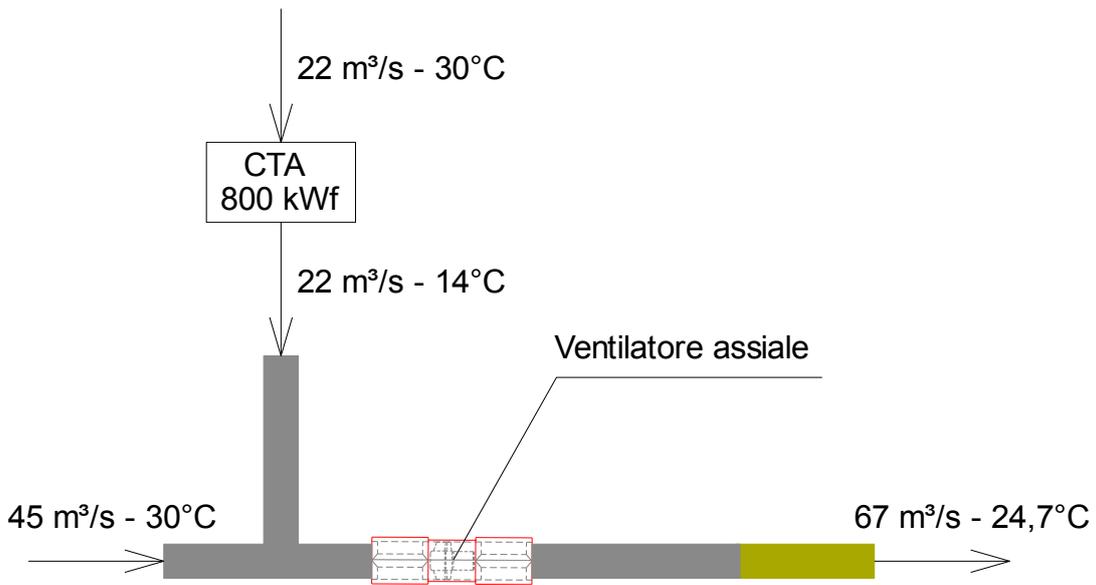
Applicando tale apparecchiatura con la relativa potenza nel modello termofluidodinamico trattato in precedenza si ottengono i seguenti risultati.

- $T_{\text{bulbo secco}} = 30 \text{ °C}$
- UR = 50%
- $T_{\text{bulbo umido}} = 22,1 \text{ °C}$
- $T_{\text{roccia}} = 35 \text{ °C}$

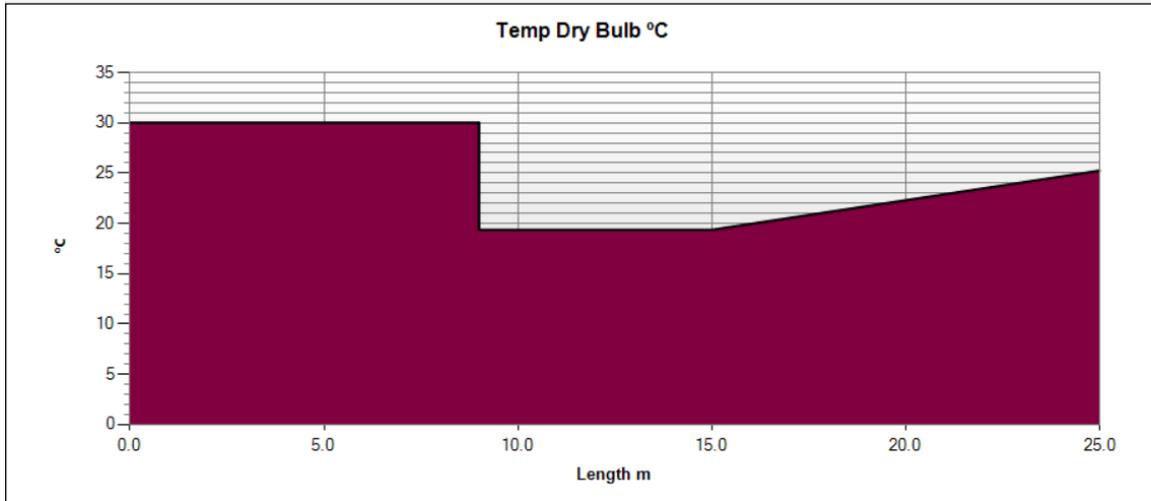
Applicando una potenza 800 kWf in prossimità del ventilatore al portale si ottiene la seguente distribuzione di temperatura all'interno della galleria.



Lo schema di raffreddamento in prossimità del portale è stato calcolato secondo il seguente schema:



Nel programma termo-fluidodinamico viene infatti immessa l'aria secondo due tubazioni.



Dall'immagine sopra si evince come l'aria entrante nel sistema dalla dorsale principale alla temperatura ambiente di 30°C, riceva un forte abbattimento della temperatura miscelandosi con aria più fresca.

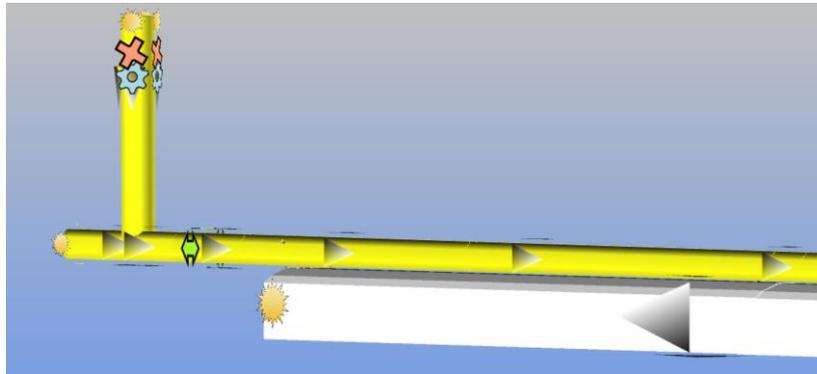


Figura 25 - modellazione termofluidodinamica del sistema (dettaglio attacco UTA al portale)

Ponendo come temperatura massima ammissibile il valore di 26 °C, si ha una ripartizione della galleria.

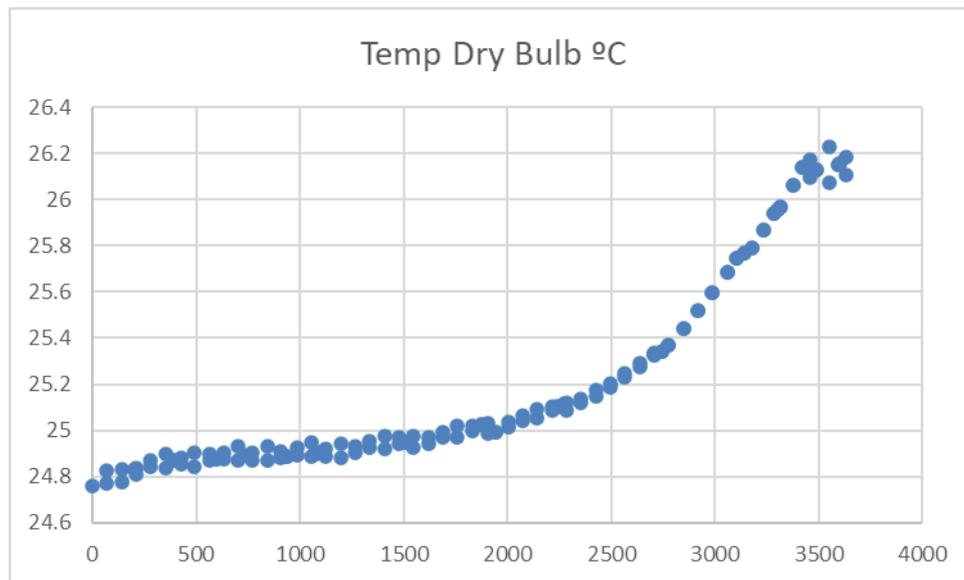


Figura 26 -Andamento delle temperatura del bulbo secco dal portale fino alla progressiva 3600 metri

Temperature superiori ai 26 °C si avranno fino a fondo scavo dalla progressiva 3600 metri in avanti.

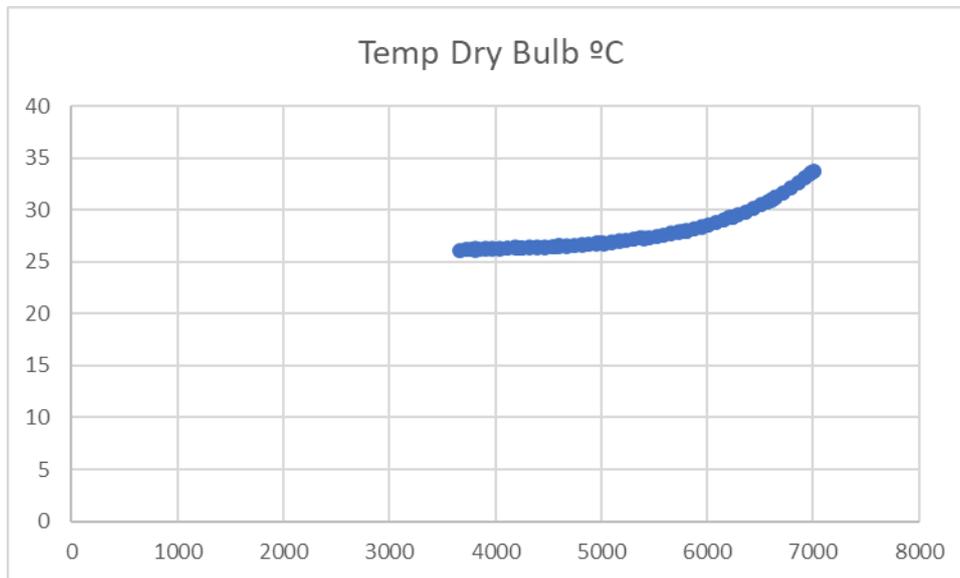


Figura 27 - Andamento delle temperatura del bulbo secco dalla progressiva 3600 metri fino a fondo scavo

5.5 Conclusioni

Nella fase attuale la verifica si considera soddisfatta e ci si riserva di ulteriori sviluppi in sede di dettaglio e in corso d'opera, e revisionare quindi alle effettive e attualizzate condizioni termo-igrometriche del sito, come ad esempio la realizzazione delle nicchie verso fondo scavo in periodo invernale, dalla nicchia NSL6 in avanti, permetterebbe una temperatura adeguata nel luogo di lavoro, mentre nel periodo estivo con temperature esterne di 30°C, per progressive inferiori ai 3600 metri si avrà una temperatura media dell'aria inferiore ai 26 °C grazie al significativo contributo dell'unità di raffreddamento aria.

Si evidenzia che la media delle temperature massime giornaliere nei mesi di luglio ed agosto si attesta in genere sui 30°C, ma si riferisce comunque a valori di picco di brevi durate.

In tutti quei casi eventuali in cui il sistema presente in cantiere non potrà soddisfare la temperatura massima sul luogo di lavoro, si ricorrerà all'utilizzo di unità di raffreddamento mobili da portare in prossimità del luogo di lavoro.