

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

EQUIPEMENTS – IMPIANTI

VENTILATION – VENTILAZIONE GENERALITES – GENERALE TUNNEL DE BASE – TUNNEL DI BASE

ETUDE DES SCENARI DE DÉSENFUMAGE DU TUNNEL DE BASE STUDIO DEGLI SCENARI DI ESTRAZIONE FUMI DEL TUNNEL DI BASE

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	09/11/2012	Emission pour vérification C2B et validation C3.0	P. MOLteni (GESTE) L. AGNESE (SETEC)	M.PIHOUEE. C. OGNIBENE	M.FORESTA M. PANTALEO
A	31/12/2012	Emissione a seguito commenti LTF e CCF	P. MOLteni (GESTE) L. AGNESE (SETEC)	M.PIHOUEE. C. OGNIBENE	M.FORESTA M. PANTALEO
B	08/02/2013	Emissione a seguito commenti LTF e CCF	P. MOLteni (GESTE) L. AGNESE (SETEC)	M.PIHOUEE. C. OGNIBENE	M.FORESTA M. PANTALEO

CODE DOC	P	D	2	C	2	B	T	S	3	1	4	4	0	B
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED		//	//	40	01	26	10	01
------------------------------	--	----	----	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-

Tecnimont
Civil Construction
Dott. Ing. Aldo Mangarella
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R



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)

SOMMAIRE / INDICE

RESUME/RIASSUNTO	11
ACRONIMI.....	11
1. INTRODUZIONE	12
1.1 Descrizione generale del progetto	12
1.2 Inquadramento generale.....	12
1.3 Obiettivi dello studio	12
1.4 Documenti di riferimento e bibliografia	13
1.5 Struttura del rapporto	13
2. PROGETTO LTF: DATI PRINCIPALI	14
2.1 Osservazioni preliminari.....	14
2.2 Opere civili	14
2.2.1 Descrizione generale	14
2.2.2 Tunnel di base	14
2.2.3 By-pass di collegamento tra le canne.....	15
2.2.4 Discenderie, pozzi e gallerie	15
2.2.5 Aree di sicurezza.....	16
2.2.6 Binari di precedenza e comunicazioni pari-dispari.....	16
2.3 Impianti di ventilazione	16
2.3.1 Discenderia di St. Martin la Porte.....	16
2.3.2 Discenderia di La Praz	16
2.3.3 Pozzo di Avrieux.....	17
2.3.4 Pozzo di Val Clarea	17
2.3.5 Impianti all'imbocco del tunnel	17
2.4 Materiale rotabile.....	17
2.4.1 Treni passeggeri	17
2.4.2 Treni merci	18
2.4.3 Treni di Autostrade Ferroviarie	18
2.4.4 Principali caratteristiche dei treni	18
2.4.5 Esercizio previsto.....	18
2.4.6 Distanziamento tra treni fermi in caso di incendio	19
2.5 Flusso all'interno del tunnel	19
2.5.1 Effetto pistone	19
2.5.1.1 Effetto pistone generato da un solo treno in circolazione.....	20
2.5.1.2 Effetto pistone generato da diversi treni in movimento.....	21
2.5.2 Effetti termici	22
2.5.3 Contro-pessione	23
2.5.4 Conclusioni	23
3. INCENDIO E STRATEGIA DI ESTRAZIONE DEI FUMI.....	24
3.1 Obiettivi del sistema di ventilazione.....	24
3.2 Caratteristiche degli incendi	24
3.2.1 Potenza termica	24
3.2.2 Potenza irradiata e potenza convettiva.....	24
3.3 Strategia di estrazione dei fumi e di evacuazione dei passeggeri	25

3.3.1	Principio di evacuazione dei passeggeri	25
3.3.2	Treno fermo nell'Area di sicurezza	25
3.3.3	Treno fermo in piena linea	25
3.3.3.1	Incendio di una motrice in posizione intermedia di un TGV	25
3.3.3.2	Incendio nella motrice di coda di un TGV	25
3.3.3.3	Incendio nella motrice di testa di un TGV	26
3.3.3.4	Incendio di un treno merci	26
3.3.3.5	Incendio di un treno AF	26
3.3.4	Sintesi delle strategie di ventilazione da applicare	27
3.4	Tempi delle procedure di estrazione dei fumi	27
3.4.1	Caso di incendio di un treno passeggeri	28
3.4.2	Caso di incendio di un treno merci o AF	29
4.	SCENARI DI DIMENSIONAMENTO SELEZIONATI	30
4.1	Tipologie di incendio	30
4.2	Posizione del treno incendiato	30
4.3	Contro-pressione	31
5.	METODOLOGIE DI STUDIO	32
5.1	Logica del calcolo TNT	32
5.2	Dominio del calcolo	33
5.3	Rappresentazione dei risultati	33
6.	INCENDIO DI UNA MOTRICE DI TGV (CANNA F→I)	35
6.1	Introduzione	35
6.2	Incendio di una motrice di estremità di un treno TGV: velocità critica	35
6.2.1	Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi	35
6.2.2	Scenari di dimensionamento	36
6.2.3	Sintesi dei risultati	36
6.2.3.1	Contro-pressione di -1000 Pa	36
6.2.3.2	Contro-pressione di 0 Pa	37
6.2.3.3	Contro-pressione di +1000 Pa	37
6.2.4	Tunnel incidentato: risultati per $\Delta p = -1000$ Pa	38
6.2.4.1	Posizione dell'incendio: Inter 1 = 3000 m	38
6.2.4.2	Posizione dell'incendio: Inter 2 = 10000 m	40
6.2.4.3	Posizione dell'incendio: Inter 3 = 20'000 m	42
6.2.4.4	Posizione dell'incendio: Inter 4 = 32000 m	44
6.2.4.5	Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m	46
6.2.5	Discussione dei risultati	47
6.2.5.1	Velocità dell'aria nella canna incidentata	47
6.2.5.2	Ricircolo dei fumi all'imbocco del tunnel o dei pozzi	48
6.2.5.3	Δp_{max} ai ventilatori	48
6.2.5.4	Caratteristiche dei ventilatori	49
6.3	Incendio su una motrice intermedia di un treno TGV: diluizione	49
6.3.1	Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi	49
6.3.2	Scenari di dimensionamento	50
6.3.3	Sintesi dei risultati	50
6.3.3.1	Contro-pressione di -1000 Pa	50
6.3.3.2	Contro-pressione di 0 Pa	50
6.3.3.3	Contro-pressione di +1000 Pa	51

6.3.4 Tunnel incidentato : risultati per $\Delta p = +1000$ Pa	52
6.3.4.1 Posizione dell'incendio: Inter 1 = 3000 m	52
6.3.4.2 Posizione dell'incendio : Inter 2 = 10000 m	54
6.3.4.3 Posizione dell'incendio : Inter 3 = 20000 m	56
Position de l'incendie: Inter 4 = 32'000 m	58
6.3.4.4 Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m	60
6.3.5 Discussione dei risultati	61
6.3.5.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata	61
6.3.5.2 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi	61
6.3.5.3 Δp_{\max} ai ventilatori	62
6.3.5.4 Caratteristiche dei ventilatori	62
7. INCENDIO DI UN TRENO MERCI O AF (CANNA F→I)	64
7.1 Incendi e scenari di dimensionamento	64
7.1.1 Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi	64
7.1.2 Scenari di dimensionamento	64
7.2 Incendio di un treno AF	65
7.2.1 Sintesi dei risultati	65
7.2.1.1 Contro-pressione di -1000 Pa	65
7.2.1.2 Contro-pressione di 0 Pa	65
7.2.1.3 Contro-pressione di +1000 Pa	66
7.2.2 Tunnel incidentato : risultati per $\Delta p = -1000$ Pa	67
7.2.2.1 Posizione dell'incendio : Inter 1 = 3000 m	67
7.2.2.2 Posizione dell'incendio : Inter 2 = 10000 m	68
7.2.2.3 Posizione dell'incendio : La Praz = 16885 m	69
7.2.2.4 Posizione dell'incendio : Inter 3 = 20000 m	70
7.2.2.5 Posizione dell'incendio : Modane = 28611 m	71
7.2.2.6 Posizione dell'incendio : Inter 4 = 32000 m	72
7.2.2.7 Posizione dell'incendio : Val Clarea = 44294 m	73
7.2.2.8 Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m	74
7.2.3 Discussione dei risultati	75
7.2.3.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata	75
7.2.3.2 Portate d'aria	75
7.2.3.3 Temperature dei fumi all'uscita dei pozzi	75
7.2.3.4 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi	75
7.2.3.5 Caratteristiche dei ventilatori	76
8. CONCLUSIONI	77
8.1 Scenario d'incendio e procedure di estrazione dei fumi	77
8.2 Metodologia e dominio di calcolo	78
8.3 Incendio di una motrice di un TGV	78
8.3.1 Incendio di una motrice di coda : velocità critica	78
8.3.1.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata	78
8.3.2 Incendio di una motrice intermedia : velocità elevata (diluizione)	79
8.3.2.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata	79
8.4 Incendio di un treno merci o AF	79
8.4.1 Incendio di un treno AF	79
8.4.1.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata	79
8.4.1.2 Temperatura dei fumi all'uscita dei pozzi	79
8.5 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi	80

In tutti gli scenari d'incendio scelti, attraverso la presenza degli acceleratori in testa al tunnel, non è possibile avere un ricircolo dei fumi agli imbocchi, allo stesso modo per un incendio situato nei tratti di estremità..... 80

8.6 Impianti di ventilazione 80

8.6.1 Ventilatori 80

8.6.1.1 Portate e pressioni 80

8.6.1.2 Pressioni massime 81

8.6.2 Acceleratori 81

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Sezione corrente del tunnel di base 14

Figura 2 - Conseguenze dell'effetto pistone sulla velocità e sulla pressione dell'aria all'interno del tunnel con un solo treno in circolazione per ognuna delle 3 categorie di treno (treni AF a 120 km/h, TGV a 220 km/h e treni merci a 120 km/h)..... 20

Figure 3 - Conseguenze dell'effetto pistone sulla velocità e sulla pressione dell'aria all'interno del tunnel per i tre scenari di traffico orario definiti nel piano di esercizio: 2 treni l'ora (2 treni merc), 8 treni l'ora (AF, TGV, merci, AF, merci, AF, merci, merci) e 11 treni l'ora (AF, TGV-Rés, TGV-Duplex, AF, merci, merci, merci, AF, merci, merci, AF); tunnel Francia → Italia..... 21

Figura 4 - Flusso d'aria generato dalle differenze di temperatura tra l'interno del tunnel e l'esterno (0 e 30 °C). Tunnel Francia → Italia..... 22

Figura 5 - Flusso d'aria generato da una contro-pressione tra + 1000 Pa e -1000 Pa. La temperatura dell'aria ai portali del tunnel e alla sommità dei pozzi è fissata uguale e pari a 10 °C. Tunnel Francia → Italia. 23

Figura 6 - Posizione dell'incendio secondo i diversi scenari di studio 31

Figure 7 - Dominio di calcolo in considerazione che le due canne sono separate dal punto di vista aeraulico..... 34

Figura 8 - Profilo di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione..... 38

Figura 9 - Profili di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa 38

Figura 10 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo 39

Figura 11 - Profilo di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione..... 40

Figura 12 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa 40

Figura 13 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo 41

Figura 14 - Profilo di velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione 42

Figura 15 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa 42

Figura 16 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo. 43

Figura 17 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione. 44

Figura 18 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativo.	44
Figura 19 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	45
Figura 20 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.	46
Figura 21 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by- pass è indicativo.	46
Figura 22 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	47
Figura 23 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	52
Figura 24 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa	52
Figura 25 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	53
Figura 26 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	54
Figura 27 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa	54
Figura 28 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	55
Figura 29 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	56
Figura 30 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa	56
Figura 31 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	57
Figura 32 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	58
Figura 33 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa	58
Figura 34 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	59
Figura 35 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	60
Figura 36 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa	60
Figura 37 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	61
Figura 38 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	67
Figura 39 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	67
Figura 40 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	68
Figura 41 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	68

Figura 42 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	69
Figura 43 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	69
Figura 44 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	70
Figura 45 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	70
Figura 46 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	71
Figura 47 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	71
Figura 48 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	72
Figura 49 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	72
Figura 50 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	73
Figura 51 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	73
Figura 52 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.....	74
Figura 53 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo	74

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Principali caratteristiche geometriche del tunnel di base. La pendenza positiva si riferisce al transito nel senso Ovest-Est, ovvero Francia → Italia.	15
Tabella 2 - Caratteristiche termiche del calcestruzzo.....	15
Tabella 3 - Caratteristiche principali delle discenderie, pozzi e gallerie aventi impatto sulla ventilazione del tunnel. La posizione è data rispetto all'imbocco lato Ovest.....	15
Tabella 4 - Caratteristiche idrauliche e termiche dei treni in circolazione.....	18
Tabella 5 - Numero dei treni e ripartizione oraria del traffico. Direzione Francia → Italia. Fonte: PD2_C2A_0026_05-00-00_10-17_Sintesi_dati_di_traffico_per_studi_tecnici_0.....	19
Tabella 6 - Inter-distanza tra treni fermi.	19
Tableau 7 - Caratteristiche degli incendi.....	24
Tabella 8 – Strategie ritenute di ventilazione.....	27
Tabella 9 - Tempi delle procedure di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno TGV.	28
Tabella 10 - Tempi delle procedure di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno merci o AF.....	29
Tabella 11 - Tipologie di incendio e strategie di estrazione dei fumi. Il segno della velocità indica il senso della ventilazione (+ senso della circolazione dei treni, - senso inverso della circolazione).	30

Tabella 12 - Posizione dell'incendio per i diversi scenari di studio (le coordinate sono date nel senso Francia – Italia. Lo zero è fissato al portale lato Francia)	30
Tabella 13 - Descrizione delle variabili utilizzate.....	34
Tabella 14 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.	36
Tabella 15 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.	37
Tabella 16 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.	37
Tabella 17 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.....	38
Tabella 18 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.....	40
Tabella 19 -Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.....	42
Tabella 20 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.....	44
Tabella 21 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.....	46
Tabella 22 - Depressione e sovrapressioni massime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.....	48
Tabella 23 - Depressione e sovrapressioni di equilibrio tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.....	49
Tabella 24 - Portate utilizzate per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice di coda di un TGV ; differenze di pressione massima tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori.....	49
Tabella 25 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2	

valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza	50
Tabella 26 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza.....	50
Tabella 27 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza	51
Tabella 28 -Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane.....	52
Tabella 29 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane.....	54
Tabella 30 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane.....	56
Tabella 31 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane.....	58
Tabella 32 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane.....	60
Tabella 33 - Depressione e sovrappressione massime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.....	62
Tabella 34 - Depressione e sovrappressione di equilibrio tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.....	62
Tabella 35 - Portate utilizzate per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un TGV ; differenza di pressione massima tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori	63
Tabella 36 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.....	65
Tabella 37 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata	

necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.....	65
Tabella 38 -Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.....	66
Tableau 39 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	67
Tableau 40 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	68
Tabella 41 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	69
Tabella 42 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	70
Tabella 43 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	71
Tabella 44 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	72
Tabella 45 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	73
Tabella 46 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).....	74
Tabella 47 - Portate utilizzate per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno merci o un treno AF ; differenze di pressione a regime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori.....	76
Tabella 48 - Temistica delle procedure di estrazione dei fumi in caso di un treno incendiato	78
Tabella 49 - Portate dei ventilatori e variazioni di pressione nei pozzi.....	80

RESUME/RIASSUNTO

Cette étude a analysé par la voie numérique les scénarios de dimensionnement du système de désenfumage en cas d'incendie d'un train de voyageurs, de marchandises ou d'autoroute ferroviaire.

Plusieurs positions d'arrêt des trains dans le tunnel ont été considérées: arrêt en plaine voie dans chaque tronçon inter-sites ainsi qu'arrêt dans les 3 sites de sécurité prévus à La Praz, Modane et Val Clarea.

Diverses stratégies de ventilation ont été analysées en fonction du type de trains et de la position de l'incendie sur le train: ventilation à vitesse supérieure à la vitesse critique (pour un feu de motrice d'extrémité de TGV); ventilation à vitesse élevée, dilution des fumées (pour un feu de motrice centrale de TGV); ventilation à vitesse supérieure à la vitesse critique (pour un feu de train de fret ou d'autoroute ferroviaire). Les incendies ont été simulés pour 3 niveaux de contre-pression aux portails.

Dans tous les cas d'incendie étudiés, il a été possible de satisfaire les contraintes de vitesse exigées par les scénarios de désenfumage en utilisant les débits de ventilation disponibles, à savoir: $\pm 300 \text{ m}^3/\text{s}$ à St. Martin; $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ à La Praz; $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ à Avrieux (Modane); $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ à Val Clarea.

Questo studio ha analizzato per mezzo di un approccio numerico gli scenari di dimensionamento del sistema di estrazione fumi in caso di incendio di un treno passeggeri, merci o di autostrada ferroviaria.

Sono state considerate diverse posizioni di arresto dei treni in tunnel: arresto in linea in ogni tratta tra i siti e arresto nei 3 siti di sicurezza previsti à La Praz, Modane e Val Clarea.

Sono state analizzate diverse strategie di ventilazione in funzione del tipo di treni e della posizione dell'incendio sul treno: ventilazione a velocità superiore alla velocità critica (per un incendio di motrice d'estremità di un TGV); ventilazione a velocità elevata, diluizione dei fumi (per un incendio di motrice centrale di un TGV); ventilazione a velocità superiore alla velocità critica (per un incendio di treno merci o di autostrada ferroviaria). Gli incendi sono stati simulati per 3 livelli di contropressione ai portali.

In tutti i casi di incendio analizzati è stato possibile soddisfare le prescrizioni di velocità imposte dagli scenari di estrazione fumi, utilizzando le portate di ventilazione disponibili, vale a dire: $\pm 300 \text{ m}^3/\text{s}$ a St. Martin; $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ a La Praz; $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ a Avrieux (Modane); $\pm 400 \text{ m}^3/\text{s}$ a Val Clarea.

Acronimi

AF	Autostrada ferroviaria
APR/PD	Progetto Definitivo
LTF	Lyone-Torino Ferroviario
RPD	Revisione de Progetto Definitivo
RPP	Revisione del Progetto Preliminare
TGV	Trano ad Alta Velocità (TAV)

1. Introduzione

1.1 Descrizione generale del progetto

I governi italiano e francese hanno deciso di avviare la costruzione di una nuova linea ferroviaria per il collegamento Torino-Lione. Il progetto consiste innanzi tutto nel realizzare un tracciato idoneo al traffico merci transalpino, destinato in particolare a limitare il traffico stradale in queste aree sensibili dal punto di vista ambientale.

Il nuovo collegamento avrà inoltre una grande rilevanza per il trasporto dei passeggeri, poiché collegherà le reti ad alta velocità italiane e francesi riducendo pertanto i tempi di percorso tra due importanti regioni frontaliere, ovvero il Piemonte e la Savoia.

Per quanto il progetto comporti tre tratte distinte, di cui due nazionali, il nostro studio verte unicamente sulla tratta comune italo-francese, detta “internazionale”, tra Saint-Jean de Maurienne e l’interconnessione con la linea storica a Bussoleno.

La tratta considerata avrà una lunghezza totale di circa 60 km e sarà costituita dalle seguenti opere principali:

- I raccordi alla linea storica di Saint Jean de Maurienne;
- Il tunnel di base lungo 57.517 km;
- La stazione internazionale di Susa;
- L’interconnessione con la linea storica a Bussoleno con un tunnel di circa 2 km.

1.2 Inquadramento generale

Questo studio si iscrive nel quadro degli studi della Revisione del Progetto Definitivo (RPD) del tunnel di base della linea ferroviaria Torino Lione. Questo si integra all’interno degli studi degli impianti non ferroviari del Lotto C2 e si basa sui risultati di diversi studi effettuati nelle precedenti fasi del progetto: l’APR/PD, Lotto B3 del 2005/2006, gli studi di RPP del 2010 come gli studi funzionali realizzati dal Lotto C1.

La revisione del progetto si è resa necessaria per i seguenti motivi:

- modifiche al tracciato intervenute dopo la fase dell’APR/PD del 2006 che hanno portato ad un prolungamento del tunnel di base di circa 4,5 km;
- introduzione di nuovi regolamenti (CIG);
- risultati di nuovi studi e disponibilità di nuovi dati di base.

1.3 Obiettivi dello studio

Obiettivo del presente studio dedicato agli impianti di ventilazione è la determinazione e il dimensionamento degli impianti (ventilatori e/o acceleratori se necessari) per il controllo del movimento dei fumi in caso di incendio, con strategie ben definite. Queste strategie sono stabilite dai risultati dei precedenti studi, che sono riassunti al Paragrafo **Error! Reference source not found.** seguente. Questi saranno applicati agli scenari di incendio descritti al capitolo **Error! Reference source not found.** Il presente studio di limita al solo tunnel di base.

Il dimensionamento degli impianti sarà espresso, per ogni impianto, in termini di:

- Portata totale dei pozzi e resistenza alla temperatura per i ventilatori;

- Spinta e velocità del getto per gli acceleratori;
- Temperatura di funzione per tutte le macchine.

Inoltre, per i casi esaminati, saranno riportati un numero significativo di output grafici, tra cui:

- Evoluzione temporale della velocità longitudinale in funzione dell'incendio;
- Evoluzioni temporali delle temperature in funzione dell'incendio e degli impianti di ventilazione;
- Profili longitudinali di pressione, velocità o temperatura lungo l'elemento, a differenti istanti.

Questi studi prevedono anche la revisione degli scenari di ventilazione dei fumi sostenuti nei precedenti studi (APR/PD e PP) a causa delle modifiche del progetto. Questo per verificare il funzionamento degli scenari all'interno delle nuove condizioni tenendo in conto le nuove ipotesi del progetto (per esempio, per la messa in comunicazione delle due canne durante la fase di evacuazione, nuove potenze di incendio).

1.4 Documenti di riferimento e bibliografia

I documenti di riferimento del presente studio sono riportati nel documento «PD2_C2B_1420_40-01-00_10-04_ Nota metodologica sugli studi della ventilazione».

Questi sono integrati dalle seguenti note:

- PD2_C1_0011_45-01-00_10-01_ Impianti e dispositivi di sicurezza - Aree di sicurezza_A.
- PD2_C1_0012_45-03-00_10-01_ Impianti e dispositivi di sicurezza - Tunnel e discenderie_B
- PD2_C1_0017_50-01-00_10-01_ Sistema di evacuazione fumi del Tunnel di Base_0
- PD2_C1_0017_50-01-00_10-01_ Sistema di evacuazione fumi del Tunnel di Base – Annexe 2
- Les dossiers pilotes du CETU: Ventilation - Centre d'Etudes des tunnels 2003.
- Subway Environmental Design Handbook Vol. 1 Principles and Applications.
- Instruction technique relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels routiers. France 25 août 2000.

1.5 Struttura del rapporto

I dati principali del progetto LTF come le ipotesi principali fatte all'interno dello studio sono riportate nel capitolo **Error! Reference source not found.**

La problematica di sviluppo di un incendio e le diverse strategie di estrazione dei fumi e l'evacuazione dei passeggeri sono descritte nel capitolo **Error! Reference source not found.**

Il capitolo **Error! Reference source not found.** riassume gli scenari di incendio selezionati.

Il capitolo **Error! Reference source not found.** descrive le metodologie utilizzate per lo studio di ventilazione.

I capitoli 6 e 7 illustrano i risultati delle simulazioni numeriche e il dimensionamento degli impianti di estrazione dei fumi in caso di incendio prima per una motrice del treno TGV e poi per un treno merci o un'autostrada ferroviaria.

Infine, nel capitolo **Error! Reference source not found.** sono riportate le conclusioni dello studio.

2. Progetto LTF: dati principali

2.1 Osservazioni preliminari

I dati di ingresso concernenti il progetto - tra cui le opere civili, il materiale rotabile, l'esercizio, gli impianti di ventilazione, le strategie di estrazione dei fumi e i principi di evacuazione delle persone – sono principalmente riportati dagli studi del'APR/PD e dal RPP, tenendo anche conto dei nuovi dati di base e delle ipotesi del progetto come gli studi di sicurezza e funzionamento dell'attuale RPD (Revisione Progetto Definitivo). I principali valori necessari per lo studio di ventilazione sono riassunti in questo capitolo.

2.2 Opere civili

2.2.1 Descrizione generale

Il tunnel di base della linea ferroviaria tra Torino e Lione è costituita da 2 canne singolo binario con by-pass di comunicazione tra le due canne ogni 333 m. Inoltre sono presenti 3 siti di sicurezza (La Praz, Modane e Clarea). Queste ultime sono connesse alla superficie attraverso pozzi e discenderie di accesso.

2.2.2 Tunnel di base

Il tunnel di base è composto da due canne, dove la più lunga misura 57517 m, con una pendenza media variabile tra +0,94 e -1,13 % (vedi Tabella 1). La sezione corrente del tunnel è pari a 43 m² su tutta la sua lunghezza, o tuttavia le variazioni di geometria hanno un'influenza limitata (vedi Figura 1). All'interno del presente studio, le pareti del tunnel sono equiparate a normale calcestruzzo con caratteristiche termiche riassunte in Tabella 2. La temperatura dell'aria esterna in prossimità dei due imbocchi del tunnel è ipotizzata costante e pari a 10 °C.

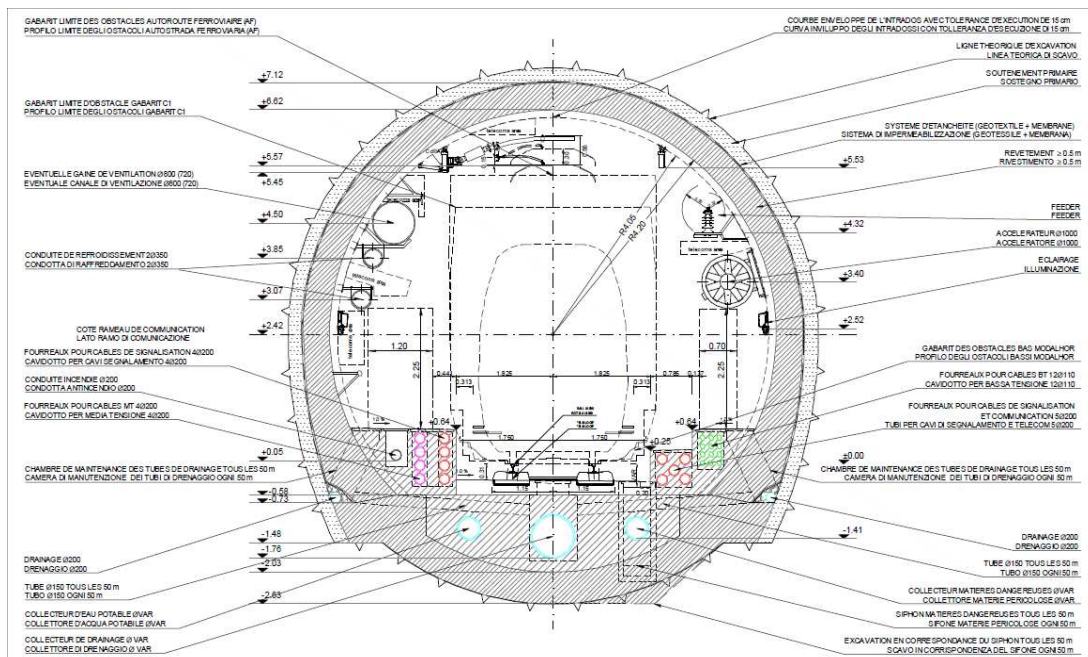


Figura 1 - Sezione corrente del tunnel di base

Parametri del tunnel		Valore
Lunghezza		57'517 m
Sezione		43 m ²
Perimetro		26.4 m
Coefficiente di attrito		0.00625
Pendenze medie	Imbocco coperto lato Francia – St. Martin la Porte	+0.70
	St. Martin la Porte – La Praz	+0.64
	La Praz – Avrieux	+0.55
	Avrieux – Clarea	-0.85
	Clarea – Imbocco lato Italia	-1.03

Tabella 1 - Principali caratteristiche geometriche del tunnel di base. La pendenza positiva si riferisce al transito nel senso Ovest-Est, ovvero Francia → Italia.

Densità (kg/m ³)	Conducibilità termica (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Capacità termica (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
2'400	1.60	920

Tabella 2 - Caratteristiche termiche del calcestruzzo

2.2.3 By-pass di collegamento tra le canne

Ogni 333 m circa, le due canne del tunnel di base sono collegati tra loro tramite by-pas. Questi collegamenti sono considerati sempre chiusi, secondo le nuove ipotesi prese in considerazione nel progetto LTF. Pertanto non sono presi in considerazione nella modellizzazione e nelle simulazioni numeriche eseguite per un'unica canna.

2.2.4 Discenderie, pozzi e gallerie

Il tunnel è connesso alla superficie attraverso 3 discenderie (St. Martin, La Praz e Modane), 2 pozzi (Avrieux e Val Clarea) e 1 galleria (Maddalena). Le principali caratteristiche di queste opere sono riassunte in Tabella 3.

Opera	P.K.	Posizione rispetto all'imbocco lato Francia (m)	Lunghezza (m)	Sezione utile per la ventilazione
Discenderia di St. Martin	11+599	7'895 m	2'038 m	20 m ²
Discenderia di La Praz	20+589	16'885 m	2'556 m	20 m ²
Discenderia di Modane	32+315	28'611 m	4'049 m	-
Pozzo di Avrieux	32+315	28'611 m	860 m	2 x 27 m ²
Pozzo di Val Clarea	47+998	44'294 m	4'522 m	42 m ²

Tabella 3 - Caratteristiche principali delle discenderie, pozzi e gallerie aventi impatto sulla ventilazione del tunnel. La posizione è data rispetto all'imbocco lato Ovest.

2.2.5 Aree di sicurezza

Tre aree di sicurezza sono previsti nel tunnel: La Praz, Modane e Clarea. Questi sono dei particolari punti nel tunnel specialmente attrezzati per la gestione di situazioni di incendio su ogni tipo di treno (viaggiatori, merci, AF). Questi siti hanno la capacità di ricevere 1200 persone. Ognuna di queste aree è collegata alle due canne del tunnel di base tramite by-pass ogni 50 m. Le aree di sicurezza sono i luoghi privilegiati per il trattamento dei treni passeggeri. Oltre ai siti interni, il tunnel di base è dotato anche di due siti di sicurezza esterni, uno a St. Jean de Maurienne e l'altro a Susa.

2.2.6 Binari di precedenza e comunicazioni pari-dispari

Ogni canna, in prossimità del sito di sicurezza di Modane, presenta una bivio verso un "binario di precedenza". Questo binario è collegato con il pozzo di ventilazione di Avrieux e può essere messo in sovrappressione per evitare l'ingresso dei fumi.

Le comunicazioni pari-dispari di Modane è prevista al fine di permettere l'accesso da una canna all'altra durante i lavori di manutenzione operanti in una delle due canne del tunnel di base, o in situazioni di circolazione degradata. All'interno di questo studio, si considera che le comunicazioni garantiscono l'indipendenza idraulica tra le due canne nel momento in cui viene confermato un incendio all'interno del tunnel.

2.3 Impianti di ventilazione

I condotti di ventilazione sono equipaggiati di ventilatori per una portata totale data qui di seguito.

In regime di normale esercizio, per la canna Francia → Italia sono aperti soltanto i condotti di ventilazione delle discenderie di La Praz e di Val Clarea. Per la canna Italia → Francia sono aperti i condotti dei pozzi di Avrieux e della discenderia di St. Martin la Porte.

2.3.1 Discenderia di St. Martin la Porte

La discenderia di St. Martin viene mantenuto come installazione di ventilazione. In questo studio si è fatta l'ipotesi, come nell'APR e nel RPP, che questa discenderia sarà equipaggiata con una portata totale di 300 m³/s in estrazione o in immissione (funzionamento a flusso semplice) L'estrazione/immissione può essere fatta in entrambe le canne.

2.3.2 Discenderia di La Praz

La discenderia di La Praz è equipaggiato con un impianto di ventilazione con una portata totale di 400 m³/s in estrazione o in immissione (funzionamento a flusso semplice). L'estrazione/immissione può essere fatta in maniera puntuale o distribuita in entrambe le canne.

2.3.3 Pozzo di Avrieux

Il pozzo di Avrieux è equipaggiato con un impianto di ventilazione per una portata totale di 2 x 400 m³/s in estrazione e in immissione (funzionamento a flusso doppio). L' estrazione ed immissione può essere fatta in maniera puntuale o distribuita in entrambe le canne, e può essere fatta in maniera puntuale all' interno dei binari di precedenza.

I due impianti possono funzionare in maniera indipendente. Questa configurazione permette di immettere aria dentro la canna di precedenza ed estrarre aria dalla canna principale simultaneamente.

2.3.4 Pozzo di Val Clarea

Il pozzo di Val Clarea è equipaggiato con un impianto di ventilazione per una portata totale di 400 m³/s in estrazione o in immissione (funzionamento a flusso semplice). L' estrazione/immissione può essere fatta in maniera puntuale o distribuita in entrambe le canne.

2.3.5 Impianti all'imbocco del tunnel

E' prevista l' installazione di 12 acceleratori per ogni imbocco del tunnel. Nel presente studio le caratteristiche seguenti sono state utilizzate per i calcoli:

- Diametro interno 1000 mm;
- Diametro esterno (senza silenziatore): 1220 mm;
- Spinta unitaria in campo libero: 1130 N;
- Velocità d' immissione: 35,7 m/s.

2.4 Materiale rotabile

I treni previsti in circolazione all' interno del tunnel di base sono di tre tipologie: treni passeggeri (denominati in seguito per semplicità TGV), treni merci e treni denominati Autostrade Ferroviarie (AF).

2.4.1 Treni passeggeri

I diversi tipi di treni passeggeri che potranno circolare nel tunnel di base sono:

- treni alta velocità, come l' ETR500, il TGV Réseau e il TGV Duplex;
- treni internazionali diurni e notturni;
- treni regionali effettuati con materiale rimorchiato o con elettromotrici/elettrotreni;
- treni speciali come ad esempio i treni per i pellegrini.

I TGV Réseau e i TGV Duplex in doppia trazione (due treni accoppiati) sono stati presi ad esempio per rappresentare i treni passeggeri all' interno della modellizzazione.

2.4.2 Treni merci

I treni merci previsti in circolazione all'interno del tunnel possono essere di varie tipologie (ad esempio treni con automobili, treni con casse mobili, treni con carri vuoti, treni postali, treni con materiale pericoloso, etc.).

Tuttavia, la configurazione rimane la stessa: tutti i treni sono composti di carri con una o più locomotive in testa (ed eventuale spinta in coda). Un treno merci può avere una lunghezza massima di 750 m.

2.4.3 Treni di Autostrade Ferroviarie

Il progetto prevede l'effettuazione di treni di Autostrade Ferroviarie (AF) di lunghezza pari a 750 m. Questa lunghezza è stata presa a riferimento all'interno dello studio per la tipologia di treni AF.

2.4.4 Principali caratteristiche dei treni

Caratteristiche idrauliche	TGV Réseau / Duplex	Fret	AF
Lunghezza L (m)	400	750	750
Sezione maestra S_T (m ²)	8.5 / 10.9	10.0	15.5
Rapporto di bloccaggio	0.20 / 0.25	0.25	0.36
Perimetro p (m)	10.0 / 12.0	12.5	15.5
Coefficiente d'attrito c_f	0.0056	0.023	0.0135
Massa M (kg)	832'000	1'360'000	2'050'000
Potenza alle ruote P (MW)	17.6	6.76	11.3
Velocità v_T (km/h)	220	120	120
Coefficiente di resistenza A (N)	6'080	12'000	23'200
Coefficiente di resistenza B (N s ⁻¹ m ⁻¹)	240	400	812
Coefficiente di resistenza C (kg/m)	28	72	183
Perdite ausiliari η [%]	30	20	20
Masse termiche attive φ (%)	60	25	30
Calore specifico C_T (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	960	480	480

Tabella 4 - Caratteristiche idrauliche e termiche dei treni in circolazione

2.4.5 Esercizio previsto

L'esercizio nominale prevede una circolazione mista di treni passeggeri (massimo 2 treni/ora), di treni merci (massimo 11 treni/ora) e treni AF (massimo 3 treni/ora). La ripartizione oraria di questo traffico, utilizzato nel presente studio per i calcoli dei carichi aerotermici, è riassunta in tabella 5 e corrisponde alla direzione Francia → Italia. In direzione Italia → Francia il traffico è inferiore, in quanto sono previsti 30 treni merci in meno ogni giorno (83 contro 113).

dir. FRANCIA- ITALIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOT	
V	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	12	
VR/AV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
AF	0	0	0	0	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	54
AFM	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	9	
M	2	2	2	2	9	9	7	7	4	3	4	4	4	2	4	3	4	3	4	4	7	7	8	8	113	
TOT	2	2	2	2	11	11	11	11	8	8	9	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	11	11	11	11	192

Tabella 5 - Numero dei treni e ripartizione oraria del traffico. Direzione Francia → Italia. Fonte: PD2_C2A_0026_05-00-00_10-17_Sintesi_dati_di_traffico_per_studi_tecnici_0

2.4.6 Distanziamento tra treni fermi in caso di incendio

In caso di arresto di emergenza dovuto ad un allarme antincendio, per il dimensionamento degli impianti di ventilazione, l'interdistanza e la successione dei tipi di treno sono presi dagli studi dell'APR/PD:

Tipo di treno	TGV	TGV	AF	Fret	Fret	Fret	AF	Fret	Fret	AF
Interdistanza con il treno precedente (km)	30	7.5	13	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5

Tabella 6 - Inter-distanza tra treni fermi.

Questa sequenza sarà ripresa per tutti gli scenari d'incendio studiati e corrisponderà alla situazione di posizioni relative dei treni al momento dell'inizio di rallentamento dei treni (t = 0 della modellizzazione idraulica).

2.5 Flusso all'interno del tunnel

In caso di incendio, il sistema di ventilazione dovrà essere in grado di garantire un flusso d'aria non nullo. Questo flusso, che può essere maggiore di 10 m/s, è indotto da tre fenomeni distinti:

- L'effetto pistone dovuto al movimento dei treni;
- L'effetto termico;
- Le contro-pressioni¹.

2.5.1 Effetto pistone

L'effetto pistone, dovuto al movimento dei treni dentro il tunnel, è in funzione della velocità di spostamento dei treni e il loro rapporto di bloccaggio² (0,20/0,25 per i TGV Réseau/Duplex, 0,25 per i treni merci, 0,36 per i treni AF).

¹ Dans le cas du tunnel de base, 3 valeurs de contre-pression ont été retenues: -1000 Pa, 0 Pa et +1000 Pa. Per contro-pressione si intende la differenza di pressione residua tra i due portali del tunnel dopo aver sottratto la componente naturale dovuto alle eventuali differenze di altitudine.

² Il rapporto di bloccaggio rappresenta il rapporto tra la sezione trasversale del veicolo e la sezione trasversale libera del tunnel.

2.5.1.1 Effetto pistone generato da un solo treno in circolazione

Le conseguenze dell'effetto pistone sulla velocità e sulla pressione dell'aria all'interno del tunnel sono illustrate in figura 2 per i 3 tipi di treno, quando uno solo è presente nello stesso. Al fine di comparare gli effetti dei 3 treni e per meglio stimare l'entità delle perdite, i pozzi sono stati considerati chiusi.

Il TGV, per la sua forma aerodinamica e per il suo rapporto di bloccaggio ridotto, induce le perdite di carico e spostamenti d'aria più deboli rispetto agli altri treni, sebbene il TGV si sposti con una velocità di 220 km/h rispetto ai treni merci e ai treni AF solo a 120 km/h.

Le correnti indotte dal passaggio di un TGV è pari a circa 4 m/s per il Réseau e 5,5 m/s per il Duplex, ed è prossimo a 7 m/s per un treno merci e circa 8 m/s per un treno AF.

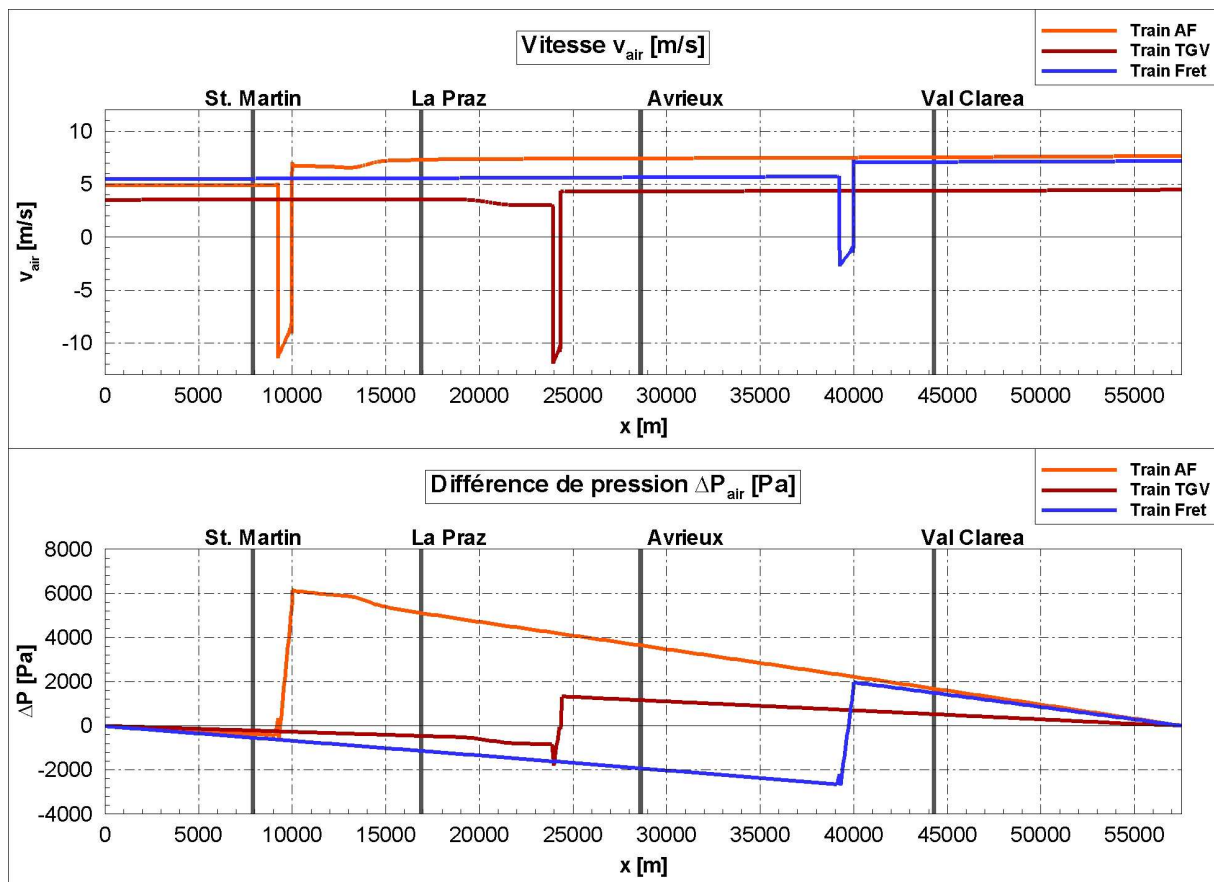


Figura 2 - Conseguenze dell'effetto pistone sulla velocità e sulla pressione dell'aria all'interno del tunnel con un solo treno in circolazione per ognuna delle 3 categorie di treno (treni AF a 120 km/h, TGV a 220 km/h e treni merci a 120 km/h).

2.5.1.2 Effetto pistone generato da diversi treni in movimento

La velocità dell'aria all'interno del tunnel indotto dal passaggio di più treni (2, 8 o 11 l'ora, secondo il programma di esercizio) è illustrato in figura 3.

Nel caso di circolazione di 2 treni l'ora (2 treni merci), la velocità dell'aria nel tunnel a valle del treno è di circa 8 m/s, senza considerare gli effetti termici o gli effetti dovuti alle contropressioni. Questa velocità può tuttavia variare in funzione della posizione del treno e dallo stato del pozzo (aperto o chiuso). Nel caso di circolazione di 8 treni l'ora (1 TGV, 3 treni AF e 4 treni merci), la velocità dell'aria può arrivare localmente a 14 m/s. Risultati simili sono stati ottenuti anche nel caso di circolazione di 11 treni l'ora (2 TGV di cui 1 Duplex, 4 treni AF e 5 treni merci).

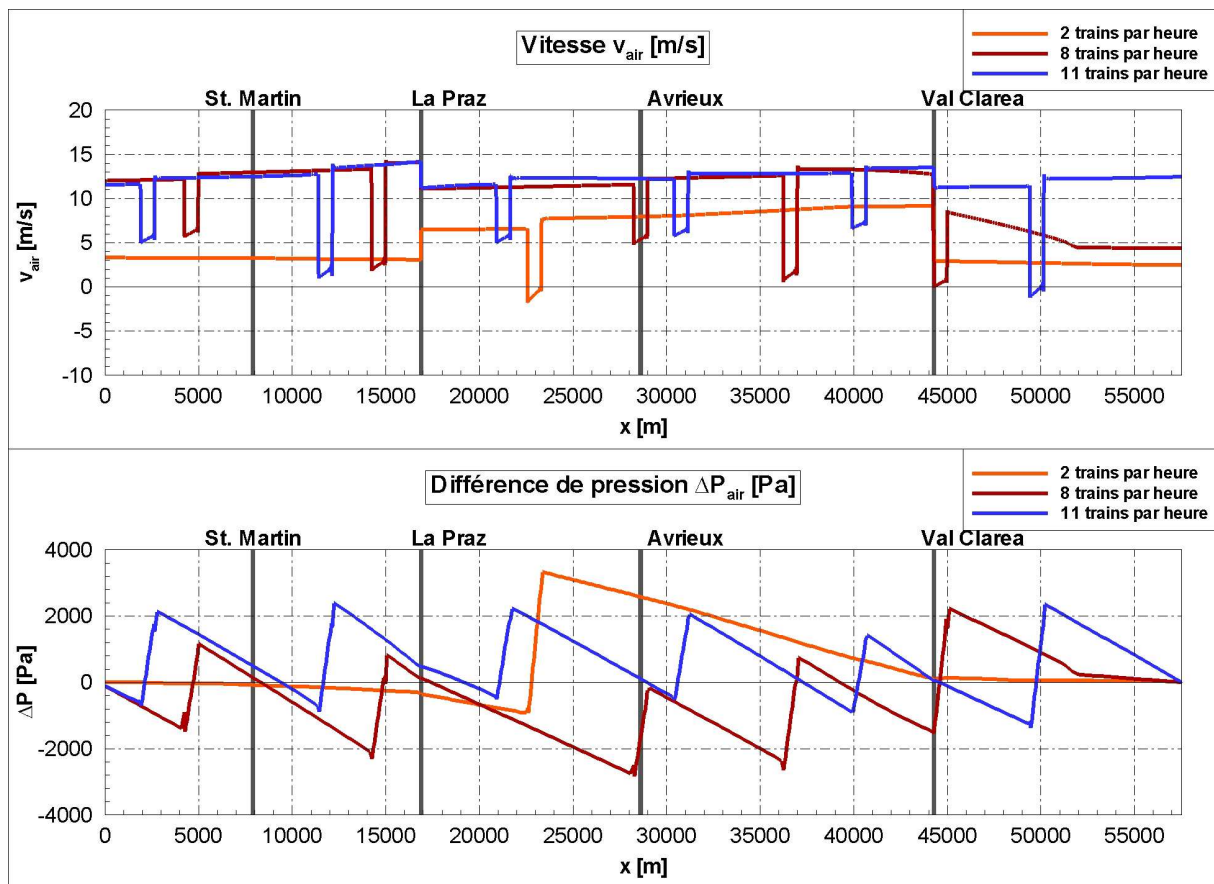


Figure 3 - Conseguenze dell'effetto pistone sulla velocità e sulla pressione dell'aria all'interno del tunnel per i tre scenarii di traffico orario definiti nel piano di esercizio: 2 treni l'ora (2 treni merci), 8 treni l'ora (AF, TGV, merci, AF, merci, AF, merci, merci) e 11 treni l'ora (AF, TGV-Rés, TGV-Duplex, AF, merci, merci, merci, AF, merci, merci, AF); tunnel Francia → Italia.

2.5.2 Effetti termici

Le differenze di temperatura tra l'interno del tunnel e l'ambiente esterno può essere ugualmente una causa di moto del flusso d'aria. Per il tunnel Francia → Italia, i pozzi di La Praz e di Val Clarea (quest'ultimo situato nella zona più calda del tunnel) sono aperti, mentre quelli di St. Martin e di Avrieux sono chiusi. Nel caso che la temperatura esterna sia 0°C, senza alcun treno in circolazione, il flusso può raggiungere una velocità prossima ai 3 m/s in direzione verso Italia tra il portale lato Francia e il pozzo di La Praz (aperto) e molto più bassa fino al pozzo di Val Clarea (aperto). In direzione verso la Francia, dal portale Italiano al pozzo di Val Clarea la velocità del flusso è prossima ai 4 m/s (vedi figura 4).

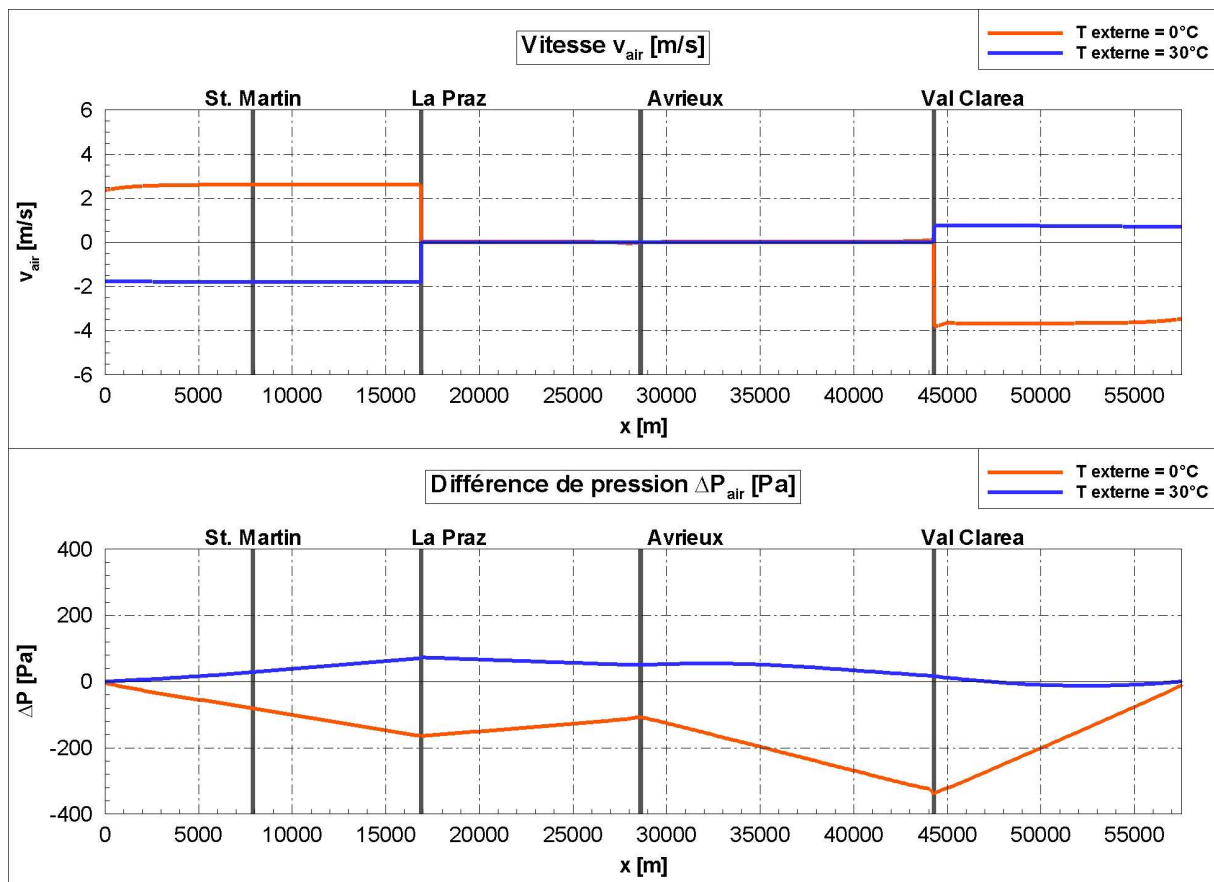


Figura 4 - Flusso d'aria generato dalle differenze di temperatura tra l'interno del tunnel e l'esterno (0 e 30 °C). Tunnel Francia → Italia

2.5.3 Contro-pressione

La contro-pressione (differenza di pressione tra i portali, al netto della differenza di pressione naturale) è ugualmente una causa di flusso d'aria, come illustrato in figura 5. In funzione dello stato di apertura dei pozzi, una contro-pressione variabile tra -1000 Pa e $+1000$ Pa può generare una corrente d'aria con una velocità variabili tra circa $+5$ m/s e -6 m/s.

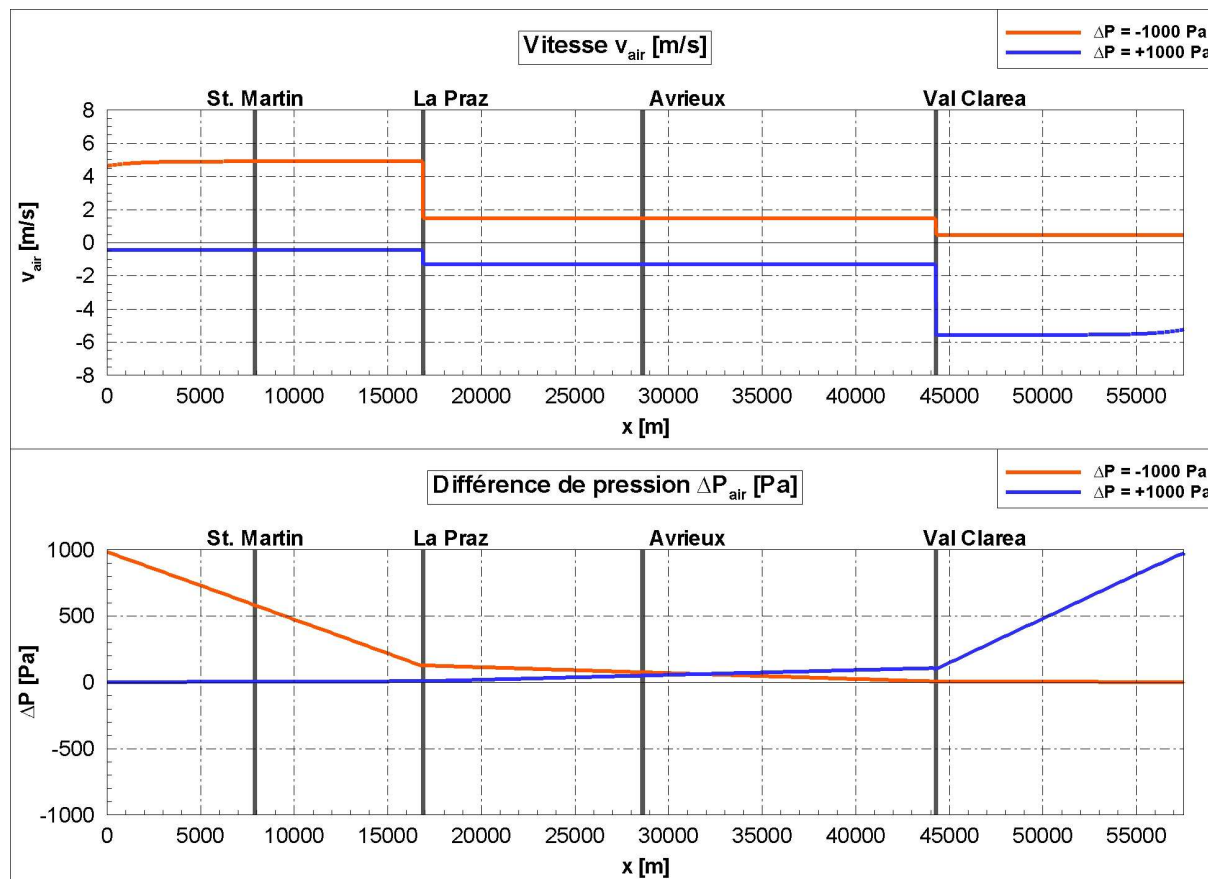


Figura 5 - Flusso d'aria generato da una contro-pressione tra $+1000$ Pa e -1000 Pa. La temperatura dell'aria ai portali del tunnel e alla sommità dei pozzi è fissata uguale e pari a 10°C . Tunnel Francia \rightarrow Italia.

2.5.4 Conclusioni

Questi risultati permettono di concludere che nel normale esercizio lo spostamento d'aria dovuto alla circolazione dei convogli è sufficiente per assicurare la ventilazione igienica del tunnel. Al contrario, in periodi di manutenzione e in assenza di circolazione dei treni, l'utilizzo degli impianti di ventilazione potrebbe essere necessario (in assenza prolungata di traffico, per evitare che la temperatura dell'aria all'interno del tunnel oltrepassi i 32°C , la ventilazione meccanica utilizzando i pozzi sarà necessaria in caso di condizioni climatiche esterne sfavorevoli).

Inoltre, gli effetti appena esposti possono avere un'influenza sull'efficacia di una o dell'altra strategia per l'estrazione dei fumi. Saranno dunque integrate negli scenari utilizzati per il dimensionamento degli impianti di ventilazione.

3. Incendio e strategia di estrazione dei fumi

3.1 Obiettivi del sistema di ventilazione

La problematica della ventilazione dei tunnel ferroviari, soprattutto per gallerie di notevole lunghezza, è estremamente legato agli effetti aerodinamici dovuti allo spostamento d'aria dei treni, agli effetti termici legati alle differenze di temperatura tra l'interno del tunnel e l'ambiente esterno e agli effetti dovuti alla contro-pressione non nulla (che può potenzialmente oltrepassare i 1000 Pa).

Inoltre, la problematica della ventilazione dei tunnel e quella dell'eventuale installazione di impianti di ventilazione sono anche strettamente correlati alla sicurezza delle persone, in particolare in caso di incendio. In questo caso, la ventilazione dovrà essere tale da assicurare i 3 obiettivi seguenti:

- Il controllo dei fumi attraverso il controllo del flusso d'aria longitudinale, nel senso di circolazione dei treni, qualunque sia la posizione dell'incendio sul treno e il treno stesso;
- L'evacuazione dei passeggeri e del personale del treno verso le uscite di emergenza nelle condizioni più sicure possibili;
- Il ricambio d'aria all'interno dei locali tecnici dell'opera.

3.2 Caratteristiche degli incendi

3.2.1 Potenza termica

Le potenze termiche di riferimento per ogni tipologia di incendio sono riassunte in tabella 7. Le potenze di riferimento per i differenti tipi di treni sono: 15 MW per i treni passeggeri e 100 MW per un treno AF o un treno merci. Queste potenze sono incrementate in funzione della strategia di ventilazione al fine di tenere in conto l'influenza di quest'ultima sulla combustione (l'apporto d'aria dovuto alla ventilazione contribuisce allo sviluppo dell'incendio). La velocità critica nel tunnel è di 2,8 e 3,8 m/s rispettivamente per i treni viaggiatori e per i treni AF/merci.

Tipo di veicolo	Potenza termica finale	Potenza termica a treno fermo	Tempo di sviluppo	Velocità dell'aria longitudinale nel tunnel
TGV (motrice centrale)	30.0 MW	3.0 MW	120 s	6.0 m/s
TGV (motrice d'estremità)	25.5 MW	2.55 MW	120 s	2.8 m/s
Treno AF	170.0 MW	17.0 MW	120 s	3.8 m/s
Treno merci	170.0 MW	17.0 MW	120 s	3.8 m/s

Tableau 7 - Caratteristiche degli incendi

3.2.2 Potenza irradiata e potenza convettiva

L'energia rilasciata dall'incendio è in parte irradiata e in parte trasportata per convezione dall'aria riscaldata e dai prodotti della combustione. In caso di incendio di un veicolo nel tunnel, la parte irradiata è dell'ordine di 1/3 della potenza termica totale ed è direttamente

assorbita dalla roccia. Data la sua azione locale, non è di solito direttamente simulata e viene sottratta dal bilancio energetico complessivo. Nel presente studio, la potenza termica convettiva, 2/3 della potenza termica totale, è simulata direttamente nella dinamica dell'incendio. Il restante 1/3 è preso in considerazione per i calcoli dell'evoluzione della temperatura locale della roccia.

3.3 Strategia di estrazione dei fumi e di evacuazione dei passeggeri

3.3.1 Principio di evacuazione dei passeggeri

Il tunnel di base presenta 3 aree di sicurezza (La Praz, Modane e Clarea). Questi sono dotati di una zona sicura che può ricevere fino a 1200 persone, collegata a ciascuna delle due due canne tramite by-pass ogni 50 m. Questi siti costituiscono dei punti di arresto privilegiati per un treno incidentato e che non può uscire dal tunnel.

Un treno incidentato cercherà, nell'ordine:

- Di uscire dal tunnel per fermarsi in uno delle aree di sicurezza all'esterno: Susa (lato Italia) o St. Jean de Maurienne (lato Francia);
- Se non è possibile, di arrestarsi in una delle aree di sicurezza interne al tunnel;
- Se non è possibile, di arrestarsi dove possibile nel tunnel.

Nel presente studio sono stati considerati sia la possibilità di una evacuazione controllata sia una auto-evacuazione (in questo caso i passeggeri evacuano il treno non appena questo è fermo).

3.3.2 Treno fermo nell'Area di sicurezza

Le aree di sicurezza sono equipaggiate con due serrande di estrazione massiva alle estremità del sito e di serrande di estrazione ripartite tra queste due. L'estrazione massiva è utilizzata in caso di strategia a velocità critica (fumi estratti dalle serrande a monte o a valle in funzione della posizione dell'incendio) mentre l'estrazione ripartita è utilizzata in caso di posizione intermedia dell'incendio.

Nel caso dell'area di sicurezza di Modane, per evitare che i fumi invadano il binario di precedenza, quest'ultimo è messo in sovrappressione rispetto al tunnel utilizzando il secondo pozzo di ventilazione di Avrieux.

3.3.3 Treno fermo in piena linea

3.3.3.1 Incendio di una motrice in posizione intermedia di un TGV

In caso di incendio nella posizione centrale di un treno TGV, si utilizza una strategia di estrazione dei fumi per diluizione, che prevede di spingere i fumi nel senso di marcia del treno con una velocità superiore ai 6 m/s.

3.3.3.2 Incendio nella motrice di coda di un TGV

In caso di incendio nella motrice di coda, la strategia di utilizzo della ventilazione consiste nello spingere tutti i fumi verso il retro del treno con una velocità dell'aria longitudinale

superiore alla velocità critica. Questa strategia necessita l'inversione delle correnti d'aria esistenti nel tunnel al momento dell'arresto del treno incendiato. Il sistema di ventilazione dovrà quindi essere in grado di fermare ed invertire il flusso d'aria dovuto al movimento dei treni.

3.3.3.3 Incendio nella motrice di testa di un TGV

In caso di incendio nella motrice di testa, la strategia di utilizzo della ventilazione consiste nello spingere tutti i fumi verso il senso di marcia del treno imponendo un flusso d'aria con una velocità longitudinale superiore alla velocità critica per proteggere l'evacuazione dei passeggeri.

3.3.3.4 Incendio di un treno merci

Oltre il personale di macchina, un treno merci non trasporta nessun altro passeggero. La ventilazione è utilizzata per formare una corrente d'aria superiore alla velocità critica nel senso inverso rispetto al senso di circolazione, in modo tale che il personale di macchina evacuante non è colpito dai fumi. Come nel caso di incendio di una motrice di coda di un TGV, il sistema di ventilazione dovrà essere in grado di invertire il flusso d'aria generato dal movimento dei treni. Poiché la velocità critica per un incendio di un treno merci è superiore a quella di un incendio di un treno TGV (3,8 contro i 2,8 m/s) questa è più restrittiva per il sistema di ventilazione.

3.3.3.5 Incendio di un treno AF

I convogli dell'Autostrada Ferroviaria hanno all'interno della composizione anche un veicolo SONIA (in testa) che ospita gli autisti. Quindi la composizione del Treno AF avrà oltre al veicolo SONIA + 1 locomotiva + convoglio di carri + 1 locomotiva. In caso di incendio, lo scenario normale prevede che il veicolo SONIA si stacchi dal resto del convoglio ed esca dal tunnel in maniera autonoma. La probabilità di fallimento di questa procedura è molto bassa.

La ventilazione è utilizzata per formare una corrente d'aria alla velocità critica nel senso inverso alla circolazione, in maniera tale da allontanare il fumo dal veicolo SONIA. Come per i treni merci, questo caso è più restrittivo che per il caso di incendio di una motrice di coda di un treno TGV.

3.3.4 Sintesi delle strategie di ventilazione da applicare

La tabella 8 riassume, in funzione del tipo di treno incendiato, dalla posizione dell'incendio sul treno (solo per il TGV) e della fase considerata, le strategie di ventilazione.

Tipo di treno	Posizione dell'incendio sul treno	Fase	Strategia: velocità longitudinale della corrente d'aria
TGV	Motrice di testa	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso di circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
	Motrice centrale	1: Evacuazione	Diluizione nel senso di circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
	Motrice di coda	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso inverso alla circolazione
		2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro
Treni merci o treni AF	1: Evacuazione	Velocità critica nel senso inverso alla circolazione	
	2: Lotta contro l'incendio	Velocità critica in un senso o nell'altro	

Tabella 8 – Strategie ritenute di ventilazione.

3.4 Tempi delle procedure di estrazione dei fumi

La tabella 9 e la tabella 10 mostrano il tempo delle procedure di estrazione dei fumi prese a riferimento nel presente studio per i calcoli degli scenari di estrazione e la determinazione delle portate necessarie.

L'istante iniziale t_0 di inizio della procedura di ventilazione corrisponde all'istante di avvio della fase di arresto di un treno incendiato. In tutti i casi, la velocità ridotta presa a riferimento è pari a 30 km/h.

3.4.1 Caso di incendio di un treno passeggeri

Tempi (min)	Azioni	
	Canna incidentata	Canna integra
0	Avvio della procedura di arresto Avvio della procedura di ventilazione fase 1	
2	Arresto del treno incendiato e dei treni seguenti	
3	Inizio del rallentamento dei treni precedenti	Inizio di frenatura dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente Inizio di rallentamento dei treni che hanno passato la zona dell'incidente
5	Treni precedenti a velocità ridotta	Arresto dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente Treni che hanno passato la zona dell'incidente a velocità ridotta
7-10	Regime di ventilazione stabilito	
10	Inizio della marcia indietro a bassa velocità dei treni seguenti Inizio dell'estrazione sulla canna a destra del treno incidentato	Inizio della marcia indietro dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente
30	Fine dell'estrazione nella canna sana Avvio della procedura di ventilazione fase 2	

Tabella 9 - Tempi delle procedure di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno TGV.

3.4.2 Caso di incendio di un treno merci o AF

Tempi (min)	Azioni	
	Canna incidentata	Canna integra
0	Avvio della procedura di arresto Avvio della procedura di ventilazione fase 1	
2	Arresto del treno incendiato e dei treni seguenti	
3	Inizio di rallentamento dei treni precedenti	Inizio di frenatura dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente Inizio di rallentamento dei treni che hanno passato la zona dell'incidente
5	Treni precedenti a velocità ridotta	Arresto dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente Treni che hanno passato la zona dell'incidente a velocità ridotta
10	Inizio della marcia indietro a bassa velocità dei treni seguenti Inizio dell'estrazione	Inizio della marcia indietro dei treni che non hanno passato la zona dell'incidente
30	Avvio della procedura di ventilazione fase 2	

Tabella 10 - Tempi delle procedure di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno merci o AF.

4. Scenari di dimensionamento selezionati

4.1 Tipologie di incendio

Le tipologie di incendio considerate sono le seguenti (già citate nella tabella 7).

Tipologie di incendio	Strategie di estrazione dei fumi	Velocità longitudinale dell'aria	Potenza termica
TGV (motrice di coda)	velocità critica	-2.8 m/s	25.5 MW
TGV (motrice intermedia)	velocità elevata (diluzione)	+6.0 m/s	30 MW
TGV (motrice di testa)	velocità critica	+2.8 m/s	25.5 MW
Trano AF	velocità critica	-3.8 m/s	170 MW
Treno merci	velocità critica	-3.8 m/s	170 MW

Tabella 11 - Tipologie di incendio e strategie di estrazione dei fumi. Il segno della velocità indica il senso della ventilazione (+ senso della circolazione dei treni, - senso inverso della circolazione).

NOTA: queste velocità dovranno essere raggiunte nel più breve tempo possibile per ogni tipologia di treno

4.2 Posizione del treno incendiato

Come indicato in tabella 12 (come in tabella 6), sono state considerate 9 possibili posizioni del treno incendiato, una dentro ciascuna delle 3 aree di sicurezza o a Saint Martin e una dentro ciascuna delle 5 zone intermedie.

Posizione dell'incendio	Posizione rispetto al portale Ovest
Inter 1 (tra il portale lato Francia e St. Martin)	3'000 m
Inter 2 (tra St. Martin e La Praz)	10'000 m
Sito di La Praz	16'885 m
Inter 3 (tra La Praz e Modane)	20'000 m
Sito di Modane	28'611 m
Inter 4 (tra Modane e Val Clarea)	32'000 m
Sito di Clarea	44'294 m
Inter 5 (tra Val Clarea e il portale lato Italia)	51'000 m

Tabella 12 - Posizione dell'incendio per i diversi scenari di studio (le coordinate sono date nel senso Francia – Italia. Lo zero è fissato al portale lato Francia)

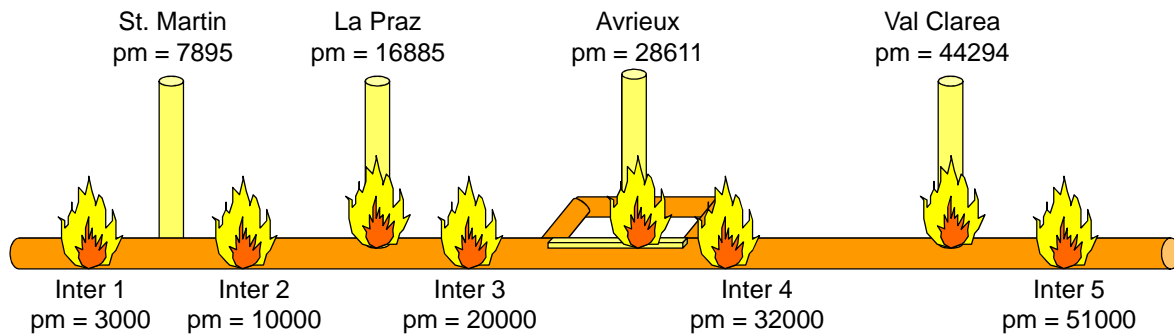


Figura 6 - Posizione dell'incendio secondo i diversi scenari di studio

L'arresto di un treno incendiato in una delle 3 aree di sicurezza corrisponde ad una situazione eccezionalmente controllata, dove per un treno in fiamme è possibile regolare la sua fermata e la sua posizione in una zona dove l'estrazione dei passeggeri e l'estrazione dei fumi sono facilitate.

Al contrario, l'arresto in una delle 5 zone intermedie corrisponde ad una situazione non eccezionalmente controllata. Non si può conoscere quindi la frenatura e la posizione del treno in modo tale che le porte di testa e di coda siano in corrispondenza di un by-pass di evacuazione.

4.3 Contro-pressione

La differenza di pressione massima tra gli imbocchi del tunnel di base è stata stimata in ± 1000 Pa. Per il dimensionamento degli impianti, le 3 contro-pressioni seguenti sono state considerate nel presente studio:

- -1'000 Pa;
- 0 Pa;
- +1'000 Pa.

Nel seguito, ci si limiterà a presentare i risultati ottenuti per la canna Francia → Italia. In questo caso di parlerà di:

- Contro-pressione negativa di -1000 Pa quando il livello di pressione misurata al portale lato Italia sarà di 1000 Pa inferiore a quella misurata al portale lato Francia (senza considerare le differenze di pressione dovute all'altitudine);
- Contro-pressione positiva di +1000 Pa quando il livello di pressione misurata al portale lato Italia sarà di 1000 Pa superiore a quella misurata al portale lato Francia (senza considerare le differenze di pressione dovute all'altitudine).

5. Metodologie di studio

Gli scenari selezionati sono simulati numericamente utilizzando un approccio monodimensionale (1D). Questo approccio, sistematico, relativamente leggero e rapido, è sufficiente per lo scopo del presente studio. Con riserva di validità dell'ipotesi di monodimensionalità del flusso, l'approccio 1D è in effetti capace di riprodurre, in particolare, il movimento di diversi treni, gli effetti termici, gli effetti dovuti alla gravità e, naturalmente, lo sviluppo dell'incendio e la propagazione dei fumi e il sistema di ventilazione.

5.1 Logica del calcolo TNT

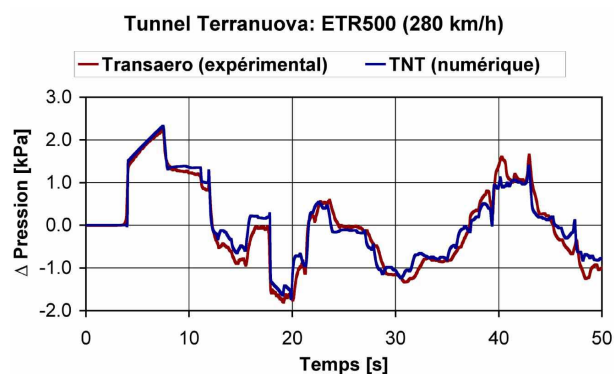
I calcoli 1D sono realizzati con la logica TNT sviluppata e validata da GESTE Engineering, in collaborazione con il Politecnico di Milano.

TNT, acronimo di Tunnel Nets & Trains, è una logica sviluppata per un simulatore numerico di flussi comprimibili instabili indotti dal passaggio di veicoli a bassa o alta velocità dentro un tunnel ferroviario o stradale a geometria complessa. Questo permette ugualmente di simulare la propagazione dei fumi nel tunnel, integrandolo con l'eventuale sistema di ventilazione.

TNT è basato sulla soluzione della formulazione monodimensionale (1D) delle equazioni di Navier-Stokes, calcolando a tutti gli istanti e in tutti i punti del tunnel la variazione temporale dei campi di pressione, la densità, la velocità, la temperatura, la concentrazione dei fumi, l'umidità dell'aria, etc. Gli effetti viscosi sono presi in considerazione esplicitamente tramite dei coefficienti di attrito parietale e di perdita di carico. Viene considerata anche la forza di gravità.

TNT è stato sviluppato a partire dal 1994 principalmente dal Dipartimento d'Ingegneria Aerospaziale del Politecnico di Milano che ha potuto beneficiare della collaborazione di GESTE Engineering che ha permesso di testare, validare e "Industrializzare" il codice di calcolo. La logica integra un modello correttivo ad hoc al fine di prendere in considerazione gli effetti tridimensionali dovuti alla testa dei treni, alla coda e alla scia. Questi effetti sono particolarmente importanti per i treni ad alta velocità.

TNT può trattare un numero variabile di treni e di tunnel. I tunnel, di geometria complessa, possono integrare dei pozzi di ventilazione collegati con la superficie, essere realizzati con dei rami di anti-pistonning, avere delle biforcazioni con angolo variabile e comprendere i portali di estremità. Le condizioni atmosferiche alle estremità aperte del tunnel e dei pozzi possono essere uniformi (effetto camino per esempio). I veicoli in movimento nei tunnel possono avere una velocità variabile secondo un profilo scelto.



TNT, attraverso uno schema numerico poco dissipativo, simula fedelmente la propagazione delle onde di pressione, permettendo l'analisi dei carichi aerodinamici sulle strutture, le micro-onde di pressione in prossimità dei portali e gli effetti aero-acustici (confort del timpano). A tal proposito, TNT è stato validato con diversi dati sperimentali e con i risultati del programma di ricerca europeo Transaero:

come illustrato nella figura a sinistra, il programma riproduce con una eccellente precisione i campi aerodinamici instabili generati dal passaggio ad alta velocità (da 180 a 280 km/h) di uno o due treni ETR500 nella galleria Terranuova sulla linea Firenze-Arezzo (galleria singola canna doppio binario, lunghezza 2707 m).

TNT può simulare degli incendi nel tunnel, fissi o mobili su un veicolo, e la propagazione dei fumi sviluppati, tenendo in considerazione l'effetto camino, il movimento dei treni e l'eventuale presenza del sistema di ventilazione.

TNT può esaminare reti complesse con dei sistemi di ventilazione diversi (ventilatori a getto per esempio) e calcolare i loro effetti in termini di flusso di massa e calore in funzione delle loro caratteristiche.

TNT può ugualmente simulare l'evoluzione della temperatura dell'aria all'interno del tunnel in considerazione dello scambio di calore con la roccia, calcolando per questa anche la temperatura in una fascia di spessore di diversi metri.

In conclusione, TNT non permette solamente di calcolare i fenomeni legati alle onde di pressione, ma può ugualmente simulare uno scenario d'incendio completo comprendendo lo sviluppo di un incendio su un veicolo in movimento, il rallentamento e l'arresto di un veicolo, la messa in moto dei ventilatori, l'apertura di eventuali by-pass di evacuazione, l'evacuazione dei treni non incidentati.

5.2 Dominio del calcolo

Il dominio di calcolo preso per le simulazioni 1D prende in considerazione l'insieme delle strutture e dei treni.

Secondo le nuove ipotesi per il progetto LTF, le 2 canne sono separate l'una dall'altra dal punto di vista aeraulico in quanto i by-pass sono dimensionati per accogliere tutti i passeggeri e le porte verso la canna sana non saranno aperte se non dopo la chiusura di quelle verso la canna incidentata. La simulazione non considera dunque che una canna con i suoi pozzi (il secondo e il quarto sono aperti) e il suo binario di precedenza³ nell'area di sicurezza di Modane (vedi figura 7).

5.3 Rappresentazione dei risultati

I principali risultati dei numerosi scenari d'incendio simulati sono riportati nel capitolo 6 per quanto concerne l'incendio di una motrice di un treno TGV e nel capitolo 7 per quanto concerne l'incendio di un treno AF.

Le variabili utilizzate per descrivere i risultati sono riassunte nella tabella 13.

³ In questo studio la protezione del binario di precedenza contro i fumi viene fatta per immissione d'aria attraverso il pozzo di Avrieux come nello studio dell'APR/PD. Questa soluzione studiata, da un punto di vista aeraulico e degli impianti, è la più complessa.

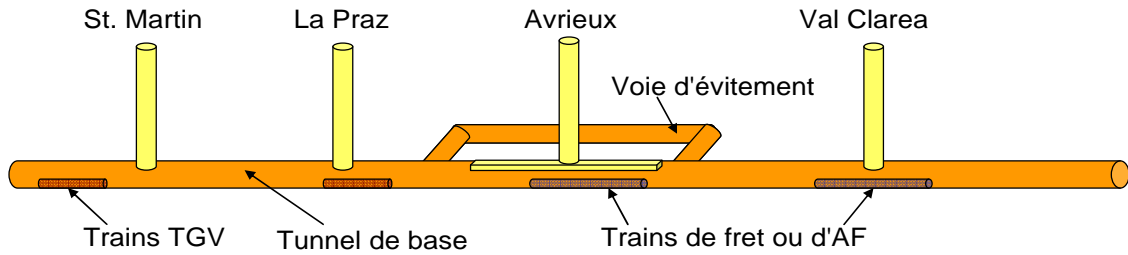


Figure 7 - Dominio di calcolo in considerazione che le due canne sono separate dal punto di vista aeraulico.

Variabile	Descrizione	Unità di misura
ΔP	Contro-pressione: $\Delta P < 0 \Rightarrow$ flusso $F \rightarrow I$ $\Delta P > 0 \Rightarrow$ flusso $I \rightarrow F$	Pa
x_{inc}	Posizione dell'incendio	m
$\Phi_{St.Martin}$	Portata d'aspirazione ($\Phi < 0$) o di immissione ($\Phi > 0$) dal pozzo di St. Martin	m ³ /s
$\Phi_{LaPr az}$	Portata d'aspirazione ($\Phi < 0$) o di immissione ($\Phi > 0$) dal pozzo di La Praz	m ³ /s
$\Phi_{Avrieux}$	Portata d'aspirazione ($\Phi < 0$) o di immissione ($\Phi > 0$) dal pozzo di Avrieux	m ³ /s
$\Phi_{ValClarea}$	Portata d'aspirazione ($\Phi < 0$) o di immissione ($\Phi > 0$) dal pozzo di Val Clarea	m ³ /s
v_{stop}	Velocità del flusso 20 m avanti (o dietro) di un treno incendiato al momento dell'arresto del treno	m/s
v_{10min}	Velocità del flusso 20 m a monte (in funzione del senso di estrazione dei fumi) di un treno incendiato 10 minuti dopo l'avvio delle procedure di arresto (8 minuti dopo l'arresto del treno)	m/s
v_{30min}	Velocità del flusso 20 m a monte (in funzione del senso di estrazione dei fumi) di un treno incendiato 30 minuti dopo l'avvio della procedura di arresto (28 min dopo l'arresto dei treno)	m/s
v_{retour}	Velocità di ritorno a valle del punto di estrazione più prossimo all'incendio : questa velocità dovrà essere minimo 1 m/s in direzione del punto di estrazione	m/s
t_{vc}	Tempi necessari a partire dall'avvio delle procedure di arresto del treno per raggiungere la velocità imposta	min
T_{sortie}	Temperatura della miscela aria/fumi all'uscita del tunnel o dei ventilatori più prossimi all'incendio	°C
T_{10min}	Temperatura della miscela aria/fumi 20 m a monte o a valle (in funzione della direzione dell'estrazione dei fumi) di un treno incendiato 10 minuti dopo l'avvio della procedura di arretso (8 minuti dopo l'arresto del treno)	°C
T_{30min}	Temperatura della miscela aria/fumi 20 m a monte o a valle (in funzione della direzione dell'estrazione dei fumi) di un treno incendiato 30 minuti dopo l'avvio della procedura di arretso (28 minuti dopo l'arresto del treno)	°C
Pressione relativa	Aumento di pressione in rapporto al valore atmosferico iniziale (valore di riferimento)	Pa

Tabella 13 - Descrizione delle variabili utilizzate

6. Incendio di una motrice di TGV (Canna F→I)

6.1 Introduzione

Come priorità, un treno passeggeri incidentato cercherà di fermarsi con una frenata controllata in una delle aree di sicurezza presenti nel tunnel (La Praz, Modane o Val Clarea); diversamente, se l'arresto non può essere controllato, il treno incidentato si fermerà nel tunnel in piena linea.

Nel caso di arresto controllato nell'area di sicurezza, il concetto di ventilazione prevede un'aspirazione dei fumi dalle serrande posizionate nella volta del tunnel e una evacuazione dei passeggeri tramite i by-pass ogni 50 m verso la sala di accoglienza di attesa sicura. Le condizioni di evacuazione sono dunque ideali.

Nel caso di arresto in piena linea, le strategie d'intervento sono tali da offrire ai passeggeri le migliori condizioni di sicurezza per l'evacuazione. Queste prevedono, da una parte di controllare la velocità di propagazione dei fumi nella canna incidentata e, dall'altra, l'evacuazione dei passeggeri verso la canna sana.

La velocità di propagazione dei fumi è controllata dai ventilatori posizionati alla sommità dei 4 pozzi di ventilazione: St. Martin, La Praz, Avrieux e Val Clarea. La velocità di ventilazione necessaria è rappresentato in questo capitolo in funzione dello scenario di estrazione dei fumi, dalle condizioni di contro-pressione e dalla posizione del veicolo incendiato.

Per il dimensionamento degli impianti di ventilazione, ci limiteremo in questo capitolo a presentare i risultati aeraulici nel caso di incendio sviluppatosi nella canna Francia → Italia. I risultati sono analoghi nel caso di incendio sviluppatosi nell'altra canna.

Il paragrafo 6.2 è dedicato all'incendio di una motrice di estremità di un treno TGV, e più precisamente, tratta il caso di un incendio sviluppatosi nella motrice di coda, caso più critico rispetto a quello di un incendio sulla motrice di testa.

Il paragrafo 6.3 è dedicato all'incendio di una motrice intermedia di un treno TGV, e più precisamente, a una strategia di estrazione dei fumi mediante diluizioni dei fumi (velocità elevata).

6.2 Incendio di una motrice di estremità di un treno TGV: velocità critica

6.2.1 Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi

Nel caso che un incendio si sviluppi su una motrice di estremità di un treno TGV (motrice di testa o di coda), la potenza termica sviluppata è pari a 25,5 MW, dove 1/3 è dissipata sotto forma di irraggiamento. Lo sviluppo della potenza dell'incendio è ipotizzato quasi istantaneo a partire dall'arresto del treno: da 2,55 MW a 25,5 MW in 2 minuti.

Se l'incendio si sviluppa sulla motrice posteriore, la strategia di estrazione dei fumi prevede di spingere i fumi nel senso opposto a quello di circolazione ad una velocità di almeno 2,8 m/s, da raggiungere il prima possibile dopo l'arresto del treno.

Se l'incendio si sviluppa sulla motrice di testa, la strategia di estrazione dei fumi prevede di spingere i fumi nel senso di circolazione ad una velocità di almeno 2,8 m/s, da raggiungere il prima possibile dopo l'arresto del treno.

6.2.2 Scenari di dimensionamento

Riguardo la posizione dell'incendio sul veicolo, lo scenario più critico è quello che prevede che l'incendio si sviluppi sulla motrice di coda, e in questo caso la strategia di estrazione dei fumi implica un'inversione del flusso per spingere i fumi verso il portale di ingresso (contro bilanciamento dell'effetto pistone). Questo scenario è il più sfavorevole dal punto di vista della necessità di spinta dell'aria, ed è presentato qui di seguito come caso per il dimensionamento. Lo scenario di incendio su una motrice di testa non è illustrato.

Gli scenari di dimensionamento sono ottenuti con una contro-pressione di -1000 Pa, sostenendo l'effetto pistone e quindi escludendo l'inversione del flusso. Si ricorda che una contro-pressione di -1000 Pa indica un livello di pressione al portale lato Italia inferiore di 1000 Pa rispetto a quella misurata al portale lato Francia (senza considerare la differenza di pressione dovuta all'altitudine).

I risultati ottenuti per questo scenario e per differenti posizioni di arresto del treno incendiato sono rappresentati in maniera grafica e tramite tabelle. Le portate di estrazione o immissione necessarie, e i valori principali dei campi di velocità calcolati sono riportati per i 3 valori di contro-pressione di -1000 Pa (tabella 14), 0 Pa (tabella 15) e +1000 Pa (tabella 16). Le curve di velocità, di pressione e di temperatura ottenute sono illustrate solamente per il caso -1000 Pa (paragrafo 6.2.4). Si ricorda che le posizioni dell'incendio sono riportate in figura 6.

6.2.3 Sintesi dei risultati

6.2.3.1 Contro-pressione di -1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	+300	+100	0	0	11.2	-4.7	-3.9	-	6.7	22
Inter 2	-300	+300	0	0	10.6	-2.8	-3.0	3.8	7.5	17
Inter 3	-200	-200	+300	0	6.8	-3.2	-4.0	1.2	6.8	16
Inter 4	0	0	-400 / +100	+300	12.7	-3.5	-4.6	2.7	5.0	22
Inter 5	0	0	-200 / +100	-300	5.9	-3.6	-6.2	3.3	3.0	24

Tabella 14 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

6.2.3.2 Contro-pressione di 0 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	+300	0	0	0	10.3	-4.1	-4.4	-	7.3	23
Inter 2	-300	+250	0	0	9.0	-3.1	-3.4	3.6	7.5	18
Inter 3	-200	-200	+300	0	6.4	-4.5	-5.6	4.5	6.1	17
Inter 4	0	0	-400 / +100	-100	12.7	-3.1	-4.1	3.1	5.6	22
Inter 5	0	0	0 / +100	-300	6.1	-4.2	-6.1	2.8	5.0	24

Tabella 15 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

6.2.3.3 Contro-pressione di +1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	+250	0	0	0	10.6	-4.5	-5.2	-	7.3	22
Inter 2	-300	+200	0	0	9.0	-3.7	-4.5	2.9	7.4	18
Inter 3	0	-300	+50	0	6.4	-3.1	-5.2	3.7	8.4	17
Inter 4	0	0	-300 / +100	0	12.7	-4.4	-5.1	5.8	4.6	21
Inter 5	0	0	0 / +100	-300	3.4	-5.5	-6.8	1.4	3.0	24

Tabella 16 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio della motrice di coda di un TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

6.2.4 Tunnel incidentato: risultati per $\Delta p = -1000$ Pa

6.2.4.1 Posizione dell'incendio: Inter 1 = 3000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata necessaria in m ³ /s	-	+300	+100	0	0	-
Pressione relativa ai ventilatori in Pa (minima/massima)	-	+1500 +5200	-2900 +2200	-	-	-

Tabella 17 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.

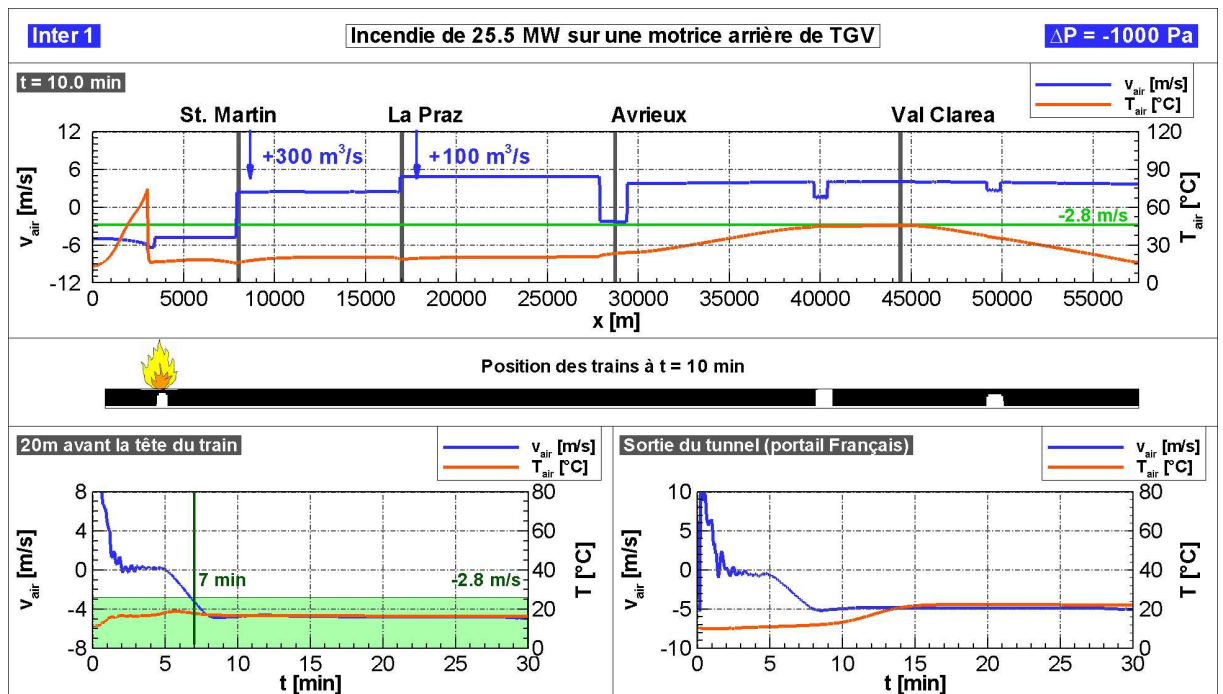


Figura 8 - Profilo di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

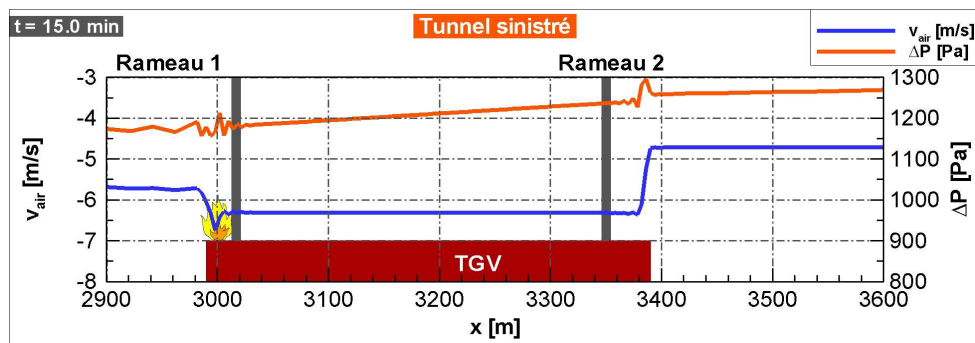


Figura 9 - Profili di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

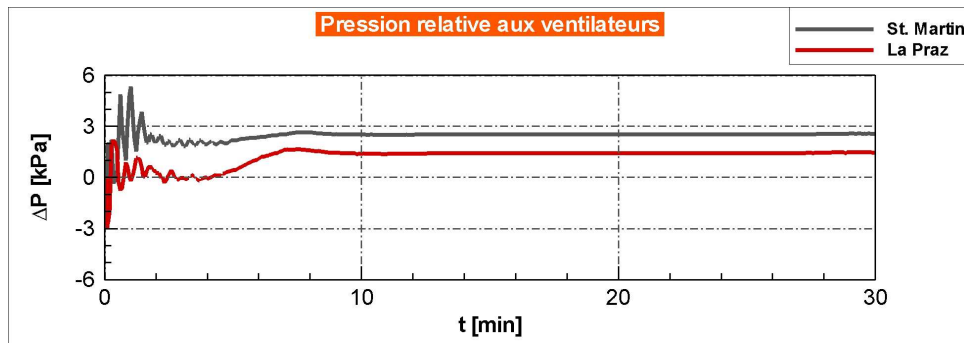


Figura 10 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata è messa in opera utilizzando i pozzi di St. Martin e La Praz in immissione rispettivamente a + 300 e + 100 m³/s. La velocità dell'aria nel tunnel, superiore a 8 m/s prima del rallentamento del treno incendiato, è invertita in circa 7 minuti per raggiungere una velocità superiore (in valore assoluto) a 2,8 m/s (velocità critica). La velocità di riferimento viene infine mantenuta.

Durante la fase di inversione del senso del flusso, la velocità dell'aria è bassa, osservando in corrispondenza della coda del treno un aumento della densità del fumo e della temperatura dell'aria. Quest'ultima raggiunge i 120 °C quando la velocità dell'aria è prossima allo 0, ma diminuisce rapidamente una volta che il flusso viene invertito e si stabilizza intorno a 80 °C (a 20 m dalla coda del treno). Questo comportamento appare, nello scenario di incendio della motrice di coda, per tutte le posizioni dell'incendio.

Pressione relativa a destra dell'incendio

La pressione relativa a destra dell'incendio è circa 1200 Pa (in questo scenario, la pressione relativa al portale lato Francia è di 1000 Pa, ed è nulla al portale lato Italia).

Pressione relativa ai ventilatori

La decelerazione dei treni nella fase iniziale provoca delle variazioni di pressione relativamente importanti dell'ordine dei 5000 Pa, per stabilizzarsi al di sotto dei 3000 Pa (2600 Pa per St. Martin e 1600 Pa per La Praz)

Disponibilità degli impianti

La ridondanza può essere assicurata dai pozzi di Avrieux e di Val Clarea, oltre che dagli acceleratori alle estremità del tunnel.

6.2.4.2 Posizione dell'incendio: Inter 2 = 10000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata necessaria in m ³ /s	-	-300	+300	0	0	-
Pressione relativa ai ventilatori in Pa (minima/massima)	-	-2500 +4400	-100 +3900	-	-	-

Tabella 18 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione die fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.

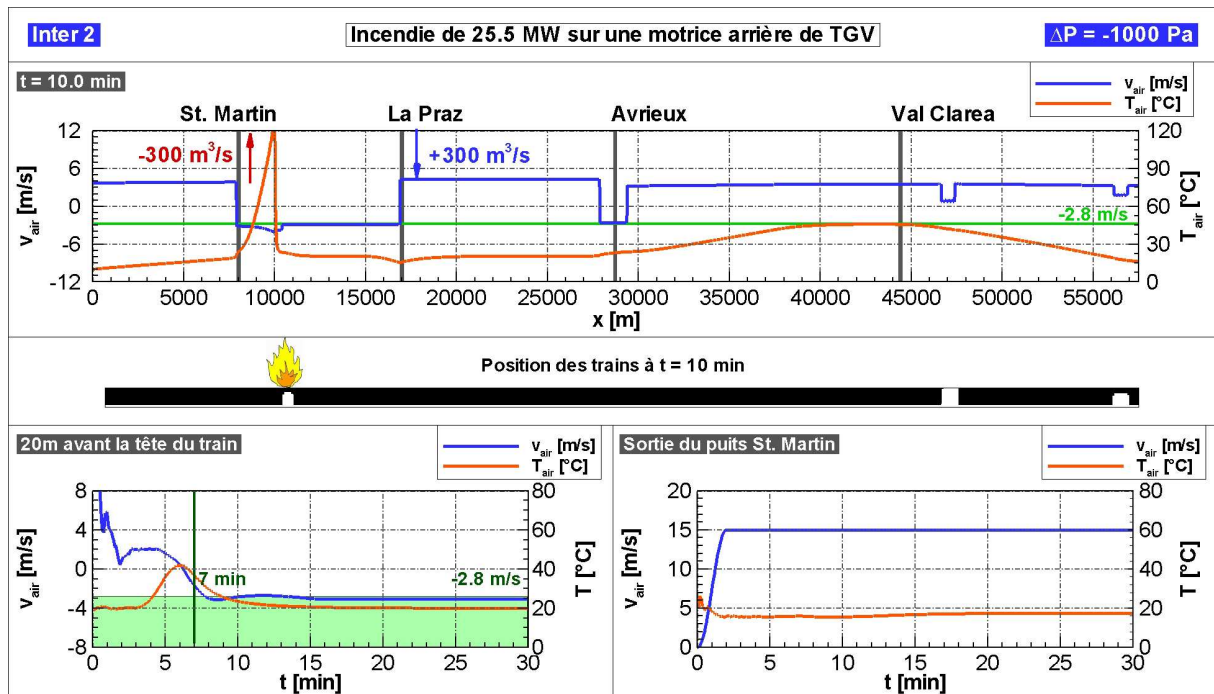


Figura 11 - Profilo di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

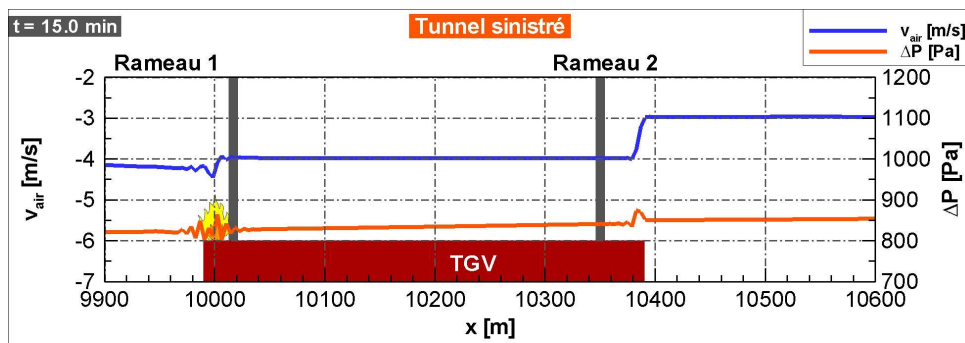


Figura 12 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

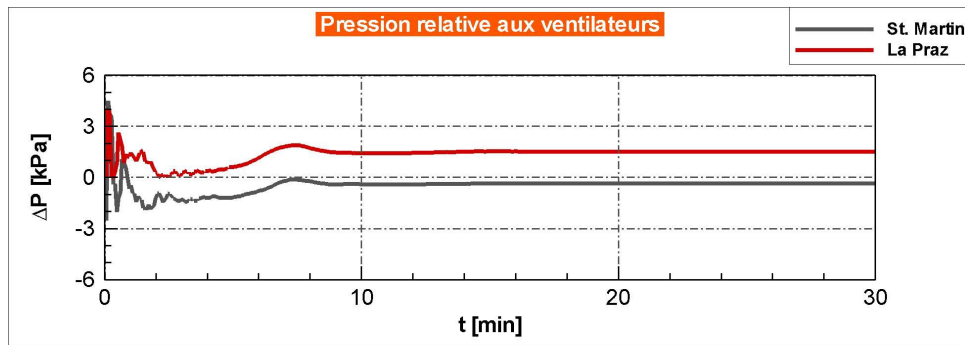


Figura 13 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata necessita dell'utilizzo di due pozzi, il pozzo di St. Martin in aspirazione ($-300 \text{ m}^3/\text{s}$) e il pozzo di La Prax in immissione ($+300 \text{ m}^3/\text{s}$). La velocità di riferimento viene raggiunta in circa 7,5 minuti. Tra i 10 e i 13 minuti la velocità dell'aria scende tra i 2,7 e i 2,8 m/s per risalire infine a 3 m/s stabilizzandosi su questo valore. Sarà possibile aumentare la portata d'aria in immissione dal pozzo di La Prax a $400 \text{ m}^3/\text{s}$ al fine di garantire un buon margine sulla velocità di riferimento.

Pressione relativa a destra dell'incendio

Nella canna incidentata, la pressione relativa a destra dell'incendio, generata dai ventilatori, è circa 850 Pa (in questo scenario, la pressione relativa al portale lato Francia è di 1000 Pa, ed è nulla al portale lato Italia).

Pressione relativa ai ventilatori

La differenza di pressione calcolata tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori può raggiungere valori fino a 4400 Pa come per il pozzo di St. Martin.

Disponibilità degli impianti

La ridondanza può essere assicurata dai pozzi di Avrieux e di Val Clarea, oltre che dagli acceleratori alle estremità del tunnel.

Position de l'incendie: Inter 3 = 20'000 m

6.2.4.3 Posizione dell'incendio: Inter 3 = 20000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata necessaria in m ³ /s	-	-200	-200	+300	0	-
Pressione relativa ai ventilatori in Pa (minima/massima)	-	-2400 +1400	-3200 +4000	-900 +1900	-	-

Tabella 19 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione die fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.

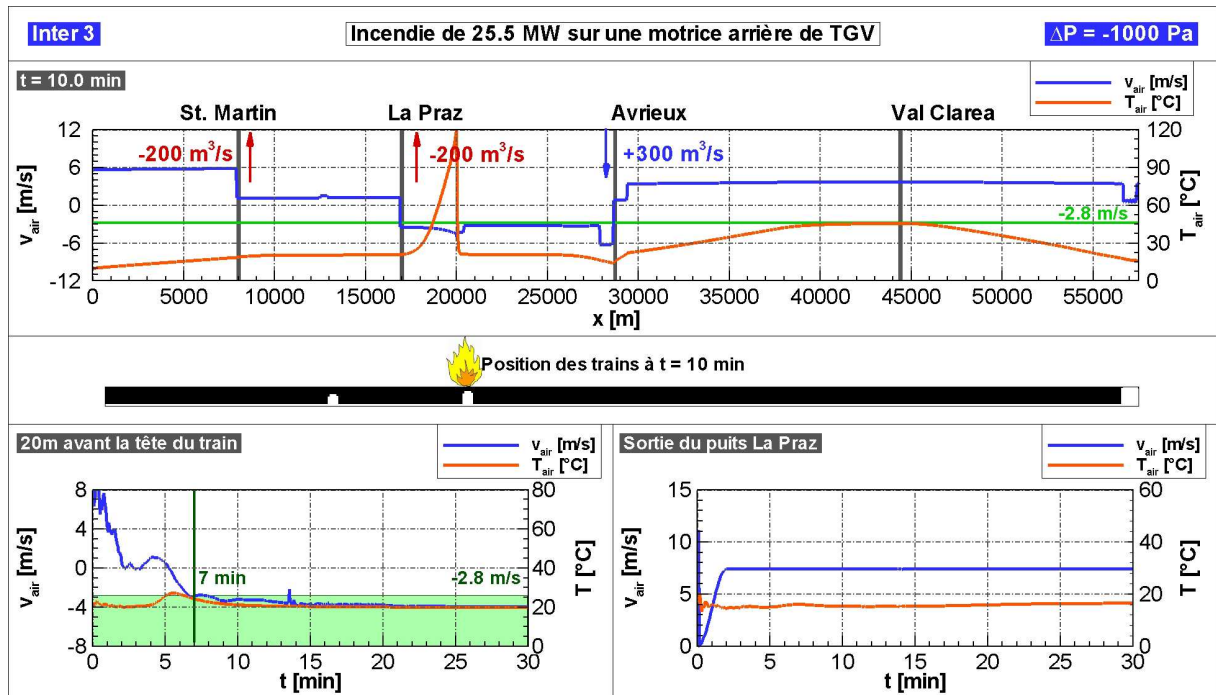


Figura 14 - Profilo di velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione

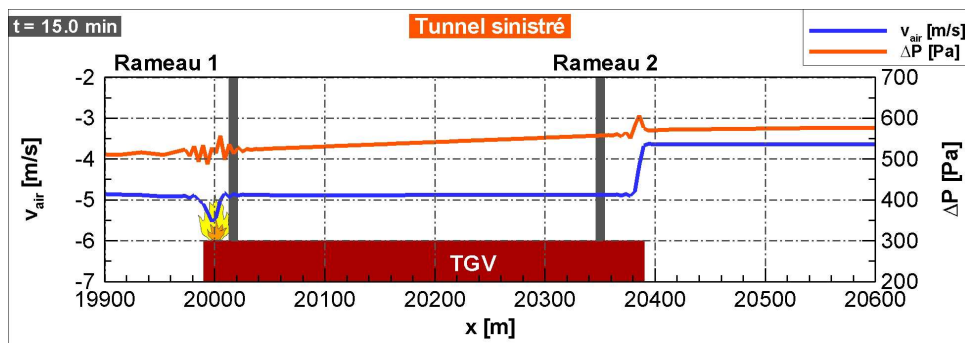


Figura 15 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

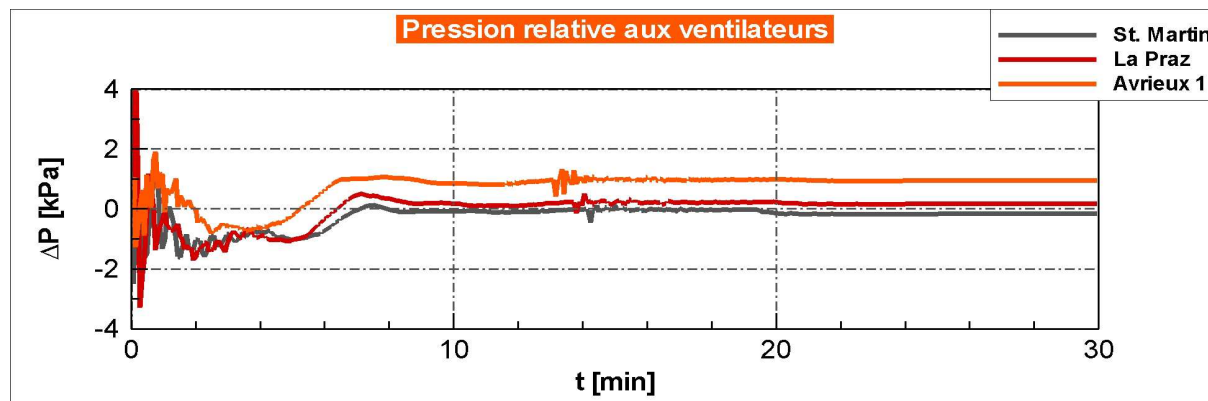


Figura 16 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo.

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La messa in opera delle strategie di estrazione dei fumi dalla canna incidentata necessita della messa in servizio di tre pozzi: St. Martin e La praz in aspirazione ($-200 \text{ m}^3/\text{s}$), Avrieux in immissione ($+300 \text{ m}^3/\text{s}$). La velocità di riferimento è raggiunta in 6,5 minuti e viene infine mantenuta intorno ai $-3,9 \text{ m/s}$.

Pressione relativa a destra dell'incendio

In questo scenario, la pressione relativa a destra dell'incendio è relativamente bassa, circa 550 Pa nella canna incidentata.

Pressione relativa ai ventilatori

A parte i picchi durante la fase di frenatura del treno incendiato ($-3000/+4000 \text{ Pa}$) la pressione relativa ai ventilatori è compresa tra i -100 e i 1000 Pa .

Disponibilità degli impianti

Tre pozzi su quattro sono utilizzati per l'estrazione dei fumi. Una ridondanza parziale è assicurata dal pozzo di Val Clarea.

6.2.4.4 Posizione dell'incendio: Inter 4 = 32000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata necessaria in m ³ /s	-	0	0	-400 / +100	+300	-
Pressione relativa ai ventilatori in Pa (minima/massima)	-	-	-	-800 / +2000	-2000 / +4000	-

Tabella 20 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.

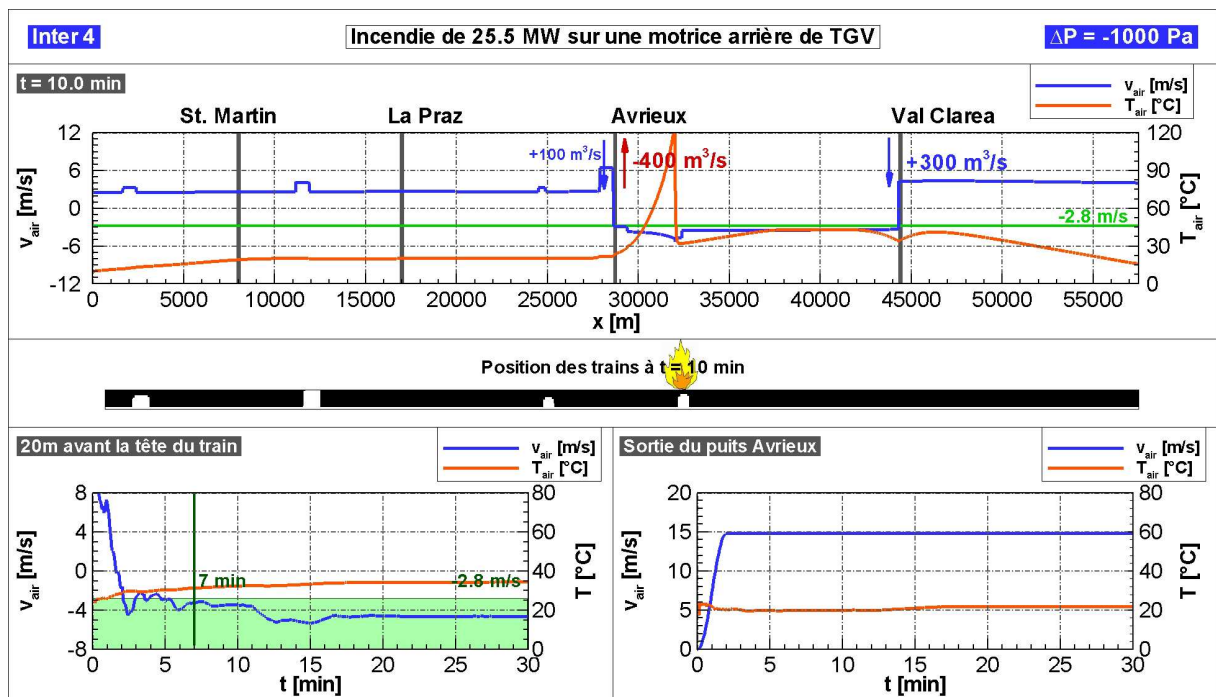


Figura 17 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

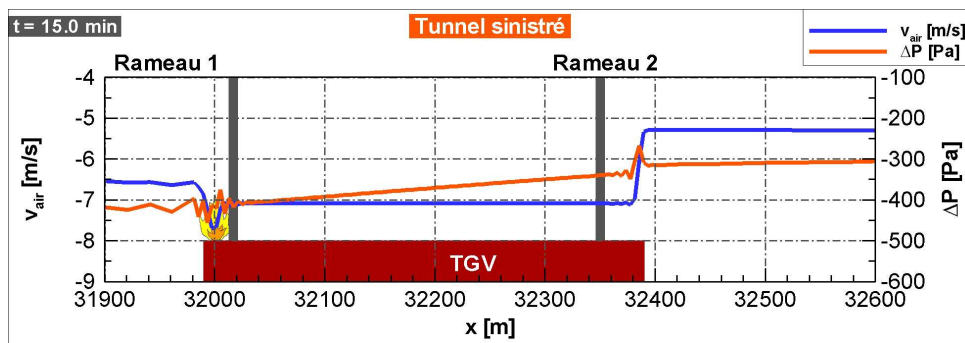


Figura 18 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativo.

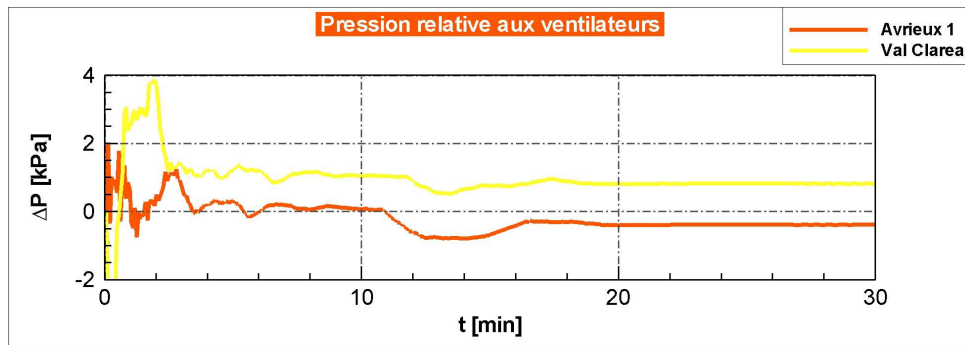


Figura 19 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi prevede l'aspirazione dal pozzo di Avrieux ($-400 \text{ m}^3/\text{s}$) e l'immissione dal pozzo di Val Clarea ($+300 \text{ m}^3/\text{s}$). Inoltre, per evitare che i fumi invadano il binario di precedenza del sito di Modane, questo viene messo in sovrappressione immettendo aria con una portata di $100 \text{ m}^3/\text{s}$ dal pozzo di Avrieux. La velocità di riferimento viene raggiunta dopo 5 minuti e infine mantenuta senza difficoltà oltre la velocità critica.

Pressione relativa a destra dell'incendio

La pressione relativa a destra dell'incendio è dell'ordine di 400 Pa inferiore alla pressione relativa al portale lato Italia.

Pressione relativa ai ventilatori

La differenza di pressione ai ventilatori raggiunge, dopo alcune oscillazioni iniziali, valori compresi tra -800 e 600 Pa.

Disponibilità degli impianti

La ridondanza è assicurata parzialmente dai pozzi di St. Martin e La Praz e dagli acceleratori agli imbocchi del tunnel.

6.2.4.5 Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata necessaria in m ³ /s	-	0	0	-200 / +100	-300	-
Pressione relativa ai ventilatori in Pa (minima/massima)	-	-	-	-1500 / +1500	-1500 / +1000	-

Tabella 21 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio su una motrice di coda di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla messa in pressione del binario di precedenza di Modane.

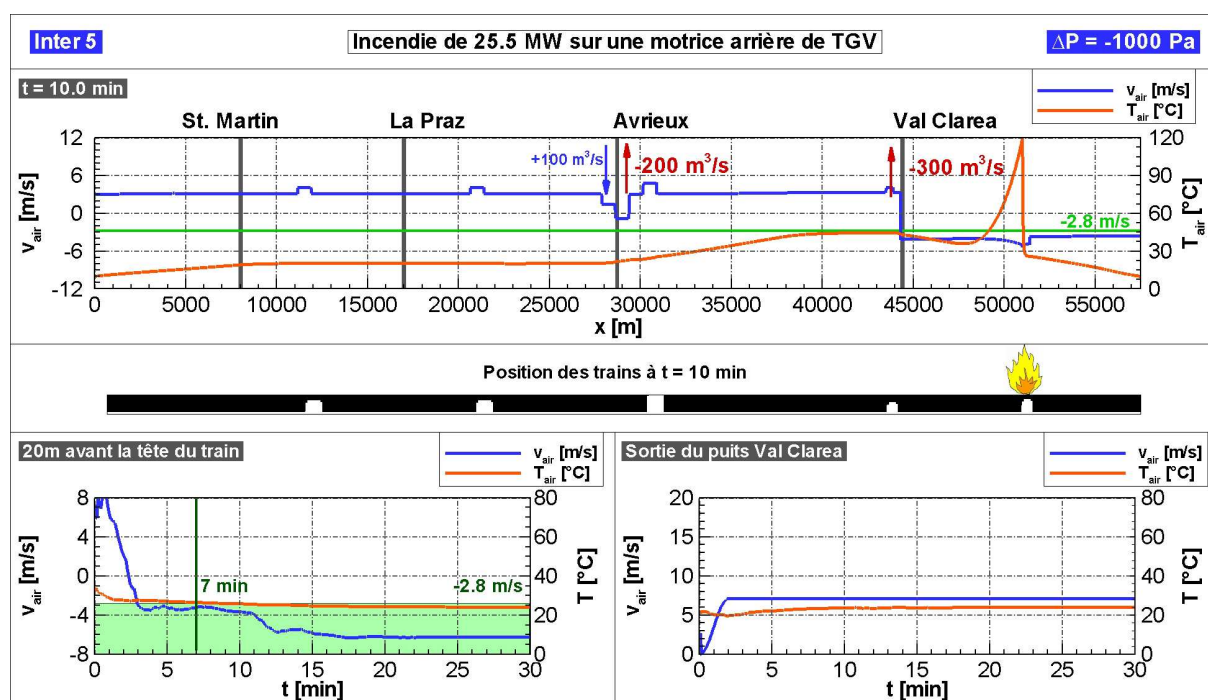


Figura 20 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m davanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

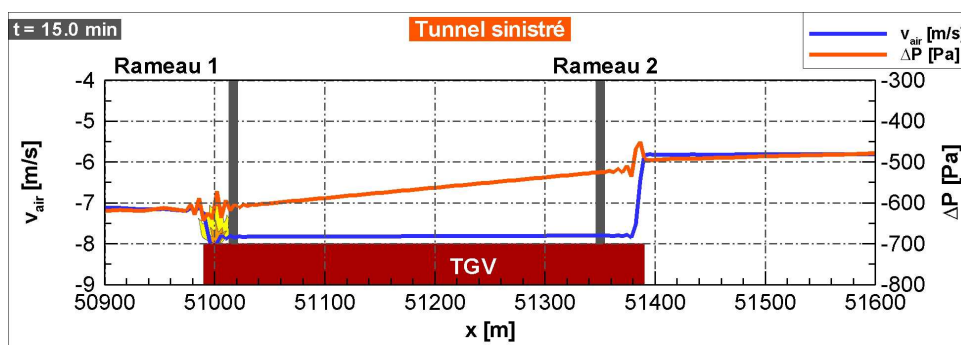


Figura 21 - Profilo di pressione e di velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativo.

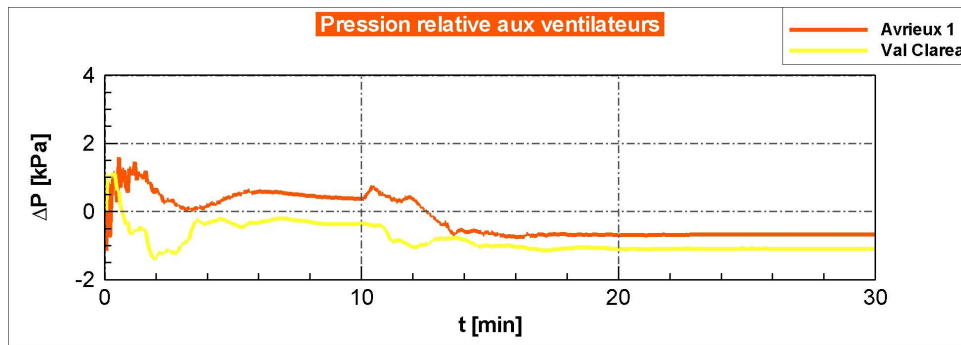


Figura 22 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi prevede l'aspirazione di 300 m³/s dal pozzo di Val Clarea e 200 m³/s dal pozzo di Avrieux. Inoltre, per evitare che eventuali fumi invadano il binario di precedenza, questo viene messo in sovrappressione immettendo aria con una portata di 100 m³/s dal pozzo di Avrieux.

Pressione relativa a destra dell'incendio

La pressione relativa a destra dell'incendio è di circa 500 Pa.

Pressione relativa ai ventilatori

La pressione relativa ai ventilatori raggiunge valori moderati, compresi tra -1500 e +1500 Pa.

Disponibilità degli impianti

La ridondanza è assicurata parzialmente dai pozzi di St. Martin e La Praz oltre che dagli acceleratori in testa al tunnel.

6.2.5 Discussione dei risultati

6.2.5.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

In tutti i casi d'incendio studiati, è stato possibile soddisfare i vincoli necessari per gli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate d'aria delle centrali di ventilazione disponibili. La velocità critica dei fumi di 2,8 m/s è stata sempre raggiunta a monte del treno in intervalli di tempo inferiori ai 10 minuti. In generale questo intervallo temporale è inferiore ai 7 minuti. Nel caso in cui il tempo sia maggiore di 7 minuti, giacchè la portata massima dei pozzi non è stata raggiunta: sarà dunque possibile ridurre questi tempi aumentando la portata d'aria dei pozzi fino al valore massimo.

Se la velocità di movimento dei fumi raggiunge, dopo 7 minuti, valori prossimi ai 2,8 m/s, la velocità di equilibrio raggiunto per il flusso è molto superiore e compreso tra 4 e 6 m/s fino ai 7 m/s. Le perturbazioni di velocità generati dal movimento di altri treni non hanno alcuna influenza sostanziale sui valori di campo di velocità a monte del treno: questa rimane sempre sopra i 2,8 m/s.

Tre pozzi sono necessari nel momento in cui l'incendio si è sviluppato nella parte centrale del tunnel, nel tratto denominato Inter-sito 3. Negli altri casi, 2 pozzi sono sufficienti.

Il secondo pozzo di Avrieux è utilizzato per mettere in sovrappressione il binario di precedenza quando il primo pozzo è in aspirazione. Questo permette di evitare che questo binario sia invaso da eventuali fumi.

Il livello di contropressione non ha un'influenza sostanziale sulla regolazione degli impianti di ventilazione: la differenza globale di portata tra la situazione a +1000 Pa e quella a -1000 Pa è, in generale, solo di 100 m³/s. La regolazione finale potrà dunque essere fatta considerando unicamente il caso più sfavorevole di una contropressione negativa.

6.2.5.2 Ricircolo dei fumi all'imbocco del tunnel o dei pozzi

Se l'incendio ha luogo tra due pozzi o tra il pozzo di Val Clarea e il portale lato Italia, i fumi sono generalmente estratti unicamente dai pozzi; se invece l'incendio ha luogo tra il portale lato Francia e il primo pozzo, i fumi sono estratti dal portale. Questo è quindi l'unico caso in cui si possono avere ricircolazioni di fumo in testa al tunnel (vale a dire che il fumo estratto dalla canna incidentata rientra all'interno della canna sana). La messa in servizio degli acceleratori in testa al tunnel (lato Francia) nella canna sana (spiengendo in direzione del portale) permette di evitare questo fenomeno. Allo stesso modo, gli acceleratori potranno essere riservati, se necessario, alla messa in sovrappressione della canna sana (spinta in direzione Francia → Italia), in parallelo con gli altri pozzi disponibili (Avrieux e La Praz) in immissione in maniera tale da creare una corrente globale uscente dal portale lato Francia. Tuttavia la corrente d'aria generata per mettere in sovrappressione della canna sana impedirà il ricircolo dei fumi.

Esiste però una possibilità di ricircolo alla sommità dei pozzi di Avrieux dove, in qualche scenario, uno funziona in aspirazione per estrarre i fumi e l'altro in immissione per la messa in sovrappressione del binario di precedenza o della canna sana. E' dunque indispensabile garantire che le due uscite dei pozzi di Avrieux siano costruite e localizzate in modo da evitare il ricircolo dei fumi.

6.2.5.3 Δp_{max} ai ventilatori

L'applicazione delle strategie di estrazione dei fumi alla velocità critica con l'utilizzo di 2 o 3 pozzi secondo gli scenari, porta ad una differenza di pressione massima riassunta in tabella 22, variabile tra -3500 Pa e +5500 Pa, corrispondenti a dei picchi raggiunti nei primi 5 minuti, e durante la fase di messa in servizio del sistema di ventilazione e di rallentamento dei treni.

Dopo, quando il sistema di ventilazione è a regime e l'insieme dei treni è fermo o si muove a velocità inferiore ai 30 km/h, le pressioni relative misurate ai ventilatori sono ben più limitate e inferiori a 3700 Pa (vedi tabella 23).

ΔP_{max} [Pa] in depressione / ΔP_{max} [Pa] in sovrappressione	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Canna incidentata	-2500 / +5200	-3200 / +4000	-1500 / + 2000	-2000 / + 4000

Tabella 22 - Depressione e sovrappressioni massime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.

ΔP_{regime} [Pa] in depressione / ΔP_{regime} [Pa] in sovrappressione	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Canna incidentata	-180 / +2500	-380 / +1500	-690 / + 950	-1100 / +820

Tabella 23 - *Depressione e sovrappressioni di equilibrio tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.*

6.2.5.4 Caratteristiche dei ventilatori

In conclusione, per garantire i vincoli delle strategie di estrazione dei fumi alla velocità critica in caso di incendio della motrice di coda di un TGV, i 4 pozzi di ventilazione dovranno essere tali da assicurare le portate riassunte in tabella 24.

I ventilatori dovranno dunque essere progettati per sopportare differenze di pressione che possono arrivare a regime a 5 kPa. Dal punto di vista termico, questi non sono invasi da fumi caldi.

	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Portata (m³/s)	±300	±300	±400	±300
ΔP_{max} (Pa)	+5200	+4000	+2000	+4000
ΔP_{regime} (Pa)	+2500	+1500	+950	-1100
T (°C)	17	16	22	24

Tabella 24 - *Portate utilizza per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice di coda di un TGV ; differenze di pressione massima tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori.*

Per il dimensionamento, in questo studio sono stati considerati 10 acceleratori (+2 di riserva) per ogni imbocco del tunnel con le seguenti caratteristiche:

- diametro interno: 1000 mm;
- diametro esterno (senza silenziatore): 1220 mm;
- spinta unitaria in campo libero: 1130 N;
- velocità d'estrazione: 35,7 m/s;
- rendimento aeraulico: 0,85.

6.3 Incendio su una motrice intermedia di un treno TGV: diluizione

6.3.1 Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi

Nel caso che un incendio si sviluppi su una motrice di intermedia di un treno TGV fermo in piena linea, non è possibile, con un sistema di ventilazione longitudinale, gestire l'estrazione dei fumi senza che una parte del treno o addirittura che il treno intero sia invaso dai fumi. Per offrire le stesse condizioni di estrazione, la seguente strategia di estrazione dei fumi è stata presa in considerazione in questo studio: ovvero diluire i fumi spingendoli nel senso di circolazione dei treni ad una velocità almeno di 6 m/s, da raggiungere il più velocemente possibile dopo l'arresto del treno.

In questo caso, la potenza termica sviluppata è supposta pari a 30 MW, dove 1/3 è dissipata sotto forma di irraggiamento. Lo sviluppo della potenza dell'incendio è ipotizzato quasi istantaneo a partire dall'arresto del treno: da 3 MW a 30 MW in 2 minuti.

6.3.2 Scenari di dimensionamento

Gli scenari di dimensionamento sono ottenuti con una contro-pressione di +1000 Pa, che si oppone all'effetto pistone e quindi agendo da freno del flusso d'aria. La portate di immissione e di estrazione necessarie sono fornite qui di seguito, per le 3 contro-pressioni considerate, -1000 Pa, 0 Pa, +1000 Pa. Le curve di velocità, di pressione e di temperatura ottenute sono illustrate unicamente per il caso +1000 Pa.

6.3.3 Sintesi dei risultati

6.3.3.1 Contro-pressione di -1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	-300	-100	+200	0	9.8	7.8	8.9	-1.3	0.0	18
Inter 2	0	-300	-100	0	7.8	8.1	7.5	-1.2	0.0	16
Inter 3	+300	+200	-400 / +100	0	10.0	7.4	6.8	-5.5	0.0	20
Inter 4	0	+300	+200	-400	9.7	6.8	6.4	-2.2	0.0	25
Inter 5	0	0	+350	+150	5.4	10.0	9.7	-	0.2	44

Tabella 25 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza

6.3.3.2 Contro-pressione di 0 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	-200	-200	0	0	7.6	9.5	8.0	-2.6	1.5	16
Inter 2	0	-300	-300	0	6.7	9.8	8.5	-2.8	1.0	16
Inter 3	+300	+300	-400 / +100	0	8.9	7.1	6.4	-5.5	0.0	20
Inter 4	0	+300	+250	-400	12.4	6.7	6.2	-2.4	0.0	25
Inter 5	0	0	+400	+150	5.4	7.8	7.6	-	0.2	47

Tabella 26 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza

6.3.3.3 Contro-pressione di +1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{LaPr az}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	v_{10min}	v_{30min}	v_{retour}	t_{vC}	T_{sortie}
Inter 1	-300	-200	0	0	8.0	8.9	7.3	-3.2	1.4	16
Inter 2	0	-300	-300	0	6.7	9.2	7.8	-6.0	1.2	18
Inter 3	+300	+400	-400 / +100	0	9.0	7.0	6.5	-5.4	0.8	20
Inter 4	0	+300	+300	-400	12.5	6.7	6.1	-2.3	0.0	25
Inter 5	0	0	+150	+400	1.6	8.1	7.7	-	1.2	47

Tabella 27 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi nel caso di incendio di una motrice intermedia di TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata del pozzo di Avrieux, il secondo valore si riferisce alla ventilazione sul binario di precedenza

6.3.4 Tunnel incidentato : risultati per $\Delta p = +1000 \text{ Pa}$

6.3.4.1 Posizione dell'incendio: Inter 1 = 3000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata di ventilazione in m^3/s	-	-300	-200	0	0	-
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-2500	-1500	-	-	-

Tabella 28 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario si precedenza di Modane

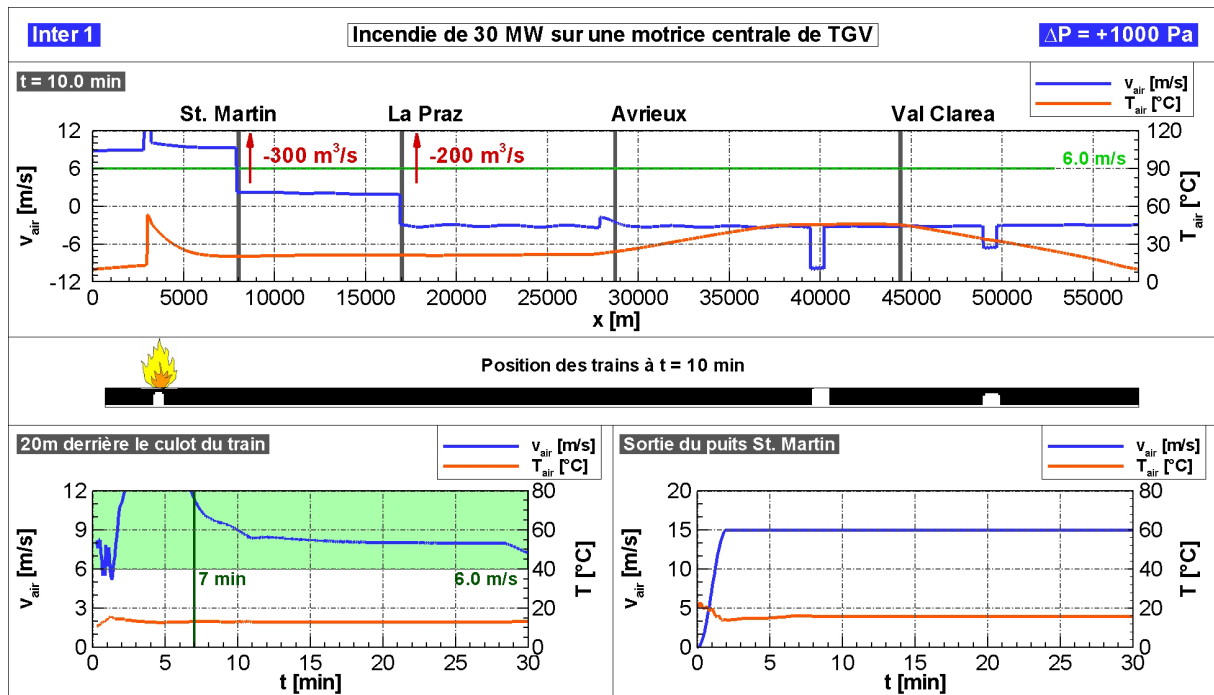


Figura 23 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

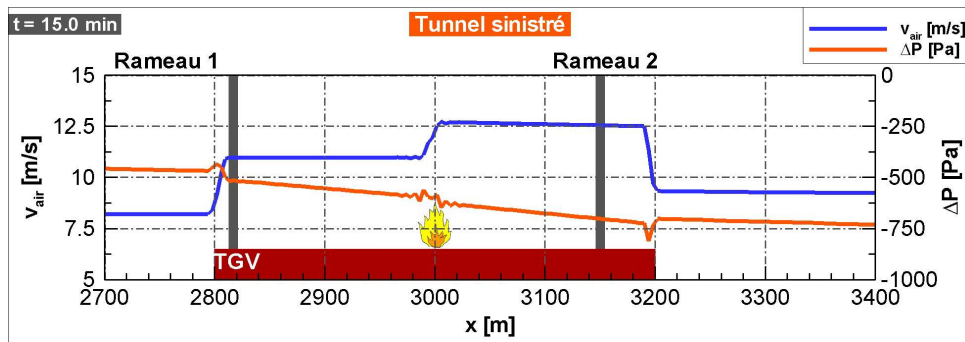


Figura 24 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

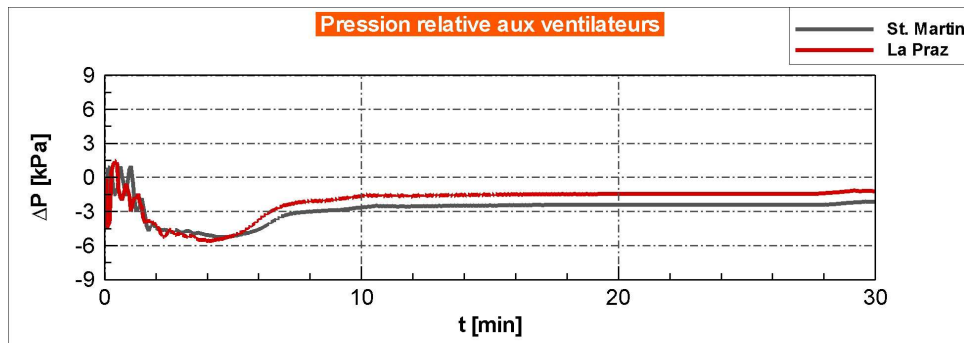


Figura 25 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata prevede l'aspirazione di aria a 300 m³/s dal pozzo di St. Martin e a 200 m³/s dal pozzo di La Praz, portando e mantenendo la velocità dell'aria al di sopra dei 6 m/s.

Pressione relativa a destra dell'incendio

L'aspirazione tramite i pozzi necessari a creare la velocità dell'aria di almeno 6 m/s genera delle perdite di carico non trascurabili che conducono ad una differenza di pressione tra la canna sana e la canna incidentata dell'ordine di 500-750 Pa. Questo aspetto è importante tanto per il dimensionamento che per la gestione dell'apertura delle porte dei by-pass durante l'estrazione dei passeggeri.

Pressione relativa ai ventilatori

Inizialmente le onde di pressione generate dal movimento dei treni e dalla messa in moto dei ventilatori, producono delle pressioni relative molto importanti, fino a 6000 Pa. Infine, la pressione ai ventilatori diminuisce e, all'equilibrio, non oltrepassa i 2500 Pa.

Disponibilità degli impianti

Tenuto conto del fatto che 2 pozzi (St. Martin e La Praz) sono in funzione a servizio della canna incidentata, la ridondanza può essere assicurata dai pozzi di Avrieux.

6.3.4.2 Posizione dell'incendio : Inter 2 = 10000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata di ventilazione in m ³ /s	-	0	-300	-300	0	-
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	-2700	-2300-	-	-

Tabella 29 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane

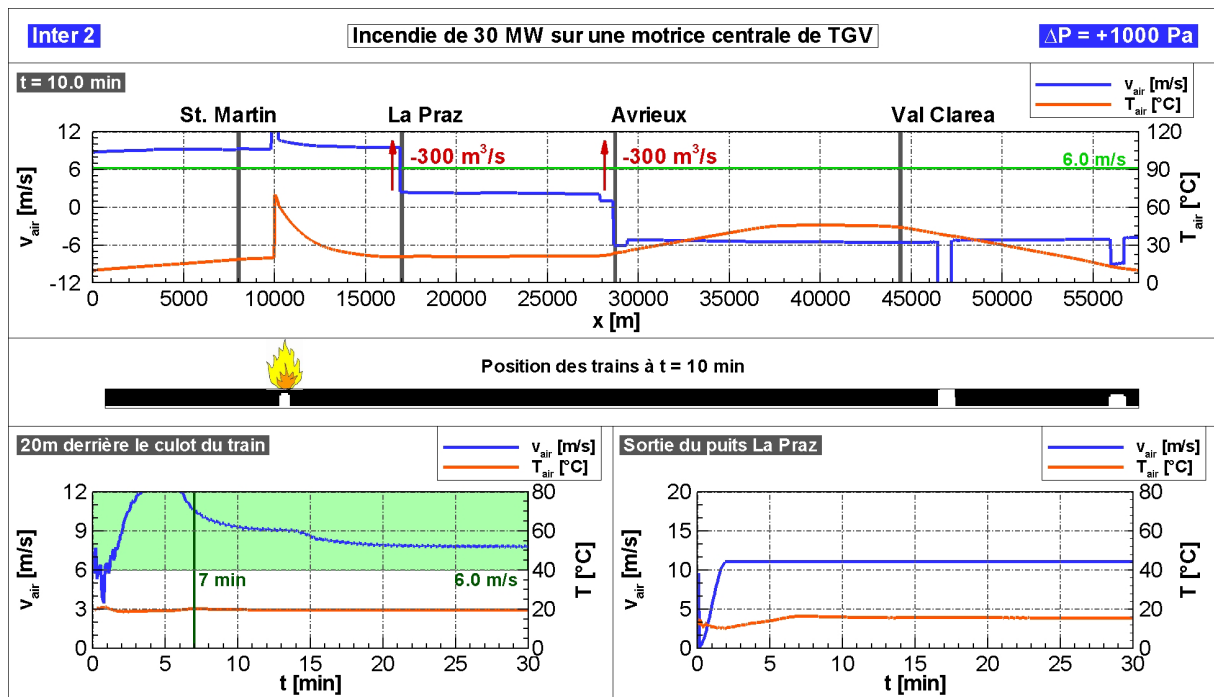


Figura 26 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

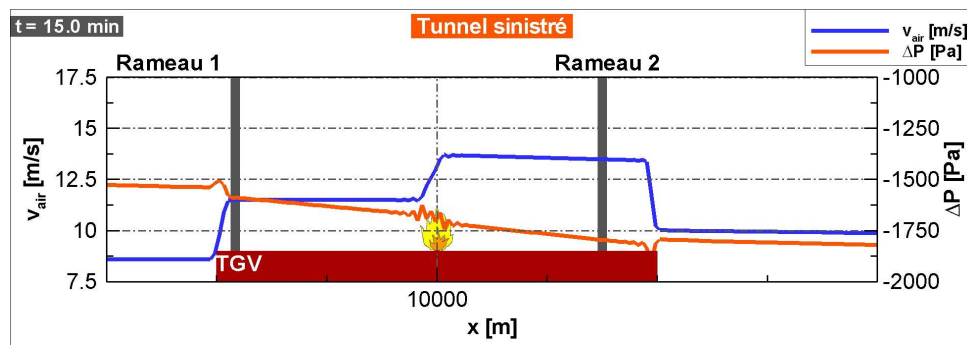


Figura 27 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

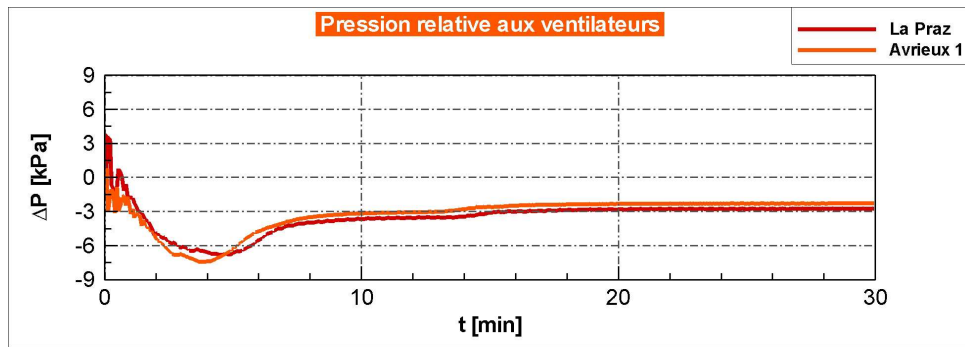


Figura 28 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata prevede l'aspirazione di aria a 300 m³/s dai pozzi di La Praz e di Avrieux, che permette di raggiungere e mantenere la velocità dell'aria al di sopra dei 6 m/s.

Pressione relativa a destra dell'incendio

L'aspirazione dai pozzi necessari a creare una velocità di almeno 6 m/s genera delle perdite di carico non trascurabili che conducono ad una differenza di pressione tra la canna sana e la canna incidentata dell'ordine dei 1500 Pa. Questo aspetto è importante sia per il dimensionamento sia per la gestione dell'apertura delle porte dei by-pass durante l'estrazione dei passeggeri.

Pressione relativa ai ventilatori

Le perdite di carico lungo il tunnel e nei pozzi sono importanti. La pressione relativa misurata alla sommità dei pozzi di ventilazione è inizialmente elevata e può oltrepassare i 7000 Pa in valore assoluto (vedi figura 28). Infine, la stessa si stabilizza tra i -2300 Pa e i -2700 Pa.

Disponibilità degli impianti

La ridondanza può essere assicurata dai pozzi di St. Martin e Val Clarea

6.3.4.3 Posizione dell'incendio : Inter 3 = 20000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata di ventilazione in m ³ /s	-	+300	+400	-400 / +100	0	-
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	+3000	+3200	+850	-	-

Tabella 30 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario di precedenza di Modane

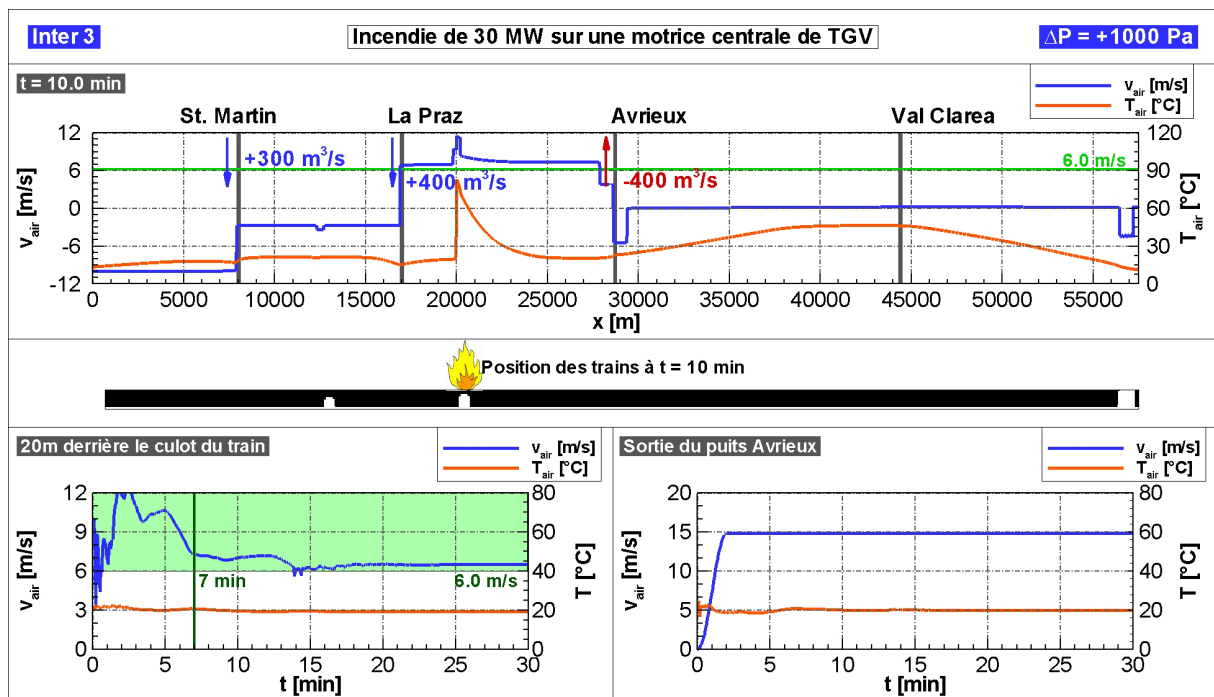


Figura 29 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

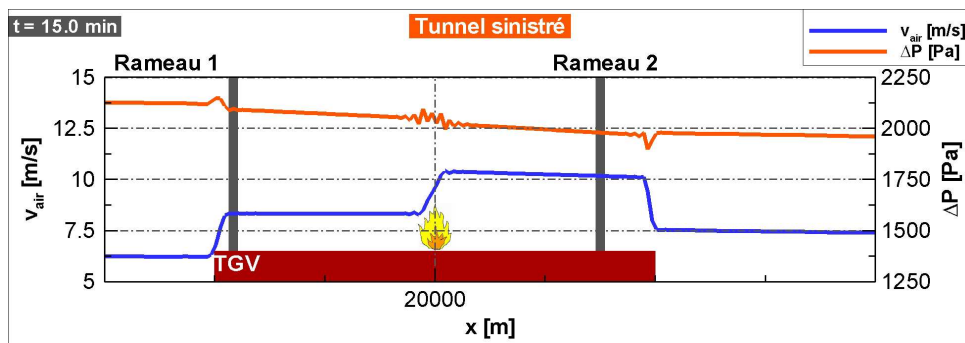


Figura 30 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

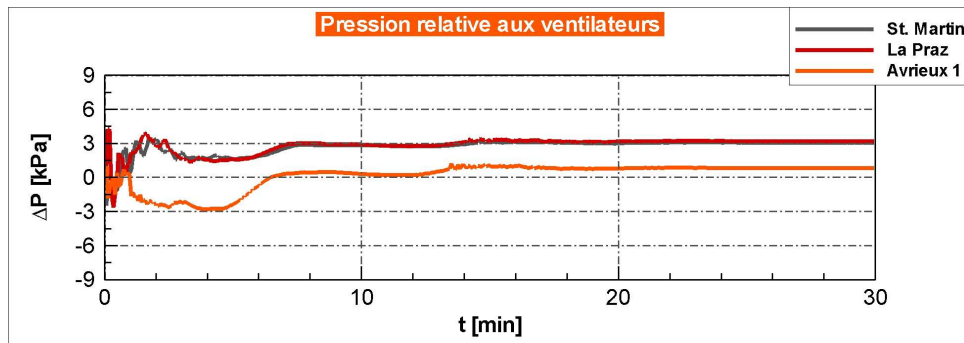


Figura 31 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata prevede la messa in servizio di 3 pozzi: St. Martin e La Praz con l'immissione di aria a 300 m³/s, Avrieux con l'aspirazione di 400 m³/s. Questo consente di raggiungere e mantenere la velocità dell'aria al di sopra dei 6 m/s. Inoltre, per evitare che i fumi invadano il binario di precedenza di Modane, questo binario è messo in sovrappressione con l'immissione di 100 m³/s dal pozzo di Avrieux.

relativa a destra dell'incendio

Nella canna incidentata, la sovrappressione generata a destra dell'incendio è circa 2000 Pa.

Pressione relativa ai ventilatori

Inizialmente, il movimento dei treni e la messa in servizio dei ventilatori genera delle variazioni di pressione importanti alla sommità del pozzo (vedi figura 31). La pressione si stabilizza infine intorno ai 3000 Pa.

Disponibilità degli impianti

Tenuto conto del fatto che rimane un solo pozzo disponibile, la ridondanza è nulla.

Position de l'incendie: Inter 4 = 32'000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata di ventilazione in m ³ /s	-	0	+300	+300	-400	-
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	+2700	+2400	+450	-

Tabella 31 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario si precedenza di Modane

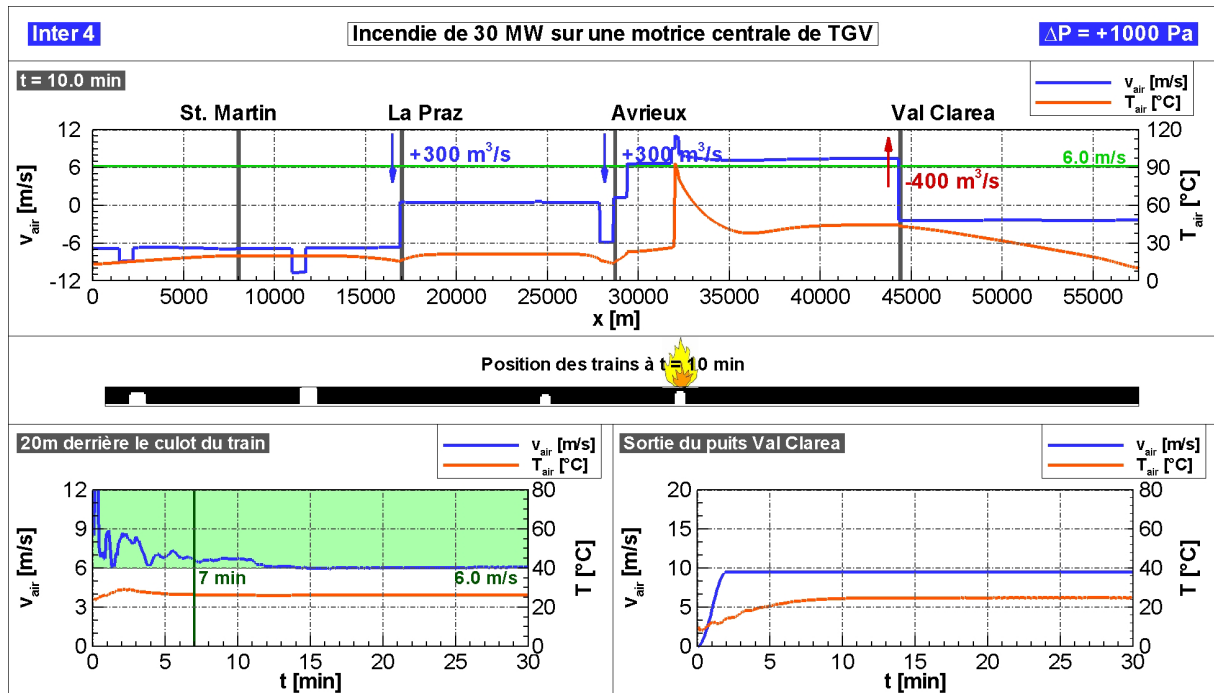


Figura 32 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

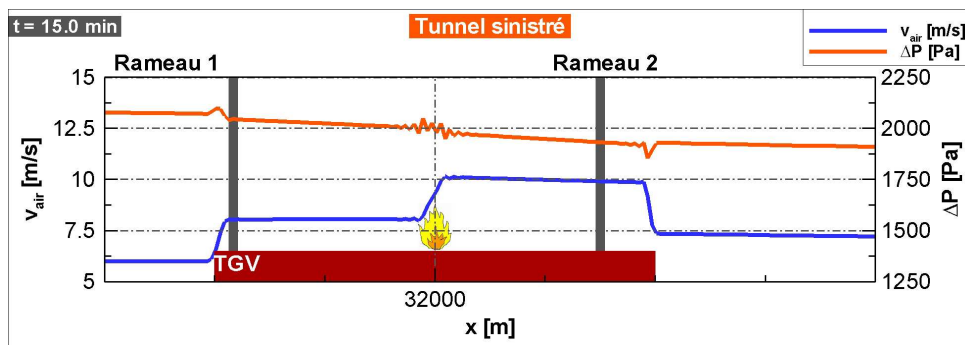


Figura 33 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

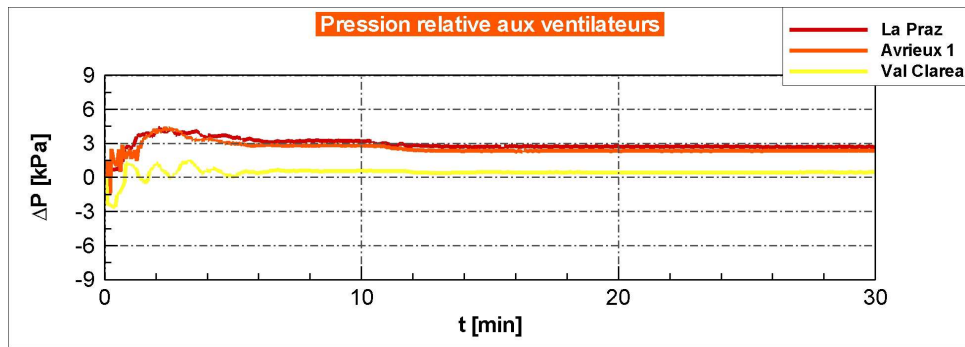


Figura 34 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

La strategia di estrazione dei fumi dalla canna incidentata avviene con la messa in servizio di 3 pozzi: La Praz ed Avrieux in immissione ($300 \text{ m}^3/\text{s}$) e Val clarea in aspirazione ($400 \text{ m}^3/\text{s}$)

Pressione relativa a destra dell'incendio

Le forti correnti d'aria conducono a delle perdite di carico sostanziali: nella canna incidentata, la sovrappressione generata a destra dell'incendio rispetto alla canna sana è circa 2000 Pa.

Pressione relativa ai ventilatori

La pressione relativa ai ventilatori misurata alla sommità dei pozzi di ventilazione è, all'equilibrio, compresa tra 2700 Pa e 450 Pa (vedi figura 34).

Disponibilità degli impianti

I pozzi di St. Martin possono sostituire uno dei due pozzi che immettono aria, anche se la distanza dal luogo dell'incendio ne riduce l'efficacia.

6.3.4.4 Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m

Pozzi	F accél.	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea	I accél.
Portata di ventilazione in m ³ /s	-	0	0	+150	+400	-
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	-	+2900	+3700	-

Tabella 32 - Numero di acceleratori necessari lato Francia (F) o lato Italia (I) ; portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un treno TGV (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per il pozzo di Avrieux, il secondo si riferisce alla messa in sovrappressione del binario si precedenza di Modane

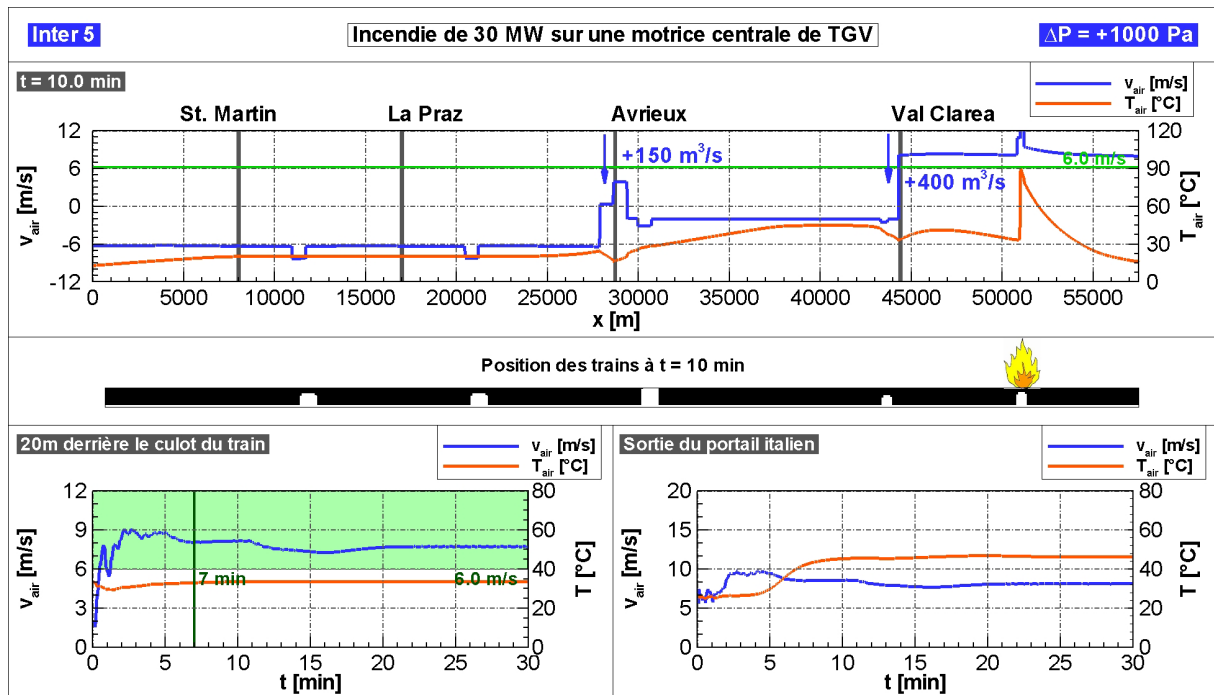


Figura 35 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m dietro la coda del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

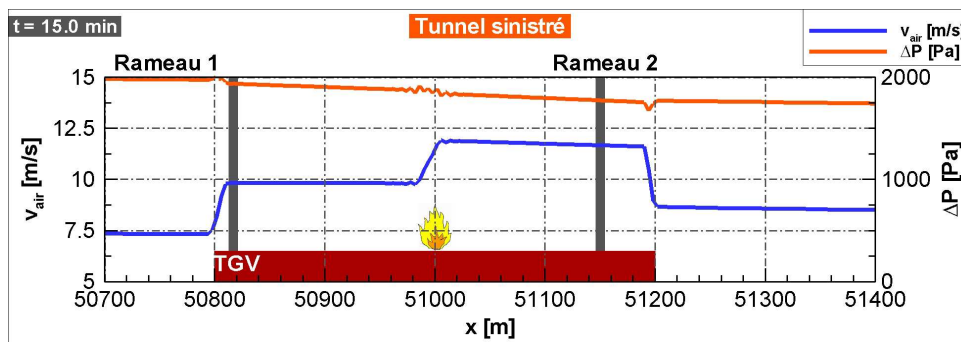


Figura 36 - Profili di pressione e velocità lungo il treno incendiato. La posizione dei by-pass è indicativa

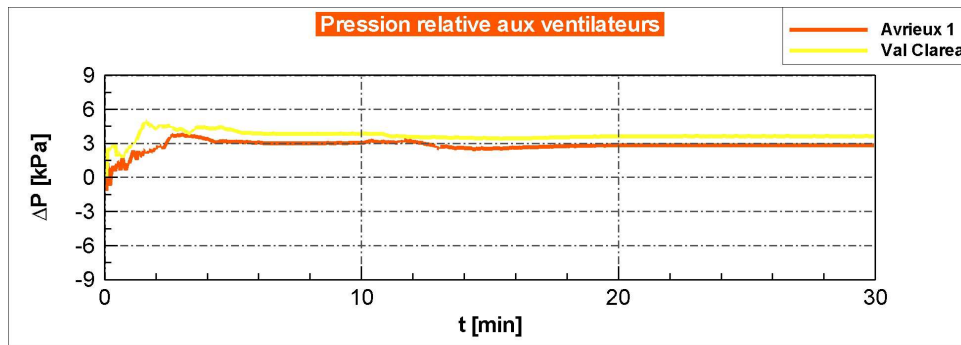


Figura 37 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

Raggiungimento e mantenimento della velocità di riferimento nella canna incidentata

Le strategie di estrazione dei fumi è messa in opera utilizzando in immissione i pozzi di Avrieux (15 m³/s) e di Val Clarea (400 m³/s). Con queste macchine è possibile mantenere la velocità del flusso d'aria a monte del treno incendiato al di sopra dei 6 m/s.

Pressione relativa a destra dell'incendio

Per spingere i fumi ad una velocità superiore ai 6 m/s, il tunnel è messo in sovrappressione. A destra dell'incendio la sovrappressione è circa 2000 Pa. Si ricorda che in questo scenario la pressione relativa al portale lato Italia è maggiore di 1000 Pa rispetto a quella lato Francia, ipotizzata pari a 0 Pa.

Pressione relativa ai ventilatori

La pressione relativa ai ventilatori misurata alla sommità dei pozzi è di 2900 Pa per il pozzo di Avrieux e di 3700 Pa per quello di Val Clarea.

Disponibilità degli impianti

Tenuto conto della posizione dell'incendio, in prossimità del portale lato Italia, l'uso dei pozzi di St. Martin e La Praz non sarà efficace per generare la corrente d'aria necessaria. I ventilatori a getto potranno essere utilizzati per cercare di dirigere il flusso d'aria nel senso Francia → Italia.

6.3.5 Discussione dei risultati

6.3.5.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

In tutti i casi di incendio studiati, è stato possibile soddisfare i vincoli fissati degli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate d'aria disponibili. Le velocità raggiunte sono comprese tra 6 m/s e 8 m/s.

Queste velocità possono essere raggiunte utilizzando 2 pozzi, nel caso che l'incendio sia compreso nei primi 10-15 km del tunnel, mentre occorrono 3 pozzi se l'incendio si trova nella parte centrale del tunnel.

6.3.5.2 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi

Con gli scenari di estrazione dei fumi scelti, soltanto nel caso di un veicolo incendiato situato tra il portale lato Italia e il pozzo di Val Clarea, i fumi sono estratti dal portale stesso. In

questo caso è necessario garantire una corrente d'aria uscente dalla canna sana, lato Italia. Questo può essere realizzato con gli acceleratori installati in prossimità degli imbocchi del tunnel. Dovranno essere avviati nel senso Francia → Italia in modo tale da generare una corrente d'aria ad una velocità di almeno 2 m/s.

Esiste però una possibilità di ricircolo alla sommità dei pozzi di Avrieux dove, in qualche scenario, uno funziona in aspirazione per estrarre i fumi e l'altro in immissione per la messa in sovrappressione del binario di precedenza o della canna sana. E' dunque indispensabile garantire che le due uscite dei pozzi di Avrieux siano costruite e localizzate in modo da evitare il ricircolo dei fumi.

6.3.5.3 Δp_{max} ai ventilatori

L'applicazione della strategia di estrazione dei fumi mediante la diluizione dei fumi è molto impegnativa per i ventilatori, che sono sottoposti a delle differenze di pressione elevate, raggiunte soprattutto quando 3 ventilatori sono in funzione sullo stesso tunnel. Le differenze di pressione massime sono riassunte in tabella 33, variabili da -8000 a +5000 Pa, corrispondenti ai picchi raggiunti nei 5 minuti durante la fase di avvio dei ventilatori e il rallentamento dei treni.

Quando il sistema di ventilazione è a regime e l'insieme dei treni è fermo o ad una velocità inferiore ai 30 km/h, le pressioni relative misurano ai ventilatori valori ben più limitati ed inferiori ai 3700 Pa (vedi tabella 34).

ΔP_{max} [Pa] in depressione / ΔP_{max} [Pa] in sovrappressione	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Canna incidentata	-5200 / +4000	-6700 / +4100	-7400 / + 4200	-2500 / + 4600

Tabella 33 - Depressione e sovrappressione massime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.

ΔP_{regime} [Pa] in depressione / ΔP_{regime} [Pa] in sovrappressione	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Canna incidentata	-2500 / +3000	-2700 / +3700	-2300 / + 2900	+3700

Tabella 34 - Depressione e sovrappressione di equilibrio tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi secondo le portate necessarie per l'estrazione dei fumi.

6.3.5.4 Caratteristiche dei ventilatori

In conclusione, per garantire i vincoli delle strategie di evacuazione dei fumi per diluizione in caso di incendio della motrice intermedia di un TGV, i 4 pozzi di ventilazione dovranno essere tali da assicurare le portate riassunte in tabella 35.

I ventilatori dovranno dunque essere progettati per sopportare differenze di pressione che possono arrivare a regime a 5 kPa. Dal punto di vista termico, questi non sono invasi da fumi caldi.

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux	Val Clarea
Portata (m ³ /s)	±300	±400	±400	±400
ΔP_{\max} (Pa)	-5200	-6700	-7400	-2500
$\Delta P_{\text{régime}}$ (Pa)	+3000	+3700	+2900	+3700
T (°C)	18	18	20	25

Tabella 35 - Portate utilizzate per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di una motrice intermedia di un TGV ; differenza di pressione massima tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori

E' prevista anche l'installazione di 10 (+2) acceleratori per ogni imbocco del tunnel con le seguenti caratteristiche :

- diametro interno: 1000 mm;
- diametro esterno (senza silenziatore): 1220 mm;
- spinta unitaria in campo libero: 1130 N;
- velocità di estrazione: 35,7 m/s;
- rendimento aeraulico: 0,85.

7. Incendio di un treno merci o AF (canna F→I)

7.1 Incendi e scenari di dimensionamento

7.1.1 Promemoria: potenza d'incendio e strategia di estrazione dei fumi

In prima battuta, un treno merci o AF incidentato cercherà di uscire dal tunnel per fermarsi all'aperto. Se questo non è possibile cercherà di fermarsi in un'area di sicurezza; infine se non può arrivare nell'area di sicurezza il treno si fermerà in piena linea.

Nel caso di arresto controllato in un area di sicurezza, il concetto di ventilazione, identico per i due tipi di treno, prevede l'aspirazione dei fumi dalle serrande disposte sulla volta e utilizzando i pozzi di ventilazione del sito.

Nel caso di arresto in piena linea, le strategie di intervento, identiche per i due tipi di treno, sono tali da spingere i fumi nel senso inverso alla circolazione dei treni, ad una velocità superiore o uguale alla velocità critica (3,8 m/s). La velocità critica dovrà essere raggiunta in un intervallo di tempo ragionevole.

La potenza termica sviluppata dall'incendio è supposta uguale per i due tipi di treno e pari a 170 MW, dove 1/3 viene irradiata. Il raggiungimento della potenza massima dell'incendio è supposta quasi istantanea dopo l'arresto del treno: da 17 a 170 MW in 2 minuti.

7.1.2 Scenari di dimensionamento

Per il dimensionamento degli impianti di ventilazione, ci si limiterà in questo capitolo a presentare i risultati aerulici del caso in cui un incendio si sviluppi nella canna Francia → Italia. I risultati sono simili (simmetrici) nel caso in cui l'incendio si sviluppi nell'altra canna.

I treni AF, per il loro coefficiente di attrito elevato e per la loro grande sezione (15,5 m² contro 10 m² di un treno merci) genera un effetto pistone importante e, rispetto ad un treno merci, oppone una più grande resistenza all'inversione del flusso, necessario per applicare la strategia di estrazione dei fumi. A tal fine, sarà considerato solo il caso di incendio su un treno Af per il dimensionamento degli impianti di ventilazione.

Dal punto di vista del valore della contro pressione, gli scenari di dimensionamento sono ottenuti con una contro-pressione negativa di -1000 Pa, sostenendo l'effetto pistone e quindi contrapponendosi all'inversione del flusso.

Le portate d'immissione e di estrazione necessarie sono date per le 3 contro-pressioni considerate, -1000 Pa, 0 Pa, +1000 Pa. Le curve di velocità e di temperatura ottenute sono illustrate unicamente per il caso di dimensionamento di -1000 Pa.

7.2 Incendio di un treno AF

7.2.1 Sintesi dei risultati

7.2.1.1 Contro-pressione di -1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{La Praz}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	$v_{10\ min}$	$v_{30\ min}$	v_{retour}	t_{vc}	T_{sortie}
Inter 1	+300	+100	0	0	2.2	-4.4	-4.6	-	5.7	56
Inter 2	-300	+300	+200	0	2.6	-4.8	-5.1	1.5	5.4	32
La Praz	0	-400	+300	0	2.2	-3.8	-3.8	3.7	9.1	89
Inter 3	0	-300	+400	0	-3.7	-3.9	-4.7	2.3	8.1	22
Modane	0	0	-400 / + 100	0	-1.6	-3.2	-2.8	2-9	-	280
Inter 4	0	-100	-300	+300	3.0	-4.0	-5.2	1.5	9.2	32
Val Clarea	0	0	+300	-400	4.2	-3.3	-4.2	5.7	10.5	56
Inter 5	0	0	-100	-300	-1.2	-4.6	-6.7	1.8	7.5	25

Tabella 36 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

7.2.1.2 Contro-pressione di 0 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{La Praz}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	$v_{10\ min}$	$v_{30\ min}$	v_{retour}	t_{vc}	T_{sortie}
Inter 1	+300	+100	0	0	1.6	-5.1	-5.4	-	5.4	58
Inter 2	-300	+300	+50	0	2.4	-3.7	-3.9	2.7	14.1	29
La Praz	0	-400	+200	0	1.0	-3.2	-3.4	4.3	11.1	90
Inter 3	0	-300	+300	0	-3.1	-3.4	-4.8	2.7	10.7	22
Modane	0	0	-400 / +100	0	-1.6	-3.1	-2.4	3.1	-	282
Inter 4	0	0	-400	+300	1.9	-4.9	-6.1	3.2	5.6	32
Val Clarea	0	0	+300	-400	3.9	-4.3	-5.0	4.1	9.6	56
Inter 5	0	0	0	-300	-1.6	-4.2	-6.4	2.1	8.1	25

Tabella 37 - Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

7.2.1.3 Contro-pressione di +1000 Pa

x_{inc}	$\Phi_{St.Martin}$	$\Phi_{La Praz}$	$\Phi_{Avrieux}$	$\Phi_{ValClarea}$	v_{stop}	$v_{10\ min}$	$v_{30\ min}$	v_{retour}	t_{v_c}	T_{sortie}
Inter 1	+300	0	0	0	1.9	-4.6	-4.9	-	8.5	56
Inter 2	-300	+300	0	0	2.1	-3.9	-4.5	2.4	8.7	29
La Praz	0	-400	+200	0	1.0	-4.1	-4.5	3.4	7.8	89
Inter 3	0	-300	+250	0	-3.0	-4.2	-5.2	1.9	7.9	23
Modane	0	0	-400 / +100	0	-1.6	-2.9	-2.2	3.5	-	281
Inter 4	0	0	-350	+300	2.1	-5.1	-6.5	4.8	5.7	27
Val Clarea	0	0	+300	-400	3.4	-5.1	-5.8	3.8	4.7	56
Inter 5	0	0	+200	-300	-2.4	-4.0	-5.4	2.2	7.8	25

Tabella 38 -Portata necessaria per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno AF (vedi tabella 13 per la definizione dei simboli). Quando sono forniti 2 valori per la portata necessaria del pozzo di Avrieux, il secondo è relativo alla ventilazione del binario di precedenza.

7.2.2 Tunnel incidentato : risultati per $\Delta p = -1000$ Pa

7.2.2.1 Posizione dell'incendio : Inter 1 = 3000 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	+300	+100	0	0	0
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	+3000	+1800	-	-	-
Temperature ai ventilatori (°C)	-	-	-	-	-

Tableau 39 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

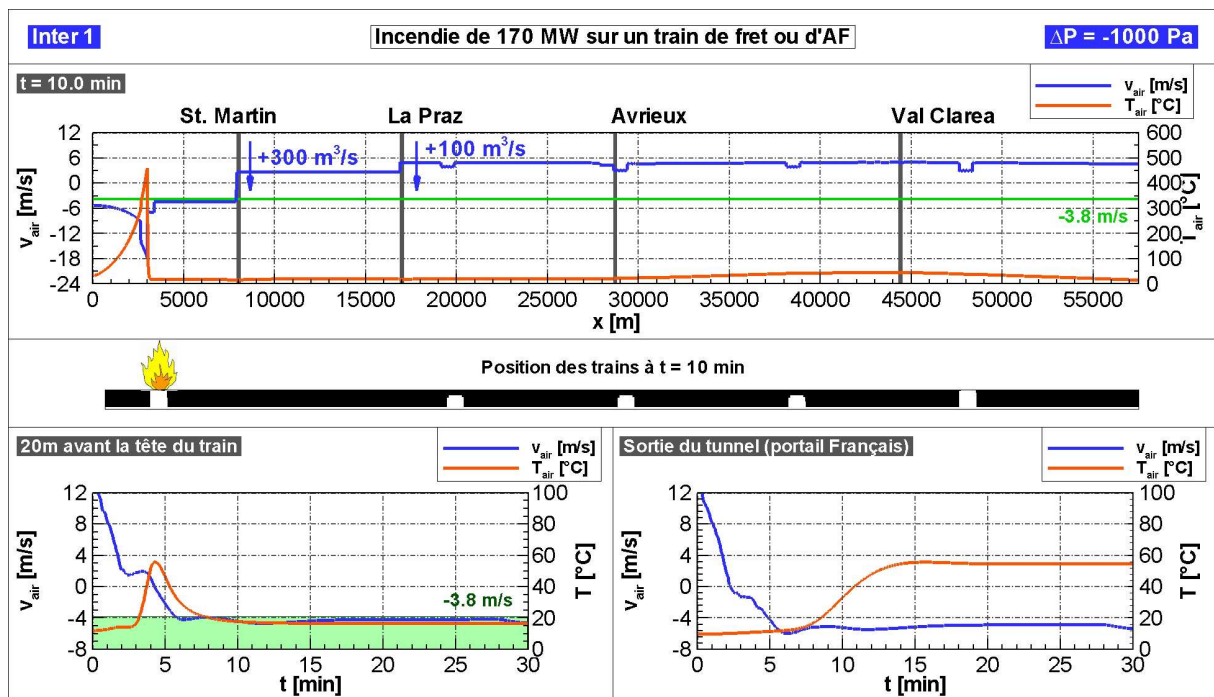


Figura 38 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

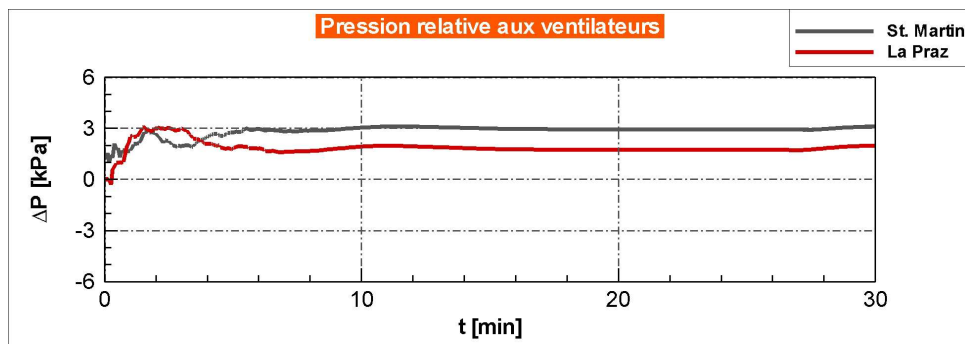


Figura 39 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.2 Posizione dell'incendio : Inter 2 = 10000 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	-300	+300	+200	0	0
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	+100	+2800	+2200	-	-
Temperature ai ventilatori (°C)	32	-	-	-	-

Tableau 40 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

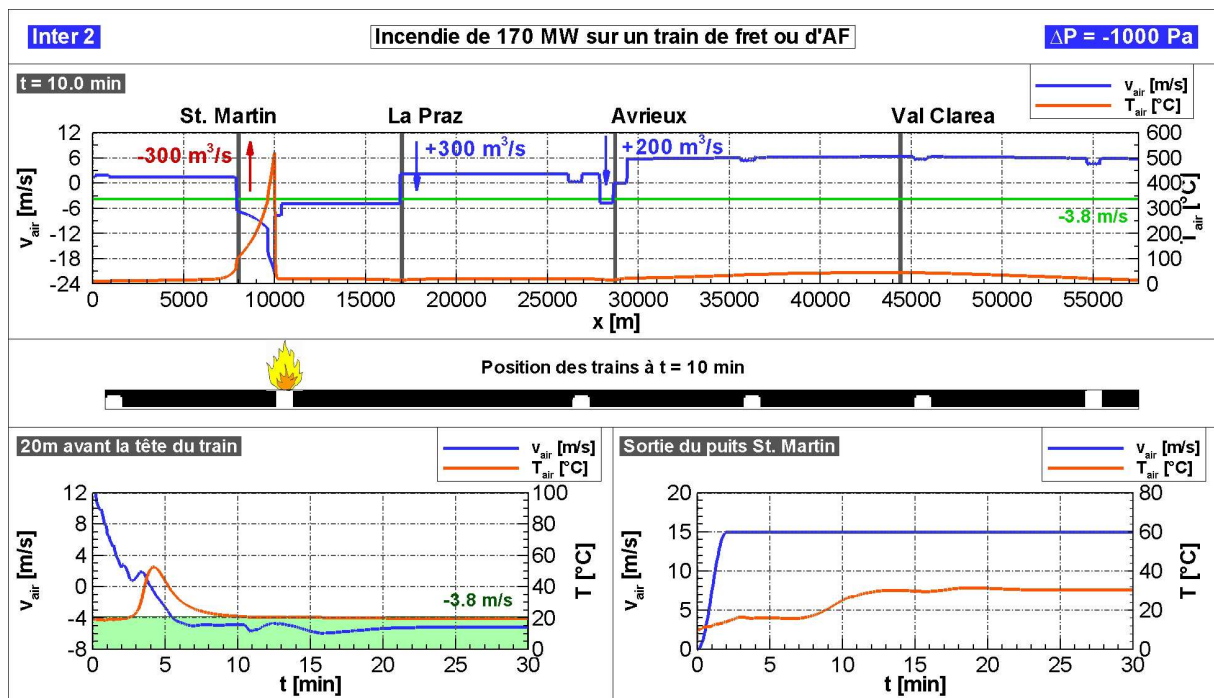


Figura 40 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

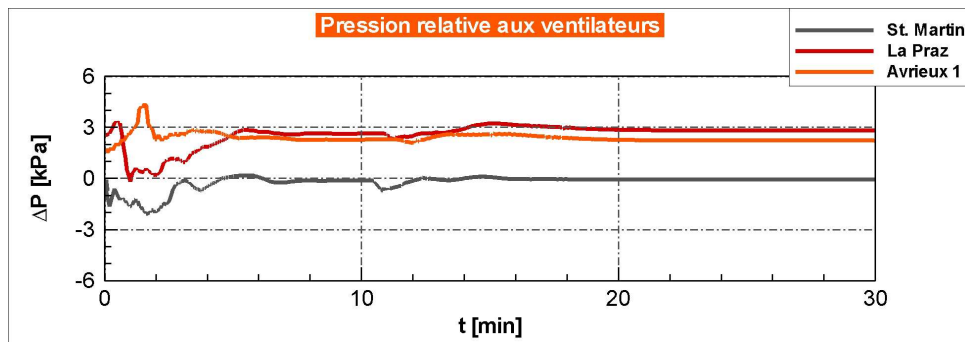


Figura 41 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.3 Posizione dell'incendio : La Praz = 16885 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	-400	+300	0	0
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-350	+500	-	-
Temperature ai ventilatori (°C)	-	89	15	-	-

Tabella 41 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

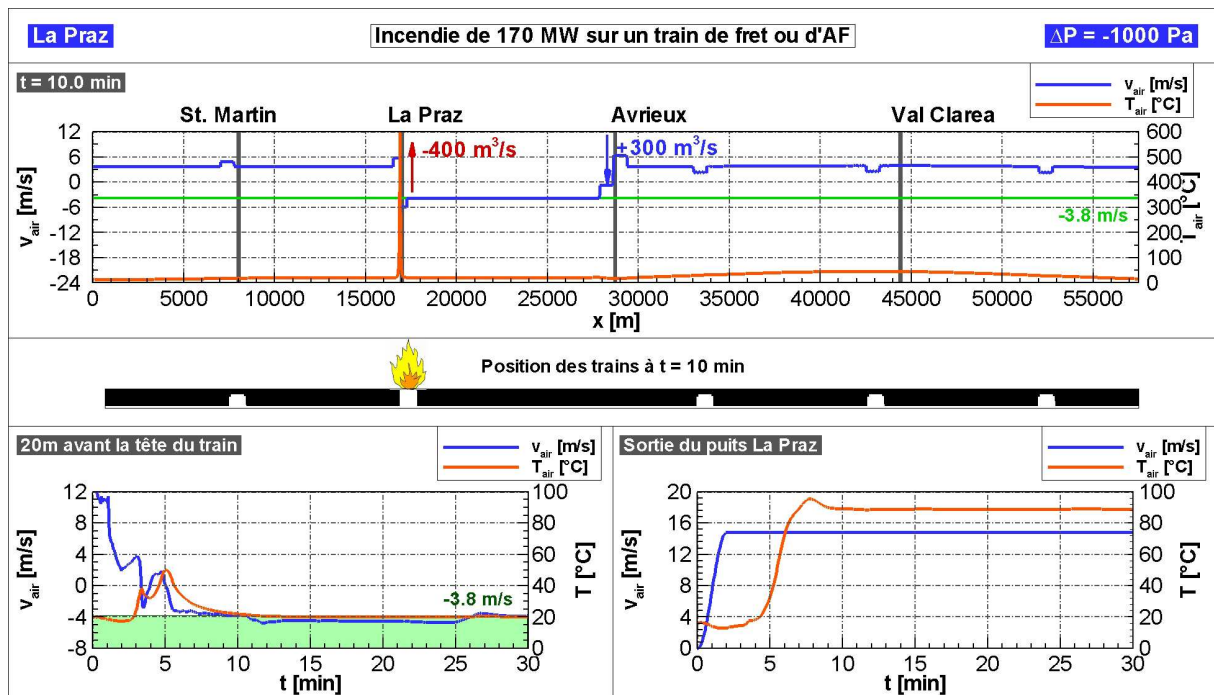


Figura 42 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

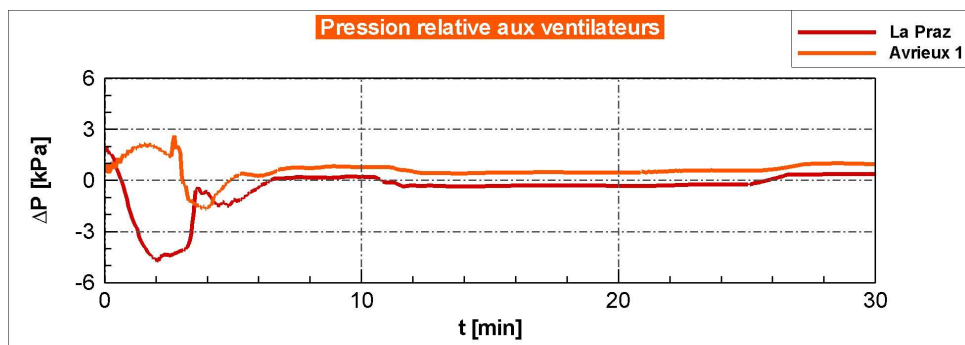


Figura 43 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.4 Posizione dell'incendio : Inter 3 = 20000 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	-300	+400	0	0
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-250	+1700	-	-
Temperature ai ventilatori (°C)	-	22	-	-	-

Tabella 42 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

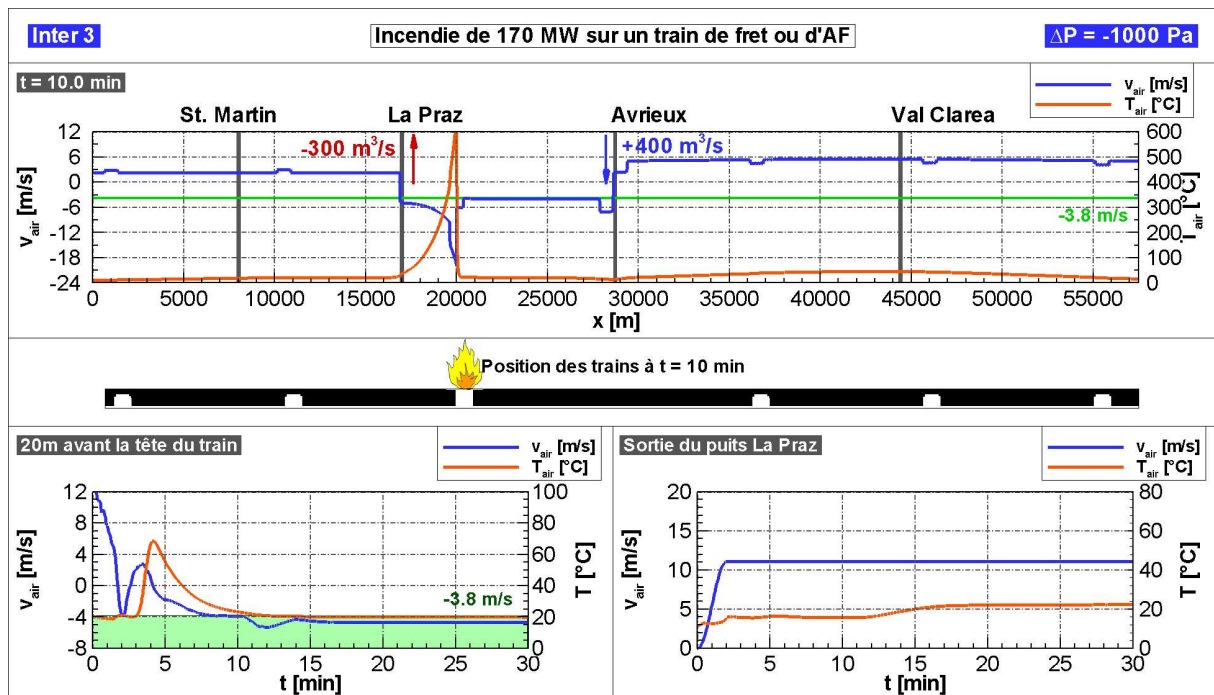


Figura 44 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

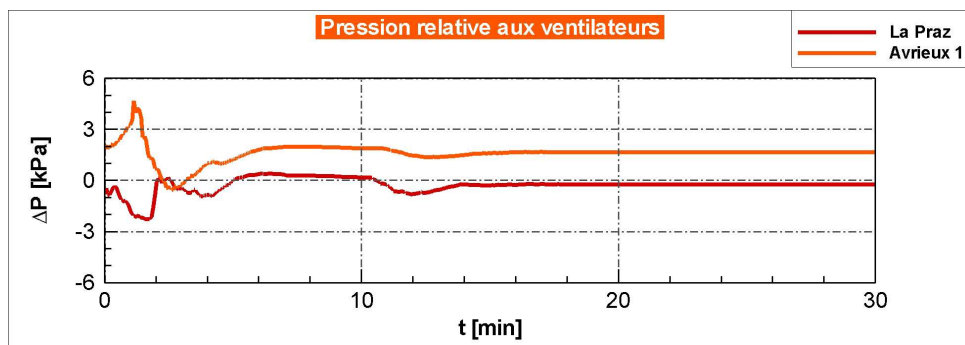


Figura 45 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.5 Posizione dell'incendio : Modane = 28611 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	0	-400	+100	0
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	+2000	-	-
Temperature ai ventilatori (°C)	-	-	280	-	-

Tabella 43 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

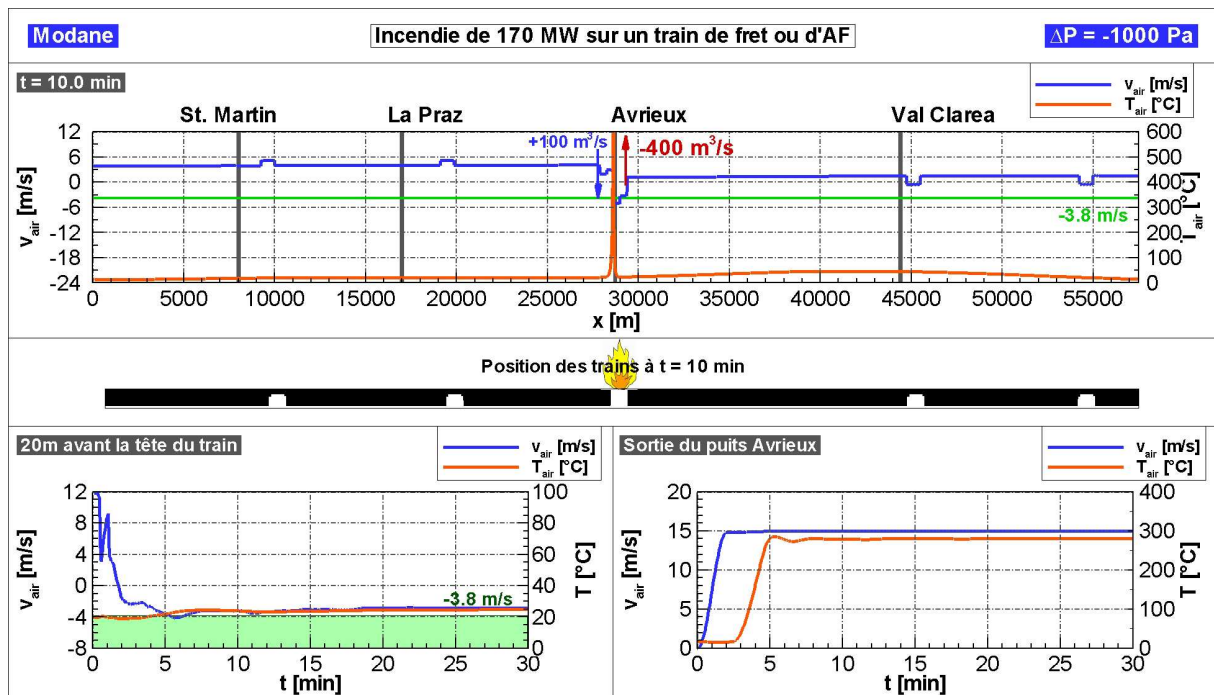


Figura 46 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

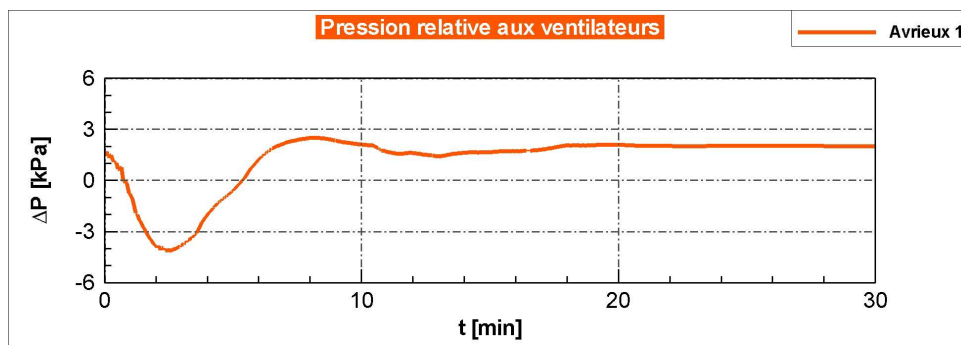


Figura 47 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.6 Posizione dell'incendio : Inter 4 = 32000 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	-100	-300	0	+300
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-1100	-100	-	+550
Temperature ai ventilatori (°C)	-	15	25	-	-

Tabella 44 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

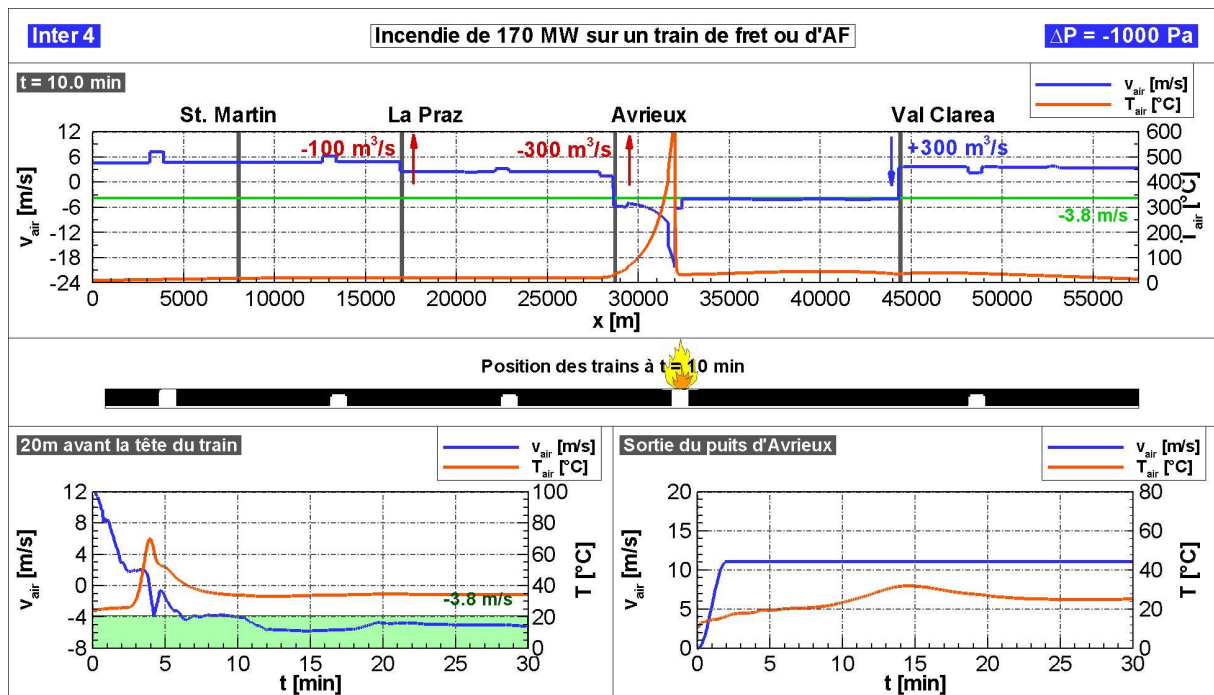


Figura 48 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

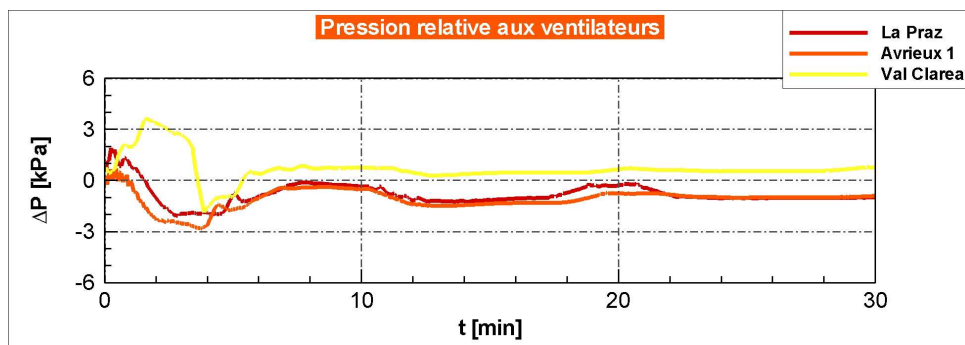


Figura 49 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.7 Posizione dell'incendio : Val Clarea = 44294 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	0	+300	0	-400
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	+550	-	-300
Temperature ai ventilatori (°C)	-	-	15	-	56

Tabella 45 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

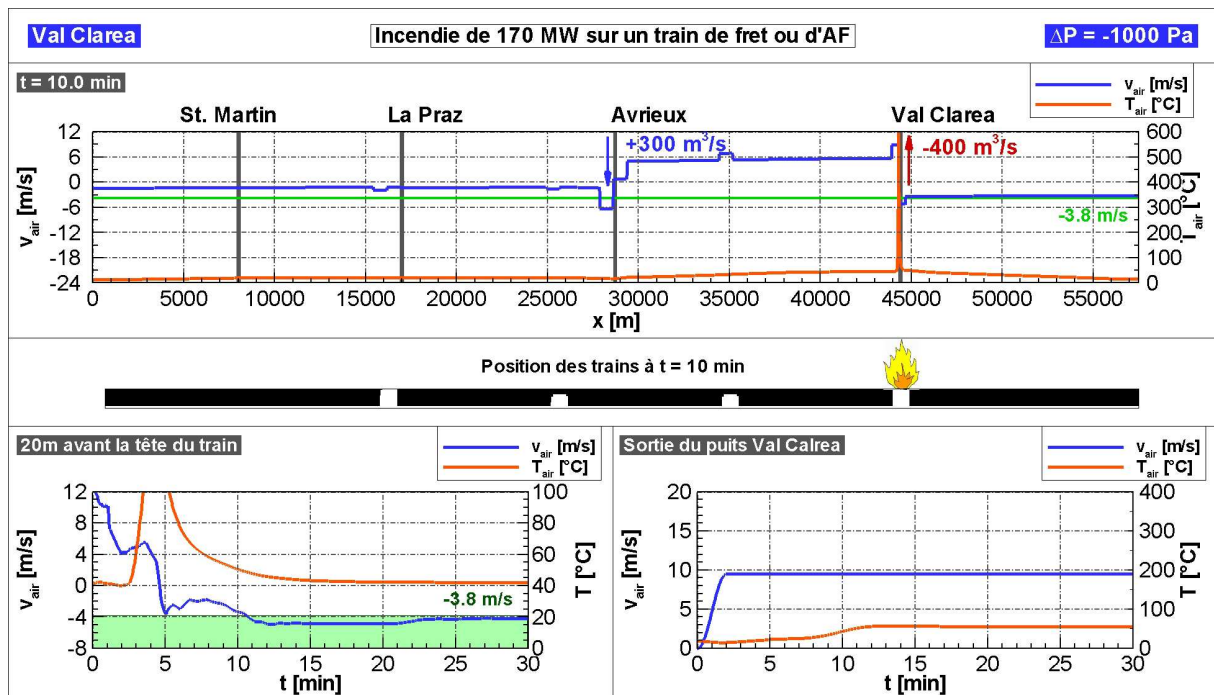


Figura 50 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

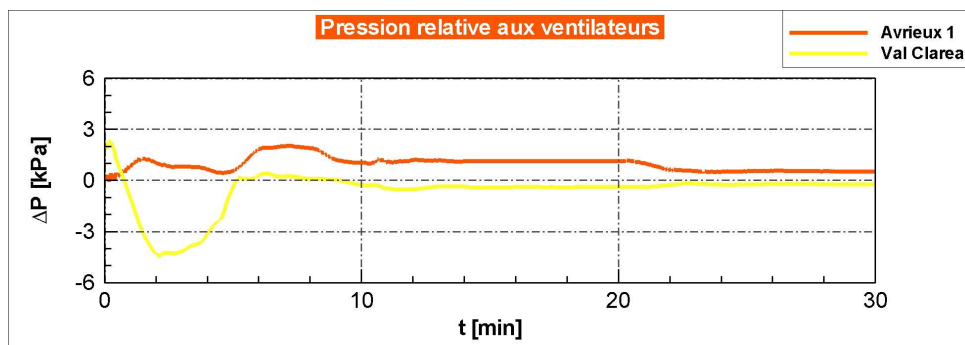


Figure 51 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.2.8 Posizione dell'incendio : Inter 5 = 51000 m

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Avrieux 2	Val Clarea
Portata di ventilazione in m ³ /s	0	0	-100	0	-300
Pressione relativa ai ventilatori all'equilibrio in Pa	-	-	-1400	-	-2200
Temperature ai ventilatori (°C)	-	-	20	-	25

Tabella 46 - Portate d'aria per l'estrazione dei fumi necessarie in caso di incendio su un treno AF ; pressione relativa e temperatura ai ventilatori attivi (valori a regime).

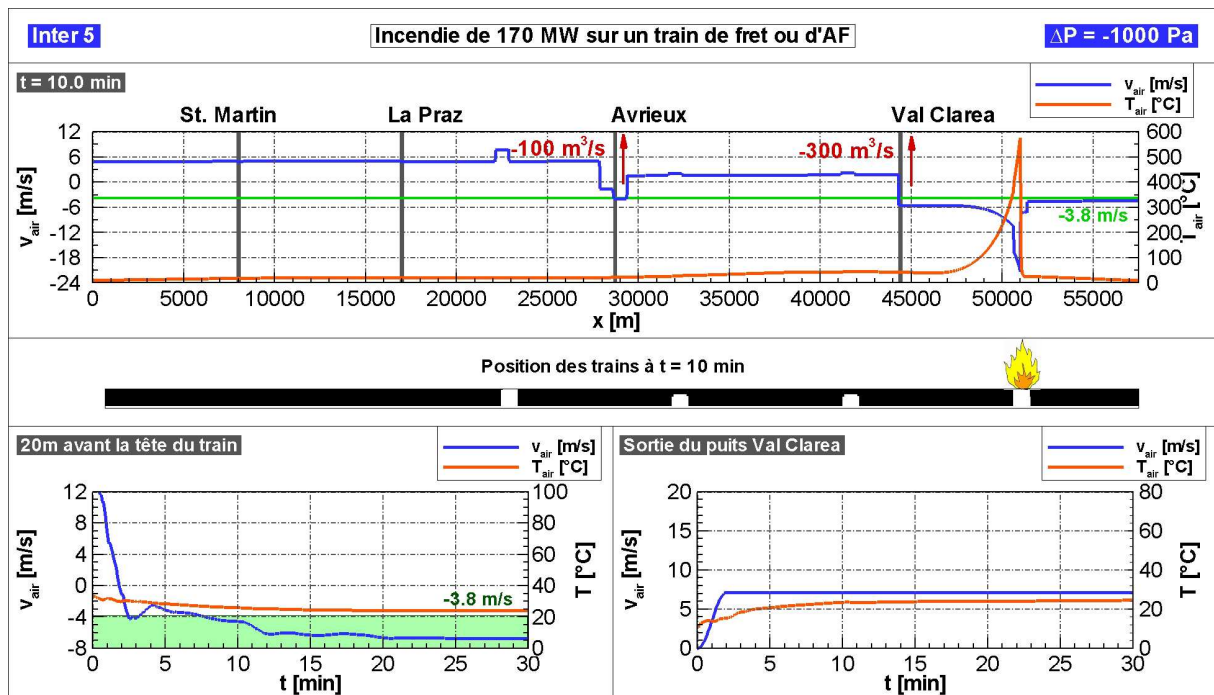


Figura 52 - Profili di velocità e di temperatura dell'aria 10 minuti dopo l'arresto del treno ; evoluzione temporale della velocità e della temperatura dell'aria 20 m avanti la testa del treno e all'uscita del pozzo di aspirazione.

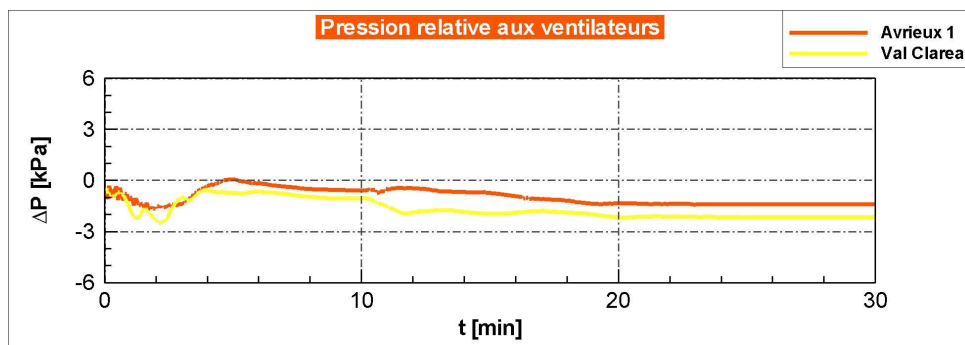


Figura 53 - Pressione relativa ai ventilatori in funzione del tempo

7.2.3 Discussione dei risultati

7.2.3.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

In tutti i casi studiati, è stato possibile soddisfare i vincoli imposti per gli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate disponibili.

La velocità critica di repulsione dei fumi di 3,8 m/s è stata sempre raggiunta a monte del treno in lassi di tempo ragionevoli, e generalmente minori di 1° minuti dopo l'arresto del treno.

All'equilibrio, la velocità del flusso è superiore a 3,8 m/s, e compresa tra 4,5 e 6,5 m/s. Le perturbazioni di velocità generate dal movimento degli altri treni non influisce significativamente sul valore del campo di velocità a monte del treno, che resta sempre superiore ai 3,8 m/s.

I risultati ottenuti nel caso di incendio di un treno AF nel sito di sicurezza sono allo stesso modo validi per i TGV, più corti e di sezione trasversale inferiore, per i quali la velocità critica richiesta è 2,8 m/s.

7.2.3.2 Portate d'aria

In generale, in caso di incendio in piena linea, 2 pozzi sono sufficienti per spingere i fumi oltre la velocità critica, salvo qualche caso dove la posizione dell'incendio è nella parte centrale del tunnel (Inter 2 o Inter 3).

Nel caso in cui un treno incendiato si fermi in un area di sicurezza, i fumi sono interamente aspirati dai pozzi al di sopra del treno, che permettono di estrarre 400 m³/s. Per contro può essere necessario utilizzare gli altri pozzi in immissione al fine di equilibrare le velocità dell'aria da una parte e dall'altra del pozzo di estrazione.

7.2.3.3 Temperature dei fumi all'uscita dei pozzi

Tenuto conto dell'elevata potenza dell'incendio, le temperature prodotte dal calore rilasciato sono alte. Tuttavia, i pozzi di lunghezza di varie centinaia di metri o anche qualche kilometro, la temperatura del flusso all'uscita è normalmente inferiore ai 100 °C.

L'incendio nel sito di sicurezza di Modane, costituisce un'eccezione. Nel pozzo di Avrieux, che misura 860 m, la temperatura all'uscita può arrivare a 300 °C.

7.2.3.4 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi

Il ricircolo dei fumi in testa al tunnel non sarà possibile nel caso di incendio situato tra il portale lato Francia e St. Martin la Porte. Per evitarlo, saranno installati degli acceleratori in testa al tunnel per generare una corrente d'aria uscente dal portale stesso.

Inoltre, come già scritto nel caso di incendio di una motrice di un TGV, è consigliabile valutare al meglio le uscite dei due pozzi di Avrieux per far sì che siano costruite e disposte in modo tale da evitare ogni ricircolo dei fumi.

7.2.3.5 Caratteristiche dei ventilatori

In conclusione, per garantire i vincoli imposti dalla strategia di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno merci o un treno AF, i 4 pozzi di ventilazione dovranno essere in grado di assicurare le seguenti portate:

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux 1	Val Clarea
Portata (m ³ /s)	±300	±400	±400	±400
$\Delta P_{\text{régime}}$ (Pa) in depressione / $\Delta P_{\text{régime}}$ (Pa) in sovrappressione	- / 3000	-1100 / 2800	-1400 / 2200	-2200 / 550
T (°C)	32	90	282	56

Tabella 47 - Portate utilizzate per l'estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno merci o un treno AF ; differenze di pressione a regime tra l'ingresso e l'uscita dei ventilatori alla sommità dei pozzi ; temperature ai ventilatori

Dal punto di vista termico, solo il pozzo di Avrieux è invaso da fumi molto caldi, dove la temperatura dei ventilatori può raggiungere i 300 °C. Negli altri pozzi, la temperatura di uscita non oltrepassa i 100 °C.

8. Conclusioni

8.1 Scenario d'incendio e procedure di estrazione dei fumi

Questo studio ha analizzato per via numerica gli scenari di dimensionamento del sistema di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno passeggeri o merci (merci tradizionale o AF), all'interno del tunnel di base LTF. Diversi tipi di incendio sono stati simulati, ognuno associato ad una ben precisa strategia di estrazione dei fumi:

- Incendio di una motrice di un treno passeggeri:
 - Arresto in piena linea:
 - Una potenza d'incendio di 25,5 MW generato per l'incendio di una motrice di coda di un treno passeggeri: i fumi sono spinti nel senso opposto a quello della circolazione dei treni, con una velocità longitudinale superiore alla velocità critica, $v \geq 2,8$ m/s;
 - Una potenza d'incendio di 30 MW generato per l'incendio di una carrozza intermedia di un treno passeggeri: i fumi sono spinti nel senso di circolazione dei treni con una velocità elevata, $v \geq 6$ m/s;
- Incendio di un treno merci o AF:
 - Arresto in un area di sicurezza (La Praz, Modane, Val Clarea):
 - Una potenza d'incendio di 170 MW generato da un incendio di un treno AF: i fumi sono essenzialmente aspirati dai pozzi di ventilazione tramite le serrande sulla volta della galleria;
 - Arresto in piena linea:
 - Una potenza d'incendio di 170 MW generato da un incendio di un treno AF: i fumi sono spinti nel senso opposto alla circolazione dei treni, con una velocità longitudinale superiore alla velocità critica, $v \geq 3,8$ m/s.

Questi incendi sono stati simulati in diverse posizioni all'interno del tunnel e per 3 livelli di contro-pressione differenti: -1000, 0 e +1000 Pa.

I tempi delle procedure di estrazione dei fumi utilizzati sono riassunti nella seguente tabella 48. L'istante di avvio delle procedure di ventilazione corrispondono all'istante di avvio della fase di arresto del treno incendiato; la velocità ridotta considerata è 30 km/h.

Il dimensionamento degli impianti di ventilazione è stata effettuata tenendo in conto delle diverse strategie di estrazione dei fumi dalla canna incidentata.

Tempi (min)	Azioni	
	Canna incidentata	Canna sana
0	Lancio della procedura di arresto Lancio della procedura di ventilazione fase 1	
2	Arresto del treno incendiato e dei treni seguenti	
3	Inizio del rallentamento dei treni precedenti	Inizio della frenatura dei treni che non hanno oltrepassato la zona dell'incidente Inizio del rallentamento dei treni che hanno oltrepassato la zona dell'incidente
5	Treni precedenti a velocità ridotta	Arresto dei treni che non hanno oltrepassato la zona dell'incidente Treni che hanno oltrepassato la zona dell'incidente a velocità ridotta
7-10	Regime di ventilazione stabilito	
10	Inizio della retrocessione dei treni seguenti a velocità ridotta Inizio dell'evacuazione dei passeggeri tramite i by-pass	Inizio della retrocessione dei treni che non hanno oltrepassato la zona dell'incidente
30	Fine dell'evacuazione tramite i by-pass Lancio della procedura di ventilazione fase 2	

Tabella 48 - Temistica delle procedure di estrazione dei fumi in caso di un treno incendiato

8.2 Metodologia e dominio di calcolo

Gli scenari sono stati simulati numericamente con la logica TNT di GESTE Engineering seguendo un approccio monodimensionale (1D). Questo approccio è in grado di riprodurre, tra l'altro, il movimento di diversi treni, gli effetti termici, gli effetti dovuti alla gravità e naturalmente gli sviluppi dell'incendio e la propagazione dei fumi, oltre al sistema di ventilazione.

Lo studio ha preso in considerazione la canna incidentata con le sue variazioni di geometria e i pozzi di ventilazione, integrandolo con il movimento dei treni secondo la sequenza proposta e secondo le strategie di arresto in caso di incendio.

8.3 Incendio di una motrice di un TGV

8.3.1 Incendio di una motrice di coda : velocità critica

8.3.1.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

In tutti i casi di incendio studiati, è stato possibile soddisfare le condizioni di velocità prefissate per gli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate disponibili (riassunte nella seguente tabella 49).

La velocità critica di spinta dei fumi di 2,8 m/s è stata sempre raggiunta a monte del treno in un intervallo di tempo inferiore ai 10 minuti. In generale questo intervallo è inferiore a 7 minuti. Nei casi in cui il tempo sia maggiore di 7 minuti, la portata massima dei pozzi non

viene raggiunta: sarà dunque possibile ridurre i tempi aumentando la portata dei pozzi fino alla massima disonibile. Infine questa velocità viene mantenuta sempre al di sopra.

Tre pozzi sono necessari nel momento in cui l'incendio sia ubicato nella parte centrale del tunnel. Negli altri casi, 2 pozzi sono sempre sufficienti.

Il secondo pozzo di Avrieux è utilizzato per mettere in sovrappressione il binario di precedenza quando il primo pozzo viene utilizzato in aspirazione. Questo permette di evitare che questo binario sia invaso da eventuali fumi.

Lo studio mostra che il dimensionamento riportato nella tabella 49 è sufficiente per i livelli di contro-pressione variabili tra -1000 Pa e +1000 Pa.

Inoltre, la posizione del treno incendiato nel tunnel e la posizione di arresto degli altri veicoli non sono elementi determinanti per la regolazione del sistema di ventilazione. Una strategia di estrazione dei fumi semplice può essere definita per tratti, in funzione del tipo di veicolo incendiato e della posizione dell'incendio sul veicolo.

8.3.2 Incendio di una motrice intermedia : velocità elevata (diluizione)

8.3.2.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

Le stesse considerazioni descritte per un incendio sulla motrice di coda sono valide per un incendio sulla motrice intermedia associata ad una strategia di estrazione dei fumi mediante diluizione dei fumi.

In tutti gli scenari studiati, è stato possibile soddisfare i vincoli fissati per gli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate disponibili. Le velocità raggiunte sono comprese tra 6 m/s e 7 m/s. Queste velocità possono essere raggiunte utilizzando 2 o 3 pozzi.

8.4 Incendio di un treno merci o AF

8.4.1 Incendio di un treno AF

8.4.1.1 Velocità dell'aria nella canna incidentata

In tutti i casi studiati per un incendio di un treno AF, è stato possibile soddisfare le condizioni prefissate per gli scenari di estrazione dei fumi utilizzando le portate disponibili.

In generale, in caso di incendio in un tratto di linea tra due siti (arresto non controllato in piena linea), 2 pozzi sono sufficienti per spingere i fumi al di sopra della velocità critica di 3,8 m/s, sempre raggiunta a monte del treno in un lasso di tempo ragionevole e generalmente inferiore ai 10 minuti, dopo l'arresto del treno.

I risultati ottenuti nel caso di incendio di un treno AF nei siti di sicurezza sono valide anche per i TGV, più corti e con sezione trasversale minore e per i quali la velocità critica richiesta è pari a 2,8 m/s.

8.4.1.2 Temperatura dei fumi all'uscita dei pozzi

Tenuto conto dell'elevata potenza d'incendio, le temperature prodotte dal calore rilasciato dall'incendio sono elevate. Tuttavia, data la lunghezza dei pozzi di alcune centinaia di metri, ed in alcuni casi di qualche kilometro, la temperatura del flusso all'uscita in superficie è normalmente inferiore ai 100 °C. L'incendio nel sito di sicurezza di Modane costituisce

un'eccezione. Nel pozzo di Avrieux, che misura 860 m di lunghezza, la temperatura di uscita può raggiungere i 300 °C.

8.5 Ricircolo dei fumi agli imbocchi del tunnel o dei pozzi

In tutti gli scenari d'incendio scelti, attraverso la presenza degli acceleratori in testa al tunnel, non è possibile avere un ricircolo dei fumi agli imbocchi, allo stesso modo per un incendio situato nei tratti di estremità.

Esiste però una possibilità di ricircolo alla sommità dei pozzi di Avrieux dove, in alcuni scenari, uno dei due funziona in aspirazione per estrarre i fumi dalla canna incidentata e l'altro in immissione per mettere in sovra pressione il binario di precedenza della canna. E' dunque indispensabile progettare le uscite dei due pozzi in modo tale da evitare ogni possibilità di ricircolo dei fumi.

8.6 Impianti di ventilazione

8.6.1 Ventilatori

8.6.1.1 Portate e pressioni

In conclusione, per garantire la messa in opera delle strategie di estrazione dei fumi in caso di incendio di un treno nel tunnel – sia che si tratti di un treno passeggeri, di un treno merci o di un treno AF – i 4 pozzi di ventilazione dovranno assicurare le portate seguenti e sopportare le variazioni di pressioni seguenti :

Pozzi	St. Martin	La Praz	Avrieux (1 et 2)	Val Clarea
Portata (m ³ /s)	±300	±400	±400	±400
\Delta P _{max} (Pa)	5200	6700	7400	4600
\Delta P _{régime} (Pa)	3000	3700	2900	3700
T _{max} (°C)	32	90	282	56

Tabella 49 - Portate dei ventilatori e variazioni di pressione nei pozzi.

Tenuto conto :

- della lunghezza del tunnel e dei condotti di ventilazione;
- della loro sezione ridotta;
- dei diversi coefficienti d'attrito;
- della circolazione dei treni con forte perdita di carico (i treni AF, con un rapporto di bloccaggio e un coefficiente d'attrito elevati, rispettivamente 0,36 e 0,0135);
- di una strategia di estrazione dei fumi conducenti a correnti d'aria elevate;

le perdite di carico lungo il tunnel e nei condotti di ventilazione sono importanti. I ventilatori dovrebbero fornire un aumento di pressione di 5 – 6 kPa.

Dal punto di vista termico, i ventilatori potrebbero essere invasi da fumi caldi fino a temperature di 300 °C ad Avrieux e di 100 °C negli altri pozzi.

8.6.1.2 Pressioni massime

E' stato constatato che i ventilatori possono essere sottoposti a delle differenze di pressione superiori a quelle attese a regime, fino a circa 7,5 kPa.

La messa in moto dei ventilatori dovrà essere fatta in maniera progressiva al fine di limitare i carichi.

D'altra parte, per limitare le perdite di carico, si suggerisce che le dimensioni dei condotti di ventilazione (a valle delle serrande o dei collegamenti con il tunnel) abbiano una sezione costante e una minimizzazione dei cambi bruschi di direzione.

8.6.2 Acceleratori

E' prevista l'installazione, ai due imbocchi di ogni canna, di impianti che possono fornire una spinta aerodinamica valutata in 11300 N in campo libero.

Questo è prevista con l'uso di acceleratori reversibili con le seguenti caratteristiche:

- Diametro interno: 1000 mm;
- Diametro esterno (senza silenziatore): 1220 mm;
- Spinta unitaria in campo libero: 1130 N;
- Velocità d'espulsione: 35,7 m/s;
- Rendimento aeraulico: 0,85;
- Funzionamento per 2 ore a 200 °C.

La necessità di spinta prevede 10 acceleratori funzionanti simultaneamente. Tenendo in conto le riserve per guasto o manutenzione, oltre che alla determinazione di un numero di macchine che possono essere danneggiate dai gas caldi, queste considerazioni portano all'installazione di 2 macchine supplementari per ogni imbocco e per ogni canna.