

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

**PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)**

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

CONSTRUCTION – COSTRUZIONE

**METHODES CONSTRUCTIVES EN SOUTTERRAIN – METODOLOGIA COSTRUTTIVA IN SOTTERRANEO
TUNNEL DE BASE COTE ITALIE – TUNNEL DI BASE LATO ITALIA**

**RAPPORT DESCRIPTIF ET JUSTIFICATIF CONCERNANT LA VENTILATION ET LE REFROIDISSEMENT
EN PHASE CHANTIER –
RELAZIONE DECRITTIVA E GIUSTIFICATIVA SULLA VENTILAZIONE E IL RAFFREDDAMENTO IN FASE
DI COSTRUZIONE**

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	20/11/2012	Première diffusion / Prima emissione	C. SALOT (BG) C. KAUFFMANN (BG) E. GARIN (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
A	08/02/2013	Révision suite aux commentaires LTF / Revisione a seguito commenti LTF	C. SALOT (BG)	M. RUSSO C. OGNIBENE	L. CHANTRON M. PANTALEO
B	04/11/2016	Première émission PRV – révision générale / Prima emissione PRV – revisione generale	J. PRZECZEWSKI (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
C	27/01/2017	Révision suite aux commentaires de TELT / Revisione a seguito commenti TELT	J. PRZECZEWSKI (BG) C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI
D	16/03/2017	Passage au statut AP / Passaggio allo stato AP	C. SALOT (BG)	F. MAGNORFI C. OGNIBENE	L. CHANTRON A. MORDASINI

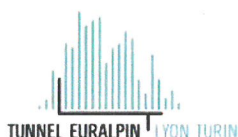


ODE DOC	P	R	V	C	3	A	T	S	3	0	8	8	6	D
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//	33	02	02	10	02
------------------------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

ECHELLE / SCALA
-



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

INDICE / SOMMAIRE

RIASSUNTO/RESUME	4
1. INTRODUZIONE	5
1.1 Generalità.....	5
1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato.....	5
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1 Documenti di progetto	5
2.2 Normativa	5
2.3 Altri documenti.....	6
3. RELAZIONE DESCRITTIVA	6
3.1 Approccio Metodologico	6
3.2 Vincoli e normativa di riferimento	7
3.3 Temperatura del massiccio	7
3.4 Geometria	9
4. VENTILAZIONE.....	10
4.1 Definizione dei fabbisogni necessari alla ventilazione di cantiere.....	10
4.1.1 Velocità d'aria minima al fronte.....	10
4.1.2 Veicoli Diesel e polveri	10
4.2 Concetto generico della ventilazione.....	11
4.2.1 Condotti d'aria viziata.....	13
4.2.2 Layout generico	15
4.2.3 Fibre di amianto	16
4.2.4 Radon	17
4.3 Scenario critico	17
4.4 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni H-B-A	19
4.4.1 Verifica della velocità minima d'aria al fronte.....	19
4.4.2 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel	22
4.5 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni G-E.....	22
4.5.1 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel	25
4.6 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni D-C	25
4.6.1 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel	28
5. RAFFREDDAMENTO	28
5.1 Definizione della Potenza Richiesta per il Raffreddamento di Cantiere	28
5.1.1 Calore della roccia	28
5.1.2 Calore dissipato delle macchine motrici	29
5.1.3 Calore di idratazione del calcestruzzo	30
5.1.4 Calore dissipato dei ventilatori e del sistema di estrazione polveri	30
5.1.5 Calore liberato durante lo smarino.....	30
5.2 Condizioni ambientali.....	30
5.3 Concetto generico del raffreddamento.....	31
5.4 Dimensionamento	33
6. RIASSUNTO DEI MEZZI RICHIESTI	35

INDICE DELLE FIGURE / LISTE DES FIGURES

Figura 1 – Profilo termico adottato per il Tunnel di Base.....	8
Figura 2 – Ubicazione delle sezioni (estratto PRV-C3A-TS3-6452).....	9
Figura 3 – Condotto in tela plastica	14
Figura 4 – Condotto con tela plastica con spirali d'acciaio	14
Figura 5 – Condotto in lamiera spiroidale zincata	14
Figura 6 – Condotto d'acciaio.....	14
Figura 7 – Concetto generico della ventilazione aspirante con diversi ventilatori booster e filtri per polveri all'inizio e alla fine	15
Figura 8 – Esempio di filtro per polveri in galleria (www.schauenburg-us.com)	16
Figura 9 – Scenario critico per la ventilazione.....	18
Figura 10 – Condotti di ventilazione H-B-A.....	19
Figura 11 – Condotti di ventilazione H-B-A.....	23
Figura 12 – Condotti di ventilazione H-B-A.....	26
Figura 13 – Bilancio energetico della fresa.....	30
Figura 14 – Concetto di raffreddamento	32
Figura 15 – Esempi di torri di raffreddamento evaporative (www.marleyct.com).....	33

INDICE DELLE TABELLE / LISTE DES TABLEAUX

Tabella 1 – Sezioni di scavo e perimetro	10
Tabella 2 – Fabbisogno d'aria fresca per veicoli Diesel e polveri	11
Tabella 3 – Riassunto del fabbisogno totale (secondo dimensionamento della parte 4.4 e Figura 9).....	12
Tabella 4 – Numero di fronti per la varie fase di costruzione definite nella relazione PRV_C3A_7760).....	12
Tabella 5 – Dimensionamento delle sezioni (caso per due fronti G e H)	20
Tabella 6 – Dimensionamento delle sezioni nel caso di lo scavo in parallelo delle sezioni G1 e G2	21
Tabella 7 – Condotti velocità d'aria.....	21
Tabella 8 – Ventilatori.....	22
Tabella 9 – Dimensionamento delle sezioni.....	24
Tabella 10 – Condotti velocità d'aria.....	24
Tabella 11 – Ventilatori.....	25
Tabella 12 – Dimensionamento delle sezioni.....	27
Tabella 13 – Condotti velocità d'aria.....	28
Tabella 14 – Ventilatori.....	28
Tabella 15 – Dimensionamento sistema di raffreddamento	34
Tabella 16 – Indicazione delle quantità per la ventilazione delle gallerie scavate dal lato italiano.....	36
Tabella 17 – Indicazione delle quantità per il raffreddamento delle gallerie scavate dal lato italiano.....	36

RIASSUNTO/RESUME

La presente relazione contiene la descrizione del sistema di ventilazione e di raffreddamento in fase di costruzione della tratta italiana del Tunnel di Base della parte comune italo-francese del nuovo collegamento ferroviario Torino-Lione.

Una ventilazione aspirante con estrazione dell'aria viziata è stata scelta. La ventilazione consiste in condotti in lamiera zincata – resistente ad una certa sottopressione – muniti di filtri agli imbocchi e alle uscite. Dei ventilatori booster vengono inoltre disposti ad interdistanze scelte in modo da non superare la sottopressione massima ammissibile nei condotti. Questo sistema è adatto sia per lo scavo tradizionale che per lo scavo con fresa.

Il fabbisogno d'aria fresca è determinato in funzione della potenza complessiva dei mezzi Diesel simultaneamente in servizio e della velocità minima dell'aria prescritta in galleria.

La temperatura massima ammissibile per i posti di lavoro viene assicurata tramite un sistema di raffreddamento flessibile ripartito. Vengono disposte delle unità frigorifere con radiatori in vicinanza dei posti di lavoro e delle fonti di calore, che raffreddano direttamente l'aria della galleria. Il calore di scarico di queste macchine è trasmesso ad un circuito d'acqua, raffreddato all'esterno per mezzo di torri di raffreddamento.

La potenza di raffreddamento viene determinata in funzione del calore trasmesso dal massiccio, del calore liberato dai mezzi motorizzati e del calore di idratazione del calcestruzzo.

Le présent document constitue la description du système de ventilation et de refroidissement en phase chantier sur le tronçon italien du Tunnel de Base de la partie commune franco-italienne de la Nouvelle Liaison ferroviaire Lyon-Turin.

Une ventilation aspirante avec extraction séparée de l'air vicié a été choisie. La ventilation se fait avec des tubes en tôle d'acier agrafée en hélice zingué – résistant à une certaine sous pression – munis des filtres à l'entrée et à la sortie. Des ventilateurs booster sont intégrés dans cette conduite à des distances intermédiaires de manière à respecter la sous pression maximale admissible. Ce système de ventilation est adapté aussi bien pour l'avancement traditionnel que mécanisé (tunnelier).

Le besoin en air neuf est déterminé en fonction de la puissance des moteurs Diesel simultanément en service et de la vitesse d'air minimale prescrite en souterrain.

La température maximale admissible pour les ateliers de travail est assurée par un système de refroidissement flexible reparti. Des unités frigorifiques munies de radiateurs sont disposées en proximité des ateliers de travail et des sources de chaleur principales, refroidissant directement l'air du tunnel. La chaleur rejetée est transmise à un circuit d'eau, qui est refroidit à son tour à l'extérieur dans une tour de refroidissement.

La puissance thermique de refroidissement est déterminée en fonction de la chaleur transmise par le massif, de la chaleur dissipée par les équipements motorisés et la chaleur d'hydratation du ciment.

1. Introduzione

1.1 Generalità

Nella presente relazione vengono illustrati i risultati degli studi svolti per lo sviluppo del progetto definitivo del sistema di ventilazione di cantiere necessario per la costruzione:

- Delle gallerie Maddalena 1 e Maddalena 2 ;
- Delle gallerie di connessione 1 e 2 ;
- Dell'area di sicurezza di Clarea ;
- Del Tunnel di Base tra l'area di sicurezza e Susa.

L'APR 2006 a messo in evidenza l'obbligo di realizzare un'estrazione completa dell'aria aspirata al fronte di scavo fino all'esterno, necessaria per garantire l'approvazione del progetto. Di conseguenza, il sistema esposto nel presente rapporto viene dimensionato in modo di rispondere interamente a queste esigenze.

1.2 Modifiche rispetto al Progetto Definitivo Approvato

Rispetto al Progetto Definitivo Approvato, sono modificati gli elementi seguenti:

- Fasaggio di realizzazione: Il Tunnel di Base che nel lato Italia viene interamente scavato dal cantiere di Maddalena;
- Nuove opere: la galleria Maddalena 2 sostituisce la galleria di Val Clarea e viene scavata con la fresa, oggetto di questa relazione per buona parte della tratta.

2. Documenti di riferimento

2.1 Documenti di progetto

- PRV_C3A_6450_33-02-08_30-01 Planimetria di organizzazione in fase di cantiere;
- PRV_C3A_6451_33-02-08_40-01 Sezioni in fase di cantiere;
- PRV_C3A_6452_33-02-08_30-02 Fasaggio di costruzione dell'area di sicurezza di Clarea;
- PRV_C3A_0887_33-02-02_10-03 Relazione illustrativa della logistica per la costruzione delle opere in sotterraneo;
- PRV_C3A_7760_33-02-02_10-06 Relazione descrittiva relativa al fasaggio;
- PRV_C3B_0088_00-06-00_10-01 Relazione di sintesi rischi geologici.

2.2 Normativa

Il quadro normativo di riferimento è trattato nell'allegato 4.1 del Dossier Preliminare della Sicurezza (documento PRF_C1_0003_00-00-00_10-03).

I documenti principali sono i seguenti:

- [1] Decreto del Presidente della Repubblica (DPR) 20 marzo 1956, n. 320, « Norme per la prevenzione degli infortuni e l'igiene del lavoro in sotterraneo »

- [2] Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali, Direzione Regionale del Lavoro del Piemonte, Unité territoriale Savoie de la DIRECCTE Rhône-Alpes « Indirizzi operativi comuni per la costruzione in sicurezza del megatunnel sulla linea ferroviaria Torino-Lione » del 15/02/2010
- [3] Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés, « Mise en œuvre de dispositifs de ventilation mécanique lors des travaux de creusement en souterrains de galeries, de puits, ou de grandes excavations », Recommandation R352 adoptée le 27 juin 1990
- [4] Servizio sanitario regionale Emilia-Romagna, servizio sanitario della Toscana, « Scavo meccanizzato di grande sezione con TBM-EPB in terreni grisutosi » del 28/05/2012
- [5] AFTES (France), « Recommandations Relatives à la Ventilation des Ouvrages Souterrains en Cours de Construction », p. 76-106, Tunnels et ouvrages souterrains – N° 176, mars/avril 2003
- [6] Norma europeo EN 12237, « Ventilation des bâtiments – Réseau de conduits – Résistance et étanchéité des conduites circulaires en tôle », Luglio 2004
- [7] Testo Unico, art 254 *Protezione dai rischi connessi all'esposizione all'amianto*

2.3 Altri documenti

- [8] SIA 196, « Ventilation des chantiers souterrains », 1998

3. Relazione descrittiva

3.1 Approccio Metodologico

Gli aspetti principali considerati nello studio del sistema di ventilazione delle gallerie sono:

- La diluizione degli inquinanti (gas di scarico dei veicoli, gas liberati dagli esplosivi, polveri);
- Il mantenimento di un livello termico idoneo allo svolgimento delle attività previste.

Le principali fonti di calore che saranno incontrate durante le fasi di scavo sono quattro:

- La roccia e le pareti della galleria;
- La fresa a piena sezione;
- I veicoli e apparecchi motorizzati;
- Il calcestruzzo.

L'attuale valutazione delle condizioni fisiche che verranno verosimilmente incontrate durante lo scavo indica che l'aspetto termico diverrà un fattore importante specialmente nelle tratte a forte copertura, dove la temperatura del massiccio prevista potrà superare i 50°C.

3.2 Vincoli e normativa di riferimento

Per la redazione del presente progetto è stato fatto riferimento alla normativa vigente ed in particolare al D.P.R. del 20.3.56 n°320 [1] come pure alle prescrizioni specifiche della Direzione Regionale del Lavoro del Piemonte [2]. Quest'ultimo documento più in particolare fa – in materia di ventilazione – integralmente riferimento alle indicazioni della raccomandazione R352 della CNAM francese [3] e specifica in più una temperatura massima di 25°C misurata con termometro a bulbo umido per i posti di lavoro.

I punti principali da rispettare secondo la raccomandazione R352 sono i seguenti:

- Una ventilazione aspirante con estrazione dell'aria viziata e dei gas tossici liberati dai materiali esplosivi deve essere adottata ove possibile (richiesta dell'APR 2006);
- Il fabbisogno d'aria fresca per ogni CV dei motori Diesel ammonta a 50 l/s;
- La velocità minima dell'aria in galleria è di 0.3 m/s. La raccomandazione francese più recente della AFTES [5] richiede 0.5 m/s. Lo stesso valore è in vigore in Svizzera in presenza di gas naturale [7]. Il dimensionamento viene effettuato per 0.5 m/s.

3.3 Temperatura del massiccio

La temperatura del massiccio è un parametro molto importante di questo studio. Gli studi geotermici e le modellizzazioni del massiccio hanno dimostrato che la sua influenza risulta essere, alla scala della galleria, pari ad alcuni megawatts.

In base alle misure di temperatura effettuate *in situ* è stato elaborato un profilo termico lungo il tracciato del Tunnel di Base illustrato nella figura seguente.

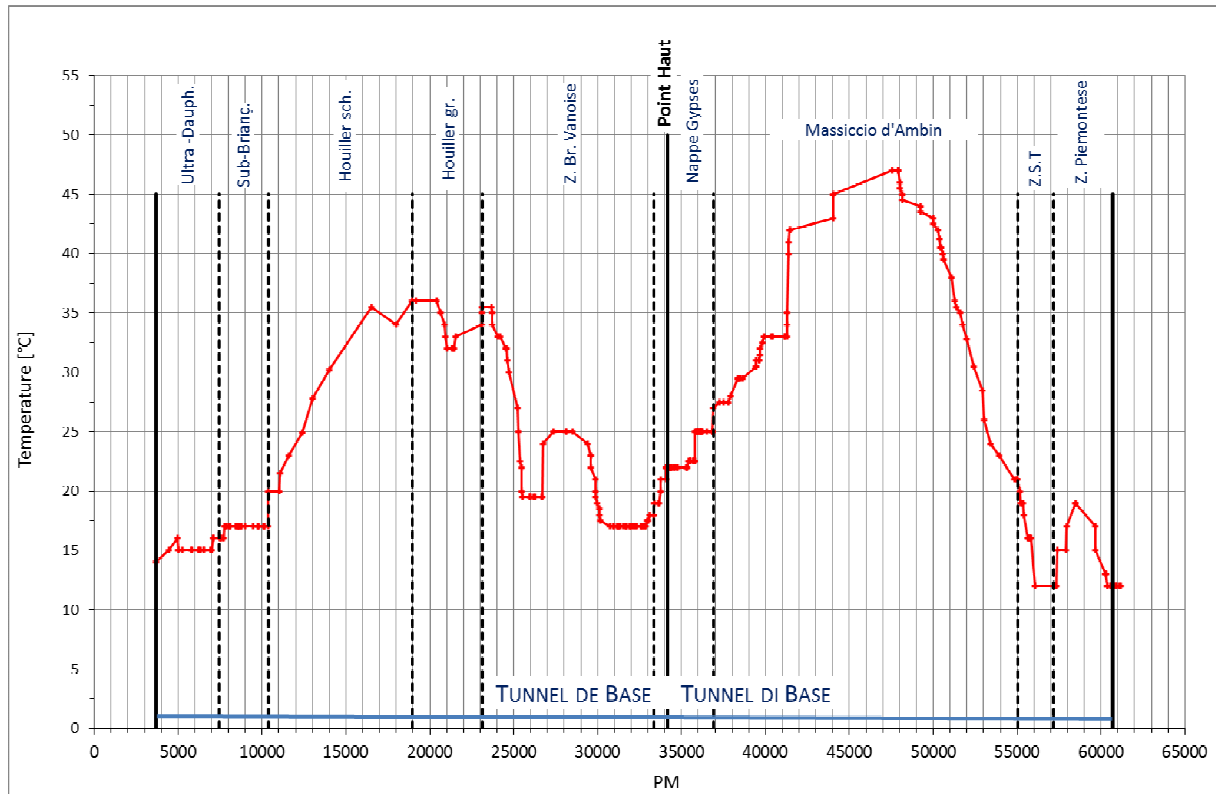


Figura 1 – Profilo termico adottato per il Tunnel di Base

3.4 Geometria

La sezione al fronte di scavo è determinante per il calcolo del flusso d'aria minimo secondo il criterio della velocità minima come pure della quantità aspirata.

La figura seguente indica le sezioni per cui la ventilazione è stata verificata. Le sezioni sono dettagliate nella tavola PRF_C3A_6451_33-02-08_40-01 ed il fasaggio di scavo nella tavola PRF_C3A_6452_33-02-08_30-02.

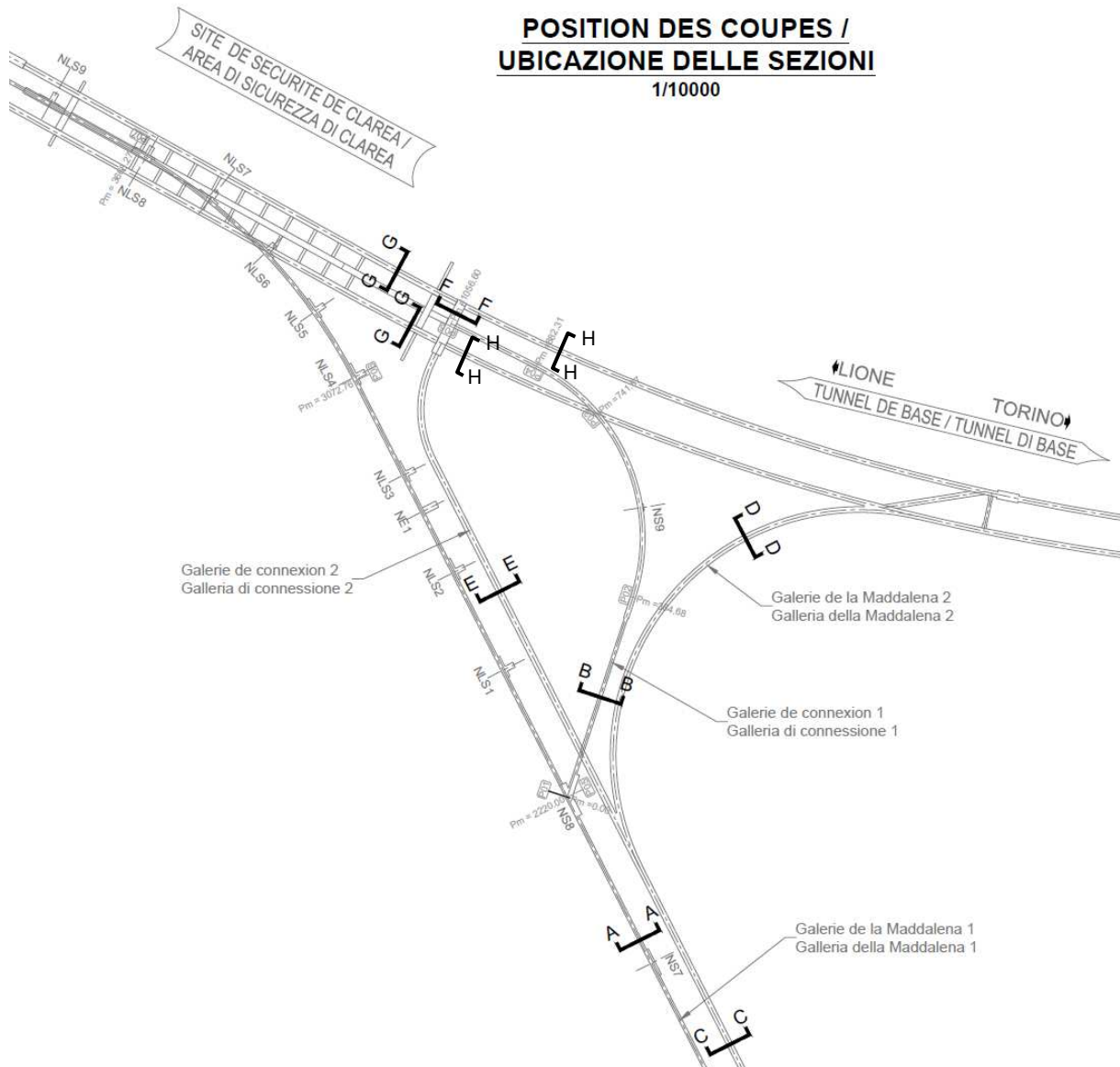


Figura 2 – Ubicazione delle sezioni (estratto PRV-C3A-TS3-6452)

La tabella seguente riassume le caratteristiche delle sezioni:

	Sezioni di scavo	Perimetro	Dettagli gallerie
A-A	26.4 m ²	18 m	Maddalena 1 - Sezione critica
B-B	29.3 m ²	19 m	Connessione 1 - Sezione critica
C-C	77.0 m ²	31 m	Maddalena 2 - Prima tratta
D-D	77.0 m ²	31 m	Maddalena 2 - Seconda tratta e Tunnel di Base scavo con fresa
E-E	85.0 m ²	35 m	Connessione 2
F-F (solo calotta)	141.0 m ²	-	Caverna tecnica
F-F (calotta + stross)	285.0 m ²	64 m	Caverna tecnica
G-G (solo calotta)	78.0 m ²	-	Sezione allargata TdB nell'area di Clarea
G-G (calotta + stross)	145.0 m ²	45 m	Sezione allargata TdB nell'area di Clarea
H-H	78.0 m ²	31 m	Tunnel di Base - Scavo tradizionale

Tabella 1 – Sezioni di scavo e perimetro

4. Ventilazione

4.1 Definizione dei fabbisogni necessari alla ventilazione di cantiere

4.1.1 Velocità d'aria minima al fronte

La prima verifica realizzata per il dimensionamento della ventilazione consiste a garantire una velocità minima al fronte di scavo di 0.5 m/s.

4.1.2 Veicoli Diesel e polveri

Si verifica anche che le quantità d'aria saranno sufficienti per assicurare la necessaria diluizione delle particelle in sospensione. Il tipo di veicoli in circolazione sul cantiere e le polveri sono riassunti nella tabella seguente, sia per lo scavo in tradizionale che con frese.

Per assicurare la diluizione dei gas di scarico, la portata d'aria necessaria per ogni kW di potenza dei motori Diesel è di 4.08 m³/minuto (50 l/s per CV [3]).

Per una minimizzazione ulteriore degli effetti nocivi relativi all'inquinamento dei motori Diesel, potrebbe essere considerato l'uso di catalizzatori ossidanti per la riduzione allo scarico di ossido di carbonio e di idrocarburi incombusti e l'uso di filtri antiparticolato per il contenimento fino al 90% del materiale particellare presente nei fumi di scarico.

Metodo	Cantiere	Attrezzatura	N°	Potenza [kW]	Motore	Potenza [kW]	fattore d'uso	fattore tempo	Fabbisogno d'aria [m³/s]		
									Diesel	Polveri	Max.
Scavo close TBM Tunnel di Base e Maddalena 2	Fresa	Fresa	1		elett.			100%		10	
	Smarino rami	Pala gommata	1	235	Diesel	235	0.7	100%	11.2		
	Smarino rami	Escavatore o martello	1	110	Diesel	110	0.7	100%	5.2		
	CLS proiettato rami	Macchina per CLS	1		elett.			100%		10	
	Finiture o rivestimento	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture o rivestimento	Autopompa	1		elett.			100%			
Totale				425		425	297.5		20.2	20	20.2
Scavo in tradizionale	Smarino	Pala gommata	1	235	Diesel	235	0.7	100%	11.2		
	Smarino	Escavatore o martello	1	110	Diesel	110	0.7	100%	5.2		
	CLS proiettato	Macchina per CLS	1		elett.			100%		10	
	CLS proiettato	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture o rivestimento	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture o rivestimento	Autopompa	1		elett.			100%			
	Trasporto	Autocarro	1	160	Diesel	160	0.7	100%	7.6		
Totale				665		665	466		31.6	10	31.6
Cantiere sott. Clarea	Smarino	Frantumatore	1	135	Diesel	135	0.7	100%	6.4		
Totale				135		135	95		6.4	0	6.4
Trasporto discenderia	Trasporto	Autocarro	3	160	Diesel	480	0.7	100%	22.8		
Totale				160		480	336		22.8	0	22.8

Lo smarino viene evacuato con i nastri trasportatori.

Tabella 2 – Fabbisogno d'aria fresca per veicoli Diesel e polveri

4.2 Concetto generico della ventilazione

La soluzione di ventilazione adeguata secondo il quadro normativo è una ventilazione aspirante con estrazione dell'aria viziata e carica di polveri. Questa soluzione ha i seguenti vantaggi:

- Aspirazione delle polveri al loro luogo d'origine.
- Estrazione dei gas tossici liberati dai materiali esplosivi.
- Mantenimento della velocità dell'aria nel campo di confort per i posti di lavoro, tra 0.5 e 1.5 m/s [5].
- Filtrazione dell'aria viziata possibile prima dell'espulsione nell'ambiente esterno.
- Contrariamente ad una ventilazione con circolazione d'aria tra i due tubi della galleria di base, non c'è nessuna interdipendenza tra i due avanzamenti. La chiusura dei collegamenti laterali non è neppure richiesta dal punto di vista della ventilazione.
- Conformità con [3], [4] e [5].

In confronto, gli svantaggi sono meno pesanti:

- Costi dei condotti resistenti alla sottopressione più elevati in rispetto a condotti in tela plastica di una ventilazione spingente.
- Al fronte di scavo non arriva l'aria al cento percento fresca, ma già parzialmente caricata con i gas di scarico dei mezzi Diesel a valle.

Vincoli di messa in opera dei circuiti di estrazione:

L'aria è ripresa attraverso delle guaine (vedi paragrafi seguenti) ed evacuata via le gallerie di Maddalena 1 e Maddalena 2. Il bisogno totale massimo ammonta a 189 m³/s (senza contare i margini eventuali da considerare per tener conto di fughe dalle guaine ecc.).

	Portata totale
D-D1	38.5 m³/s
D-D2	38.5 m³/s
G-G	72.5 m³/s
H-H	39.0 m³/s
TOTAL	188.5 m³/s

Tabella 3 – Riassunto del fabbisogno totale (secondo dimensionamento della parte 4.4 e Figura 9)

	Fronti in tradizionale		Fronti TBM
	Ventilati da MAD1	Ventilati da MAD2	Ventilati da MAD2
FASE 1	1	0	1
FASE 2	1	0	1
FASE 3	1	1	0
FASE 4	1	1	0
FASE 5	2		1
FASE 6	2		2
FASE 7	2		2
FASE 8	1		2

Tabella 4 – Numero di fronti per la varie fase di costruzione definite nella relazione PRV_C3A_7760)

Siccome viene fatta l'ipotesi del funzionamento di 4 fronti simultaneamente, la configurazione più vincolante in termini di flusso da estrarre è quella dell'avanzamento simultaneo dei due fronti con fresa (D1-D1 e D2-D2) e dei due fronti in tradizionale (G-G e H-H).

In questa configurazione, una parte del flusso proveniente dalle gallerie G-G e H-H può essere estratto dalla galleria di Maddalena 1.

Nella galleria di Maddalena 1 la sezione libera al di fuori dei limiti del gabarit è limitata e permette l'installazione di due guaine di diametro Ø1400 mm. Il flusso massimo che può essere evacuato da tali guaine è dell'ordine di 48 m³/s, che equivale a meno del 30% del bisogno totale.

Nella galleria di Maddalena 2 la tratta più vincolante è quella che si trova tra l'entrata della galleria e la biforcazione al livello del tunnel di base (sezione C-C). In questa tratta si è previsto di installare una soletta intermedia, formando quindi un condotto di una superficie libera di 14 m². Il flusso che deve essere estratto da tale condotto è di minimo 175 m³/s e necessita l'installazione di più ventilatori in parallelo all'estremità dal lato aria aperta.

A parte per il ventilatori del condotto di Maddalena 2, il concetto di ventilazione proposto è basato su ventilatori installati lungo delle guaine che alimentano i diversi fronti.

Dei sistemi di abbattimento polveri installati il più vicino possibile alle fonti di inquinamento permettono un primo trattamento delle polveri.

In questa fase, il sistema di ventilazione è sovradimensionato e presenta dei margini per tener conto di eventuali fughe delle guaine e imprevisti. Questo sovradimensionamento si traduce in:

- Guaine di diametro che permette una velocità di flusso di massimo 10-15 m/s
- Selezione di macchine (e di potenze installate) che superano i bisogni identificati e uniformizzati nei limiti del possibile

Il percorso delle guaine e le loro dimensioni, nonché l'ubicazione, il numero e le caratteristiche delle macchine, dovranno essere ottimizzate in uno stato più avanzato del progetto.

4.2.1 Condotti d'aria viziata

Per realizzare una ventilazione di questo genere, sono richiesti condotti che possono operare a sottopressione per impedire ogni fuga di aria viziata sulla distanza di estrazione.

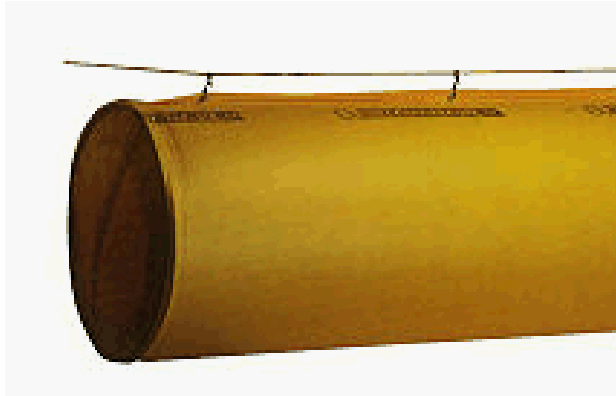


Figura 3 – Condotto in tela plastica



Figura 4 – Condotto con tela plastica con spirali d'acciaio



Figura 5 – Condotto in lamiera spiroidale zincata



Figura 6 – Condotto d'acciaio

- I condotti classici dei cantieri sotterranei usati per l'immissione semplice, di tipo flessibile in tela plastica, non sono adeguati per la loro incapacità di sopportare una sottopressione;
- Potrebbero essere considerati dei condotti sempre in tela plastica ma rinforzati con delle spirali d'acciaio, ma lo svantaggio è una resistenza aerodinamica elevata ($\lambda=0.025$) come pure una permeabilità elevata, tipica per i condotti in tela plastica;
- I condotti in lamiera spiroidale zincata usati soprattutto nella ventilazione industriale rappresentano un'alternativa valida. Questi condotti hanno le seguenti caratteristiche:
 - Disponibili in diametri standardizzati fino a 1600 mm e in diametri superiori per gallerie;
 - Buona resistenza alla sottopressione;
 - Le lunghezze di fornitura standardizzate sono di 3 e di 6 m;
 - Lo spessore ad un diametro di 1600 mm è di 1.2 mm;

- Il fattore di perdita aerodinamico per attrito di ca. $\lambda=0.01$ è basso (un ipotesi cautelativa di un fattore di $\lambda=0.018$ viene fatta nella presente relazione);
 - La permeabilità dei condotti di classe D ammonta a solo $0.001 * p_t^{0.65} / 1000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$;
 - Resistente a temperature elevate e al fuoco per un certo tempo.
- I condotti d'acciaio solido sono in teoria certamente ideali dal punto di vista aerodinamico per la loro impermeabilità, la resistenza a sotto- o sovrappressioni importanti e la resistenza aerodinamica molto bassa, ma non vengono considerati per il loro prezzo eccessivo e la grande difficoltà legata alla loro installazione.

Il condotto in lamiera spiroidale è dunque il tipo scelto nel quadro del presente progetto definitivo.

4.2.2 Layout generico

L'aria fresca viene prelevata dall'esterno e tramite la galleria stessa e circola fino al fronte di scavo. L'aria che arriva così sul fronte di scavo assicura la diluizione delle particelle emesse dai veicoli diesel ed è aspirata al fronte di scavo attraverso i condotti d'estrazione, insieme ad eventuali gas tossici di esplosivo e polveri liberate.

L'installazione di due condotti in parallelo consente di mettere in opera un sistema di ventilazione ridondante e di realizzare un'aspirazione al fronte in modo sfalsato, per esempio al livello della fresa e al livello del calcestruzzo proiettato.

Per l'aspirazione al fronte di scavo deve essere rispettata una distanza uguale a $D=5 * \text{Log}(\text{Sezione})$ [5]. Questa condizione può essere rispettata per esempio utilizzando un imbocco del condotto telescopico sospeso ad una guida lineare.

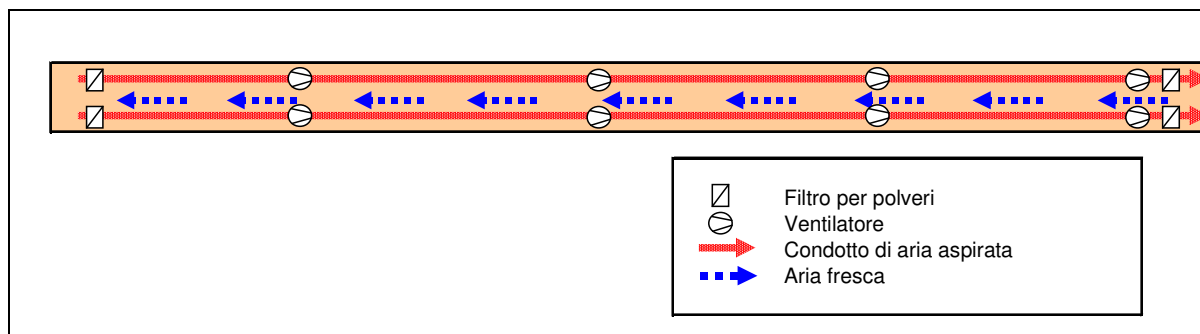


Figura 7 – Concetto generico della ventilazione aspirante con diversi ventilatori booster e filtri per polveri all'inizio e alla fine

Direttamente all'imbocco dei condotti di estrazione al fronte di scavo si trovano filtri per polveri con maglie di media grandezza affinché il carico di particelle dell'aria aspirata sia ridotto. Questa misura è necessaria per impedire un effetto di sedimentazione nei condotti di estrazione, che altrimenti potrebbe essere evitato solo con una velocità dell'aria nei condotti uguale o superiore ad un valore eccessivo dal punto di vista della resistenza aerodinamica (ca. 18-20 m/s).

Un secondo filtro con maglie fini viene installato all'uscita di ogni condotto prima dell'espulsione dell'aria all'esterno. Questa configurazione è anche particolarmente adatta in caso presenza di amianto, sia per la protezione dei lavoratori che dell'ambiente.

Si utilizza un numero adeguato di ventilatori “booster” lungo il condotto di estrazione, in modo che la pressione minima non diventi mai eccessiva.

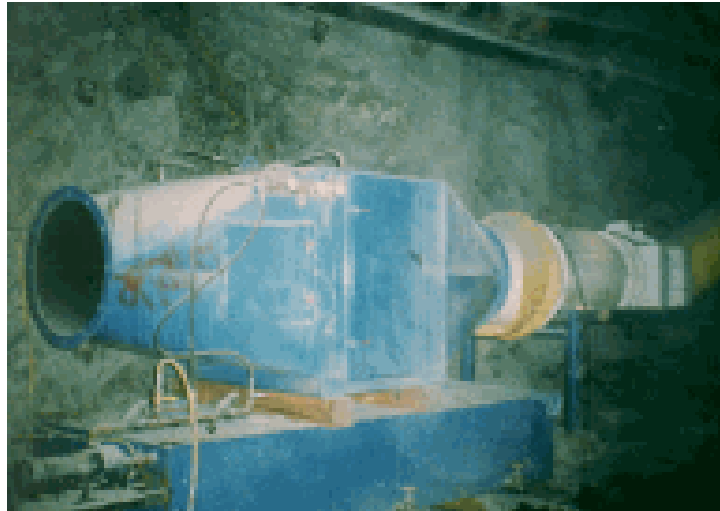


Figura 8 – Esempio di filtro per polveri in galleria (www.schauenburg-us.com)

4.2.3 Fibre di amianto

Le misurazioni della polverizzazione devono essere effettuate regolarmente. Il valore limite di amianto per un'ora di lavoro è di 0.1 filoni/cm³ secondo [5] e [7]. In caso di superamento, il metodo di lavoro deve essere adattato.

In particolare, visto che nella parte est del Tunnel di Base la presenza di amianto è probabile, il sistema di ventilazione deve essere in grado di proteggere adeguatamente sia i lavoratori nella galleria che l'ambiente esterno, in aggiunta alle misure organizzative come le maschere tipo FFP3, lo spruzzo di acqua ecc.

Il sistema di ventilazione descritto nel presente rapporto è interamente adeguato per rispondere a questa esigenza dato che l'aria carica di polveri, e nel caso particolare anche di filoni, viene aspirata al fronte di scavo, passa attraverso un primo filtro all'imbocco del condotto di ventilazione e un secondo filtro con maglie fini all'uscita, prima di essere espulsa nell'ambiente esterno. Il funzionamento dei condotti ad una pressione inferiore alla pressione in galleria (sottopressione) assicura in più che le particelle aspirate non sfuggano di nuovo in galleria attraverso le permeabilità inevitabili dei condotti.

Il materiale del filtro a maglie fini all'uscita deve essere scelto in modo da garantire un rendimento di filtrazione sufficiente in presenza di amianto. Per la manutenzione dei filtri sarà necessaria una procedura adeguata per impedire in tutti i casi una contaminazione del personale. Il filtro deve essere provvisto di un manometro che consenta di determinare quando i filtri devono essere sostituiti. Occorre una sostituzione regolare e sorvegliata dei sacchetti dei filtri con sacchetti puliti.

Il sistema di ventilazione deve funzionare 24 ore su 24 anche nelle pause di lavoro (come comunque è previsto, siccome ci sono tre turni), ed essere supportato da un gruppo elettrogeno di riserva.

Nelle zone dove la concentrazione di polveri risulta elevata, in vicinanza del fronte di scavo, l'installazione degli impianti di nebulizzazione per abbattere le particelle è richiesta (per esempio di tipo Dustex).

Lo smarino deve essere organizzato in modo d'impedire al massimo la sollevazione di polvere.

In presenza di amianto, le misure organizzative seguenti di sicurezza devono essere:

- Messa in funzione degli impianti di filtraggio;
- Indossare le maschere FFP3 in tutti i turni e durante il viaggio;
- Lavaggio quotidiano delle tute;
- Lavare la fresa prima di ogni turno di avanzamento.

4.2.4 Radon

In caso di superamento del valore di Radon di 1000 Bequerel per m³ di aria per un cantiere sotterraneo, il cantiere viene evacuato e non ventilato. Si veda l'analisi dei rischi geologici per maggiori informazioni sul rischio Radon (PRV_C3B_0088).

4.3 Scenario critico

Il sistema di ventilazione è dimensionato per lo scenario di scavo critico seguente:

- 2 fronti di scavo in tradizionale in parallelo nell'area di sicurezza di Clarea (in blu nella figura seguente):
 - Sezione allargata del Tunnel di Base (1 solo binario);
 - Sezione corrente del Tunnel di Base (1 solo binario).
- 2 fronti di scavo con frese (in rosso nella figura seguente).

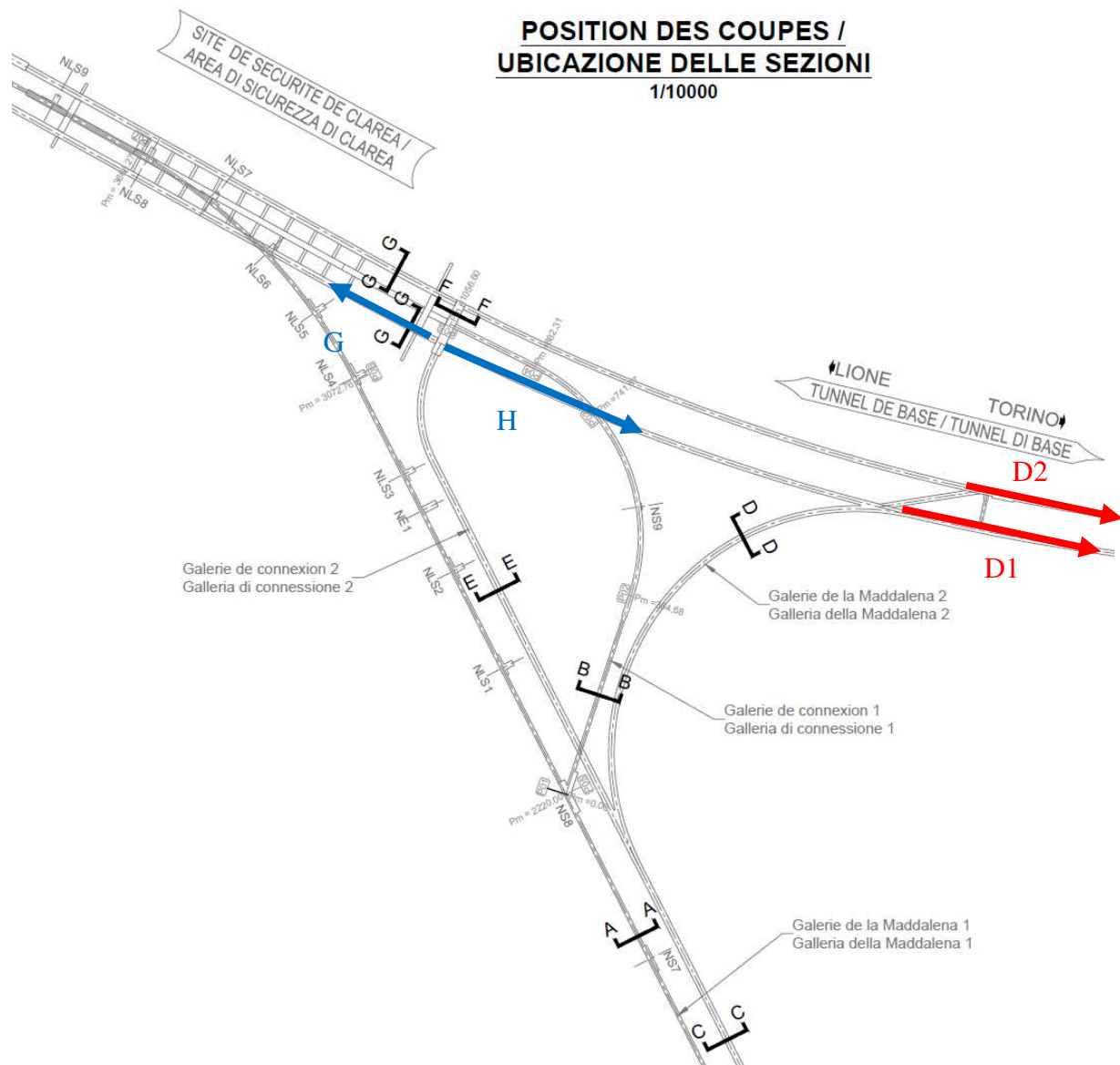


Figura 9 – Scenario critico per la ventilazione

L'approvvigionamento in area viene realizzato:

- Per il fronte di scavo H (della sezione H-H), della galleria di connessione 1 (sezione B-B) e della Maddalena 1 (sezione A-A);
- Per il fronte di scavo G (sezioni G-G), della galleria di connessione 2 (sezione E-E) e della Maddalena 2 (sezione C-C);
- Per i fronti di scavo D1 e D2 (sezioni D-D), della Maddalena 2 (sezioni D-D e C-C).

Siccome la sezione G-G presenta una superficie maggiore rispetto alla sezione H-H, è anche stata verificata la possibilità di scavare in parallelo le due gallerie G-G in linea insieme (sezioni G1-G1 e G2-G2). In questo caso, una parte dell'aria viene estratta dalla galleria Maddalena 1 ed una dalla galleria Maddalena 2.

4.4 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni H-B-A

4.4.1 Verifica della velocità minima d'aria al fronte

Il condotto è rappresentato sulla figura seguente.

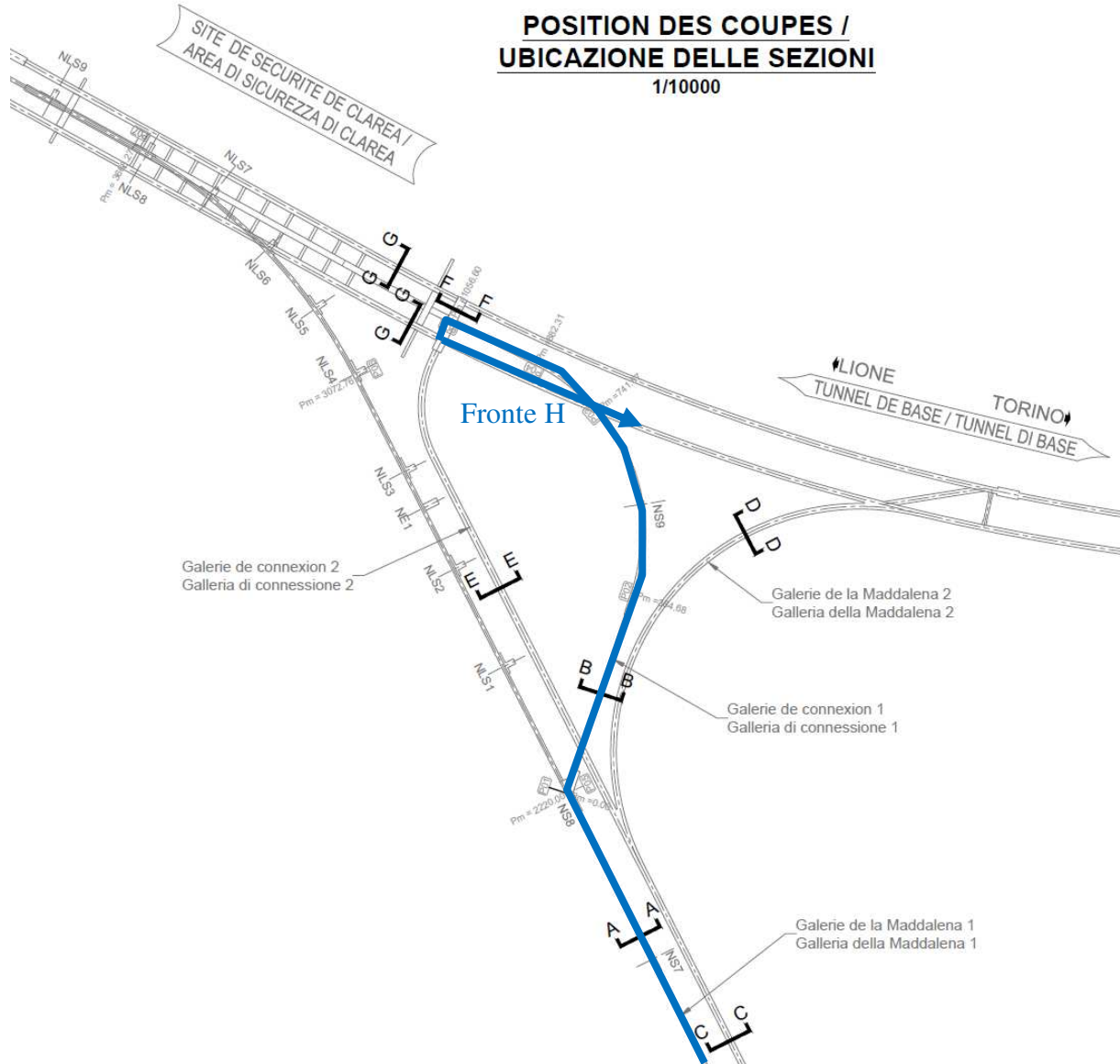


Figura 10 – Condotti di ventilazione H-B-A

Il dimensionamento della ventilazione è realizzato nella tabella seguente.

Canal de ventilation Section H-H			Canal de ventilation Section B-B / A-A (aspiration de H-H)		
Parametri	Valori		Parametri	Valori	
Sezione d'aria	2,0	m ²	Sezione d'aria	1,5	m ²
Perimetro	-	m	Perimetro	-	m
Diametro idraulico	1,60	m	Diametro idraulico	1,40	m
Lunghezza del sistema	1000	m	Lunghezza del sistema	3340	m
Portata d'aria totale	19,5	m ³ /s	Portata d'aria totale	19,5	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-	Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-
Fattore di perdita ζ	3	-	Fattore di perdita ζ	9	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-	Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-	Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	2	-	Numero condotti	2	-
Velocità d'aria	9,70	m/s	Velocità d'aria	12,67	m/s
Densità	1,2	kg/m ³	Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	805	Pa	Variazione pressione per ogni condotto	5006	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	1	u	Numero ventilatori per ogni condotto	3	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	805	Pa	Variazione pressione per ogni ventilatore	1669	Pa
Potenza per ogni ventilatore	22	kW	Potenza per ogni ventilatore	45	kW
Potenza totale di ventilazione	22	kW	Potenza totale di ventilazione	136	kW
Potenza di ventilazione			Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori		Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	110	kW	Potenza unitaria installata	110	kW
Numero ventilatori	2	u	Numero ventilatori	6	u
Potenza totale installata	220	kW	Potenza totale installata	660	kW

Tabella 5 – Dimensionamento delle sezioni (caso per due fronti G e H)

Canal de ventilation Section B-B / A-A (aspiration de G-G)		
Parametri	Valori	
Sezione d'aria	1,5	m ²
Perimetro	-	m
Diametro idraulico	1,40	m
Lunghezza del sistema	3340	m
Portata d'aria totale	24,2	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-
Fattore di perdita ζ	9	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	2	-
Velocità d'aria	15,71	m/s
Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	7689	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	3	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	2563	Pa
Potenza per ogni ventilatore	86	kW
Potenza totale di ventilazione	258	kW
Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	110	kW
Numero ventilatori	6	u
Potenza totale installata	660	kW

Tabella 6 – Dimensionamento delle sezioni nel caso di lo scavo in parallelo delle sezioni G1 e G2

Le tabelle seguenti riassumono il numero e il diametro dei condotti ritenuti, la velocità d'aria sia nei condotti che in galleria e le caratteristiche dei ventilatori booster necessari nei condotti.

	Superficie utile galleria	Lunghezza a condotti	Numero condotti	Diametro condotto	Portata per ogni condotto	Portata totale	Velocità aria nel condotto	Velocità aria in galleria
A-A	26,4 m ²	2 280 m	2	Ø 1 400	24,2 m ³ /s	48,3 m ³ /s	15,7 m/s	1,8 m/s
B-B	29,3 m ²	1 060 m	2	Ø 1 400	24,2 m ³ /s	48,3 m ³ /s	15,7 m/s	1,6 m/s
H-H	78,0 m ²	1 000 m	2	Ø 1 600	19,5 m ³ /s	39,0 m³/s	9,7 m/s	0,5 m/s

Tabella 7 – Condotti velocità d'aria

	Numero ventilatori	Interdistanza	Portata unitaria	Pressione	Potenza unitaria richiesta	Potenza unitaria ritenuta	Potenza totale richiesta	Potenza totale ventilatori
A-A	6	1 113 m	24,2 m ³ /s	1 669 Pa	56 kW	110 kW	336 kW	660 kW
B-B								
H-H	2	1 000 m	19,5 m ³ /s	805 Pa	22 kW	110 kW	44 kW	220 kW

Tabella 8 – Ventilatori

4.4.2 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel

I fabbisogni d'aria per veicoli Diesel e polveri è di 38 m³/s secondo il dettaglio presentato nella parte 4.1.2:

- 31.6 m³/s per 1 fronte di scavo in tradizionale;
- 6.4 m³/s per il frantumatore.

La portata d'aria totale calcolata (39 m³/s) è sufficiente per coprire questi fabbisogni.

4.5 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni G-E

Il condotto è rappresentato sulla figura seguente. Il condotto C viene dimensionato nella parte che segue.

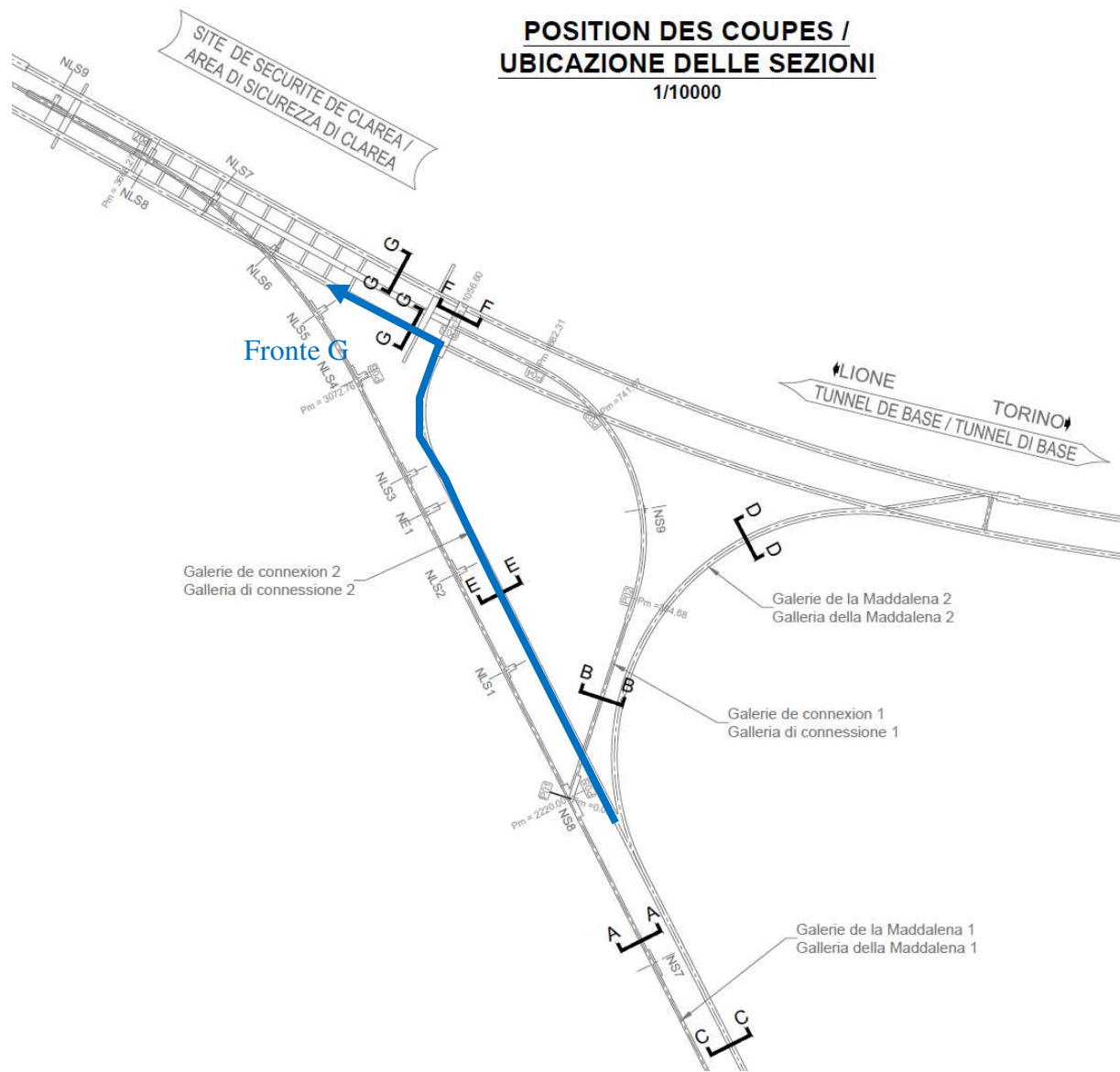


Figura 11 – Condotti di ventilazione H-B-A

Il dimensionamento della ventilazione è realizzato nella tabella seguente.

Canal de ventilation Section G1-G1 (idem pour G2-G2)			Canal de ventilation Section E-E		
Parametri	Valori		Parametri	Valori	
Sezione d'aria	2,0	m ²	Sezione d'aria	2,0	m ²
Perimetro	-	m	Perimetro	-	m
Diametro idraulico	1,60	m	Diametro idraulico	1,60	m
Lunghezza del sistema	900	m	Lunghezza del sistema	1060	m
Portata d'aria totale	24,2	m ³ /s	Portata d'aria totale	24,2	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-	Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-
Fattore di perdita ζ	3	-	Fattore di perdita ζ	3	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-	Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-	Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	3	-	Numero condotti	4	-
Velocità d'aria	12,03	m/s	Velocità d'aria	12,03	m/s
Densità	1,2	kg/m ³	Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	1139	Pa	Variazione pressione per ogni condotto	1295	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	1	u	Numero ventilatori per ogni condotto	1	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	1139	Pa	Variazione pressione per ogni ventilatore	1295	Pa
Potenza per ogni ventilatore	38	kW	Potenza per ogni ventilatore	43	kW
Potenza totale di ventilazione	38	kW	Potenza totale di ventilazione	43	kW
Potenza di ventilazione			Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori		Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	110	kW	Potenza unitaria installata	110	kW
Numero ventilatori	3	u	Numero ventilatori	4	u
Potenza totale installata	330	kW	Potenza totale installata	440	kW

Tabella 9 – Dimensionamento delle sezioni

Le tabelle seguenti riassumono il numero e il diametro dei condotti ritenuti, la velocità d'aria sia nei condotti che in galleria e le caratteristiche dei ventilatori booster necessari nei condotti.

	Superficie utile galleria	Lunghezza a condotti	Numero condotti	Diametro condotto	Portata per ogni condotto	Portata totale	Velocità aria nel condotto	Velocità aria in galleria
E-E	85,0 m ²	1 060 m	4	Ø 1 600	24,2 m ³ /s	96,7 m ³ /s	12,0 m/s	1,1 m/s
G-G1	145,0 m ²	900 m	3	Ø 1 600	24,2 m ³ /s	72,5 m³/s	12,0 m/s	0,5 m/s
G-G2	145,0 m ²	900 m	3	Ø 1 600	24,2 m ³ /s	72,5 m³/s	12,0 m/s	0,5 m/s

Tabella 10 – Condotti velocità d'aria

	Numero ventilatori	Interdistanza	Portata unitaria	Pressione	Potenza unitaria richiesta	Potenza unitaria ritenuta	Potenza totale richiesta	Potenza totale ventilatori
E-E	4	1 060 m	24,2 m ³ /s	1 295 Pa	43 kW	110 kW	174 kW	440 kW
G-G1	3	900 m	24,2 m ³ /s	1 139 Pa	38 kW	110 kW	115 kW	330 kW
G-G2	3	900 m	24,2 m ³ /s	1 139 Pa	38 kW	110 kW	115 kW	330 kW

Tabella 11 – Ventilatori

4.5.1 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel

I fabbisogni d'aria per veicoli Diesel e polveri è di 61 m³/s secondo il dettaglio presentato nella parte 4.1.2 :

- 31.6 m³/s per il fronte di scavo in tradizionale;
- 22.8 m³/s per il trasporto in discenderia.
- 6.4 m³/s per il frantumatore.

La portata d'aria totale calcolata (97 m³/s) è sufficiente per coprire questi fabbisogni.

4.6 Dimensionamento della ventilazione per le sezioni D-C

Il condotto è rappresentato sulla figura seguente.

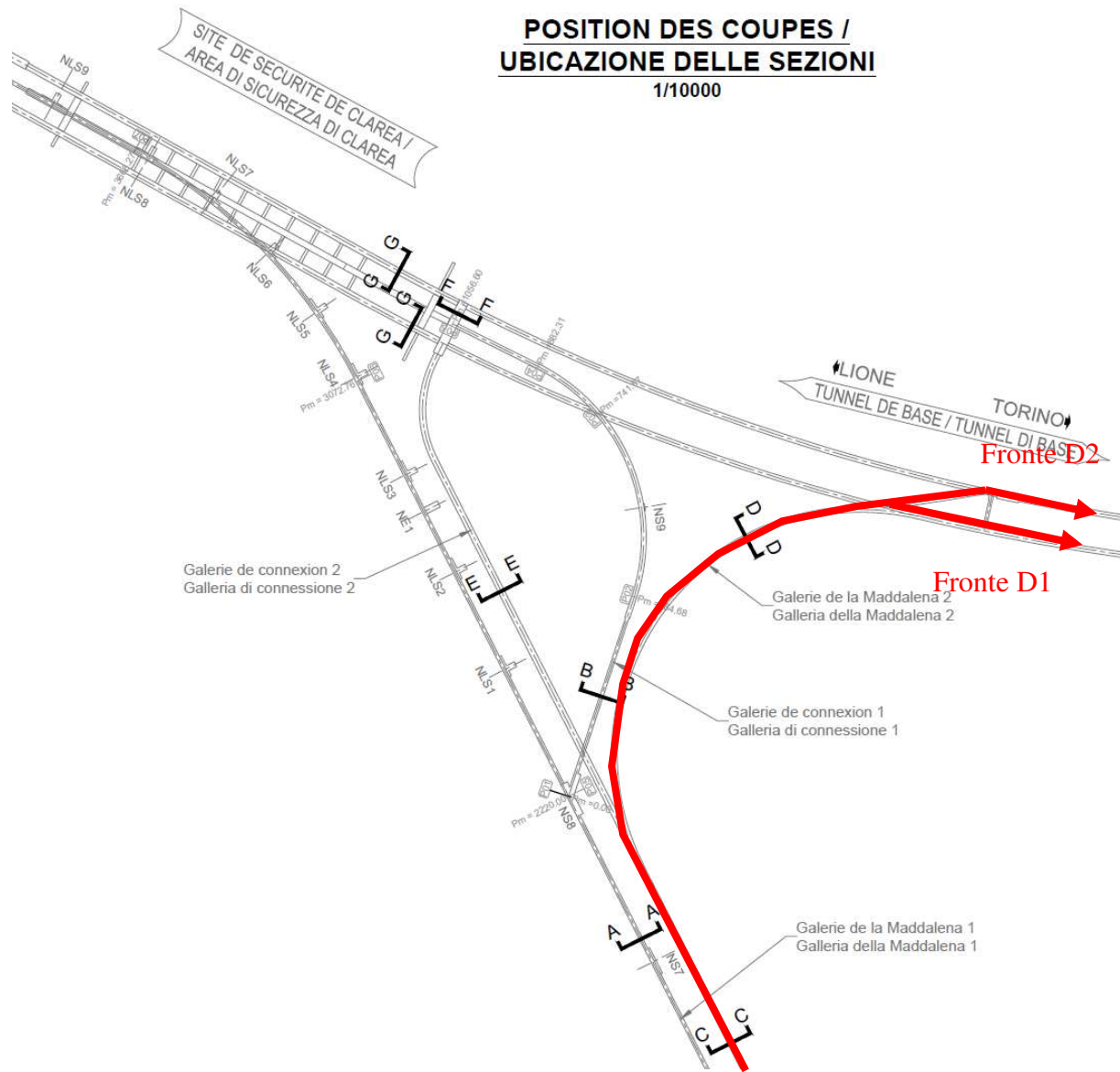


Figura 12 – Condotti di ventilazione H-B-A

Il dimensionamento della ventilazione è realizzato nella tabella seguente.

Canal de ventilation Section D1-D1 (idem pour D2-D2)		
Parametri	Valori	
Sezione d'aria	2,0	m ²
Perimetro	-	m
Diametro idraulico	1,60	m
Lunghezza del sistema	7560	m
Portata d'aria totale	19,3	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-
Fattore di perdita ζ	6	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	2	-
Velocità d'aria	9,58	m/s
Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	5013	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	2	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	2506	Pa
Potenza per ogni ventilatore	67	kW
Potenza totale di ventilazione	134	kW

Canal de ventilation Section D-D		
Parametri	Valori	
Sezione d'aria	2,0	m ²
Perimetro	-	m
Diametro idraulico	1,60	m
Lunghezza del sistema	1030	m
Portata d'aria totale	19,3	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,018	-
Fattore di perdita ζ	3	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	4	-
Velocità d'aria	9,58	m/s
Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	803	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	1	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	803	Pa
Potenza per ogni ventilatore	21	kW
Potenza totale di ventilazione	21	kW

Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	110	kW
Numero ventilatori	4	u
Potenza totale installata	440	kW

Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	110	kW
Numero ventilatori	4	u
Potenza totale installata	440	kW

Canal de ventilation Section C-C		
Parametri	Valori	
Sezione d'aria	14,0	m ²
Perimetro	16,2	m
Diametro idraulico	3,46	m
Lunghezza del sistema	2035	m
Portata d'aria totale	173,7	m ³ /s
Fattore di perdita per attrito λ	0,02	-
Fattore di perdita ζ	3	-
Efficienza ventilatore (η_v)	0,8	-
Efficienza motore (η_m)	0,9	-
Numero condotti	1	-
Velocità d'aria	12,40	m/s
Densità	1,2	kg/m ³
Variazione pressione per ogni condotto	1364	Pa
Numero ventilatori per ogni condotto	6	u
Variazione pressione per ogni ventilatore	1364	Pa
Potenza per ogni ventilatore	55	kW
Potenza totale di ventilazione	329	kW

Potenza di ventilazione		
Parametri	Valori	
Potenza unitaria installata	220	kW
Numero ventilatori	6	u
Potenza totale installata	1320	kW

Tabella 12 – Dimensionamento delle sezioni

Le tabelle seguenti riassumono il numero e il diametro dei condotti ritenuti, la velocità d'aria sia nei condotti che in galleria e le caratteristiche dei ventilatori booster necessari nei condotti.

	Superficie utile galleria	Lunghezza a condotti	Numero condotti	Diametro condotto	Portata per ogni condotto	Portata totale	Velocità aria nel condotto	Velocità aria in galleria
C-C	63,0 m ²	2 035 m	1	14,0 m²	173,7 m ³ /s	173,7 m ³ /s	12,4 m/s	2,8 m/s
D-D	77,0 m ²	1 030 m	4	Ø 1 600	19,3 m ³ /s	77,0 m ³ /s	9,6 m/s	1,0 m/s
D-D1	77,0 m ²	7 560 m	2	Ø 1 600	19,3 m ³ /s	38,5 m³/s	9,6 m/s	0,5 m/s
D-D2	77,0 m ²	7 560 m	2	Ø 1 600	19,3 m ³ /s	38,5 m³/s	9,6 m/s	0,5 m/s

Tabella 13 – Condotti velocità d'aria

Le velocità d'aria nelle gallerie Maddalena 1 e 2 sono teoriche. La ripartizione delle portate d'aria fresca entrante potranno essere, se necessario, regolate con un apposito dispositivo installato nella sezione corrente.

	Numero ventilatori	Interdistanza	Portata unitaria	Pressione	Potenza unitaria richiesta	Potenza unitaria ritenuta	Potenza totale richiesta	Potenza totale ventilatori
C-C	6	-	28,9 m ³ /s	1 364 Pa	55 kW	220 kW	329 kW	1 320 kW
D-D	4	1 030 m	19,3 m ³ /s	803 Pa	21 kW	110 kW	86 kW	440 kW
D-D1	4	3 780 m	19,3 m ³ /s	2 506 Pa	67 kW	110 kW	268 kW	440 kW
D-D2	4	3 780 m	19,3 m ³ /s	2 506 Pa	67 kW	110 kW	268 kW	440 kW

Tabella 14 – Ventilatori

I ventilatori situati all'entrata del condotto della galleria Maddalena 2 sono stati sovradimensionati per disporre di una riserva sulla portata.

4.6.1 Verifica dei fabbisogni d'aria con veicoli Diesel

I fabbisogni d'aria per veicoli Diesel e polveri è di 63 m³/s secondo il dettaglio presentato nella parte 4.1.2 :

- 20.2 m³/s per ogni fronte di scavo con fresa;
- 22.8 m³/s per il trasporto in discenderia.

La portata d'aria totale calcolata (77 m³/s) è sufficiente per coprire questi fabbisogni.

5. Raffreddamento

5.1 Definizione della Potenza Richiesta per il Raffreddamento di Cantiere

5.1.1 Calore della roccia

La temperatura della roccia lungo il tracciato della galleria è rappresentata nel §3.3 e arriva fino a ca. 48°C. La temperatura media ritenuta per il calcolo lato italiano è di 31°C.

Il calcolo del calore trasmesso dalla roccia all'aria è basato sui calcoli dell'APR2006 in cui il calore risultante era 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 dell'aria desiderata;
- L' "età" della galleria, funzione della velocità e della lunghezza d'avanzamento.

Le proprietà fisiche medie della roccia considerate erano:

- Capacità termica: 900 J/(kg K)
- Conduttività: 2.3 W/(m K)
- Densità: 2600 kg/m³

Per tener conto di un certo afflusso d'acqua calda attraverso la roccia, una conduttività effettiva tre volte più elevata di 6.9 W/(m K) veniva applicata nei calcoli transienti di scambio di calore.

Il valore totale ottenuto per le varie gallerie scavate nel lato italiano è di 1.35 MW.

5.1.2 Calore dissipato delle macchine motrici

Nel caso di scavo con fresa (TBM), quest'ultima rappresenta una sorgente di calore molto importante (vedi figura seguente). Come indicato nell'APR 2006, ca. 60% della potenza assorbita serve per il distacco dei pezzi di roccia, riscaldandoli 40°C al di sopra della temperatura della roccia. Il 40% rimanente proviene dalle altre componenti della fresa. Queste perdite si sviluppano nei motori e nel sistema idraulico o rispettivamente nell'azionamento controllato a frequenza.

L'utilizzo temporale tipico di una fresa per lo scavo oscilla tra 30% e 50%. Il tempo rimanente serve tra l'altro per il suo spostamento, per l'approvvigionamento del materiale necessario e per la manutenzione. Tenendo conto di questi periodi di inattività, il raffreddamento richiesto per ogni fresa può essere adattato alla potenza della fresa ridotta del 50%. Il raffreddamento viene quindi piuttosto dimensionato per la potenza media invece che per la potenza istantanea. Questo modo di procedere è giustificato in ragione dell'accumulazione temporale del calore dissipato nella roccia, che viene solo poco a poco trasmesso all'aria della galleria.

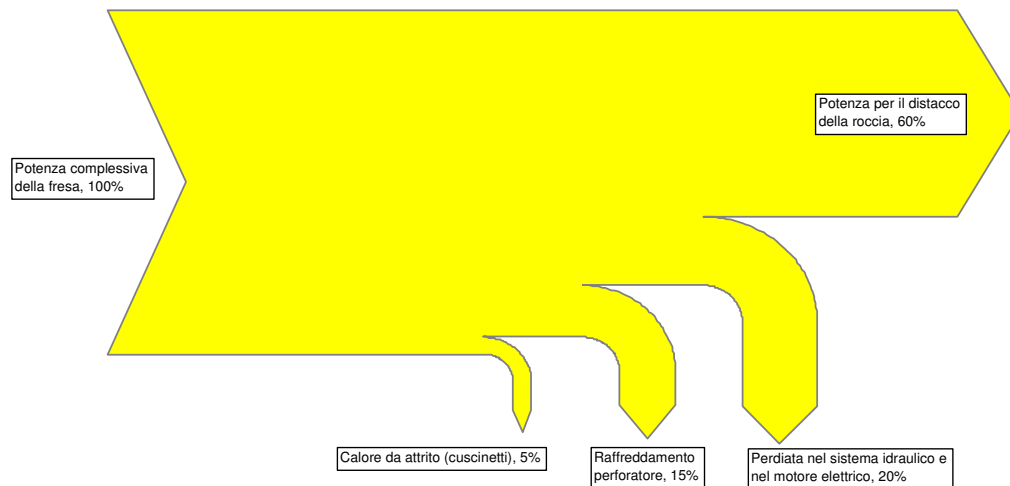


Figura 13 – Bilancio energetico della fresa

Il calore dissipato dalle altre attrezzature è più contenuto. Per i mezzi a motore Diesel valgono i valori di potenza meccanica elencati nel §4.1.2, che devono tuttavia essere corretti con loro rendimento di ca. 30% per ottenere la potenza termica complessiva effettivamente dissipata.

5.1.3 Calore di idratazione del calcestruzzo

Quando il calcestruzzo fa presa si libera il calore di idratazione. Nel calcolo del raffreddamento viene considerata una frazione di cemento di 400 kg per m³ calcestruzzo. Ogni kg di cemento libera 380 kJ di calore.

Ogni m³ di calcestruzzo al giorno libera una potenza di 1.76 kW di calore.

5.1.4 Calore dissipato dei ventilatori e del sistema di estrazione polveri

E stata ritenuta una potenza aggiuntiva di circa 100 kW per ogni ventilatore per tenere conto di un impianto di estrazione delle polveri di capacità 10 m³/s. Di conseguenza, un a potenza totale di 2.6 MW viene presa in conto nei calcoli di raffreddamento per una portata totale di circa 260 m³/s.

5.1.5 Calore liberato durante lo smarino

La temperatura del materiale di scavo è di ca. 40°C superiore alla temperatura della roccia. Esso si raffredda parzialmente durante il disgrego e lo smarino. Come ipotesi conservativa viene considerato un raffreddamento fino alla temperatura dell'aria della galleria.

5.2 Condizioni ambientali

Il seguente stato dell'aria prelevata dall'esterno è considerato:

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

Con queste condizioni l'effetto di raffreddamento dovuto alla ventilazione pura è marginale (per 50 m³/s, la potenza termica di raffreddamento ammonta solo a 250 kW). Si tratta dunque di un'ipotesi conservativa per il dimensionamento del sistema di raffreddamento.

5.3 Concetto generico del raffreddamento

Il raffreddamento deve garantire una temperatura massima di 25°C in corrispondenza dei posti di lavoro in galleria, come richiesto in [2].

Per la climatizzazione è previsto un sistema flessibile con macchine frigorifere e radiatori distribuiti in galleria in zone ove un raffreddamento è necessario (vedi figura seguente). Il sistema di raffreddamento deve essere adeguato in modo continuo all'avanzamento dello scavo.

Queste macchine sono disponibili con una potenza frigorifera compresa fra ca. 150 e 400 kW. Per il presente progetto vengono considerati apparecchi con una potenza relativamente elevata con le seguenti caratteristiche:

- Potenza frigorifera unitaria 300 kW
- Fattore di rendimento 4
- Potenza elettrica 75 kW
- Temperatura d'entrata dell'acqua (condensatore) 25°C
- Temperatura d'uscita dell'acqua (condensatore) 35°C
- Portata d'acqua di raffreddamento 9 l/s
- Dimensioni complessive ventilatore/evaporatore ca. 7.0 x 1.0 x 1.0 m
- Dimensioni complessive unità frigorifera ca. 3.5 x 1.0 x 1.0 m

Le macchine sono munite di un gruppo frigorifero a liquido refrigerante che raffredda un circuito d'acqua nell'evaporatore. Quest'acqua fredda alimenta da parte sua il radiatore munito di un ventilatore per raffreddare l'aria della galleria. Il calore prodotto dal gruppo frigorifero viene trasmesso nel condensatore ad un circuito d'acqua di raffreddamento esterno con una temperatura d'entrata di ca. 25°C ed una temperatura d'uscita di ca. 35°C. Questo circuito d'acqua viene raffreddato fuori della galleria in una torre di raffreddamento.

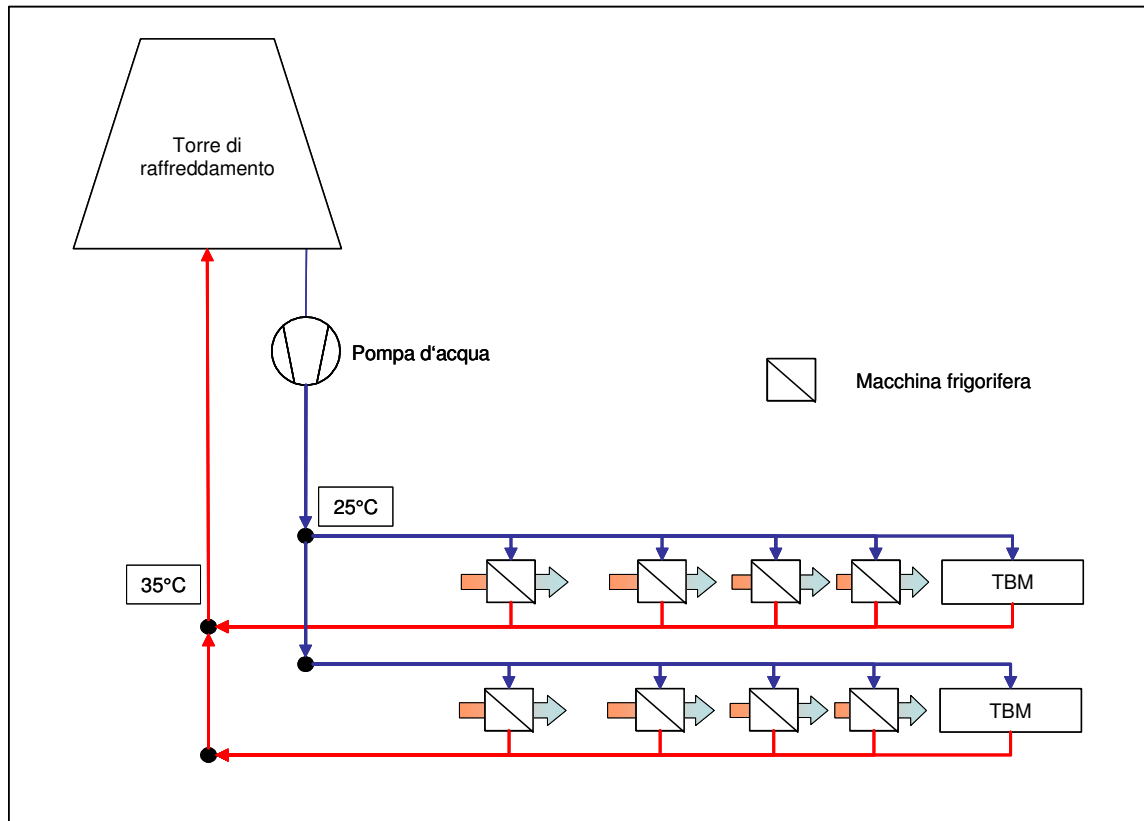


Figura 14 – Concetto di raffreddamento

Le dimensioni limitate delle unità permettono di installarle direttamente in galleria o nelle nicchie previste ca. ogni 400m in discenderia e ogni 333m nel Tunnel di Base e nel Tunnel di Interconnessione. Per compensare il calore importante liberato da una fresa, un numero adeguato di macchine frigorifere viene installato direttamente sul suo back-up.

Le torri di raffreddamento richieste all'esterno sono disponibili sul mercato in dimensioni standardizzate. Vengono considerate delle torri di tipo evaporativo. Il loro dimensionamento dipende dalla potenza da dissipare, dalla temperatura dell'acqua d'entrata e d'uscita come pure dalla temperatura ambiente a bulbo umido.

Quest'ultima non supera i 20-22°C durante 95% del tempo nella regione del progetto, dunque una temperatura d'acqua dopo il raffreddamento di ca. 25°C può essere ottenuta. Una torre con una potenza di raffreddamento di ca. 5 MW per 420 m³/ora di acqua ed i parametri elencati sopra consuma ca. 55 kW per il suo ventilatore e misura ca. 6 x 6 m. Il flusso d'acqua evaporata nella torre ammonta a ca. 8 m³/ora. Il fabbisogno effettivo d'acqua fresca è invece più elevato per impedire una concentrazione eccessiva di sali e minerali che causerebbero problemi di corrosione e depositi. Questa quantità dipende della configurazione della torre di raffreddamento scelta.

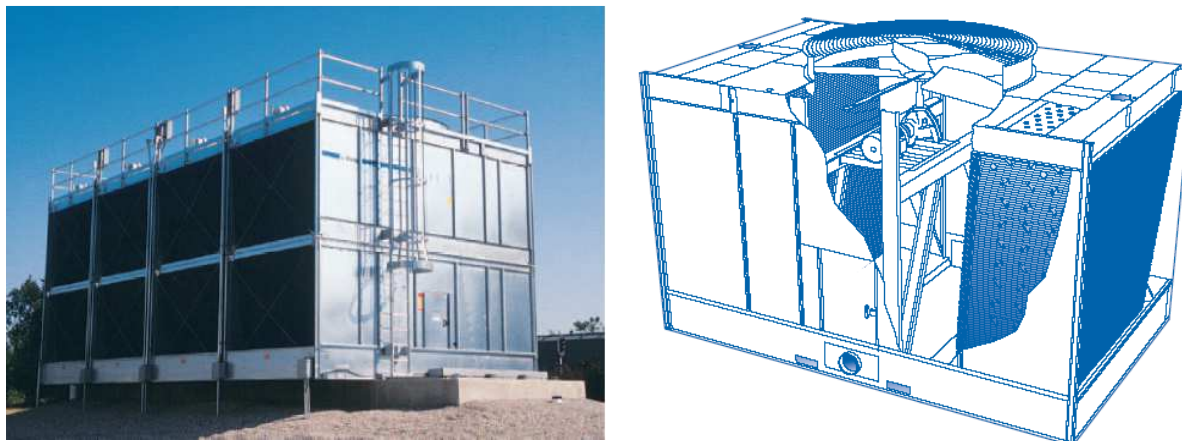


Figura 15 – Esempi di torri di raffreddamento evaporative (www.marleyct.com)

5.4 Dimensionamento

La tabella seguente presenta il dimensionamento del sistema di raffreddamento e tiene conto di tutte le gallerie scavate da Maddalena.

Raffreddamento		
Parametri	Valori	
Conduktività	6,90	W/(m.K)
Temperatura della roccia	31,00	°C
Temperatura in galleria	25,00	°C
Lunghezza galleria	32,55	km
Calore trasmesso dalla roccia	1,35	MW
Potenza meccanica veicoli	2254	kWmeca
Rendimento	0,30	-
Calore dissipato dai veicoli	5,3	MW
Volumi calcestruzzo	1000	m3/giorno
Calore dissipato dal calcestruzzo	1,8	MW
Potenza delle frese	9,00	MW
Fattore potenza	0,80	-
Fattore tempo	0,50	-
Calore dissipato dalle frese	3,60	MW
Potenza ventilatori	5,20	MW
Rendimento	0,80	-
Calore dissipato dai ventilatori	4,16	MW
Potenza sistema evacuazione polveri	2,60	MW
Rendimento	0,80	-
Calore dissipato dal sistema	2,08	MW
TOTALE POTENZA RAFFRDDAMENTO	18,22	MW

Potenza di raffreddamento		
Parametri	Valori	
Potenza unitaria macchine frigorifera	300	kW
Numero macchine	61	-

Consumo sistema		
Parametri	Valori	
Consumo macchine frigorifera	4,6	MW
Potenza torre di raffreddamento	259	kW
Totale	4,8	MW

Tabella 15 – Dimensionamento sistema di raffreddamento

Il sistema corrispondente genera una quantità d'acqua evaporata di circa 40 m3/ora.

6. Riassunto dei mezzi richiesti

La quantità di attrezzatura richiesta per la ventilazione e il raffreddamento dei cantieri serviti dal lato italiano è riassunta nelle tabelle seguenti.

Sono necessari ca. 58 km di condotti in lamiera zincata, 41 ventilatori (da 110 a 220 kW) come pure 61 unità di raffreddamento. Il consumo massimo di elettricità ammonta a 5.2 MW per i ventilatori, a 2.6 MW per evacuazione polveri, a 4.6 MW per le macchine frigorifere e a 0.3 MW per il raffreddamento, complessivamente dunque a 12.7 MW.

	N° tubi	Tipo di condotto	Ventilazione						
			Valori per un tubo				Valori totali		
			N° condotti	Lunghezza del condotto (m)	N° ventilatori booster	Potenza dei ventilatori (kW)	Lunghezza del condotto (km)	N° ventilatori booster	Potenza elettrica (MW)
Tunnel di Base (scavo con fresa)	2	Lamiera spiroidale zincata	2	7 560	2	110	30,2	8	0,88
Tunnel di Base (scavo tradizionale)	2	Lamiera spiroidale zincata	2	1 000	1	110	4,0	4	0,44
Area di sicurezza di Clarea	3	Lamiera spiroidale zincata	3	900	1	110	8,1	9	0,99
Maddalena 2	1	Soletta in calotta	1	2 035	6	220	-	6	1,32
Maddalena 2	1	Lamiera spiroidale zincata	4	1 030	1	110	4,1	4	0,44
Connessione 2	1	Lamiera spiroidale zincata	4	1 060	1	110	4,2	4	0,44
Maddalena 1/Connessione 1	1	Lamiera spiroidale zincata	2	3 340	3	110	6,7	6	0,66
TOTALE							57,4	41	5,17

Tabella 16 – Indicazione delle quantità per la ventilazione delle gallerie scavate dal lato italiano

	Raffreddamento		
	Valori totali		
	N° macchine frigorifere da 300 kW	Potenza elettrica per macchine frigorifere (MW)	Acqua evaporata (m3/ora)
Tunnel di Base	61	4,6	40
TOTALE	61	4,6	40

Tabella 17 – Indicazione delle quantità per il raffreddamento delle gallerie scavate dal lato italiano