

LIAISON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

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

REVISION DE L'AVANT-PROJET DE REFERENCE – REVISIONE DEL PROGETTO DEFINITIVO CUP C11J05000030001

GENIE CIVIL – OPERE CIVILI

CONSTRUCTION – COSTRUZIONE

METHODES CONSTRUCTIVES EN SOUTERRAIN – 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	Vérfié 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

ODE DOC	P	D	2	C	3	A	T	S	3	0	8	8	6	A
	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
-


Tecnimont
Civil Construction
Dott. Ing. Aldo Mancarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 0271/R




LYON TURIN FERROVIAIRE

LTF sas – 1091 Avenue de la Boisse – BP 80631 – F-73006 CHAMBERY CEDEX (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 LTF Tous droits réservés – Proprietà LTF 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 all' APR 2006.....	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	6
3.3 Temperatura del massiccio	7
3.4 Vincoli geometrici	8
3.4.1 Tunnel di Base e di Interconnessione	8
3.4.2 Galleria di La Maddalena.....	8
3.4.3 Area di sicurezza di Clarea	8
3.4.4 Galleria di ventilazione di Val Clarea.....	8
4. ASPETTI GENERALI DELLA VENTILAZIONE.....	10
4.1 Definizione dei fabbisogni necessari alla ventilazione di cantiere.....	10
4.2 Concetto generico della ventilazione.....	11
4.2.1 Condotti d'aria viziata.....	12
4.2.2 Layout generico	14
4.2.3 Amianto.....	15
4.2.4 Radon	16
5. ASPETTI GENERALI DEL RAFFREDDAMENTO	16
5.1 Definizione della Potenza Richiesta per il Raffreddamento di Cantiere	16
5.1.1 Calore della roccia	16
5.1.2 Calore dissipato delle macchine motrici	17
5.1.3 Calore di idratazione del calcestruzzo	18
5.1.4 Calore liberato durante lo smarino.....	18
5.2 Condizioni ambientali.....	18
5.3 Concetto generico del raffreddamento.....	19
6. DIMENSIONAMENTO.....	22
6.1 Portale est del Tunnel di Base	22
6.1.1 Scavo con fresa	22
6.1.2 Scavo in tradizionale.....	23
6.2 Galleria di La Maddalena, area di sicurezza di Clarea e galleria di Val Clarea	24
6.3 Portale ovest del Tunnel di Interconnessione	26
7. RIASSUNTO DEI MEZZI RICHIESTI	28

INDICE DELLE FIGURE / LISTE DES FIGURES

Figura 1 – Profilo termico adottato per il Tunnel di Base.....	7
Figura 2 – Condotto in tela plastica	13
Figura 3 – Condotto con tela plástica con spirali d'acciaio	13
Figura 4 – Condotto in lamiera spiroidale zincata	13
<i>Figura 5</i> – <i>Condotto d'acciaio</i>	13
Figura 6 – Concetto generico della ventilazione aspirante con diversi ventilatori booster e filtri per polveri all'inizio e alla fine	14
Figura 7 – Esempio di filtro per polveri in galleria (www.schauenburg-us.com)	15
Figura 8 – Bilancio energetico della fresa.....	18
Figura 9 – Concetto di raffreddamento	20
Figura 10 – Esempi di torri di raffreddamento evaporative (www.marleyct.com).....	21
Figura 11 – Schema della ventilazione del Tunnel di base scavato dal portale est	22
Figura 12 – Schema della ventilazione dell'area di sicurezza di Clarea.....	24
Figura 13 – Schema della ventilazione del Tunnel di Interconnessione scavato dal portale ovest	26

INDICE DELLE TABELLE / LISTE DES TABLEAUX

Tabella 1 – Fabbisogno d'aria fresca	11
Tabella 2 – Indicazione delle quantità per la ventilazione delle gallerie scavate dal lato italiano.....	29
Tabella 3 – Indicazione delle quantità per il raffreddamento delle gallerie scavate dal lato italiano.....	29

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 e risponde alle esigenze normative in vigore.

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 e risponde ugualmente alle richieste elevate in presenza di amianto.

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 et répond aux exigences réglementaires en vigueur.

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) et est également adéquat en présence d'amiante.

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 reparté. 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:

- Del Tunnel di Base dal portale est;
- Della galleria di ventilazione di Val Clarea e dell'area di sicurezza di Clarea tramite la galleria geognostica di La Maddalena;
- Del Tunnel di Interconnessione dal portale ovest.

L'APR 2006 ha 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 all'APR 2006

Rispetto all'APR 2006, sono modificati o aggiunti gli elementi seguenti :

- Tracciato del Tunnel di Base e lunghezza di scavo dal portale est;
- Tracciato e lunghezza della galleria geognostica di La Maddalena e numero di fronti di scavo al piede della discenderia;
- Tunnel di Interconnessione.

2. Documenti di riferimento

2.1 Documenti di progetto

- PD2-C3A-TS3-6361 "Sezione del Tunnel di Base in fase di costruzione";
- PD2-C3A-TS3-6450 "Planimetria di organizzazione in fase di cantiere";
- PD2-C3A-TS3-6451 "Sezioni in fase di costruzione";
- PD2-C3A-TS3-6452 "Fasaggio di costruzione dell'area di sicurezza di Clarea".

2.2 Normativa

Il quadro normativo di riferimento è trattato all'interno del documento PD2-C30-TSE3-1113 "Consegna 44 - Norme Tecniche – Quadro normativo". 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

2.3 Altri documenti

- [7] 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]. Quando possibile, 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.

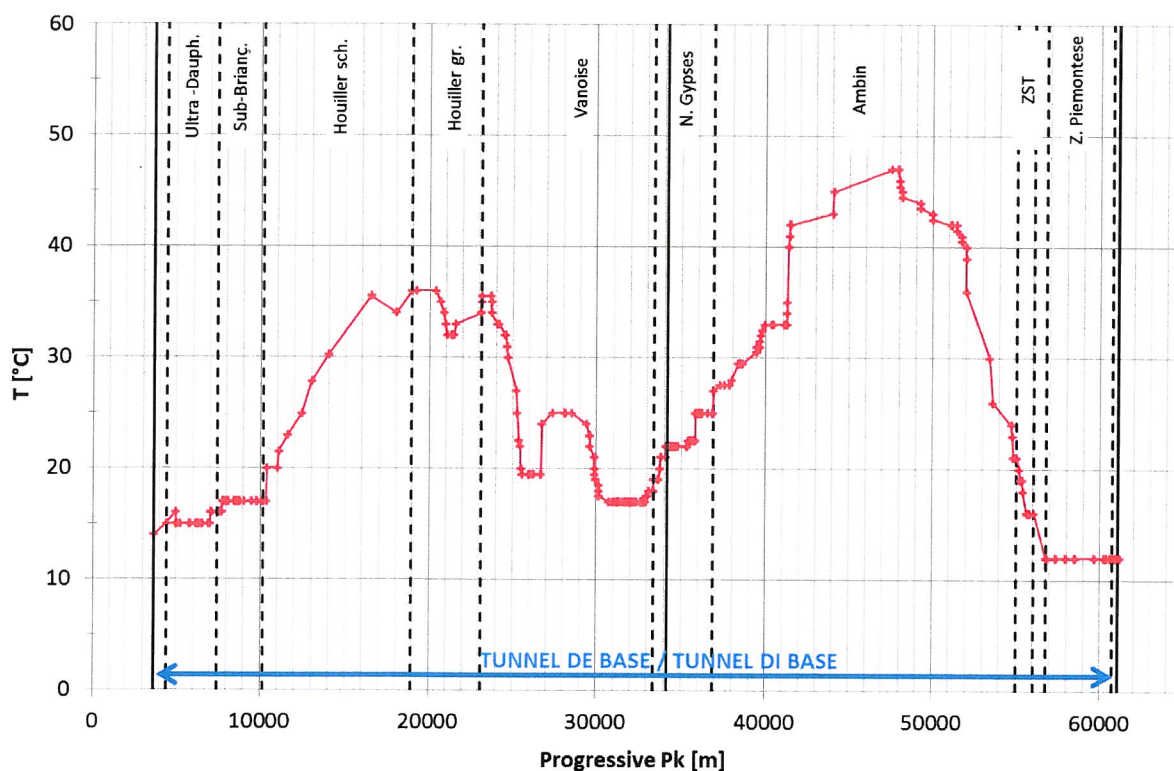


Figura 1 – Profilo termico adottato per il Tunnel di Base

3.4 Vincoli geometrici

3.4.1 Tunnel di Base e di Interconnessione

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.

Le sezioni ridotte a valle dello scavo dovute al sostegno primario e alle finiture cambiano le condizioni aerodinamiche, la perdita per attrito e lo scambio di calore con la parete.

Nel caso dello scavo del Tunnel di Base, la sezione più piccola è ubicata nelle tratte scavate in tradizionale.

Scavo in tradizionale (vale anche con la fresa per il Tunnel di Base)

Fronte di scavo

Sezione: ca. 67.50 m²

Sostegno primario

Diametro: ca. 8.7 m

Sezione: ca. 59.00 m²

Finiture

Diametro: 8.7 m

Sezione: 48.50 m²

3.4.2 Galleria di La Maddalena

Sostegno primario

Diametro: 5.80 m

Sezione: 26.60 m²

Sostegno di prima fase con soletta intermedia provvisoria

Sezione: 17.50 m²

3.4.3 Area di sicurezza di Clarea

Scavo: in tradizionale

Fronte di scavo

Diametro idraulico: 8.50 m

Sezione: 71.80 m²

3.4.4 Galleria di ventilazione di Val Clarea

Scavo: in tradizionale

Fronte di scavo

Diametro idraulico: 7.60 m

Sezione: 79.80 m²

Sostegno primario

Diametro idraulico:

7.95 m

Sezione:

56.80 m²

4. Aspetti generali della ventilazione

4.1 Definizione dei fabbisogni necessari alla ventilazione di cantiere

Il tipo di veicoli in circolazione sul cantiere è riassunto 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]). In base alle potenze impegnate sarà quindi necessario, per alimentare la circolazione d'aria lungo la galleria, fornire una portata di:

- 62.3 m³/s per lo scavo in tradizionale nel Tunnel di Base (con realizzazione dei rami). Vale anche per il Tunnel dell'Interconnessione;
- 31.9 m³/s per lo scavo con fresa scudata;
- 47.1 m³/s per lo scavo in tradizionale della galleria di Val Clarea;
- 39.5 m³/s per lo scavo in tradizionale del sito di sicurezza di Clarea;
- 100.6 m³/s per tutti i lavori realizzati dall'imbocco della discenderia di La Maddalena.

Queste quantità saranno sufficienti per assicurare tanto la necessaria diluizione delle particelle in sospensione quanto l'apporto della giusta quantità di aria respirabile, ma saranno superate se il criterio della velocità minima di 0.5 m/s lo richiede.

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.

Fabbisogno d'aria per kW 4.08 m ³ /min (secondo AFTES 2003)											
Metodo	Cantiere	Attrezzatura	N°	Potenza [kW]	Motore	Potenza [kW]	fattore d'uso	fattore tempo	Fabbisogno d'aria [m ³ /s]		
									Diesel	Polveri	Max.
Scavo in tradizionale Tunnel di Base	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	85	Diesel	85	0.7	100%	4.0	10	
	CLS proiettato	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture	Autopompa	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Trasporto	Autocarro	4	160	Diesel	640	0.7	100%	30.5		
Totale				830		1310	917		62.3	10	62.3
Scavo close TBM Tunnel di Base	Fresa	Fresa	1		elett.			100%			10
	CLS proiettato	Macchina per CLS	1		elett.			100%			10
	CLS proiettato	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	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	85	Diesel	85	0.7	100%	4.0	10	
	Finiture	Autobetoniera	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Finiture	Autopompa	1	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
Totale				670		670	469		31.9	30	31.9
Scavo in tradizionale galleria Val Clarea	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	85	Diesel	85	0.7	100%	4.0	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	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
	Trasporto	Autocarro	2	160	Diesel	320	0.7	100%	15.2		
Totale				830		990	693		47.1	10	47.1
Scavo in tradizionale La Maddalena	Smarino	Pala gommata	2	235	Diesel	470	0.7	100%	22.4		
	Smarino	Escavatore o martello	2	110	Diesel	220	0.7	100%	10.5		
	Smarino	Frantumatore	1	135	Diesel	135	0.7	100%	6.4		
	CLS proiettato	Macchina per CLS	2	85	Diesel	170	0.7	100%	8.1	20	
	CLS proiettato	Autobetoniera	2	80	Diesel	160	0.7	100%	7.6		
	Finiture o rivestimento	Autobetoniera	2	80	Diesel	160	0.7	100%	7.6		
	Finiture o rivestimento	Autopompa	2	80	Diesel	160	0.7	100%	7.6		
		Trasporto	Autocarro	4	160	Diesel	640	0.7	100%	30.5	
Totale				965		2115	1481		100.6	10	100.6
Scavo in tradizionale sito di Clarea	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	85	Diesel	85	0.7	100%	4.0	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	80	Diesel	80	0.7	100%	3.8		
		Trasporto	Autocarro	1	160	Diesel	160	0.7	100%	7.6	
Totale				830		830	581		39.5	10	39.5

Tabella 1 – Fabbisogno d'aria fresca

4.2 Concetto generico della ventilazione

Come esposto nel capitolo 3.2, 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].
- Misura adeguata in presenza di amianto (vedi elaborato PD2-C3A-TS3-0887 "Relazione logistica di cantiere lato Italia").
- Estrazione dei fumi in caso d'incendio al fronte di scavo.
- 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 a cento percento fresca, ma già parzialmente caricata con i gas di scarico dei mezzi Diesel a valle.

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.

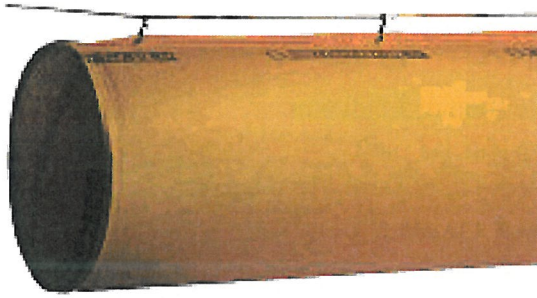


Figura 2 – Condotto in tela plastica

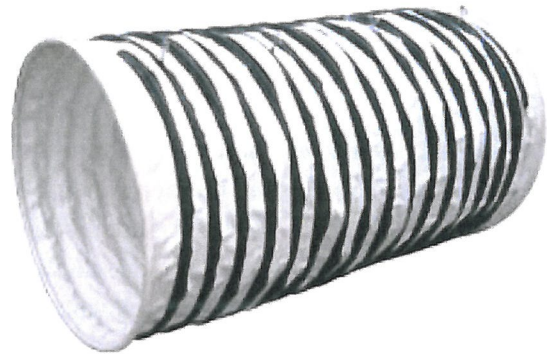


Figura 3 – Condotto con tela plastica con spirali d'acciaio

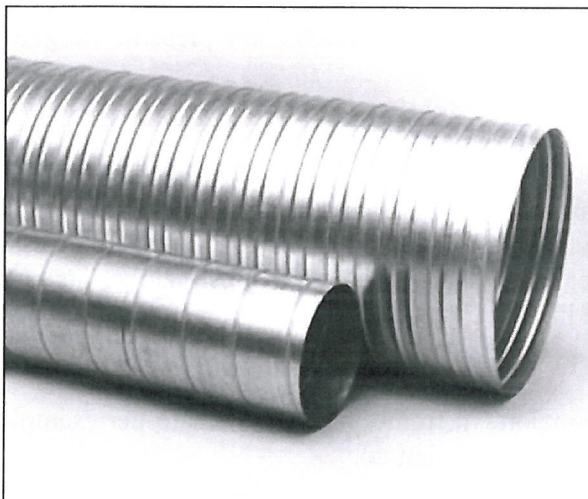


Figura 4 – Condotto in lamiera spiroidale zincata

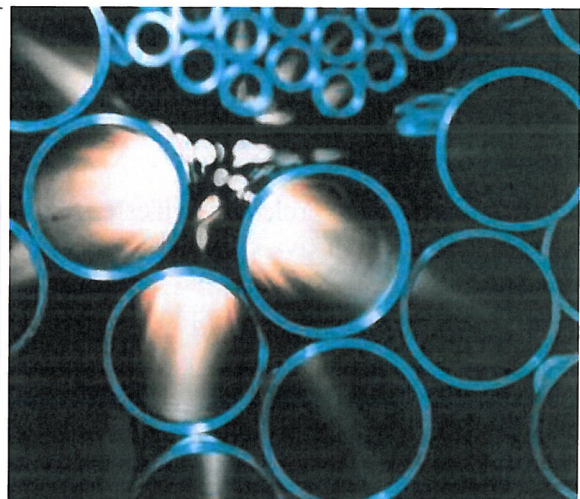


Figura 5 – Condotto d'acciaio

- 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. Il vantaggio di questo tipo speciale è una resistenza alla sottopressione fino a circa 500-1000 Pa per un diametro di 1600 mm, ma lo svantaggio è una resistenza aerodinamica elevata ($\lambda=0.025$) come pure una permeabilità elevata, tipica per i condotti in tela plastica;
- 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;

- La resistenza alla sottopressione è di 750 Pa e la resistenza alla sovrappressione di 2000 Pa in accordo con la norma europeo EN 12237 [6]. Con doppia nervatura, la resistenza alla sottopressione è di circa 5000 Pa e la resistenza alla sovrappressione di circa 3000 Pa ;
 - 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. $\lambda=0.018$ è basso;
 - La permeabilità dei condotti di classe D ammonta a solo $0.001 \cdot p_t^{0.65} / 1000 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}^2$;
 - Resistente a temperature elevate e al fuoco per un certo tempo.
- 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 con 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 CLS (calcestruzzo) proiettato.

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

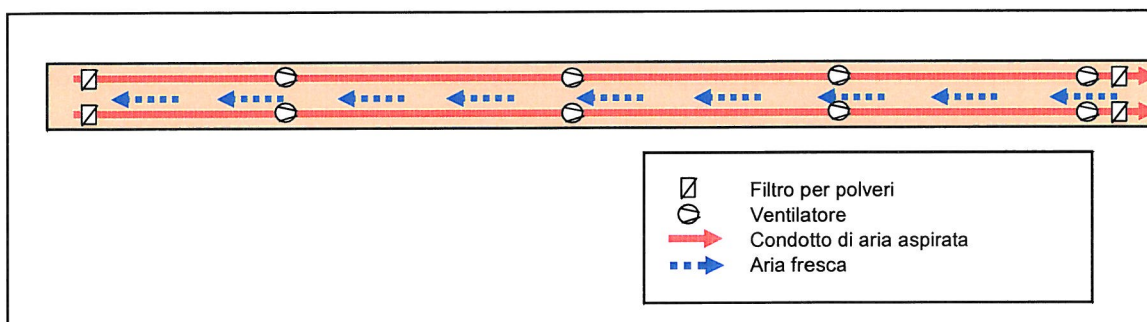


Figura 6 – Concetto generico della ventilazione aspirante con diversi ventilatori booster e filtri per polveri all'inizio e alla fine

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.

Come spiegato prima, i condotti di aspirazione saranno utilizzati in sottopressione e resistono fino a ca. -750 Pa. Per tener conto di questa limitazione si utilizza un numero adeguato di ventilatori "booster" lungo il condotto di estrazione, in modo che la pressione minima non diventi mai eccessiva.



Figura 7 – 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]. In caso di superamento, il metodo di lavoro deve essere adattato.

Una procedura generale concernente la presenza di amianto durante lo scavo è descritta in [2]. 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 sfuggono 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 sorvegliate dei sacchetti dei filtri con sacchetti puliti.

Il sistema di ventilazione deve funzionare 24 ore anche nelle pause di lavoro, come comunque è previsto visto che 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, per ciò il materiale di scavo avviene in big bags sigillati..

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.

Le misure organizzative indicate non sono esaustive. Per maggiori dettagli, si veda la relazione PD2-C3A-TS3-0887 "Relazione logistica di cantiere lato Italia".

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.

5. Aspetti generali del 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.

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.

I valori ottenuti per le varie gallerie sono i seguenti:

- Tunnel di Base: 2.60 kW
- Discenderia di La Maddalena e galleria di Clarea: 1.66 kW
- Tunnel di Interconnessione: 0 kW

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. I 40% rimanenti coprono le perdite degli aggregati e devono essere asportati direttamente dalla 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 adatto 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.

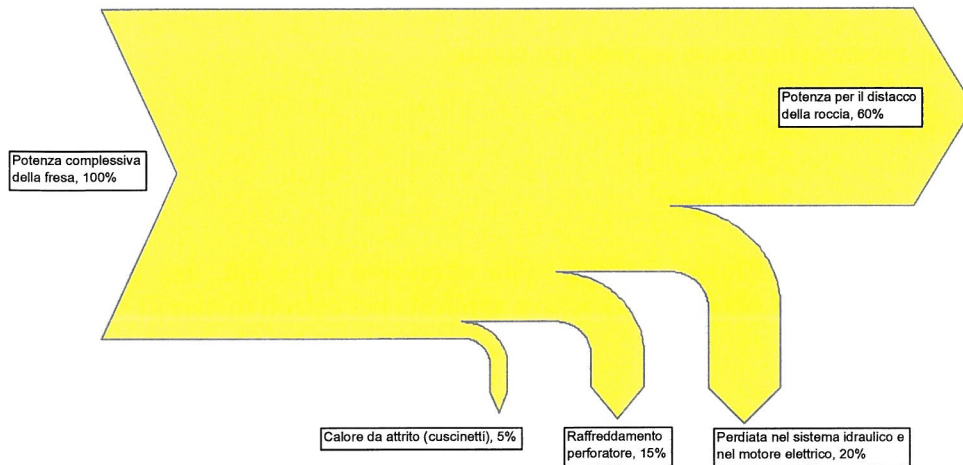


Figura 8 – Bilancio energetico della fresa

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, 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 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 disgaggio 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 del 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.

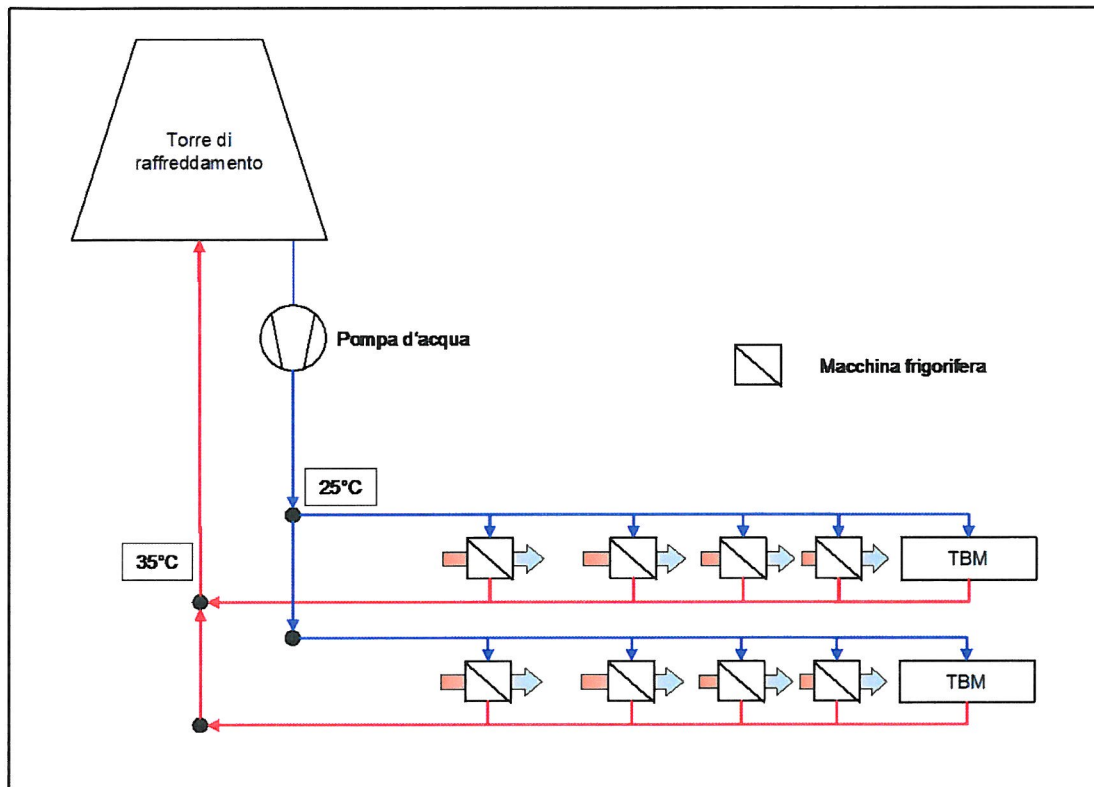


Figura 9 – Concetto di raffreddamento

Le dimensioni limitate delle unità permettono di installarle direttamente in galleria o nelle nicchie previste ca. ogni 400m in discenderia e 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 dalla configurazione della torre di raffreddamento scelta.

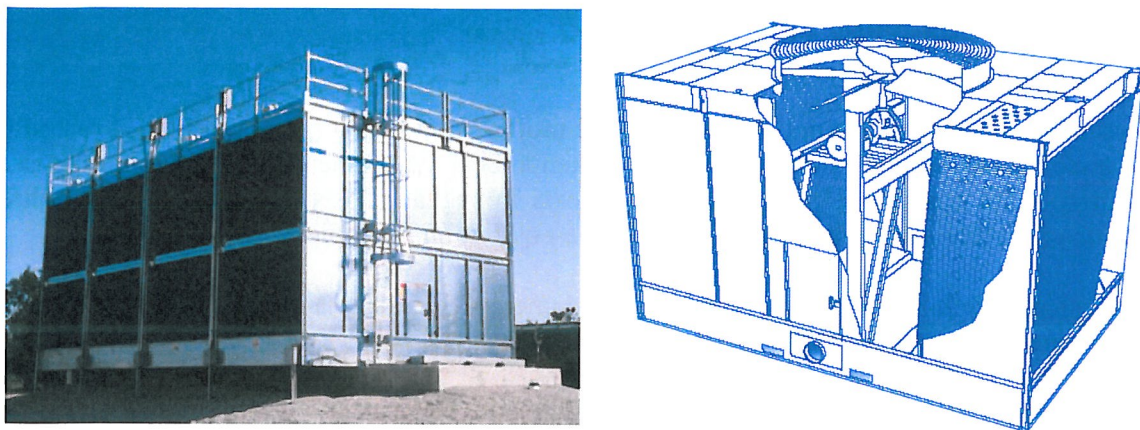


Figura 10 – Esempi di torri di raffreddamento evaporative (www.marleyct.com)

6. Dimensionamento

6.1 Portale est del Tunnel di Base

Lo schema di ventilazione del Tunnel di base è rappresentato nella figura seguente. I due tubi vengono trattati in modo indipendente, permettendo così avanzamenti sfasati se questo fosse richiesto dalle condizioni geologiche o dai mezzi impegnati. Il sistema non impone inoltre nessuna restrizione sui collegamenti laterali, che possono in principio rimanere aperti.

Nel calcolo della ventilazione e del raffreddamento viene ugualmente tenuto conto del cambiamento di sezione della galleria dovuto al sostegno primario e alle finiture.

L'avanzamento iniziale è realizzato in tradizionale ed è seguito dal tratto maggiore con fresa scudata.

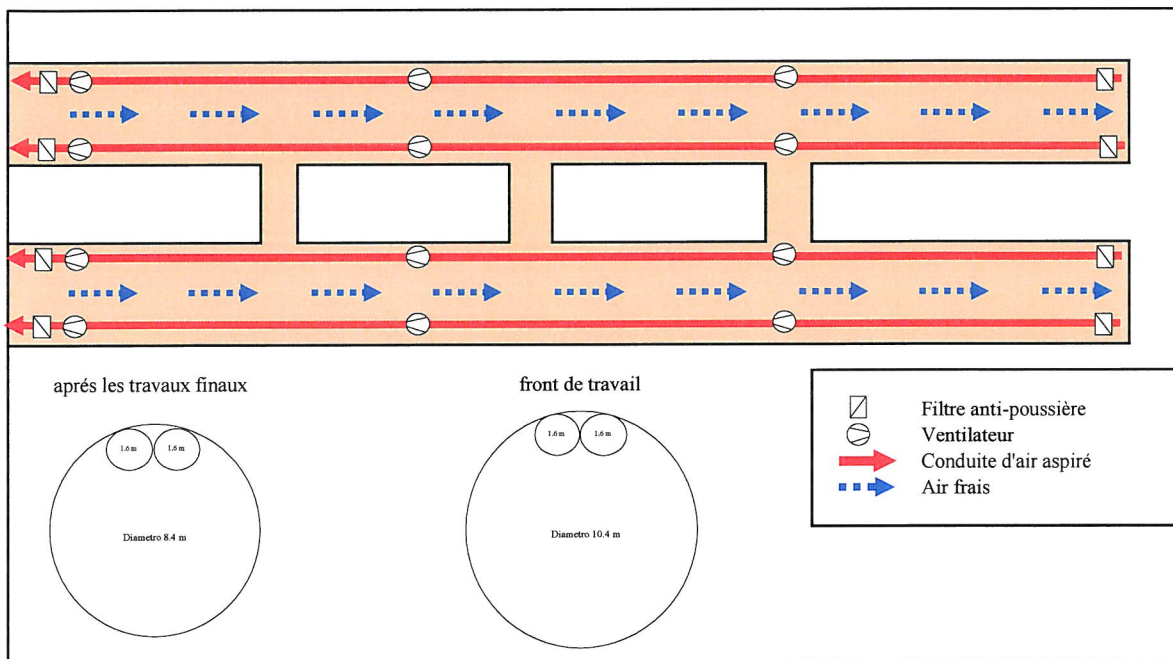


Figura 11 – Schema della ventilazione del Tunnel di base scavato dal portale est

Il dimensionamento seguente è realizzato per un tubo.

6.1.1 Scavo con fresa

Per questo cantiere il fabbisogno d'aria fresca per i mezzi Diesel è inferiore a quanto necessario per ottenere una velocità minima in galleria di 0.5 m/s. È dunque quest'ultima condizione che determina il flusso d'aria necessario, che corrisponde a 20 m³/s.

Dati del sistema di ventilazione per lo scavo con fresa:

N° condotti:	2
Tipo condotto:	lamiera spiroidale zincata (con doppia nervatura)
Diametro:	1.6 m

Sottopressione massima condotto:	5000 Pa
Potenza Diesel presa in considerazione:	469 kW (fattore d'uso incluso)
Flusso aspirato al fronte:	31.9 m ³ /s
Lunghezza complessiva:	9'050 m
N° ventilatori booster per condotto:	1
Potenza elettrica ventilatori booster:	ca. 2 x 90 kW = 180 kW per ogni tubo del Tunnel di Base
Velocità dell'aria in galleria:	0.71 m/s

Dati termici:

Calore trasmesso dalla roccia:	2.60	MW	
Calore dissipato dai veicoli:	1.09	MW	(469 kW _{mec} , 30% rendimento)
Calore dissipato dal cemento:	0.18	MW	
Calore dissipato dalla fresa:	2.80	MW	(80% della potenza di 7 MW a 50% del tempo)
Fabbisogno di raffreddamento:	6.67	MW	

N° macchine frigorifere da 300 kW:	23
Portata d'acqua di raffreddamento per le macchine frigorifere:	207 l/s
Portata d'acqua evaporata per le macchine frigorifere:	14 m ³ /ora

Potenza delle torre di raffreddamento : 98 kW

Fabbisogno acqua sistema di raffreddamento della fresa:	120 m ³
Portata d'acqua evaporata per la fresa:	6 m ³ /gg

6.1.2 Scavo in tradizionale

Il primo tratto realizzato in tradizionale puo essere ventilato e raffreddato con i ventilatori, i condotti e le macchine frigorifere specificate nel paragrafo 6.1.1.

6.2 Galleria di La Maddalena, area di sicurezza di Clarea e galleria di Val Clarea

L'area di sicurezza di Clarea e la galleria di Val Clarea sono scavati dal piede della galleria di La Maddalena.

L'aria viziata viene estratta con due condotti in lamiera zincata nell'area di sicurezza e la galleria di Val Clarea. Quest'aria viene estratto in calotta della discenderia di La Maddalena e viene separata dell'aria fresca con una soletta.

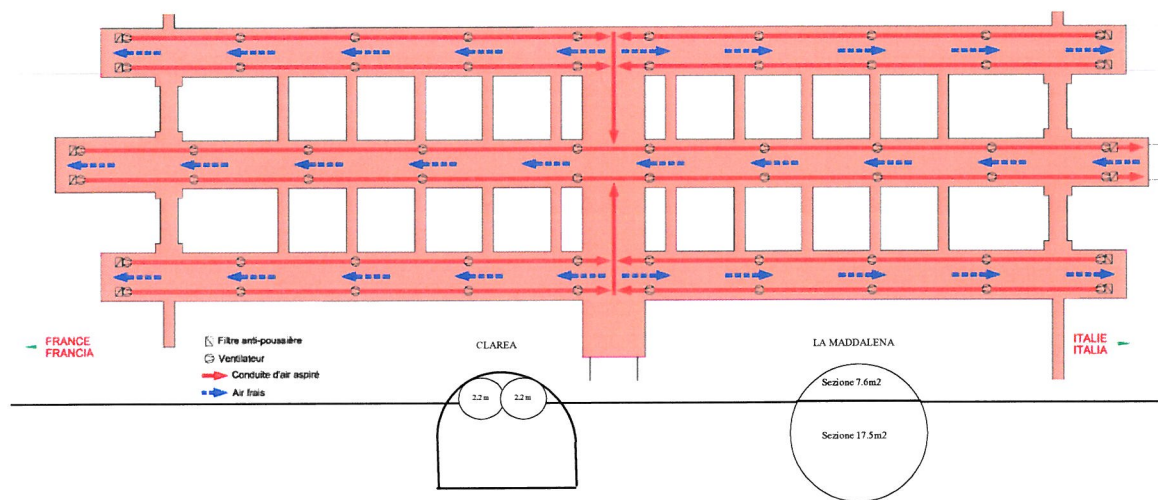


Figura 12 – Schema della ventilazione dell'area di sicurezza di Clarea

Dati del sistema di ventilazione per lo scavo in tradizionale della galleria di Val Clarea:

N° condotti:	2
Tipo condotto:	lamiera spiroidale zincata
Diametro:	2.2 m
Sottopressione massima condotto:	750 Pa
Potenza Diesel presa in considerazione:	693 kW (fattore d'uso incluso)
Flusso aspirato al fronte:	47.1 m ³ /s
Lunghezza complessiva:	4'900 m (di cui 400 m nell'area di sicurezza)
N° ventilatori booster per condotto:	4
Potenza elettrica ventilatori booster:	ca. 2 x 4 x 20 kW = 160 kW
Velocità dell'aria in galleria:	0.69 m/s

Dati del sistema di ventilazione per lo scavo in tradizionale dell'area di sicurezza di Clarea:

N° condotti:	2
Tipo condotto:	lamiera spiroidale zincata
Diametro:	1.6 m
Sottopressione massima condotto:	750 Pa
Potenza Diesel presa in considerazione:	581 kW (fattore d'uso incluso)
Flusso aspirato al fronte:	39.5 m ³ /s
Lunghezza complessiva:	800 m
N° ventilatori booster per condotto:	2

Potenza elettrica ventilatori booster: ca. 2 x 2 x 25 kW = 100 kW
Velocità dell'aria in galleria: 0.61 m/s

Dati del sistema di ventilazione nella discenderia di La Maddalena:

N° condotti: 1
Tipo condotto: soletta
Sezione: 7.6 m²
Perimetro: 13.8 m
Coef. di frizione del condotto: 0.04
Velocità d'aria nel condotto: 13.2 m/s
Potenza Diesel presa in considerazione: 1481 kW (fattore d'uso incluso)
Flusso aspirato al fronte: 100.6 m³/s (2 fronti di scavo in tradizionale)
Lunghezza complessiva: 7'600 m
N° ventilatori booster nel condotto: 10
Potenza elettrica ventilatori booster: ca. 10 x 250 kW = 2'500 kW
Velocità dell'aria in galleria: 5.30 m/s

La velocità d'aria in galleria supera il valore massimo richiesto dalla normativa. Nella discenderia di La Maddalena, non sono interventi di lavoratori durante i lavori di scavo.

Dati termici:

Calore trasmesso dalla roccia: 1.66 MW
Calore dissipato dai veicoli: 3.45 MW (1481 kW_{mec}, 30% rendimento, 2 fronti di scavo)
Calore dissipato dal cemento: 0.60 MW (ca. 340 m³ CLS al giorno)
Fabbisogno di raffreddamento: 5.71 MW

N° macchine frigorifere da 300 kW: 20
Portata d'acqua di raffreddamento per le macchine frigorifere: 180 l/s
Portata d'acqua evaporata per le macchine frigorifere: 12 m³/ora

Potenza delle torre di raffreddamento : 85 kW

6.3 Portale ovest del Tunnel di Interconnessione

Lo schema di ventilazione del Tunnel di Interconnessione è rappresentato nella figura seguente. I due tubi vengono trattati in modo indipendente, permettendo così avanzamenti sfasati se questo fosse richiesto dalle condizioni geologiche o dai mezzi impegnati. Il sistema non impone inoltre nessuna restrizione sui collegamenti laterali, che possono in principio rimanere aperti.

Nel calcolo della ventilazione viene tenuto conto del cambiamento di sezione della galleria dovuto al sostegno primario e alle finiture.

L'avanzamento è realizzato in tradizionale.

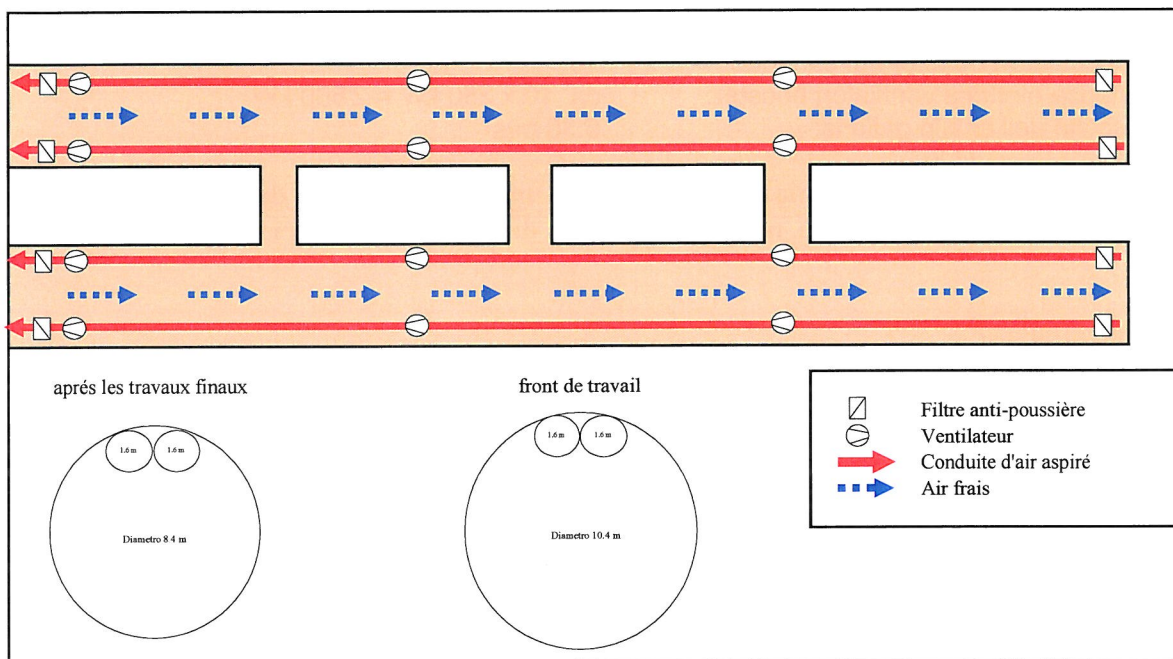


Figura 13 – Schema della ventilazione del Tunnel di Interconnessione scavato dal portale ovest

Il fabbisogno d'aria in questa fase iniziale ammonta a $39.5 \text{ m}^3/\text{s}$ per la diluizione dei gas di scarico dei mezzi Diesel. I dati principali della ventilazione sono elencati di seguito.

Il dimensionamento seguente è realizzato per un tubo.

Dati del sistema di ventilazione per lo scavo in tradizionale:

N° condotti:	2
Tipo condotto:	lamiera spiroidale zincata (doppia nervatura)
Diametro:	1.6 m
Sottopressione massima condotto:	4000 Pa
Permeabilità condotto:	classe D
Potenza Diesel presa in considerazione:	917 kW (fattore d'uso incluso)
Flusso aspirato al fronte:	$39.5 \text{ m}^3/\text{s}$
Lunghezza complessiva:	2'000 m
N° ventilatori booster per condotto:	1

Potenza elettrica ventilatori booster: ca. 2 x 160 kW = 320 kW per ogni tubo
Velocità dell'aria in galleria: 1.10 m/s

La lunghezza delle gallerie (circa 2 km) consente un raffreddamento realizzato con il calore trasmesso dalla roccia e dalla ventilazione.

7. 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. 74 km di condotti in lamiera zincata (di cui 48 con doppia nervatura), 46 ventilatori (da 20 a 250 kW) come pure 66 unità di raffreddamento. Il consumo massimo di elettricità ammonta a 6.6 MW per i ventilatori, a 5.0 MW per le macchine frigorifere e a 0.2 MW per il raffreddamento, complessivamente dunque a 11.8 MW.

Per la specificazione delle torri di raffreddamento all'esterno dei cantieri sono elencate le potenze complessive come pure la portata d'acqua da raffreddare da 35°C a 25°C.

L'attrezzatura elencata è richiesta per i cantieri serviti dal lato italiano. I cantieri dell'area di sicurezza di Clarea e della galleria di ventilazione di Val Clarea si trovano tuttavia parzialmente oltre confine sul territorio francese.

Relazione ventilazione e raffreddamento Tunnel di Base lato Italia / Rapport ventilation et refroidissement Tunnel de Base côté Italie

N° tubi	Tipo di condotto	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	Lamiera spiroidale zincata	2	9 100	5	160	36.4	20	3.2
Tunnel di Interconnessione	Lamiera spiroidale zincata	2	2 000	1	160	8.0	4	0.6
Discendenza di La Maddalena	Soletta in calotta	1	7 600	10	250	7.6	10	2.5
Area di sicurezza di Clarea	Lamiera spiroidale zincata	2	800	2	25	8.0	4	0.1
Galleria di ventilazione di Val Clarea	Lamiera spiroidale zincata	2	4 900	4	20	9.8	8	0.2
TOTALE						69.8	46	6.6

Tabella 2 – Indicazione delle quantità per la ventilazione delle gallerie scavate dal lato italiano

N° tubi	Valori per un tubo			Valori totali			
	N° macchine frigorifere da 300 kW	Acqua evaporata (m3/ora)	Potenza el. torre di raffreddamento (kW)	N° macchine frigorifere da 300 kW	Potenza elettrica per macchine frigorifere (MW)	Potenza elettrica totale (MW)	Acqua evaporata (m3/ora)
Tunnel di Base	23	14	98	46	3.5	3.6	28
Tunnel di Interconnessione	0	0	0	0	0.0	0.0	0
Discendenza di La Maddalena	20	12	85	20	1.5	1.6	12
TOTALE				66	5.0	5.2	40

Tabella 3 – Indicazione delle quantità per il raffreddamento delle gallerie scavate dal lato italiano