

ITINERARIO "SALERNO – POTENZA – BARI"

Adeguamento delle sedi esistenti e tratti di nuova realizzazione IV tratta
da zona industriale Vaglio a svincolo S.P. Oppido S.S. 96

Codice CIG - 70219264A5

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12)

Dott. Ing. **GIORGIO GUIDUCCI**
ORDINE INGEGNERI
ROMA
n. 14035

Dott. Ing. **GIORGIO GUIDUCCI**
Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035

PROGETTAZIONE ATI:

(Mandataria)

GP INGENNERIA

GESTIONE PROGETTI INGENNERIA srl

IL GEOLOGO

Dott. Geol. **Giuseppe Cerchiaro**
Ordine dei geologi della Calabria n. 528

(Mandante)



(Mandante)



COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Arch. **Silvia Besozzi**
Ordine Architetti Provincia di Roma n. 10846

(Mandante)



(Mandante)



VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. **Massimiliano Fidenzi**

OPERE IN SOTTERRANEO

Galleria "Valico di Pazzano"

Relazione sugli aspetti relativi alla sicurezza in galleria

CODICE PROGETTO

LO714APF1801

NOME FILE

T00GN00OSTRE02_A

REVISIONE

SCALA

CODICE ELAB.

T00GN00OSTRE02

A

Varie

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Revisione	Feb. '22	Moscattelli	De Sanctis	Guiducci
B	Revisione	Dicembre'19	Moscattelli	De Sanctis	Guiducci
A	Emissione	Sett.'19	Moscattelli	De Sanctis	Guiducci

INDICE

1.	<u>INTRODUZIONE</u>	2
2.	<u>DESCRIZIONE DELLA GALLERIA "VALICO DI PAZZANO"</u>	4
2.1.	IMPIANTI PREVISTI A PROGETTO	6
3.	<u>OBIETTIVI DELLA SIMULAZIONE CFD 3D</u>	8
3.1.	RIFERIMENTI NORMATIVI	8
3.2.	DEFINIZIONE DELL'EVENTO CRITICO.....	8
4.	<u>ANALISI ESODO</u>	12
4.1.	METODO MONTE CARLO	13
4.1.1.	<i>Descrizione della tecnica e aspetti implementativi</i>	13
4.1.2.	<i>Attribuzione delle distribuzioni di probabilità</i>	14
4.1.3.	<i>Numero di iterazioni necessarie</i>	16
4.2.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI.....	17
5.	<u>ANALISI CFD</u>	21
5.1.	PARAMETRI DI INPUT	21
5.1.1.	<i>Geometria del modello</i>	21
5.1.2.	<i>Materiali</i>	22
5.1.3.	<i>Localizzazione del focolare</i>	23
5.1.4.	<i>Tipologia di focolare</i>	23
5.1.5.	<i>Caratteristiche del combustibile</i>	23
5.1.6.	<i>Generazione dei prodotti della combustione</i>	23
5.1.7.	<i>Dimensionamento della mesh di calcolo</i>	24
5.1.8.	<i>Impianto di ventilazione</i>	24
5.2.	DESCRIZIONE DELLA CURVA HRR	26
5.3.	DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE	27
5.4.	IDENTIFICAZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE	28
5.5.	SCHEMATIZZAZIONE DEI PARAMETRI DI VALUTAZIONE	29
5.6.	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE	30
5.6.1.	<i>Scenario S01</i>	30
6.	<u>RISULTATO DELLA SIMULAZIONE CFD 3D E DELLA CAPACITA' DI ESODO NELLE DUE CONDIZIONI ANALIZZATE</u>	52
7.	<u>CONCLUSIONI</u>	53
8.	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	54

PROGETTAZIONE ATI:

1. INTRODUZIONE

Il presente documento ha lo scopo di fornire riscontro alla richiesta di integrazione documentale Prot. U.0005175. 25-05-2022 Commissione relatrice incaricata dell'affare 42/2022.

Gli argomenti oggetto di approfondimento sono i seguenti:

1. *un'approfondita documentazione di sicurezza della galleria naturale, avente caratteristiche speciali, che descriva in maniera esauriente come siano state affrontate le problematiche della progettazione e gestione della sicurezza, senza limitarsi ad asserzioni sul rispetto dei requisiti minimi normativi.*
2. *un elaborato completo che dimostri la piena consapevolezza, da parte del progettista, delle diverse problematiche di sicurezza relative al sistema galleria nel suo insieme, con particolare riferimento all'evacuazione degli utenti e all'intervento dei soccorsi in caso di incendio.*
3. *una relazione tecnica comprensiva di elaborati grafici e analisi di rischio elaborata con le indicazioni fornite dal D.Lgs. 264/2006 per la galleria presente nel percorso stradale*

Nel caso specifico, trattandosi di un progetto di un PFTE, si è ritenuto di verificare le scelte progettuali fatte approfondendo il "comportamento del sistema galleria" nel caso di uno degli eventi più significativi. Lo scenario analizzato è di un incendio di 30MW (termini di dimensionamento dell'impianto di ventilazione, come indicazioni Piarc), in condizioni di traffico e di parametri di sicurezza cautelativi.

Lo studio è stato condotto come di seguito riportato:

- con la modellazione CFD 3D prevedendo uno scenario incendio, di potenza pari a 30MW, a 520 m dall'ingresso in direzione Vaglio (la posizione considerata risulta essere la più gravosa);
- è stato considerato l'incendio con forte presenza di poliuretano in quanto la reazione stechiometrica del poliuretano risulta essere la più gravosa in termini di valutazioni inerenti alla Life Safety;
- considerando la posizione del focolaio davanti all'ingresso della via di fuga, costringendo quindi gli utenti a percorrere la distanza maggiore in caso di evacuazione (posizione più gravosa per l'auto evacuazione degli utenti);
- con differenti tempi di chiusura della galleria di $E1=3'$ e $E2=6'$, per valutare l'efficacia o meno degli automatismi (tempo di reazione dei sistemi di rilevamento/segnalazione/gestione);
- utilizzando parametri cautelativi per il calcolo dell'evacuazione, come di seguito riportato:

VARIABILE	TEMPO MEDIO DI INIZIO EVACUAZIONE UTENTI	DEV. STANDARD	RIFERIMENTO
$t_{pre} (VP)$	90 s	26 s	Linea Guida Anas
$t_{pre} (VL)$	300 s	104 s	Linea Guida Anas

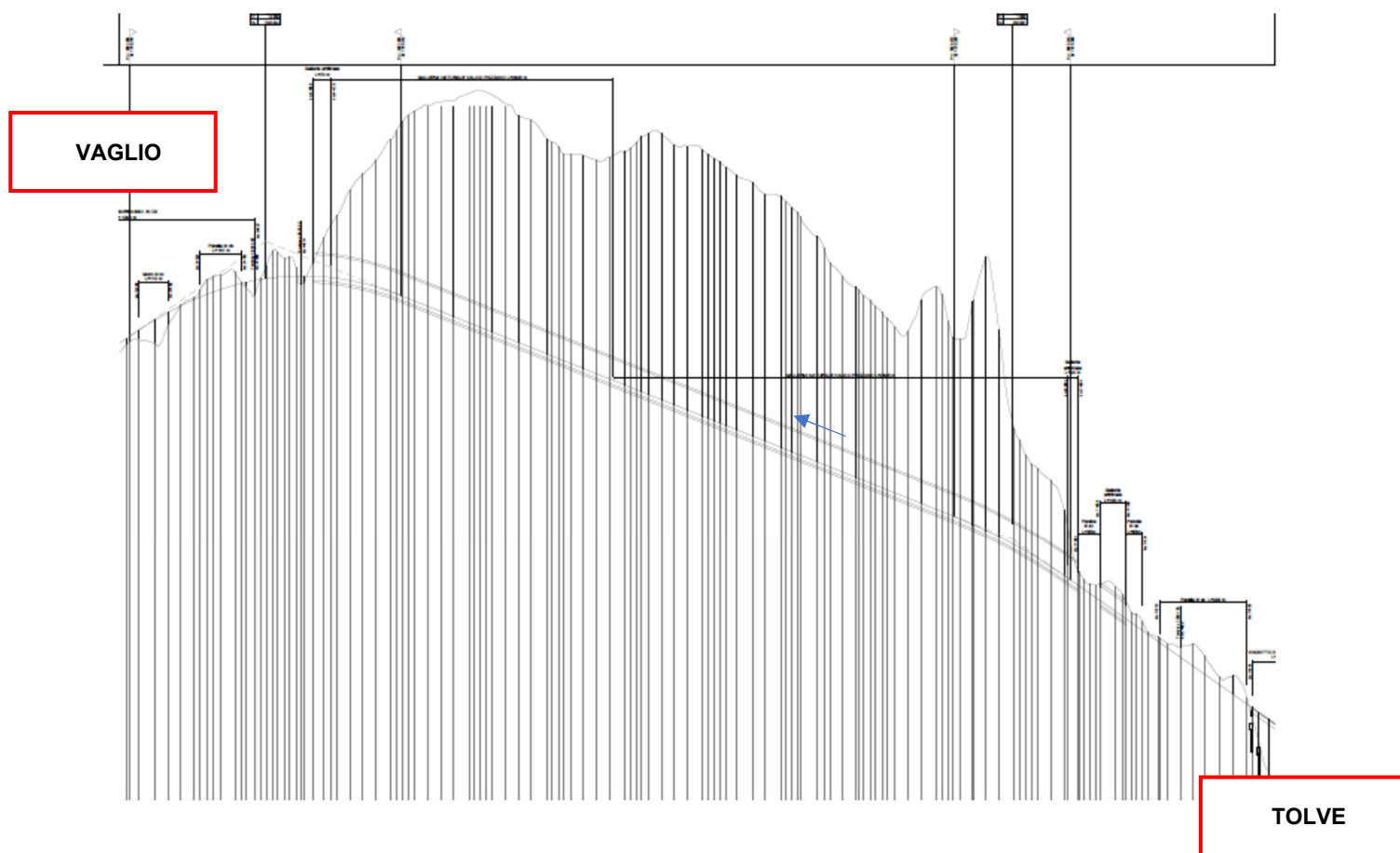
Tutto quanto sopra esposto al fine di verificare l'efficacia delle dotazioni previste a progetto, nella condizione più sfavorevole, si sono quindi affrontate le problematiche di:

- idoneità delle scelte fatte considerando le caratteristiche di specialità della galleria, in particolare pendenza longitudinale superiore al 3%;

PROGETTAZIONE ATI:

- i problemi intrinseci del regime di circolazione bidirezionale, valutati nella condizione peggiore (incendio);
- valutazione dell'esodo con metodo Montecarlo al fine di valutare la capacità di auto evacuazione degli utenti in caso di incendio (in uno dei punti più sfavorevoli);
- la quantificazione delle conseguenze di un evento gravoso nel punto più sfavorevole in due diverse configurazioni di chiusura della galleria (2 diversi tempi di reazione degli automatismi di rilevamento e chiusura).

Di seguito sezione longitudinale della galleria.



PROGETTAZIONE ATI:

2. DESCRIZIONE DELLA GALLERIA "VALICO DI PAZZANO"

La galleria "Valico di Pazzano" è una galleria stradale extraurbana di lunghezza pari a 2.945 m ad unico fornice, con due corsie e caratterizzata da un doppio senso di marcia (bidirezionale). La galleria si trova ad una altitudine di circa 760 metri sul livello del mare e presenta una pendenza del +4% in direzione Vaglio.

Si rimanda all'immagine seguente per una migliore identificazione della galleria.



Figura 2.1 : Inquadramento planimetrico della galleria

La carreggiata sarà costituita da 2 corsie di larghezza 3,75 m e da banchine da 1,50 m, per complessivi 10,50 m, di cui si riporta una sezione tipo in Figura 2.2 e una sezione in corrispondenza delle piazzole di sosta in Figura 2.3.

PROGETTAZIONE ATI:

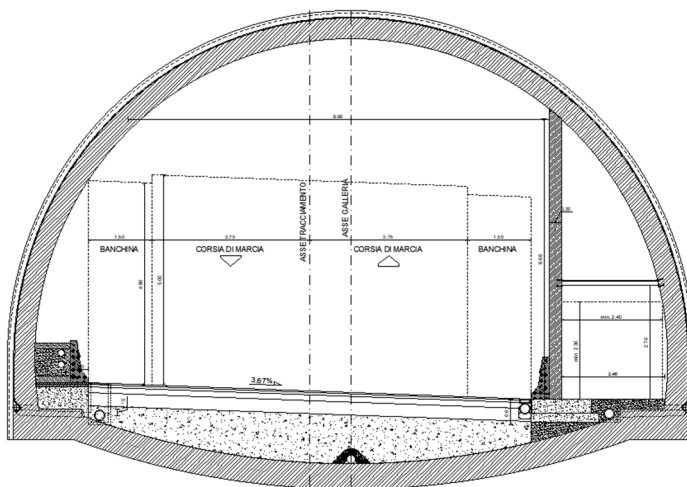


Figura 2.2 : Sezione tipo della galleria

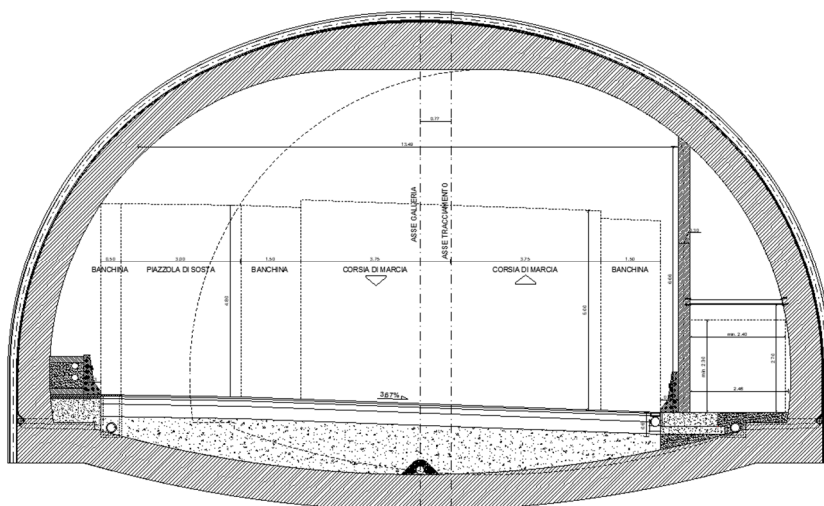


Figura 2.3 : Sezione tipo della galleria – piazzola di sosta

I flussi di traffico caratterizzanti l'infrastruttura "a regime" sono riportati in tabella:

Traffico medio giornaliero [veicoli/giorno] al 2039	4.300
Flusso orario nelle ore di punta [veicoli/ora]	400
Veicoli leggeri giornalieri	3.800
Veicoli leggeri %	88 %
Veicoli pesanti giornalieri	500
Veicoli pesanti %	12 %

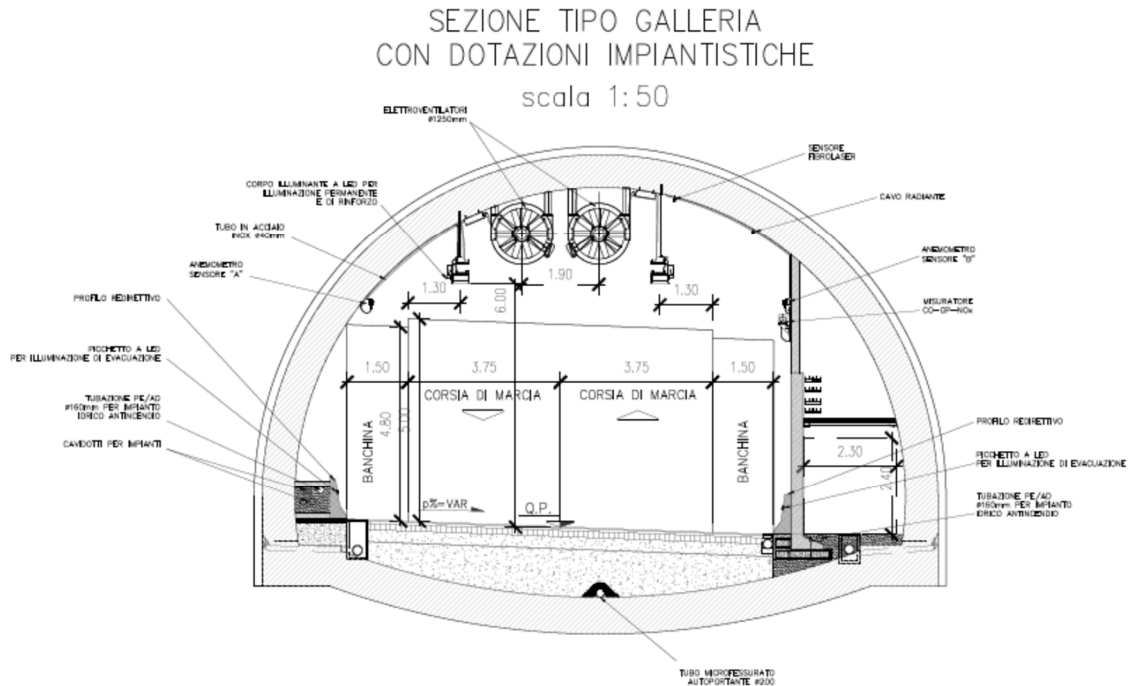
PROGETTAZIONE ATI:

2.1. IMPIANTI PREVISTI A PROGETTO

Sono previsti i seguenti impianti:

1. Impianto di ventilazione: Ventilazione Longitudinale di galleria e pressurizzazione via di fuga; compresi tutti i sensori (opacimetri, anemometri, Nox) e i sistemi di rilevamento incendio (T00IM01IMPDT03);
2. Sistema Idrico Antincendio (a servizio dei VVF- T00IM01IMPDT06)
3. Stazioni di Emergenza completi di Estintori (T00IM01IMPDT05);
4. Impianto di Illuminazione e di evacuazione (T00IM01IMPDT02);
5. Segnaletica attiva (PMV/Freccia – croce) e passiva (T00IM01IMPDT04);
6. Impianto Tvcc
7. Impianto Radio;
8. Sistema di Supervisione e controllo / Distribuzione elettrica (T00IM01IMPDT07);
9. Sistema di gestione liquidi infiammabili.

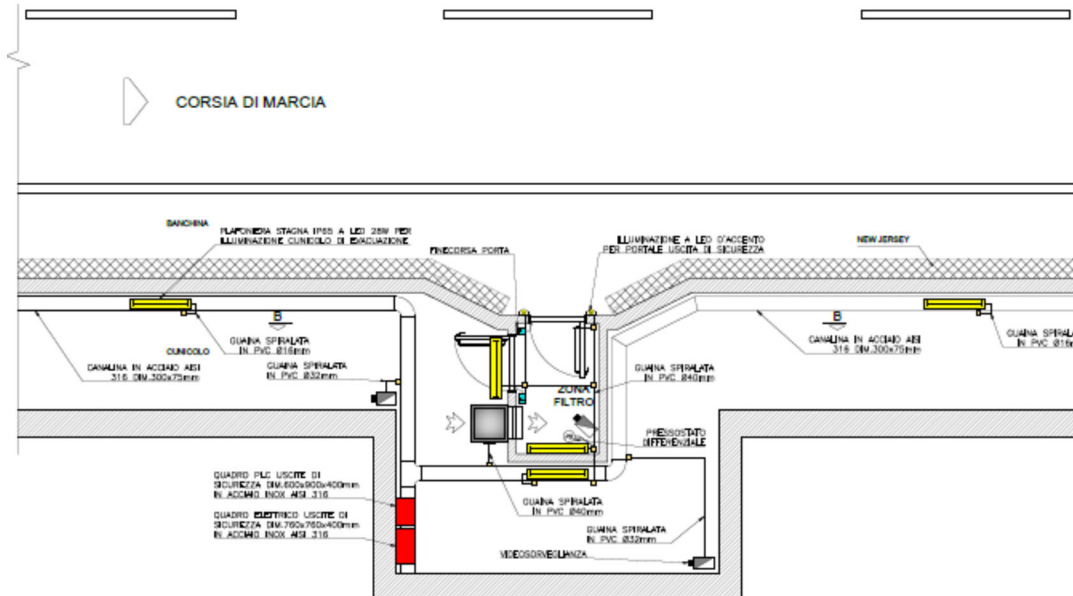
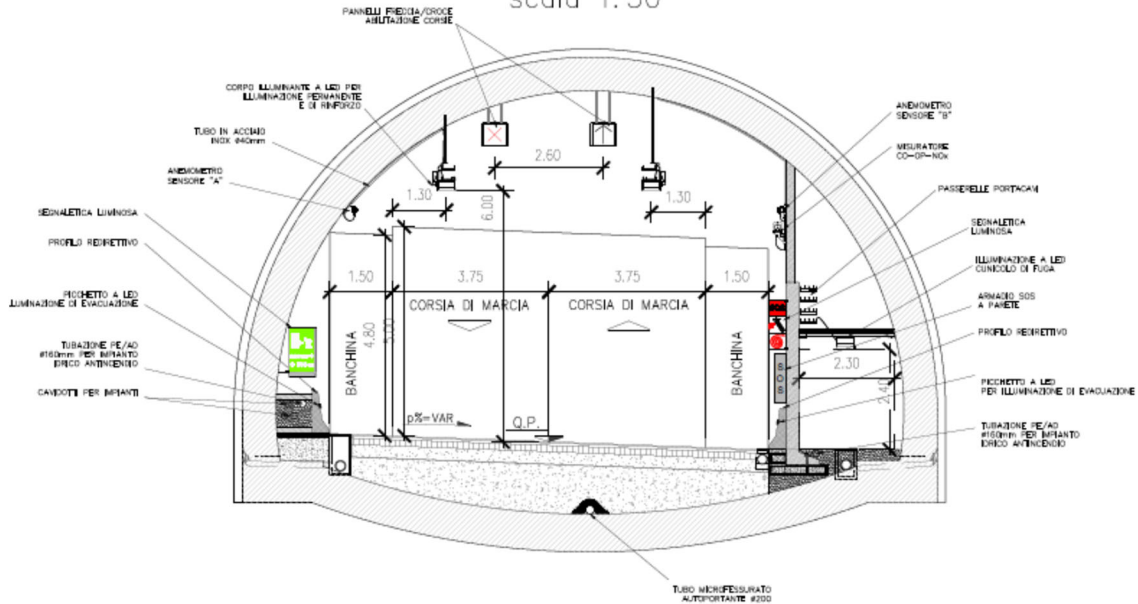
Oltre alla distribuzione elettrica e di cabina; infine è stata prevista l'illuminazione degli svincoli.
Di seguito un estratto dall'elaborato: T00IM01IMPDT01



PROGETTAZIONE ATI:

**SEZIONE TIPO GALLERIA
CON SEGNALETICA LUMINOSA**

scala 1:50



PROGETTAZIONE ATI:

3. OBIETTIVI DELLA SIMULAZIONE CFD 3D

Obiiettivo del presente documento è quello di effettuare un'analisi delle condizioni di sicurezza, in caso d'incendio, per la nuova galleria di Valico di Pazzano in fase di progettazione. In particolare, l'analisi verrà svolta facendo ricorso a modellazioni fluidodinamiche (CFD) dell'incendio e a simulazioni stocastiche di esodo (Metodo di Monte Carlo).

E' stato sviluppato un unico scenario d'incendio che prevede un focolare da 30 MW, considerato rappresentativo ai fini della valutazione delle dotazioni previste, nelle condizioni di progetto della galleria, in cui è previsto un impianto di ventilazione meccanica longitudinale.

Le modellazioni CFD verranno sviluppate per determinare i tempi disponibili per l'esodo, mentre le modellazioni dell'esodo descriveranno il tempo necessario per l'evacuazione. Il confronto tra queste analisi determinerà le condizioni di sicurezza all'interno della galleria.

3.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Si riportano di seguito i principali riferimenti normativi utilizzati a supporto delle valutazioni condotte:

- DM 03/08/15 e ss.mm.ii. "Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'articolo 15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139";
- ISO 13571:2012. "Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires";
- BS PD 7974-0:2002 "Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Guide to design framework and fire safety engineering procedures";
- ISO/TR 16738: 2009 "Fire-safety engineering -- Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people".

3.2. DEFINIZIONE DELL'EVENTO CRITICO

Nel presente documento verrà analizzato un evento critico costituito da un incidente con conseguente incendio a 520 m dall'ingresso in direzione Vaglio (imbocco Nord), ritenuto il più gravoso dal punto di vista della pendenza con conseguente risalita naturale dei fumi verso l'interno della galleria.

Si considera il tempo di chiusura della galleria, a seguito dell'evento incidentale, in circa 3 minuti. Verranno in seguito valutate due diverse configurazioni dell'evento critico, uno in cui il sistema di chiusura della galleria funziona correttamente e un altro in cui vi è ritardo nell'attivazione dello stesso. Infatti, un possibile ritardo nel sistema automatico di chiusura della galleria provoca l'aumento di veicoli presenti all'interno della stessa durante l'incendio, aumentando di conseguenza il numero di occupanti e aggravando le analisi stocastiche d'esodo.

- **Scenario S01:** incendio da 30 MW con attivazione dell'impianto di ventilazione
 - **Scenario E01:** chiusura della galleria in 3 minuti
 - **Scenario E02:** chiusura della galleria in 6 minuti

NOTA: la tempestiva chiusura del fornice consente di minimizzare le conseguenze di ogni evento gravoso.

Preliminarmente alla parametrizzazione ed alla modellazione dell'esodo è opportuno individuare il numero e la tipologia di veicoli coinvolti, con conseguente determinazione del numero e della tipologia di utenti presenti.

Si riportano i dati di traffico considerati:

Traffico medio giornaliero [veicoli/giorno] al 2039	4.300
Flusso orario nelle ore di punta [veicoli/ora]	400
Veicoli leggeri giornalieri	3.800
Veicoli leggeri %	88 %
Veicoli pesanti giornalieri	500
Veicoli pesanti %	12 %

I dati del traffico sopra riportati si riferiscono al traffico complessivo in entrambe le corsie. Trattandosi di una galleria bidirezionale, il flusso veicolare a valle dell'incendio, in entrambe le direzioni, potrà uscire dalla galleria senza restare coinvolto nell'evento critico. Per tale motivo si considererà un flusso orario veicolare dimezzato, considerando solamente i veicoli coinvolti a valle dell'incendio di entrambe le corsie.

Sulla base di quanto sopra si riportano le seguenti tabelle riepilogative dei dati utili al calcolo dei veicoli e degli utenti coinvolti:

CALCOLO VEICOLI COINVOLTI		
Lunghezza galleria	2,945	km
	2.945	m
Traffico	200	v/h
	3,33	v/min
	67,91	v/h km
	1,13	v/min km

Gli scenari incidentali che verranno considerati avverranno tutti nella posizione considerata meno favorevole, a 520 m dall'ingresso in direzione Vaglio, come descritto in precedenza. Si considera che i veicoli nel tratto a monte dell'incendio potranno evacuare dalla galleria, mentre i veicoli a valle saranno conteggiati per il calcolo degli utenti coinvolti durante l'evoluzione dell'incendio (si veda Figura 3.1).

SCENARIO 1: FUNZIONAMENTO CHIUSURA GALLERIA			
L _{TOT} =	2,945	km	
Direzione Tolve			
L ₁ =	2,425	km	Distanza complessiva dall'ingresso a punto d'incendio
n. veicoli	7 VL		0 VP 1 Bus
Direzione Vaglio			
L ₁ =	0,520	km	Distanza complessiva dall'ingresso a punto d'incendio
n. veicoli	2 VL		0 VP 0 Bus
Veicoli totali coinvolti			
10			
SCENARIO 2: RITARDO CHIUSURA GALLERIA			
L _{TOT} =	2,945	km	
Direzione Tolve			
L ₁ =	2,425	km	Distanza complessiva dall'ingresso a punto d'incendio
n. veicoli	14 VL		1 VP 1 Bus
Direzione Vaglio			
L ₁ =	0,520	km	Distanza complessiva dall'ingresso a punto d'incendio
n. veicoli	3 VL		0 VP 0 Bus
Veicoli totali coinvolti			
19			

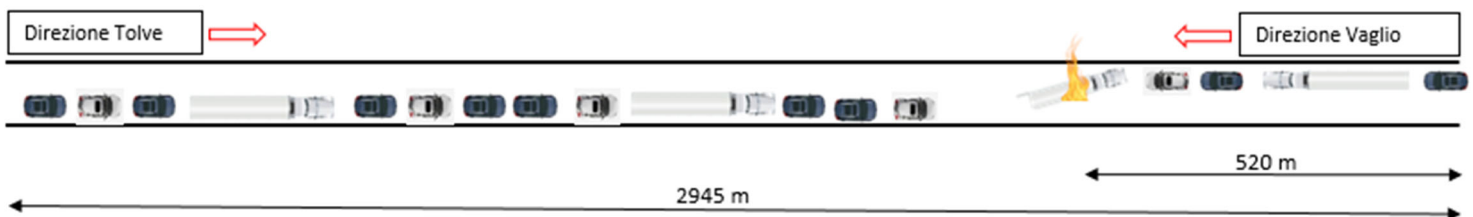


Figura 3.1 : Schema determinazione veicoli coinvolti

Sulla base del TGM si è effettuata la seguente suddivisione tipologica dei veicoli coinvolti per fornice:

- Veicoli pesanti (VP) → 12% di cui almeno 1 pullman;
- Veicoli leggeri (VL) → 88%.

In accordo con quanto previsto dal CETU, verranno considerati:

- 1 persona per ogni veicolo pesante (VP);
- 1,5 persone per ogni veicolo leggero (VL);
- 27 persone per ogni pullman.

In riferimento ai dati ISTAT verrà assunta una percentuale di disabili pari al 5,2%. Si riporta di seguito tabella riepilogativa di quanto sopra riportato, per i due scenari considerati.

PROGETTAZIONE ATI:

PERSONE COINVOLTE		
Scenario 1: funzionamento chiusura galleria		Scenario 2: ritardo chiusura galleria
%VP	12%	12%
	1 (totali)	2 (totali)
	0 (esclusi Bus)	1 (esclusi Bus)
	1 Bus	1 Bus
%VL	88%	88%
	9	17
Pers. ogni VP	1	1
Pers. ogni VL	1,5	1,5
Pers. ogni Bus	27	27
%Disabili	5,20%	5,20% fonte ISTAT

In conclusione, basandosi sul TGM sopra esposto, le persone potenzialmente coinvolte risultano:

- Scenario 1: funzionamento chiusura galleria:
 - 0 persone di VP;
 - 14 persone di VL;
 - 27 persone di Bus;

per un totale di 41 persone, di cui 2 disabili.

- Scenario 2: ritardo chiusura galleria:
 - 1 persone di VP;
 - 26 persone di VL;
 - 27 persone di Bus;

per un totale di 54 persone, di cui 3 disabili.

Nel capitolo successivo verranno descritti i dati di input utilizzati per la modellazione probabilistica dell'esodo.

4. ANALISI ESODO

L'analisi dell'esodo sarà finalizzata a determinare il tempo necessario all'evacuazione negli scenari d'incendio di progetto descritti in precedenza, definito come RSET (*Required Safe Escape Time*).

L'ingegneria della sicurezza antincendio, quando è finalizzata alla valutazione dell'esodo (*Life Safety*), considera il raggiungimento dell'obiettivo attraverso la relazione tra i parametri ASET e RSET; per garantire la sicurezza degli occupanti è necessario che il rapporto ASET/RSET sia maggiore di 1.

La definizione del RSET risulta essere aspetto fondamentale per la valutazione del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza e, in attività che prevedono grandi affollamenti e persone che possono non avere familiarità con i luoghi, è necessario svolgere approfondita analisi per la determinazione di tale parametro, anche con l'ausilio di software di calcolo dell'esodo.

Il parametro RSET è individuato dalla somma di quattro principali valori di seguito descritti e rappresentati graficamente nella Figura 4.1 tratta dal DM 03/08/15 e ss.mm.ii.

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tr}$$

con:

t_{det} → tempo di rivelazione, ossia il tempo necessario perché l'incendio venga rilevato dai sistemi automatici e/o manuali di rivelazione dell'incendio;

t_a → tempo di allarme, ossia il tempo che intercorre tra la rivelazione dell'incendio e la comunicazione del segnale di allarme generale;

t_{pre} → tempo di pre-movimento, composto dal tempo di riconoscimento ed il tempo di risposta, ossia il tempo necessario agli occupanti per comprendere il segnale di allarme generale ed iniziare le procedure di evacuazione

t_{tr} → tempo di movimento, ossia il tempo "di viaggio" necessario agli occupanti per raggiungere luogo sicuro.

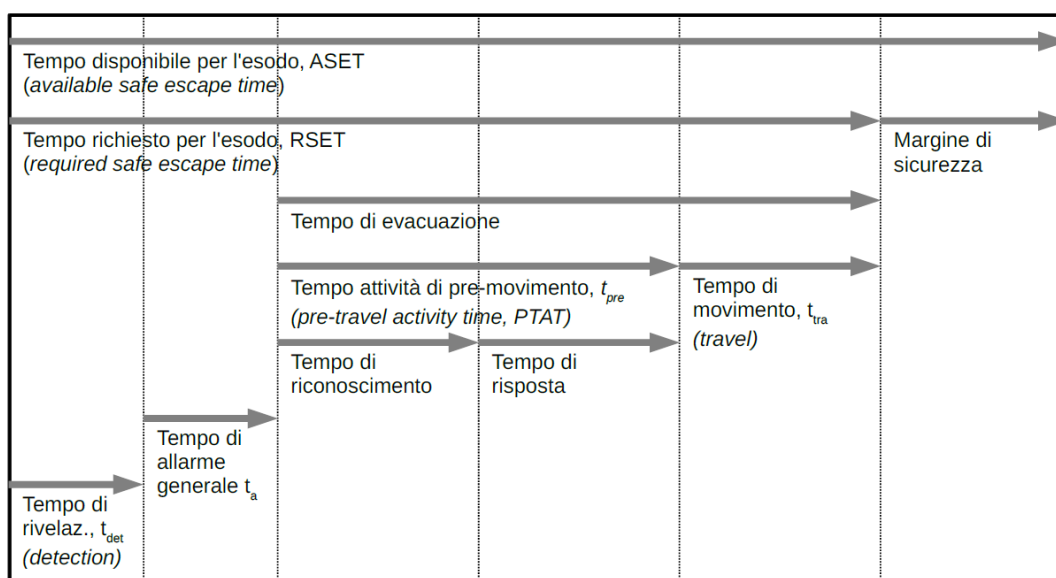


Figura 4.1 : Composizione parametro RSET

PROGETTAZIONE ATI:

La determinazione del **tempo di rivelazione (t_{det})** e di **allarme (t_a)** risulta essere influenzata dalla presenza o meno di sistemi di rivelazione ed allarme incendi che sono in grado di garantire una rivelazione precoce ed una comunicazione dell'allarme più efficace.

La valutazione del **tempo di pre-movimento (t_{pre})** è il parametro più aleatorio tra quelli che compongono il RSET in quanto deve tenere conto anche di una moltitudine di aspetti psicologici e comportamentali che difficilmente si riescono a quantificare. Inoltre, tale parametro assume un *range* di valori molto ampio a seconda della tipologia di attività e di occupanti che si analizza: può variare da un paio di minuti fino a diverse decine. Inoltre, questo tempo è specifico per ognuno degli occupanti dell'attività.

Il **tempo di movimento (t_{tr})** generalmente costituisce il parametro meno significativo all'interno della valutazione del tempo totale di evacuazione; tuttavia, in attività che prevedono affollamenti significativi, lunghezze d'esodo rilevanti e possibile presenza di persone disabili, esso può risultare impattante sulle tempistiche complessive. È quindi opportuno tenere in considerazione anche questi aspetti.

4.1. METODO MONTE CARLO

Alla luce di quanto riportato nel paragrafo precedente, appare evidente come la valutazione delle dinamiche di esodo all'interno di gallerie stradali come quella in esame sia di elevata complessità. Pertanto, per la determinazione del RSET (*Required Safe Escape Time*), è stato scelto un approccio di tipo probabilistico, rappresentato dalle simulazioni con metodo Monte Carlo.

Una simulazione consiste nello studio del comportamento di un sistema (nell'accezione ampia del termine) mediante la sua riproduzione in un contesto controllabile. Nella simulazione al computer si costruisce un modello matematico costituito da equazioni che descrivono le relazioni tra le componenti del sistema oggetto di studio e il loro legame con il suo funzionamento/comportamento, con l'obiettivo di effettuare esperimenti "virtuali" sul modello matematico assumendo che i risultati di tali esperimenti costituiscano una "riproduzione" sufficientemente accurata del comportamento che avrebbe il sistema. Questo allo scopo di accrescere la comprensione del suo funzionamento, verificare (o negare) la validità di ipotesi su di esso, raccogliere informazioni per poter formulare possibili previsioni, per implementare meccanismi di controllo del sistema modellato, ecc.

Un utilizzo particolare della simulazione si ha nella tecnica Monte Carlo utilizzata all'interno del presente elaborato.

Questa tecnica viene utilizzata per riprodurre e risolvere numericamente un problema in cui sono coinvolte anche variabili aleatorie, e la cui soluzione per via analitica risulta complessa. Inoltre, l'uso della simulazione consente di testare più facilmente e con elevato grado di dettaglio gli effetti di modificazioni nelle variabili di ingresso (ad es. nelle loro descrizioni statistiche) o nella funzione di output.

Il Metodo Monte Carlo fu ampiamente utilizzato nella metà del '900 nella ricerca nucleare ed oggi è diffusamente trattato come tecnica di analisi del rischio nei più disparati settori, da quello economico a quello ingegneristico.

4.1.1. DESCRIZIONE DELLA TECNICA E ASPETTI IMPLEMENTATIVI

Secondo tale approccio alcune delle grandezze di cui l'RSET si compone vengono rappresentate come variabili aleatorie indipendenti, assegnando delle distribuzioni di probabilità alla posizione

PROGETTAZIONE ATI:

iniziale degli occupanti, al tempo di pre-movimento ed alla velocità di marcia degli stessi. Nella tabella seguente si riassumono i parametri considerati nelle simulazioni Monte Carlo.

La valutazione dell'RSET viene quindi risolta numericamente, producendo un numero N sufficientemente elevato di possibili combinazioni dei valori che le variabili di ingresso possono assumere, calcolandone il relativo output sulla base delle equazioni del modello. Per costruire ciascuna delle N combinazioni viene generato (ossia "estratto") casualmente un valore per ciascuna variabile di input, in accordo con la distribuzione di probabilità specificata e rispettando le correlazioni tra le variabili. Ripetendo con il calcolatore N volte questo procedimento (con N abbastanza grande da permettere risultati sufficientemente affidabili) si otterranno N valori indipendenti delle variabili di output, che rappresentano dunque un campione dei possibili valori assunti dall'output, che potrà essere analizzato con tecniche statistiche per stimarne i parametri descrittivi, studiarne gli istogrammi delle frequenze e ricavarne la funzione di distribuzione dell'output.

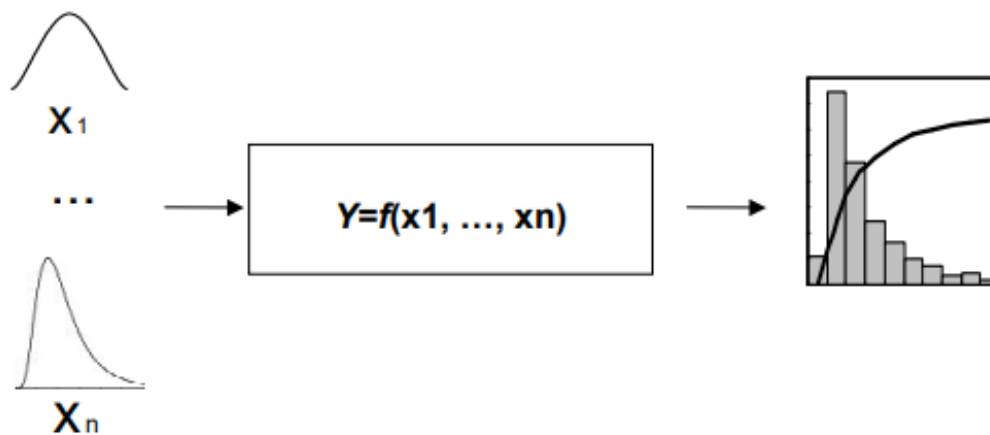


Figura 4.2 : simulazioni Monte Carlo

4.1.2. ATTRIBUZIONE DELLE DISTRIBUZIONI DI PROBABILITÀ

La scelta del modello di distribuzione più adatto a ciascuna grandezza deriva da valutazioni empiriche delle dinamiche di esodo, riportate sia nelle normative internazionali che in letteratura.

Si riassumono nella tabella successiva i parametri di input utilizzati nelle simulazioni stocastiche di esodo.

VARIABILE	MODELLO DI DISTRIBUZIONE	MEDIA μ	DEV. STANDARD σ	LIMITE INFERIORE	LIMITE SUPERIORE	RIFERIMENTO
$t_{det} + t_a$	costante	120 s	-	120 s	120 s	PFTE impianti
$t_{pre} (VP)$	normale	90 s	26 s	0	180 s	Linea Guida Anas
$t_{pre} (VL)$	normale	300 s	104 s	0	600 s	Linea Guida Anas
visibilità	random	-	-	0	30	Linea Guida Anas
velocità	Lineare in funzione della visibilità ¹	-	-	0,3	1	Linea Guida Anas e CETU

PROGETTAZIONE ATI:

VARIABILE	MODELLO DI DISTRIBUZIONE	MEDIA μ	DEV. STANDARD σ	LIMITE INFERIORE	LIMITE SUPERIORE	RIFERIMENTO
distanza _{max}	random	-	-	10	250	Massima distanza di esodo

¹Per quanto riguarda la velocità, in accordo con le linee guida Anas e CETU e con la letteratura internazionale, essa è funzione della visibilità. È intuitivo comprendere come in ambienti non ancora raggiunti dal fumo (buona visibilità) la velocità di allontanamento sia superiore, mentre in presenza di fumo (ridotta visibilità) la velocità di allontanamento si riduca (si veda Figura 4.3).

Vitesse de déplacement des piétons

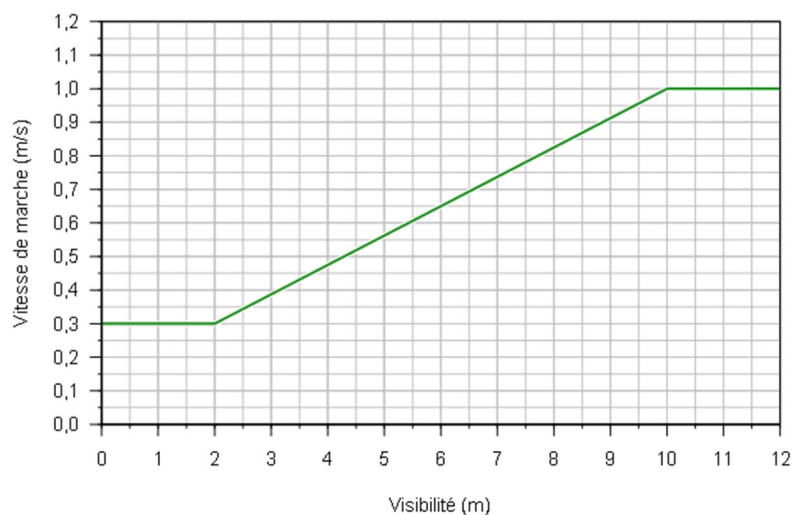


Figura 4.3 : andamento della velocità al variare della visibilità

Di seguito si riassume la formulazione matematica alla base delle simulazioni di esodo con il metodo Monte Carlo:

$$RSET = t_{det} + t_a + t_{pre} + t_{tr} =$$

$$RSET = 120 + t_{pre} + \frac{d_{max}}{w}$$

$$w = \min (1; \max(0,3; 0,0875 * v + 0,125))$$

con:

d_{max} = massima lunghezza del percorso di esodo in m;

w = velocità in m/s;

v = visibilità in m.

PROGETTAZIONE ATI:

4.1.3. NUMERO DI ITERAZIONI NECESSARIE

Con il metodo Monte Carlo si ottiene un campione di valori la cui frequenza permette di ricavare un'indicazione approssimata della distribuzione di probabilità di una variabile, nel caso in esame dell'RSET. Aumentando il numero di simulazioni si ottiene un campione più grande e quindi di maggiore precisione e accuratezza. In pratica, all'aumentare del numero di iterazioni si ha una convergenza dell'output verso valori ritenuti analiticamente "esatti". Pertanto, più è alto il numero N delle simulazioni e più i risultati possono essere considerati precisi.

Il calcolo del numero di simulazioni necessarie ad arrivare a convergenza e ottenere un RSET analiticamente "esatto" è stato effettuato mediante un codice MATLAB che ripete le simulazioni fino a che la soluzione raggiunge la convergenza, ovvero la differenza tra l'RSET medio (50° percentile) calcolato a N simulazioni e quello calcolato a N-1 simulazioni è inferiore a un certo di errore massimo ritenuto accettabile (0,001 in questo caso). Come mostrato nei seguenti grafici, il codice ha raggiunto la convergenza dopo 4978 simulazioni per i veicoli leggeri e 4254 simulazioni per i veicoli pesanti.

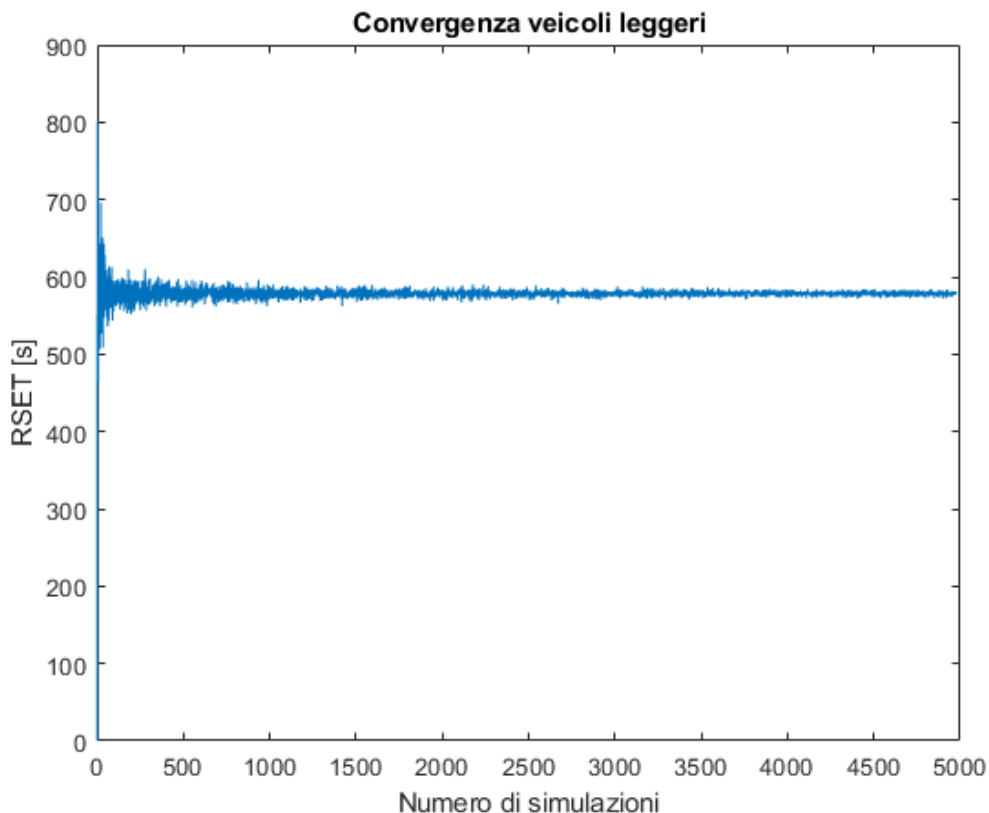


Figura 4.4 : convergenza dell'output verso il valore "esatto" al crescere del numero di simulazioni – veicoli leggeri

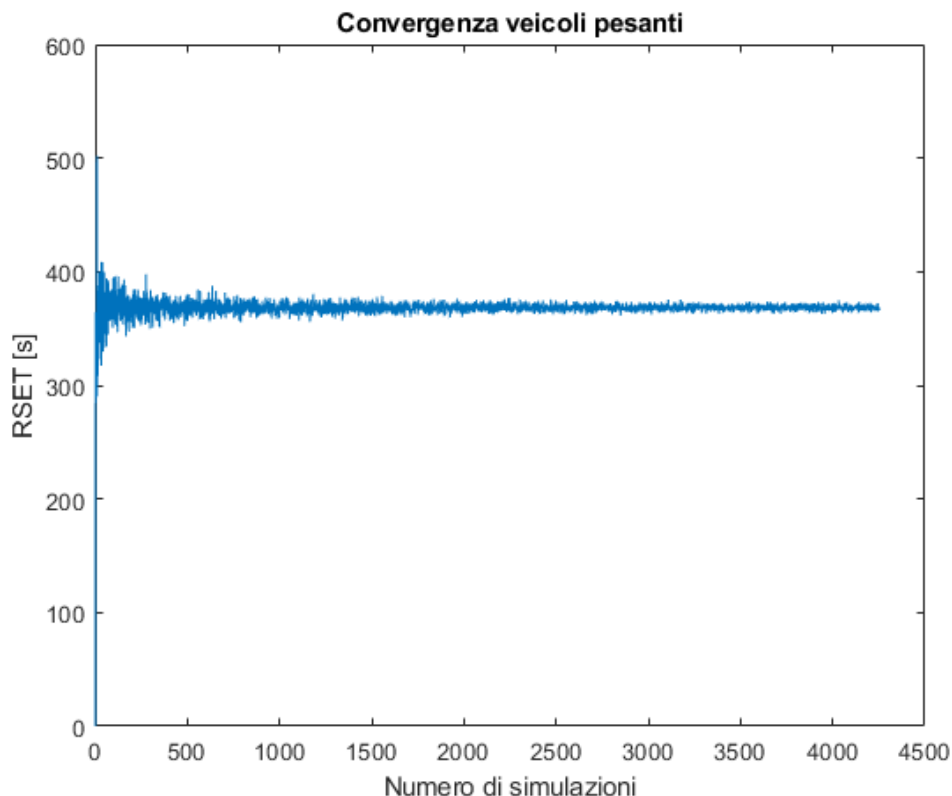


Figura 4.5 : convergenza dell'output verso il valore "esatto" al crescere del numero di simulazioni – veicoli pesanti

4.2. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

La valutazione dell'RSET è stata svolta considerando la massima distanza di esodo, in via cautelativa, di 250m e in base alla tipologia di occupanti presenti, precedentemente calcolati. Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

Nelle figure sottostanti si riportano i due istogrammi ottenuti attraverso le simulazioni Monte Carlo, il primo relativo agli occupanti dei veicoli pesanti (Bus compresi) ed il secondo relativo agli occupanti dei veicoli leggeri. Questi istogrammi sono validi per l'esodo sia a monte che a valle dell'incendio, avendo sempre considerato come distanza massima d'esodo, la distanza dall'incendio al by-pass precedente e successivo (225 m).

A tali istogrammi si può associare un'opportuna distribuzione di probabilità, in rosso nelle figure successive, che rappresenta il tempo di evacuazione (RSET) i cui percentili corrispondono ad una determinata probabilità di superamento.

Di ogni categoria di veicoli sono stati stimati tutti i percentili (dal 1% al 99%) associandoli alla percentuale di occupanti che abbandona la galleria. Ad esempio, nell'istogramma in Figura 4.6 risulta che il 50° percentile delle simulazioni (evidenziato in verde) è caratterizzato da un tempo di esodo pari a 390 s. Pertanto, tale RSET verrà assunto per il 50% degli occupanti del fornice.

PROGETTAZIONE ATI:

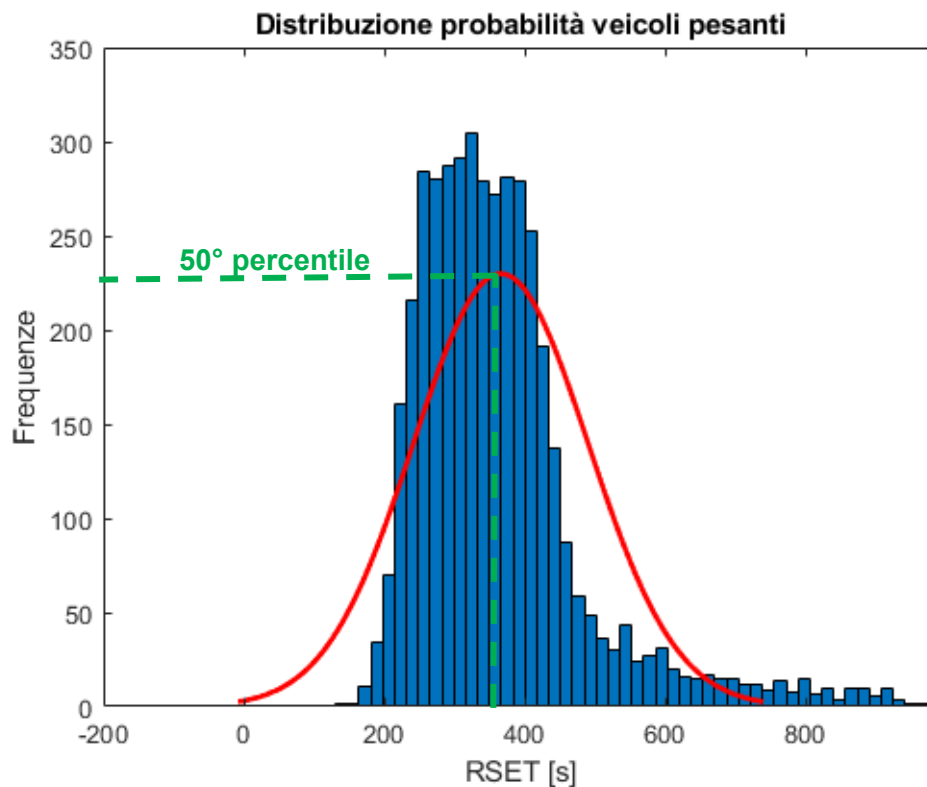


Figura 4.6 : RSET occupanti veicoli pesanti

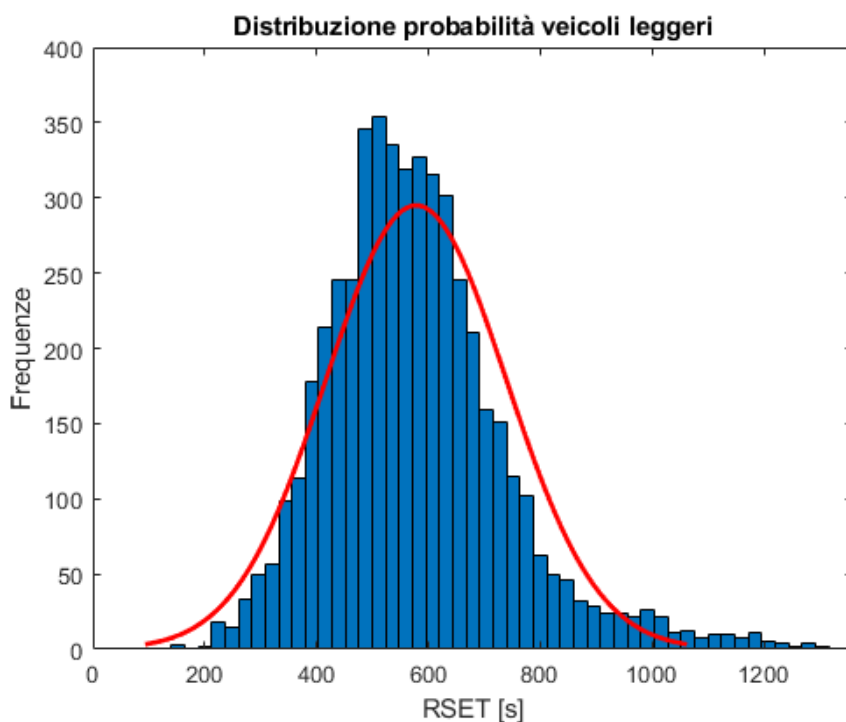


Figura 4.7 : RSET occupanti veicoli leggeri

PROGETTAZIONE ATI:

In seguito si riportano i grafici sulle tempistiche di abbandono degli occupanti dei due scenari, ottenuti unendo i calcoli precedenti sul numero degli occupanti con i calcoli probabilistici sui tempi d'esodo. Da ogni grafico è possibile ricavare il tempo necessario per l'esodo di tutti gli occupanti della galleria, tenuto conto dalla presenza di eventuali disabili.

Esodo degli occupanti nel tempo - Scenario funzionamento sistema di chiusura galleria

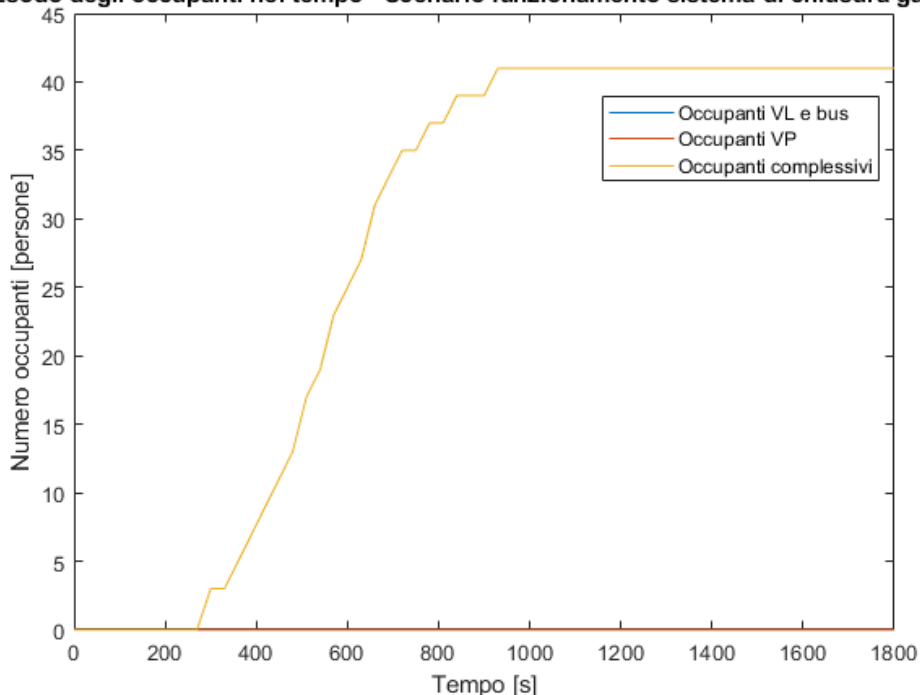


Figura 4.8 : tempistiche di abbandono della galleria – Scenario E01

$$RSET = 930 \text{ s}$$

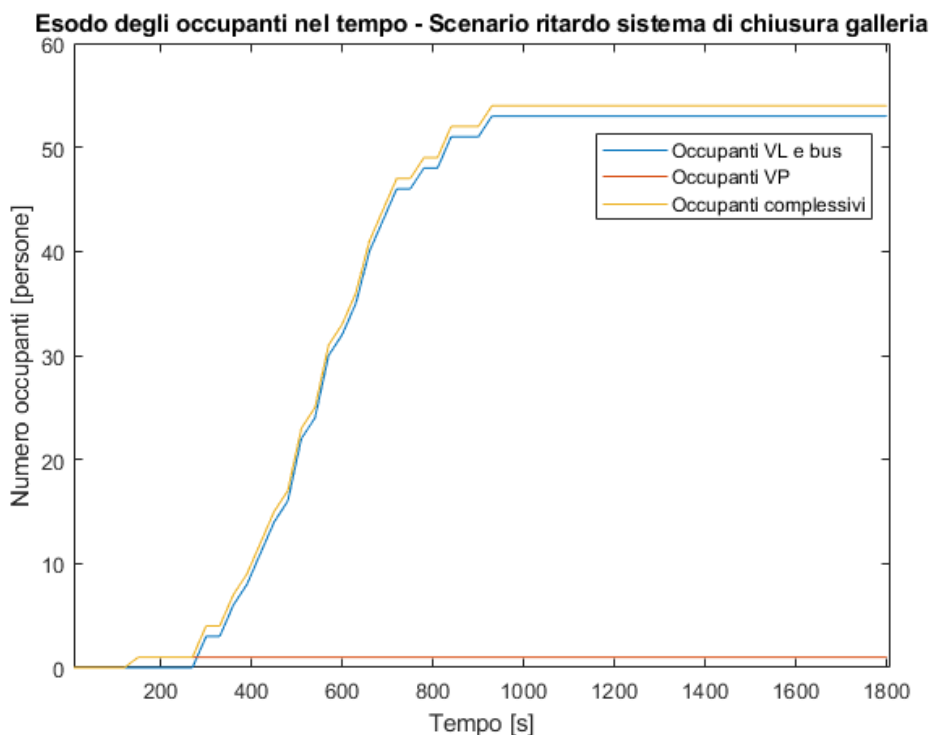


Figura 4.9 : tempistiche di abbandono della galleria – Scenario E02

$$RSET = 930 \text{ s}$$

In tutti gli scenari analizzati, il tempo necessario all’esodo è 930 secondi.

Nel capitolo successivo verranno descritti i dati di input utilizzati per le modellazioni CFD. I risultati delle simulazioni verranno analizzate fino al raggiungimento del RSET di ciascun fornace o verranno interrotti al superamento di una delle soglie incapacitanti riportate nel capitolo successivo.

5. ANALISI CFD

E' stato valutato il seguente scenario d'incendio:

- S01 → Scenario d'incendio di veicolo pesante (30 MW) situato a 520 metri dall'ingresso della galleria in direzione Vaglio, a metà tra la quarta e la quinta coppia di ventilatori e in corrispondenza di un'uscita d'emergenza, condizione più gravosa dal punto di vista dell'esodo alla luce della pendenza della stessa e del verso di percorrenza dei veicoli;

Per gli scenari di progetto si valuterà la stratificazione dei fumi ed i campi termici generati dall'incendio finalizzati all'analisi delle tempistiche disponibili per l'esodo.

5.1. PARAMETRI DI INPUT

Si riportano di seguito i parametri ed i valori significativi per la modellazione della galleria stradale oggetto di studio.

5.1.1. GEOMETRIA DEL MODELLO

La galleria stradale oggetto di studio, a due corsie per senso di marcia, presenta una lunghezza di circa 2945m in entrambe le direzioni. Il modello di fluidodinamica realizzato comprende l'intera galleria nelle sue reali dimensioni.



Figura 5.1 : Inquadramento generale della galleria

PROGETTAZIONE ATI:

Il software FDS non consente di disegnare curve, pertanto, esse vengono riprodotte schematizzandole con dei rettangoli, in base alle dimensioni delle *mesh* di calcolo (Figura 5.2)



Figura 5.2 : Schematizzazione galleria nel modello

La pendenza della galleria, considerando l'inizio nel portale d'ingresso in direzione Tolve, è pari a -4%. La presenza della pendenza è stata simulata modificando il vettore gravità all'interno del software scomponendolo nei diversi vettori. Si riporta di seguito tabella illustrativa dei dati inseriti.

Calcolo vettore gravità				
Distanza progressiva [m]	Pendenza	g [m/s ²]	g _x [m/s ²]	g _z [m/s ²]
0-2945	-4% direzione Tolve	-9.81	0.39209	-9.80216

5.1.2. MATERIALI

Al fine di ottenere un modello quanto più vicino alla realtà, in tutti gli scenari sono stati introdotti i materiali di cui la struttura si compone. Si elencano di seguito i materiali utilizzati con le corrispettive righe di comando, in cui si riportano le proprietà termiche di letteratura.

- Ventilatori:
 - &MATL ID='STEEL',
 - FYI='Drysdale, Intro to Fire Dynamics - ATF NIST Multi-Floor Validation',
 - SPECIFIC_HEAT=0.46,
 - CONDUCTIVITY=45.8,
 - DENSITY=7850.0,
 - EMISSIVITY=0.95/

- Struttura portante e pavimentazione [1]:
 - &MATL ID='CONCRETE',
 - FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
 - SPECIFIC_HEAT=1.04,
 - CONDUCTIVITY=1.8,
 - DENSITY=2280.0/

PROGETTAZIONE ATI:

5.1.3. LOCALIZZAZIONE DEL FOCOLARE

I focolari considerati negli scenari d'incendio della carreggiata saranno ubicati nelle posizioni indicate precedentemente nella Figura 3.1. Si ritiene che tale ubicazione possano essere ritenute particolarmente gravose in quanto a causa della pendenza della galleria e della direzione del flusso veicolare, valutano gli scenari peggiorativi dal punto di vista della *Life Safety*.

5.1.4. TIPOLOGIA DI FOCOLARE

Come descritto in precedenza, si è considerato l'incendio di un veicolo pesante considerando una potenza massima di 30 MW. Per questa configurazione è stato considerato un bruciatore di dimensioni 13m x 3m x 2 m concentrando tutta la potenza termica specifica (HRR_{PUA}) sulla faccia superiore. Tale assunzione è stata elaborata tenendo in considerazione il numero di Froude, in accordo con le indicazioni contenute nella letteratura internazionale.

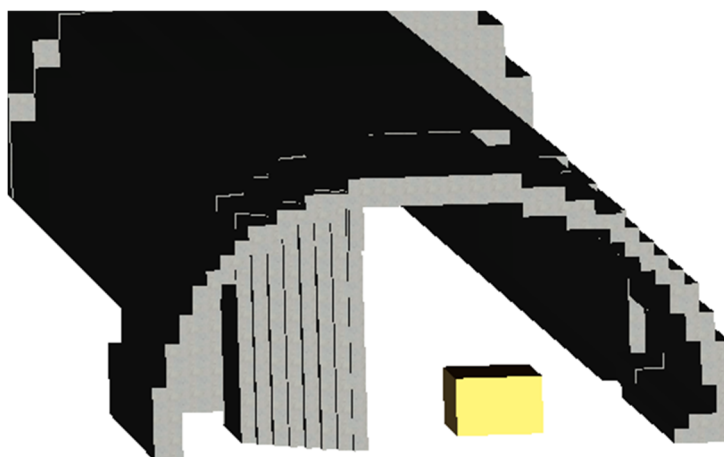


Figura 5-3: Tipologia focolare

5.1.5. CARATTERISTICHE DEL COMBUSTIBILE

Nello scenario d'incendio di progetto verrà assimilato tutto il combustibile presente all'interno del HGV al poliuretano, simulando un focolare con la seguente formula "bruta", tratta dal *SFPE Handbook* [2]. La reazione stechiometrica del poliuretano, impostata di default nel software, risulta essere la più gravosa in termini di valutazioni inerenti alla *Life Safety*, come nel caso oggetto di analisi.



5.1.6. GENERAZIONE DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

Per quanto concerne la parametrizzazione dei vari prodotti della combustione come particolato (*soot yield*), CO, etc, parametri fondamentali per la valutazione dell'esodo, si assumeranno i seguenti valori:

PROGETTAZIONE ATI:

PARAMETRO	VALORE	RIFERIMENTO
Y _{soot} produzione particolato	0,198 kg/kg	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [2]
Y _{co} produzione di monossido di carbonio	0,042 kg/kg	SFPE Handbook of Fire Protection Engineering [2]

5.1.7. DIMENSIONAMENTO DELLA MESH DI CALCOLO

La scelta delle dimensioni delle *mesh* di calcolo è un compromesso tra il tempo di simulazione e la precisione dei risultati. Più si raffina la griglia e più i risultati sono accurati ma, di contro, aumenta notevolmente il tempo di calcolo.

In letteratura [3], per sopperire a tale problema, si suggerisce l'impiego di *mesh* di circa il 10-20% del diametro caratteristico dell'incendio, stimato attraverso la seguente formula:

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{1100} \right)^{2/5}$$

con:

D* → diametro caratteristico d'incendio, espresso in m;

Q̇ → massimo rilascio termico, espresso in kW.

Relativamente agli scenari d'incendio di progetto, si avrà quindi che:

DIMENSIONAMENTO MESH DI CALCOLO			
Scenario	Q̇ [kW]	D* [m]	10% D* [m]
			20% D* [m]
S01	30.000	3,75	0,375
			0,750

Pertanto, per tutti gli scenari d'incendio di progetto si assumerà una dimensione delle celle che compongono la *mesh* di calcolo pari a 0,5 m. Tale dimensione si ritiene idonea per lo studio dei fenomeni della combustione da indagare.

5.1.8. IMPIANTO DI VENTILAZIONE

L'impianto di ventilazione presente è costituito da 18 jet fans (9 coppie) disposti con un passo costante pari a 120 m così come mostrato nella seguente figura.

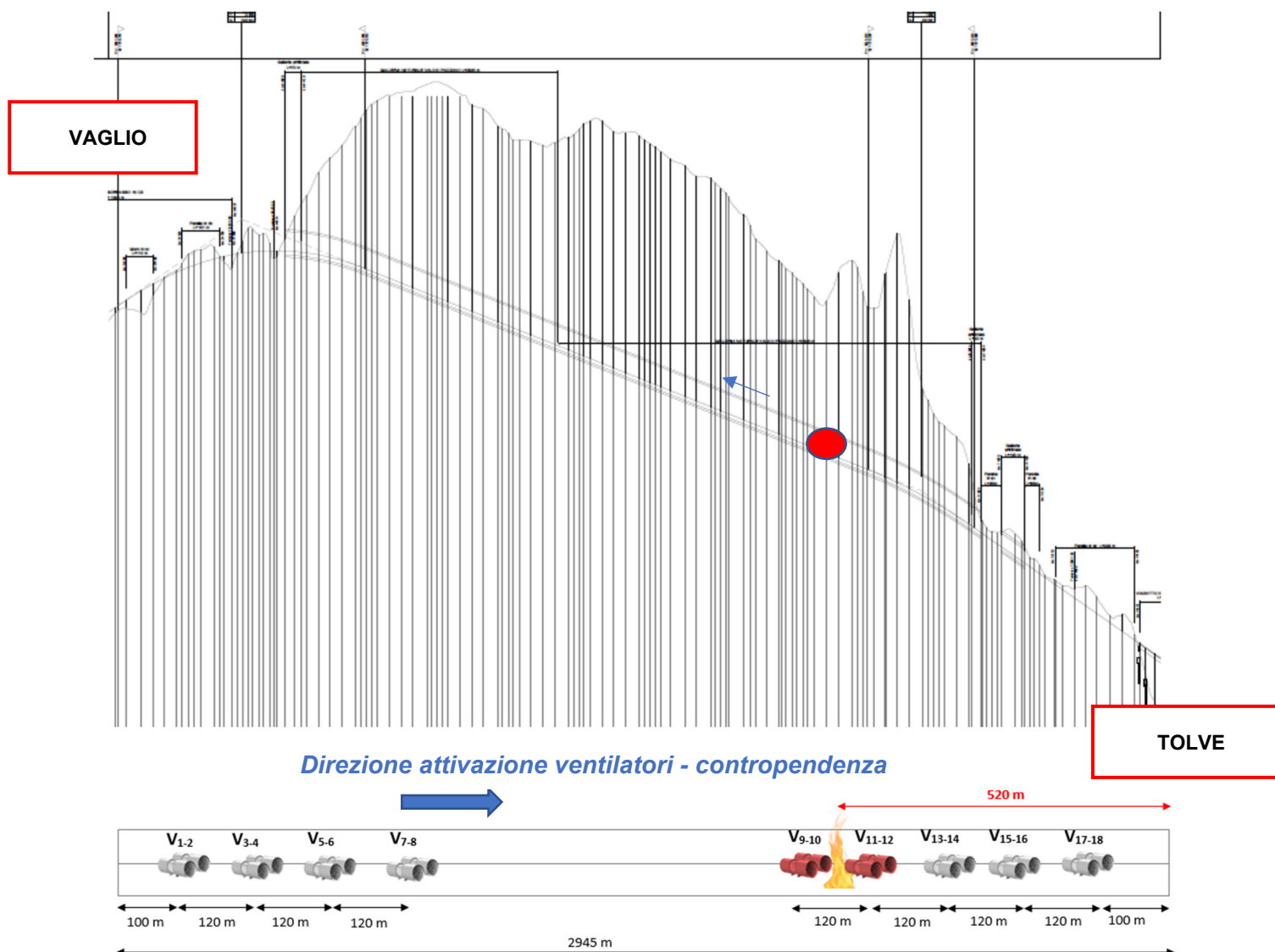


Figura 5-4: schema di ventilazione in galleria

L'attivazione dell'impianto di ventilazione avviene a seguito di rilevazione incendi da parte dei rilevatori lineari disposti lungo la galleria a partire dalla coppia più lontana, all'imbocco in direzione Tolve. Ciascuna coppia verrà attivata con un ritardo di 30 s rispetto alla coppia precedente al fine di perturbare il meno possibile la stratificazione.

Nel caso specifico, considerando il regime di circolazione bidirezionale e data la vicinanza del portale lato Tolve, si è ipotizzata l'attivazione dei ventilatori in direzione Tolve (in contropendenza).

SEQUENZA DI ATTIVAZIONE DEI VENTILATORI.		
PARAMETRO	VALORE	RIFERIMENTO
Tempo di rilevazione incendio	120 s	Specifiche fornite dalla Committenza

PROGETTAZIONE ATI:

Tempo di attivazione della ventilazione dalla rivelazione	10 s	NFPA 92: 2021
Tempo per il raggiungimento della piena operatività dei ventilatori	60 s	NFPA 92: 2021

Le due coppie in prossimità dell'incendio (V_{9-10} e V_{11-12}) non verranno attivate per evitare turbolenze sui fumi prodotti.

Le caratteristiche tecniche dei ventilatori sono riportate nella seguente tabella.

DIAMETRO GIRANTE	TEMPERATURA DI ESERCIZIO MAX	PORTATA	VELOCITÀ	RAMP-UP	SPINTA	POTENZA ELETTRICA
1250 mm	400°C per 90 minuti	34 m ³ /s	30,6 m/s	60 s	1200 N	32 kW

5.2. DESCRIZIONE DELLA CURVA HRR

Sperimentalmente si è determinato che, fino alla condizione di *flashover*, la curva di rilascio termico HRR varia con legge quadratica in funzione del tempo t. Per consentire valutazioni analitiche, le normative tecniche hanno introdotto quattro curve di sviluppo incendio, ognuna caratterizzata dal tempo t_{α} , che corrisponde al tempo in cui l'incendio raggiunge uno sviluppo di potenza pari a 1.000 kW.

$$HRR(t) = \alpha * t^2 \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{1000}{t_{\alpha}^2}$$

In accordo alla Linea Guida ANAS [4], per il focolare oggetto dello scenario d'incendio di progetto, si considererà una fase di crescita di 600 s (10 min), con andamento quadratico. Si assumerà quindi un valore di α pari a 0,0833.

Una volta raggiunta la potenza massima la curva HRR rimarrà stabile per tutta la durata della simulazione, assunta, per l'obiettivo oggetto della presente analisi, pari a 1200 s (20 min).

Tale assunzione è stata valutata sulla base di quanto riportato nel paragrafo § 6.9.2.1 della BS PD 7974-0, si afferma che, per un'analisi di *Life Safety* il cui scopo è valutare l'abilità di fuga degli occupanti, sono rilevanti le sole fasi di incendio incipiente e di crescita, in quanto, dopo il *flashover*, la possibilità di fuga è ridotta. Inoltre, secondo letteratura, per raggiungere il *flashover* di un veicolo può trascorrere un tempo generalmente non superiore ai 7-10 minuti [6].

Sulla base di quanto sopra si riportano di seguito le curve HRR di input inserite nei modelli CFD (Figura 5-5).

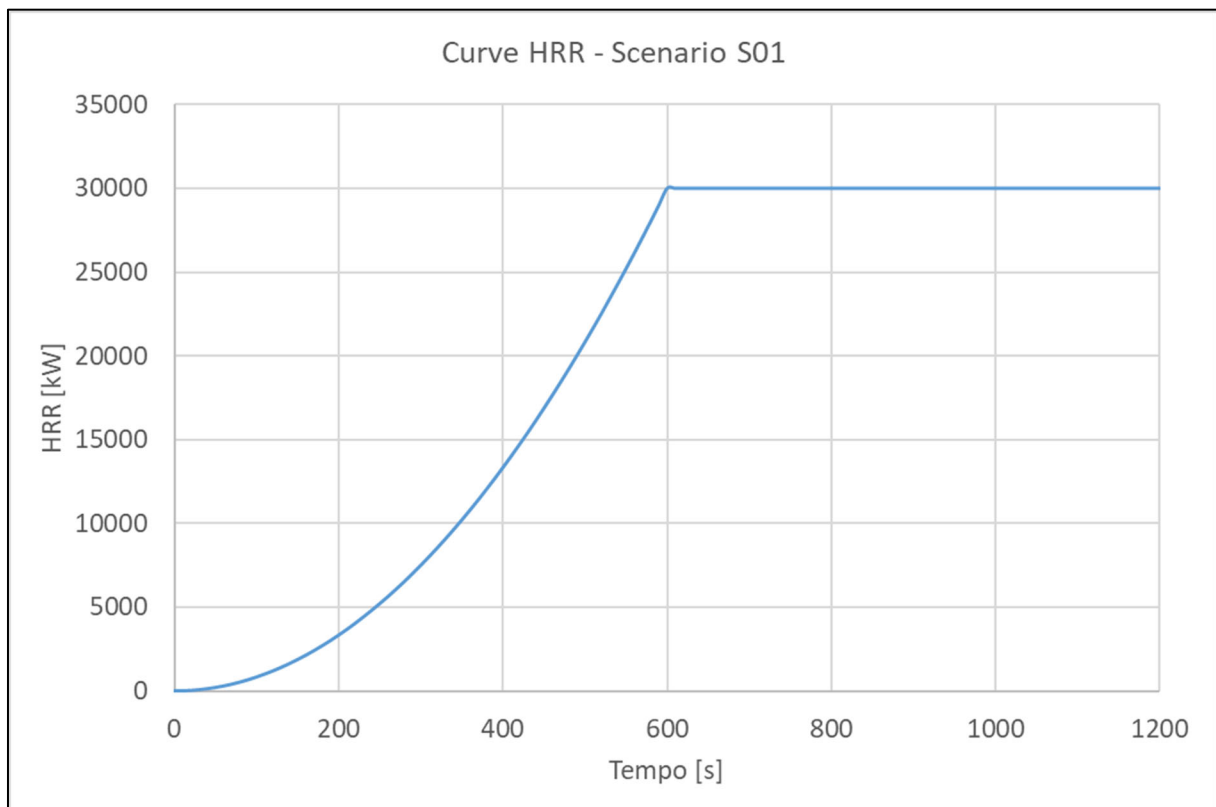


Figura 5-5:Curva HRR di input – Scenario S01

5.3. DEFINIZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Per il calcolo del ASET, intervallo di tempo nel quale permangono le condizioni per consentire il sicuro esodo degli occupanti, si utilizzeranno i dati del CETU (*Le Centre d'Etudes Des Tunnels*), standard di riferimento per le gallerie.

Modello calore

Come indicato alla suddetta Linea Guida, la verifica del modello del calore verrà condotta, in via cautelativa, considerando:

- una temperatura massima ambiente critica sugli occupanti pari 50 °C;
- una temperatura massima ambiente incapacitante sugli occupanti pari 120 °C;

Nel presente studio tale parametro verrà valutato con l'ausilio del software FDS in grado di determinare l'andamento della temperatura e dell'irraggiamento termico durante l'incendio.

Modello visibilità

La visibilità risulta essere il parametro più significativo nella valutazione dell'esodo: nelle normali condizioni d'incendio esso è il primo parametro a scendere al di sotto dei valori di soglia andando a ridurre in maniera significativa sull'esodo. Come riportato nella norma ISO 13571, la sola riduzione

PROGETTAZIONE ATI:

della visibilità non comporta però una completa incapacitazione degli occupanti, ma soltanto una notevole riduzione della velocità di esodo. A vantaggio di sicurezza, nella presente analisi sono state considerate anche delle soglie di prestazione anche per il suddetto parametro, considerando:

- una visibilità minima critica pari a 10 m;
- una visibilità minima incapacitante pari a 0,5 m.

Nel presente studio la visibilità verrà calcolata con l'ausilio del software FDS, in grado di determinarne l'andamento durante l'incendio.

Modello gas tossici

Per quanto concerne i gas di combustione essi variano in base alle sostanze che bruciano, alla composizione chimica dei combustibili ed alla temperatura che viene raggiunta. All'interno del presente elaborato, in accordo alla Linea Guida del CETU, la verifica dei gas tossici verrà condotta analizzando la concentrazione di monossido di carbonio, il gas più comune che si sviluppa durante una reazione di combustione.

Come soglie di prestazione verranno quindi assunte:

- una concentrazione massima critica pari a 500 ppm;
- una concentrazione massima incapacitante pari a 1500 ppm.

5.4. IDENTIFICAZIONE DELLE SOGLIE DI PRESTAZIONE

Le soglie di prestazione che saranno prese in considerazione per mantenere garantito il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio e che determineranno l'ASET di progetto, sono di seguito riepilogate:

DETERMINAZIONE SOGLIE DI PRESTAZIONE		
PARAMETRO	SOGLIA CRITICA	SOGLIA INCAPACITANTE
Visibilità nei percorsi d'esodo	Verrà considerata, come soglia critica, una visibilità minima di 10 m ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.	Verrà considerata, come soglia incapacitante, una visibilità minima di 0,5 m ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.
Temperatura nei percorsi d'esodo	Verrà considerata, come soglia critica, una temperatura massima di esposizione di 50 °C ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.	Verrà considerata, come soglia incapacitante, una temperatura massima di esposizione di 120 °C ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.
Irraggiamento nei percorsi d'esodo	Verrà considerata, come soglia critica, un irraggiamento massimo di 2,5 kW/m² ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.	Verrà considerata, come soglia incapacitante, un irraggiamento massimo di 5 kW/m² ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.

DETERMINAZIONE SOGLIE DI PRESTAZIONE		
PARAMETRO	SOGLIA CRITICA	SOGLIA INCAPACITANTE
Monossido di carbonio nei percorsi d'esodo	Verrà considerata, come soglia critica, una concentrazione di monossido di carbonio pari a 500 ppm ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.	Verrà considerata, come soglia incapacitante, una concentrazione di monossido di carbonio pari a 1500 ppm ad un'altezza di 2,0 m dal piano di calpestio.

5.5. SCHEMATIZZAZIONE DEI PARAMETRI DI VALUTAZIONE



Si riporta di seguito una tabella riepilogativa nella quale viene descritto come i diversi parametri, necessari per la valutazione del raggiungimento degli obiettivi di sicurezza analizzati nei paragrafi precedenti, verranno schematizzati e parametrizzati all'interno del software FDS.

SCHEMATIZZAZIONE PARAMETRI DI VALUAZIONE		
PARAMETRO	OBIETTIVO	SCHEMATIZZAZIONE
Visibilità nei percorsi d'esodo	<ul style="list-style-type: none"> Valutazione stratificazione dei fumi; Valutazione ASET (<i>Life Safety</i>). 	Verranno posizionate delle sonde di visibilità [&DEVC ... QUANTITY='VISIBILITY'], a quota 2 m dal piano di calpestio lungo tutto il tronco del fornice. Verranno posizionate delle <i>slice</i> di visibilità [&SLCF ... QUANTITY='VISIBILITY'] posizionate ad una quota di 2 m dal piano di calpestio.
Temperatura nei percorsi d'esodo	<ul style="list-style-type: none"> Valutazione ASET (<i>Life Safety</i>). 	Verranno posizionate delle sonde di temperatura [&DEVC ... QUANTITY='TEMPERATURE'], a quota 2 m dal piano di calpestio. Verranno posizionate delle <i>slice</i> di temperatura [&SLCF ... QUANTITY='TEMPERATURE'] posizionate ad una quota di 2 m dal piano di calpestio.
Irraggiamento nei percorsi d'esodo	<ul style="list-style-type: none"> Valutazione ASET (<i>Life Safety</i>). 	Verranno posizionate delle sonde di irraggiamento termico [&DEVC ... QUANTITY=RADIATIVE HEAT FLUX GAS], a quota 2 m dal piano di calpestio lungo tutto il tronco del fornice.
Monossido di carbonio nei percorsi d'esodo	<ul style="list-style-type: none"> Valutazione ASET (<i>Life Safety</i>). 	Verranno posizionate delle sonde di monossido di carbonio [&DEVC ... QUANTITY=CARBON MONOXIDE], a quota 2 m dal piano di calpestio lungo tutto il tronco del fornice. Verranno posizionate delle <i>slice</i> di monossido di carbonio [&SLCF ... QUANTITY='VOLUM FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE'] posizionate ad una quota di 2 m dal piano di calpestio.

5.6. RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

Nel presente paragrafo si riassumono i risultati della simulazione CFD effettuata. Si riporteranno delle tabelle riepilogative estrapolate dal software di calcolo con una frequenza di 60 s (1 min). Di seguito una legenda sintetica di quanto rappresentato nelle tabelle riepilogative.

Scenario d'incendio di progetto	Tempo da inizio incendio
<i>Andamento fumi</i>	
<i>Andamento della visibilità a 2 m dal piano di calpestio</i>	
<i>Andamento della temperatura a 2 m dal piano di calpestio</i>	
<i>Andamento del monossido di carbonio a 2 m dal piano di calpestio</i>	

Simbolo	Descrizione
	Uscita di Emergenza disponibile
	Uscita di Emergenza non disponibile

Si sottolinea come, per semplicità di lettura siano stati omessi gli andamenti dell'irraggiamento termico nel tempo in quanto in tutti gli scenari, è risultato essere il parametro meno significativo. Nelle tabelle sono evidenziate le posizioni delle uscite d'emergenza più prossime all'incendio per verificare il tempo disponibile all'esodo (ASET). Si evidenziano inoltre, nelle slice di visibilità, le zone in cui vengono superate le soglie incapacitanti, tramite colore nero, in corrispondenza del valore della soglia pari a 0,5 m.

5.6.1. SCENARIO S01

Si riportano nelle pagine successive i risultati inerenti lo scenario S01 relativo ad un incendio di un veicolo pesante con massima potenza termica pari a 30 MW, situato a 520 metri dall'ingresso della galleria in direzione Vaglio.

Nella figura sottostante si riporta la curva HRR di output, sovrapponibile a quella di input.

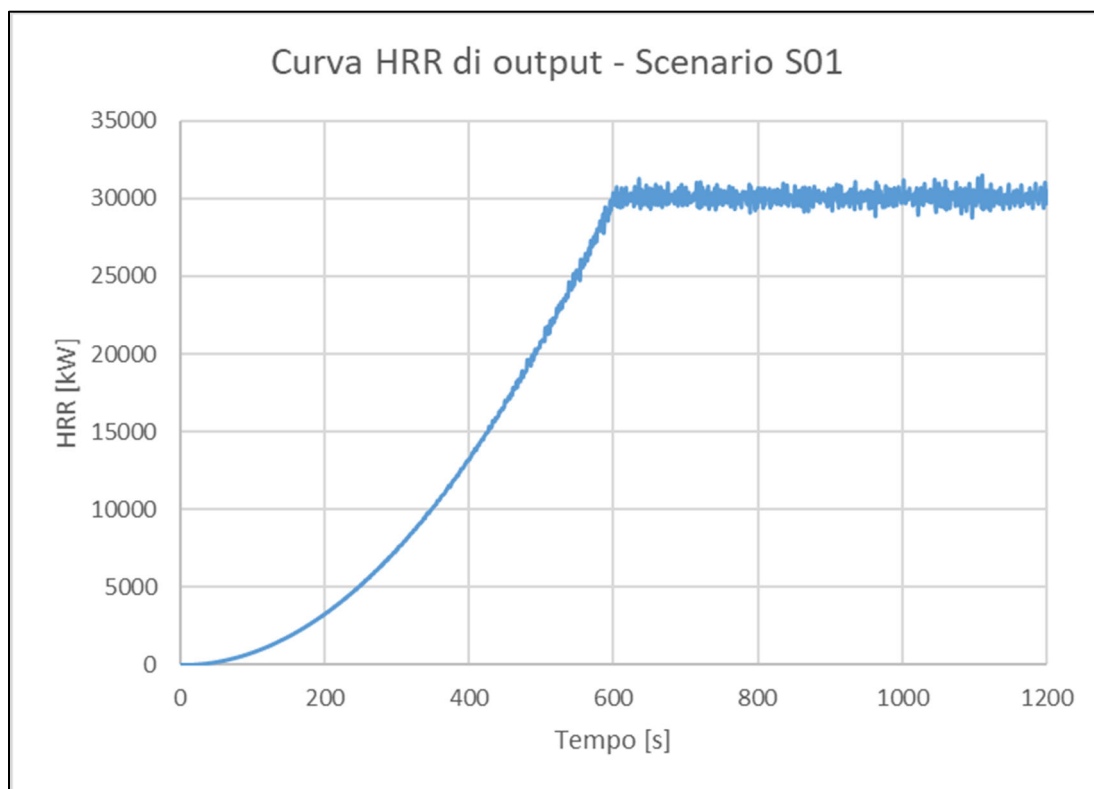


Figura 5-6: Curva HRR di output – Scenario S01

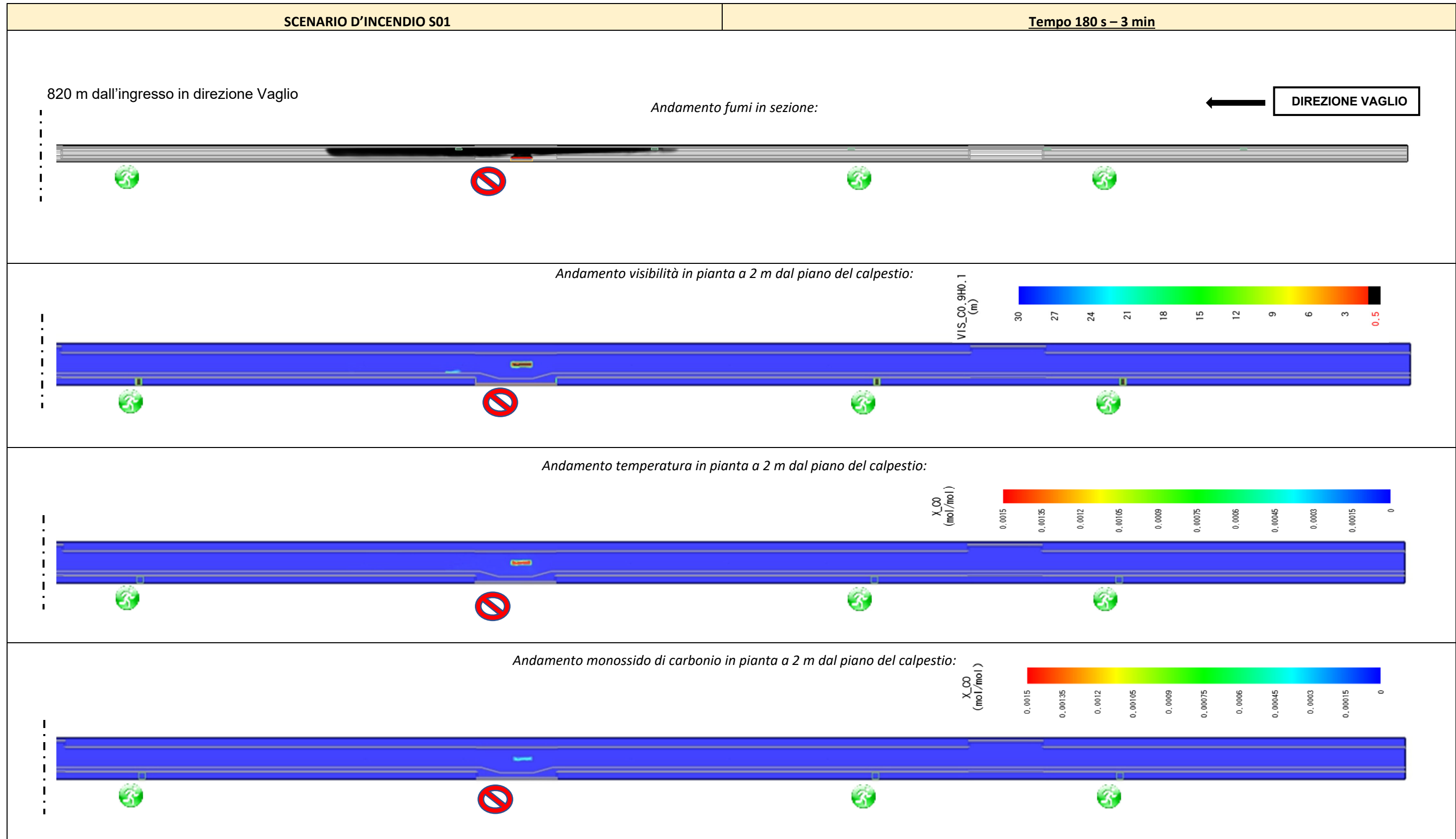
Si anticipa già come le condizioni di sicurezza siano mantenute per tutta la durata della simulazione nella prima uscita d'emergenza a monte dell'incendio in direzione Tolve, grazie all'impianto di ventilazione.

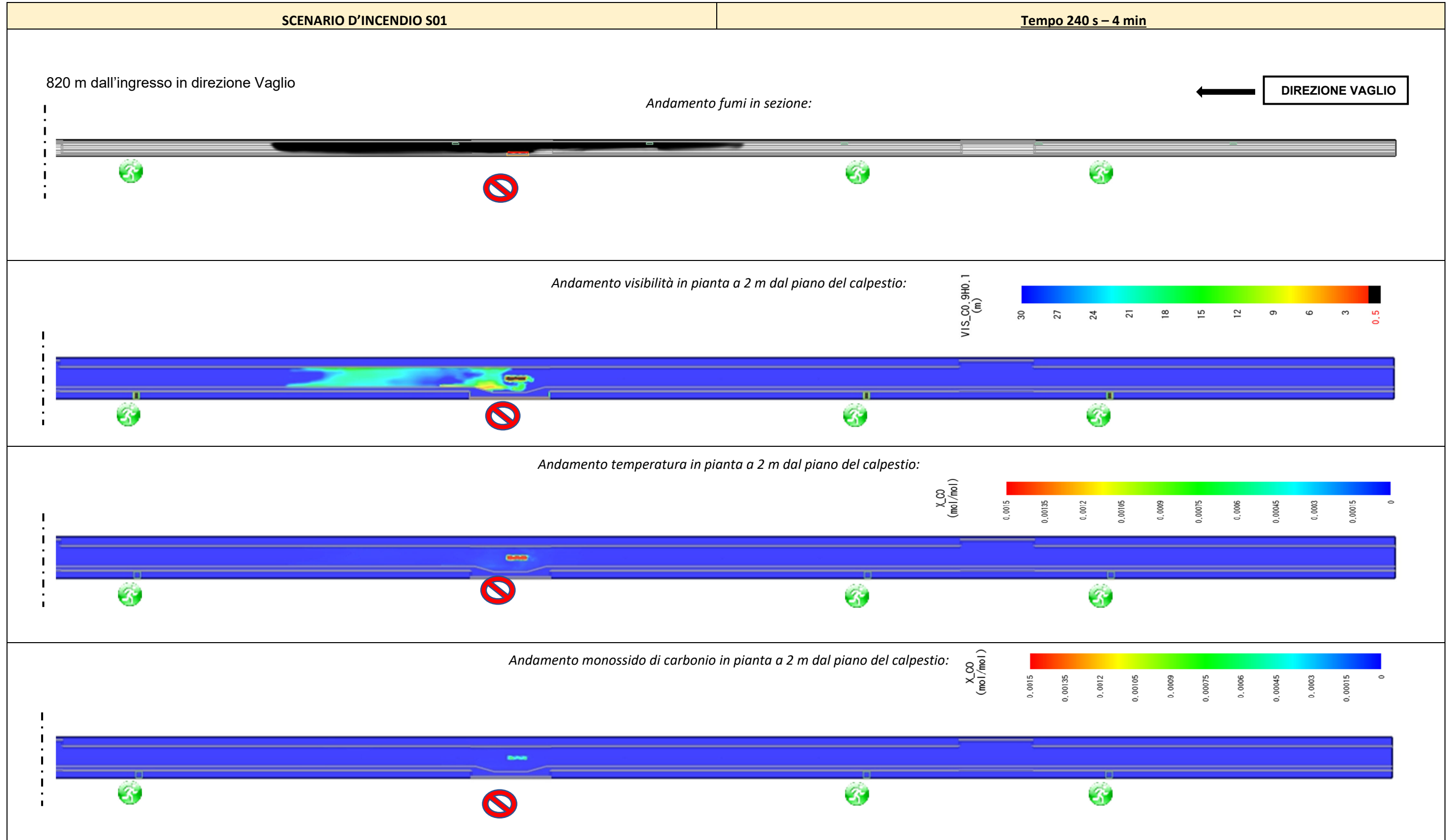
A valle dell'incendio in direzione Tolve, invece, verrà raggiunta la soglia incapacitante di visibilità dopo 660 secondi (11 minuti) dall'inizio dell'incendio.

PROGETTAZIONE ATI:

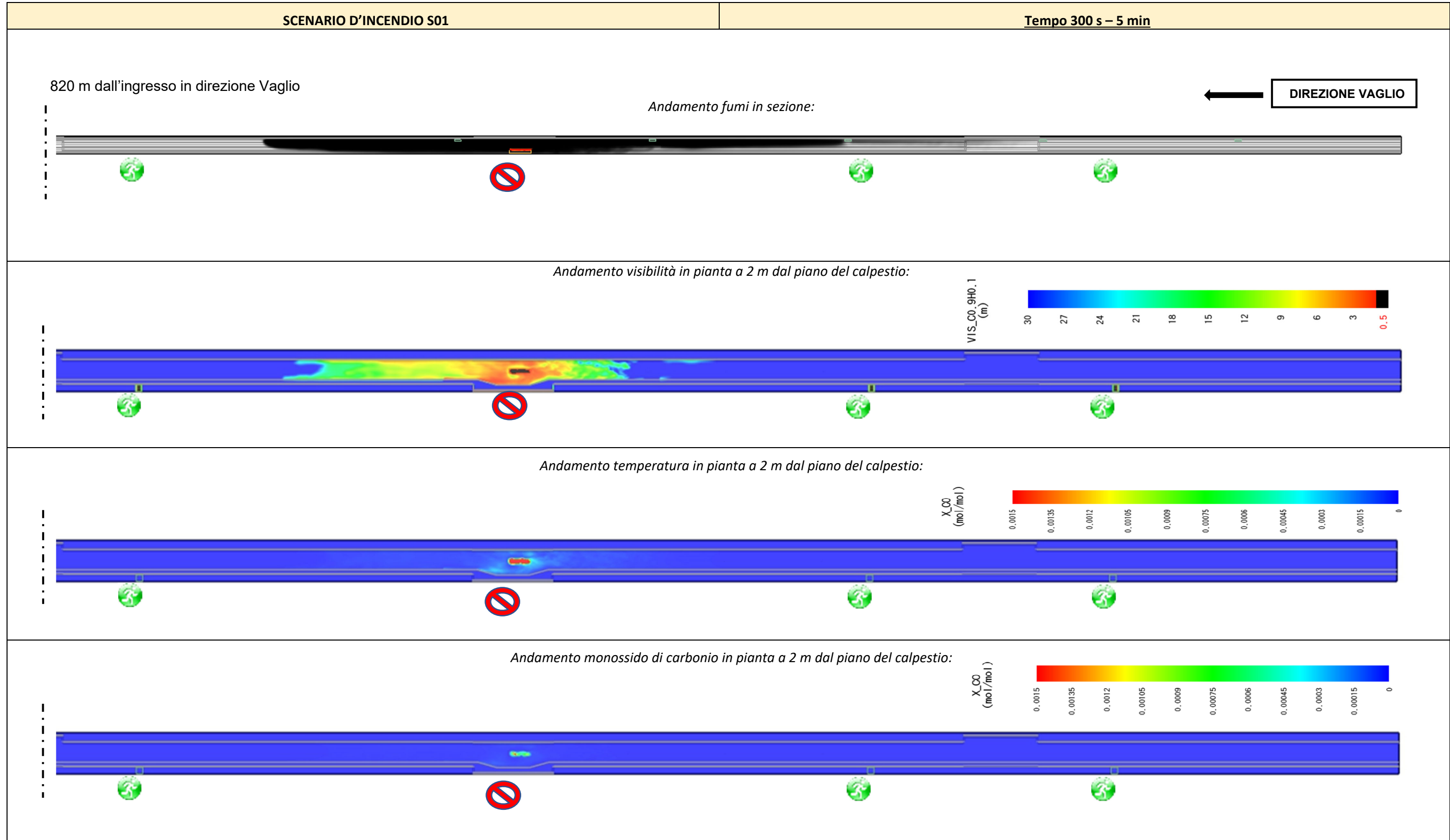




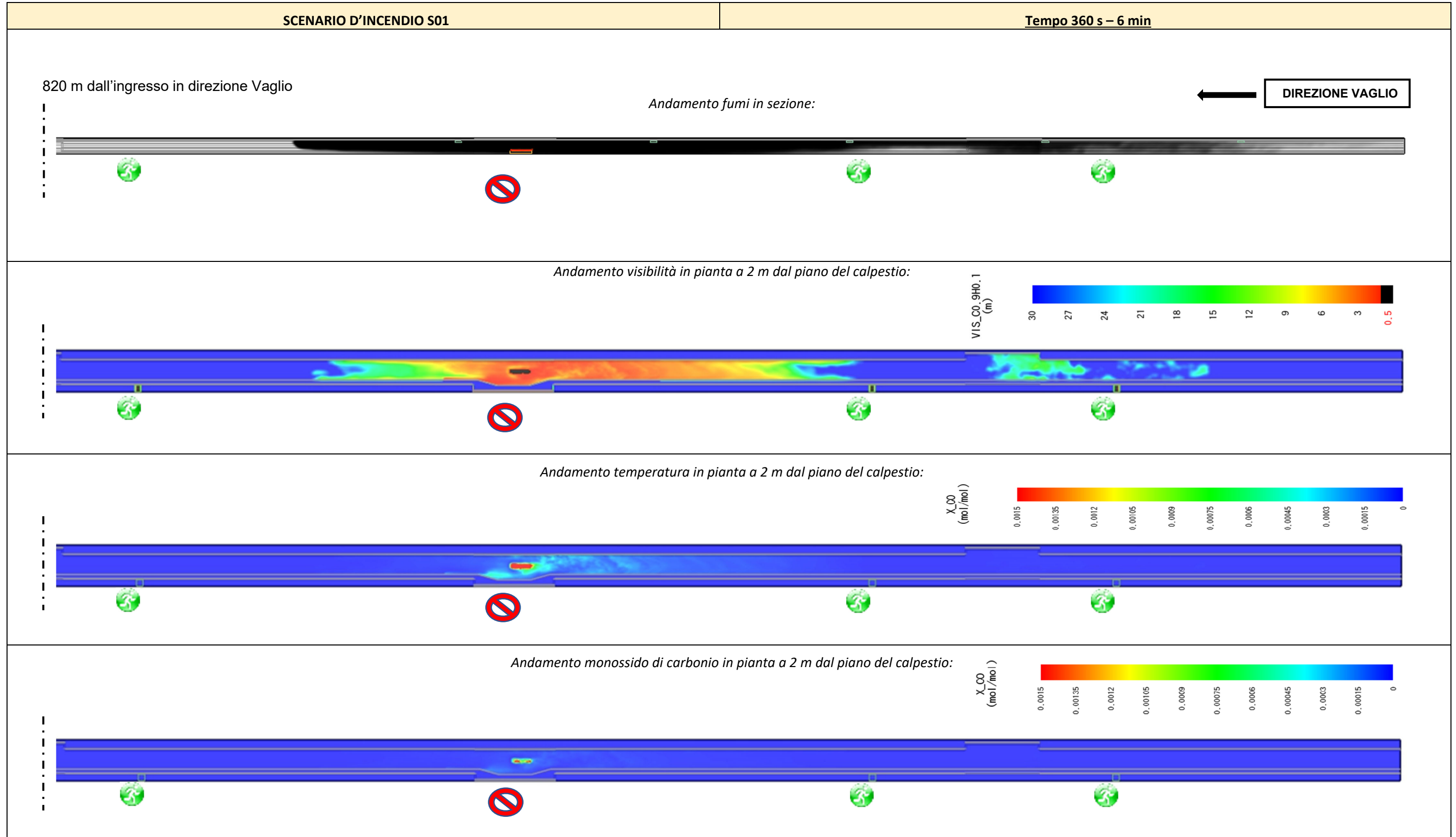


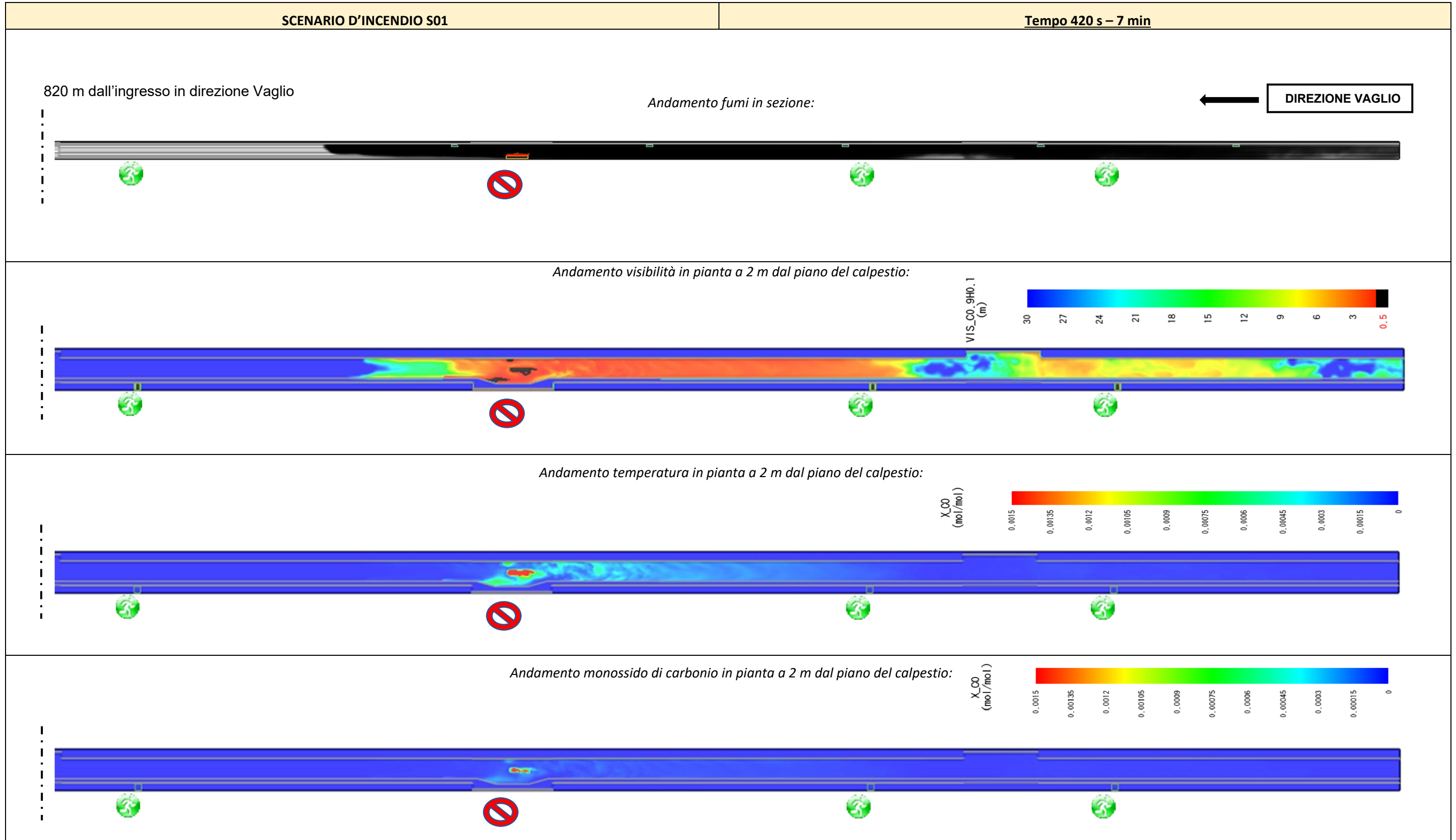


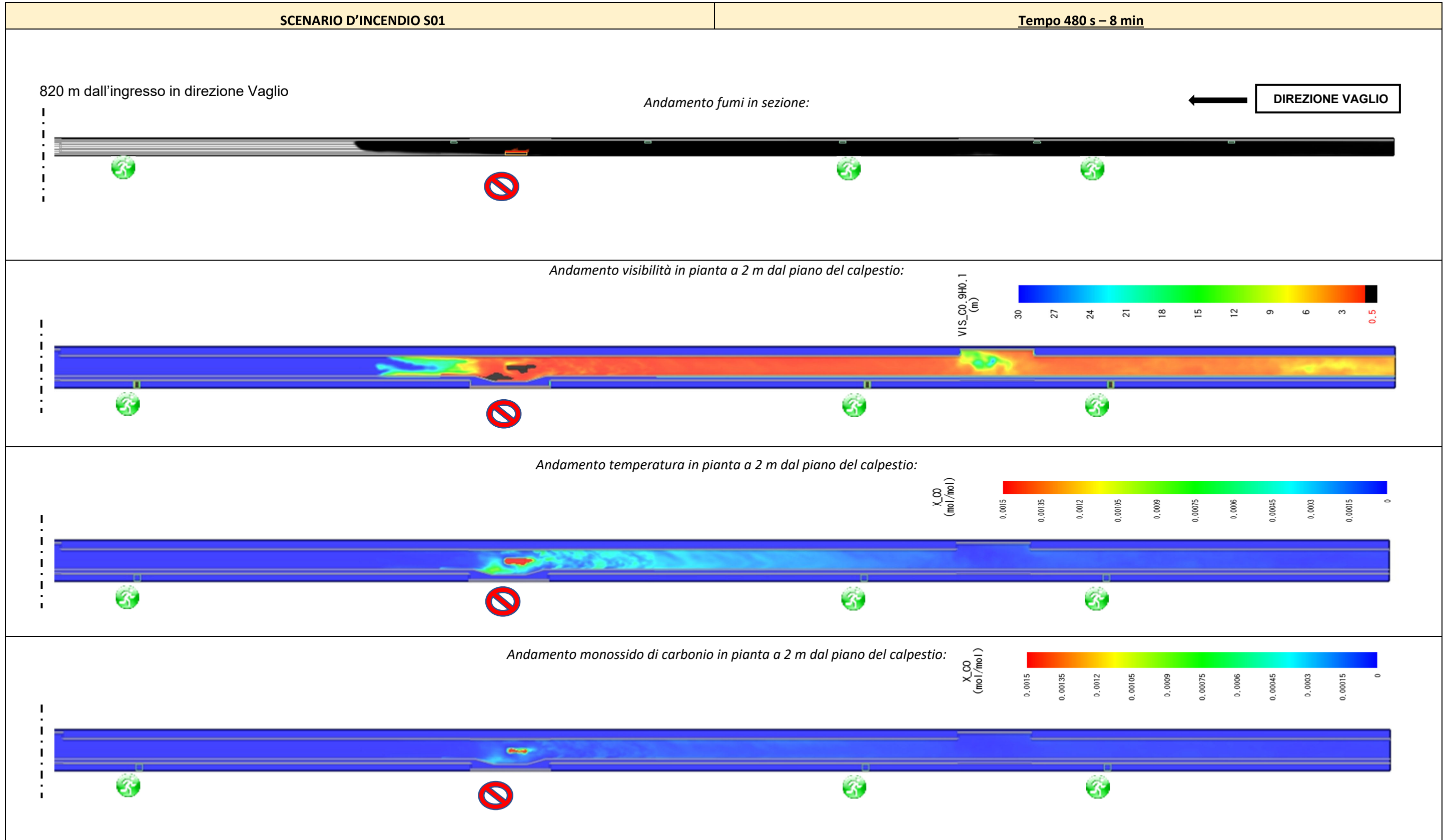
PROGETTAZIONE ATI:

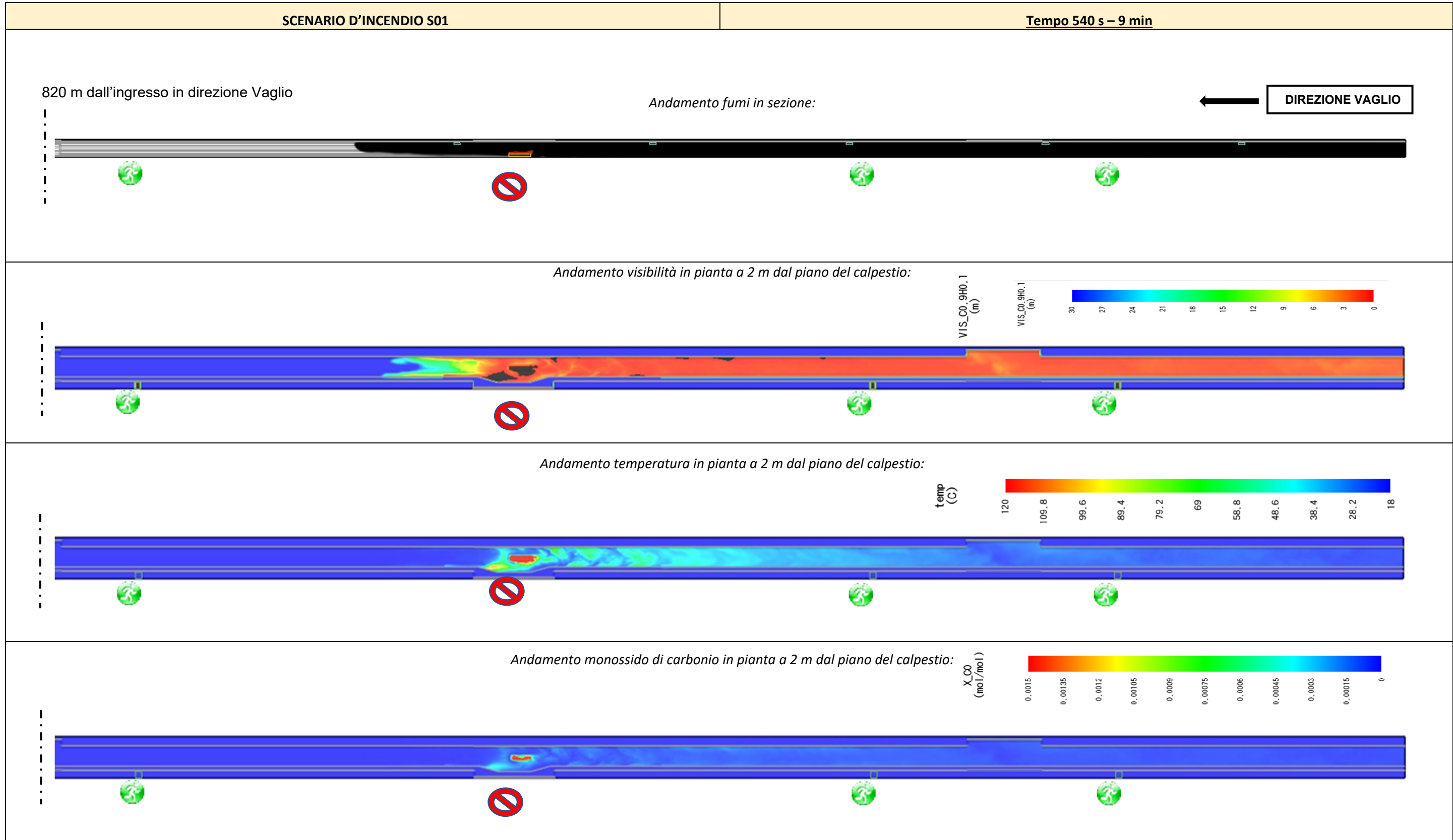


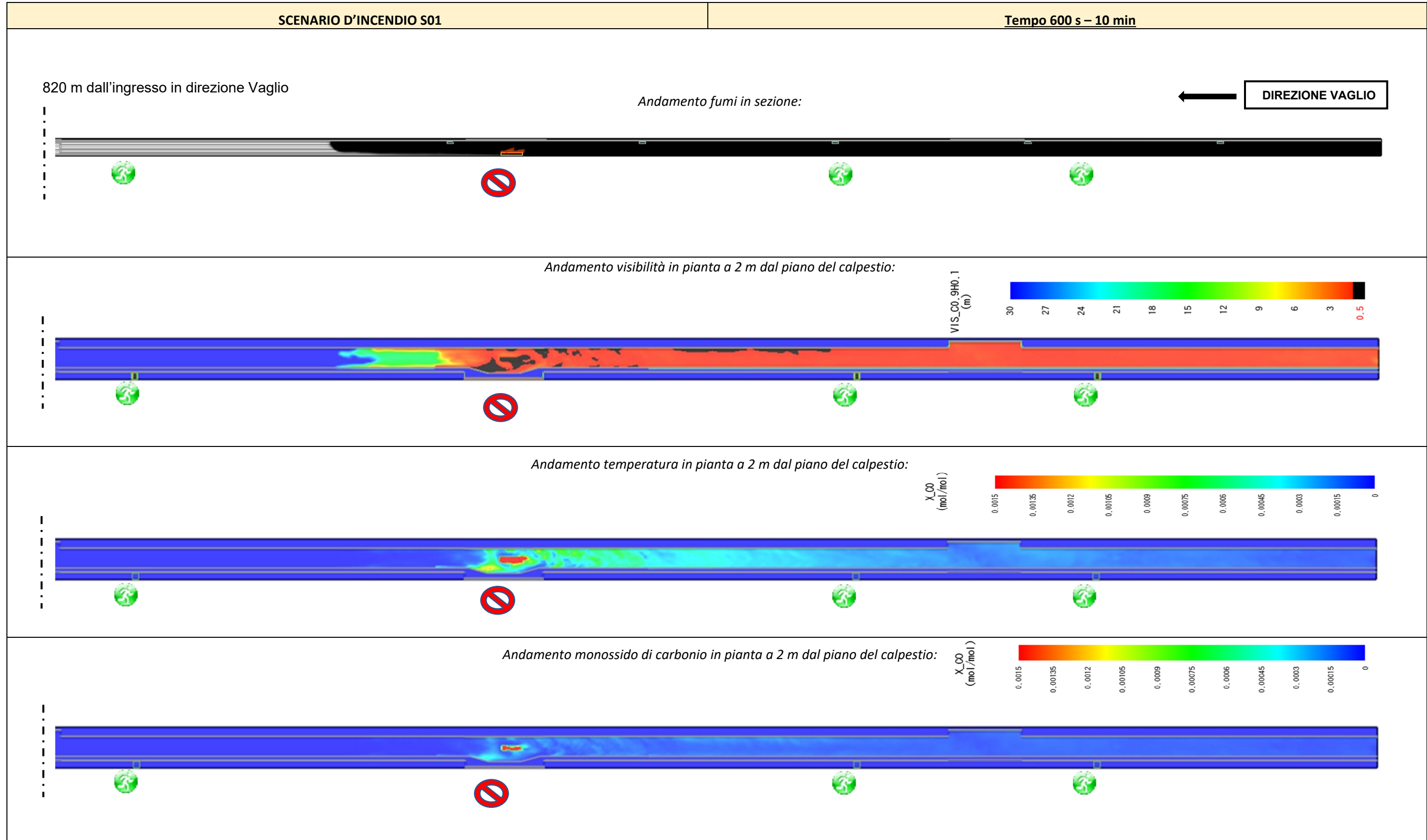
PROGETTAZIONE ATI:



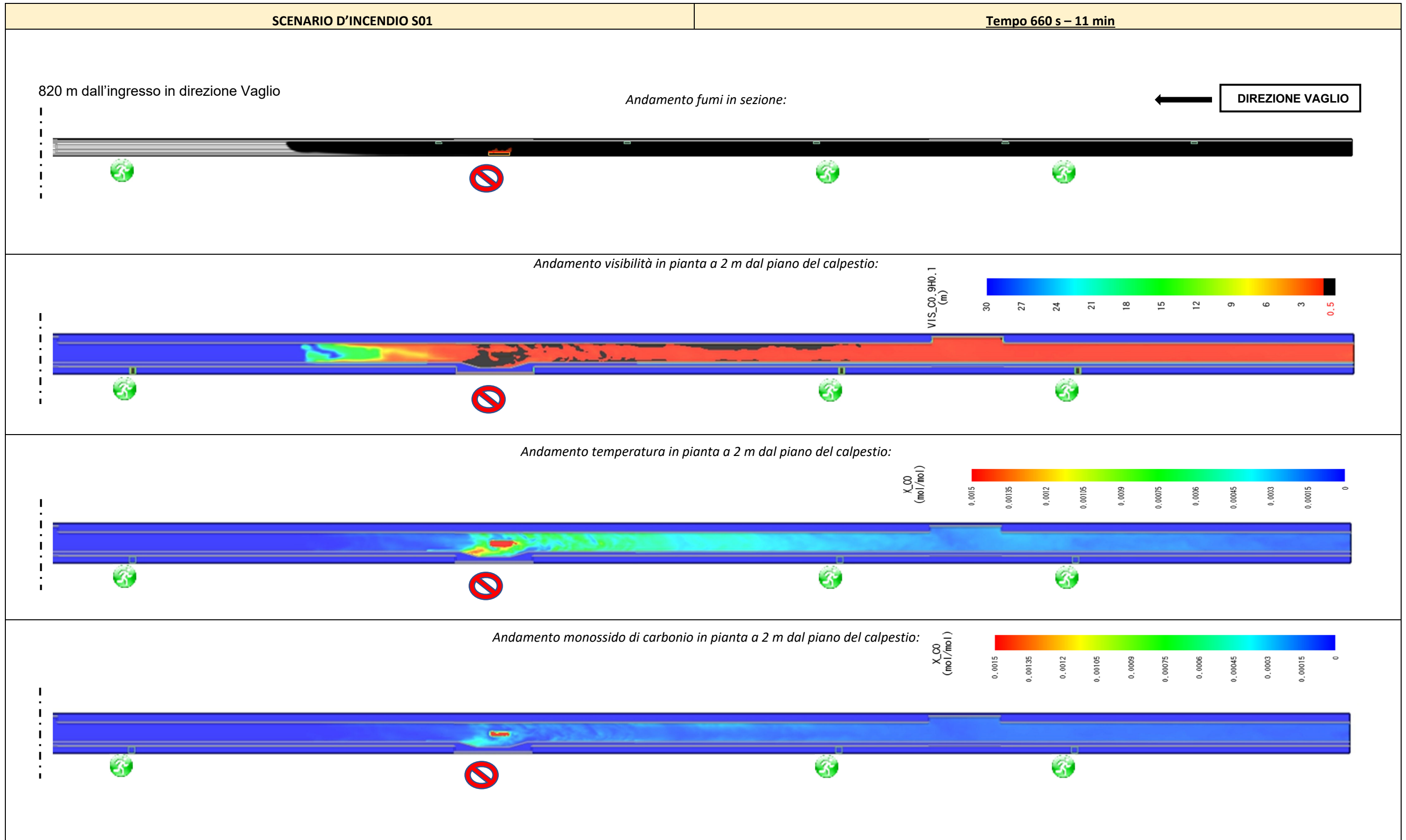


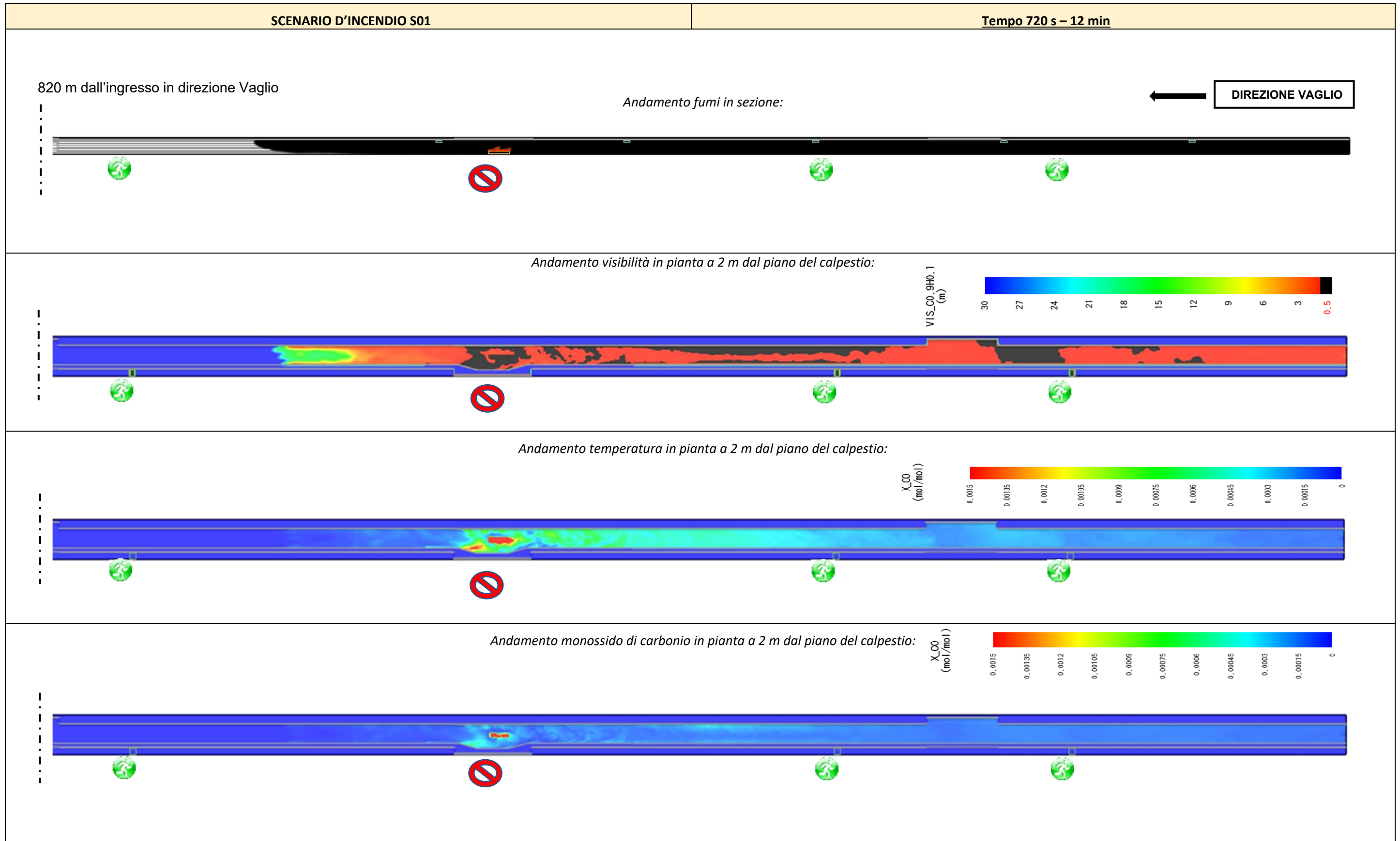




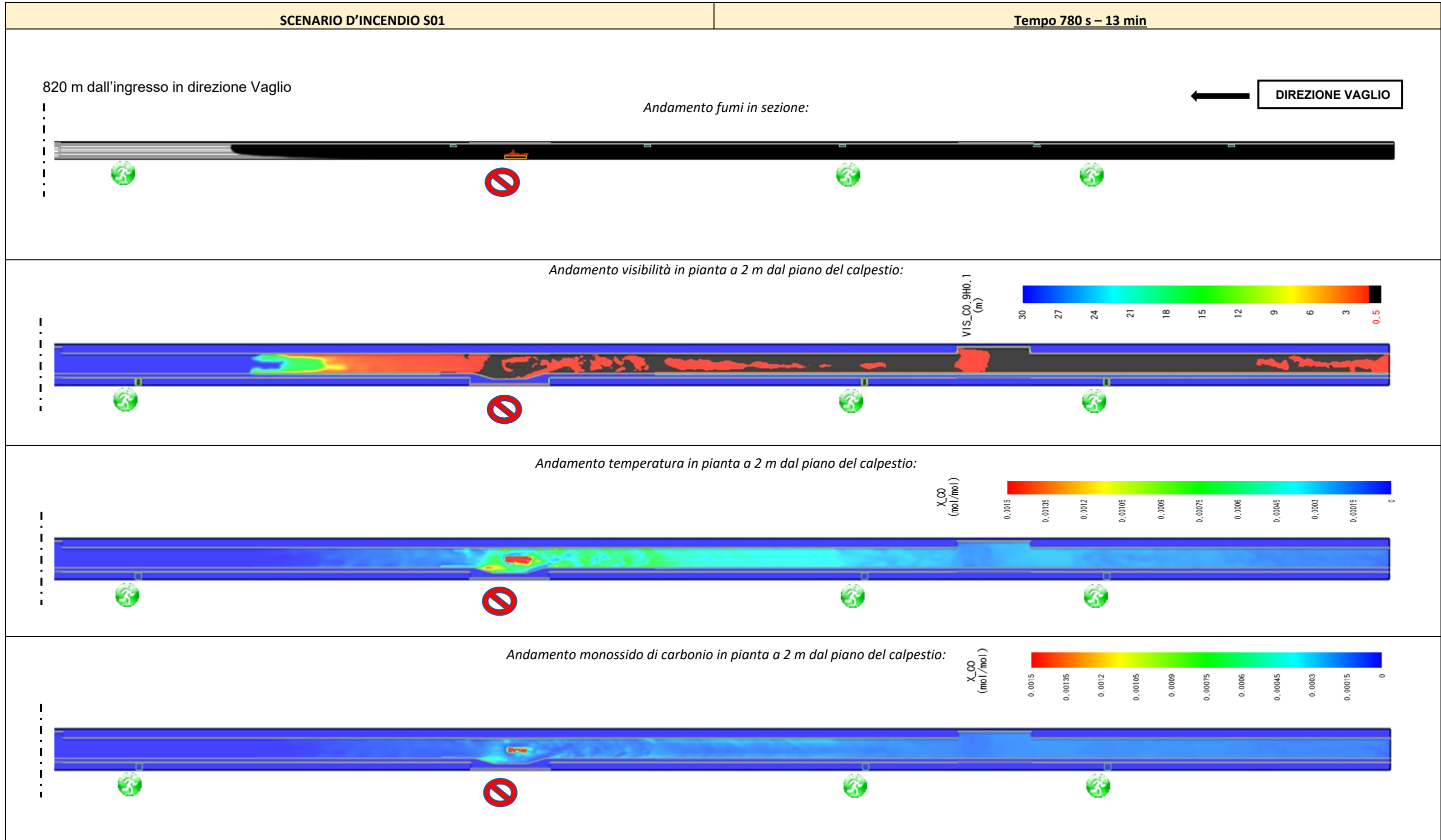


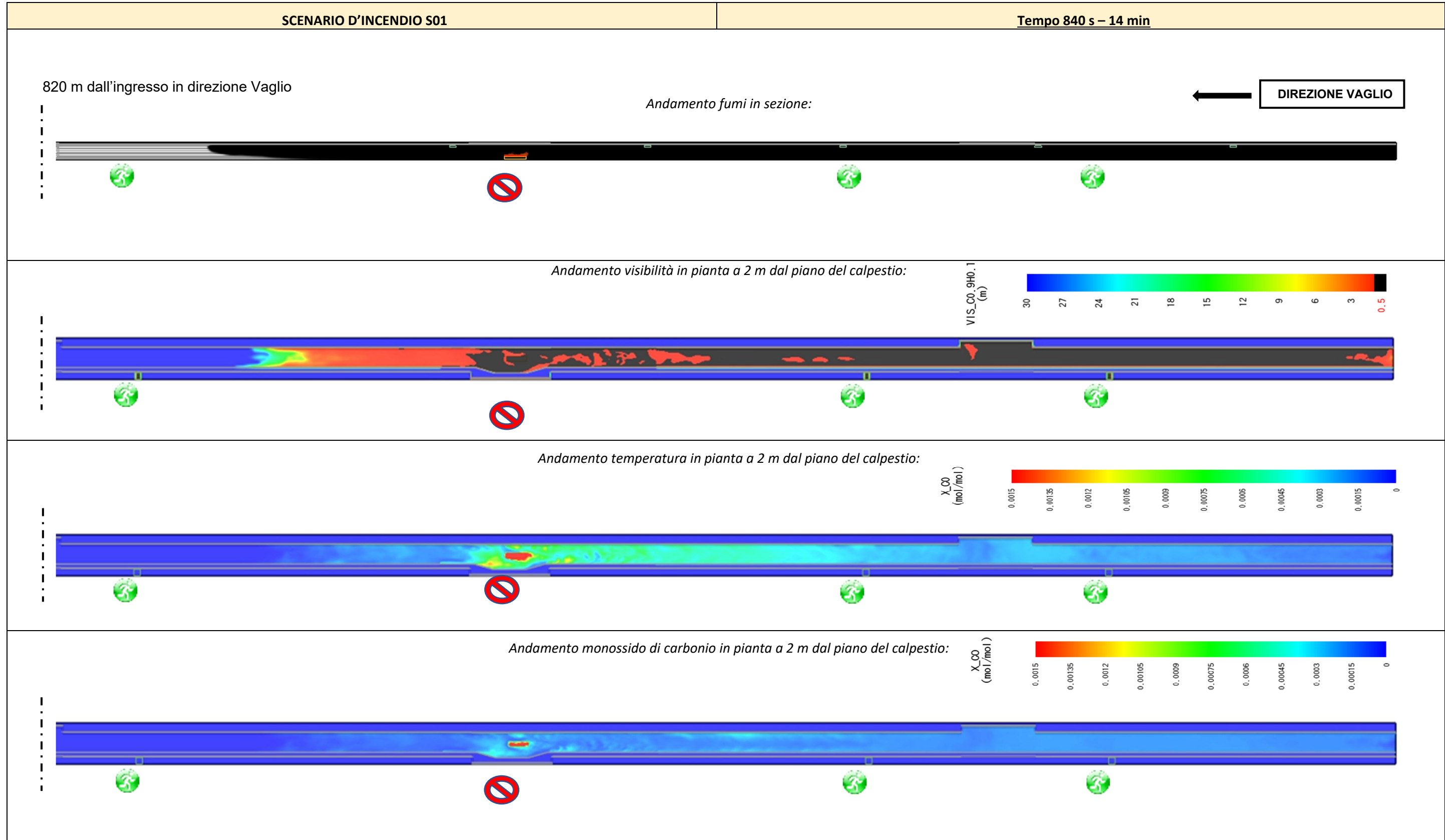
PROGETTAZIONE ATI:

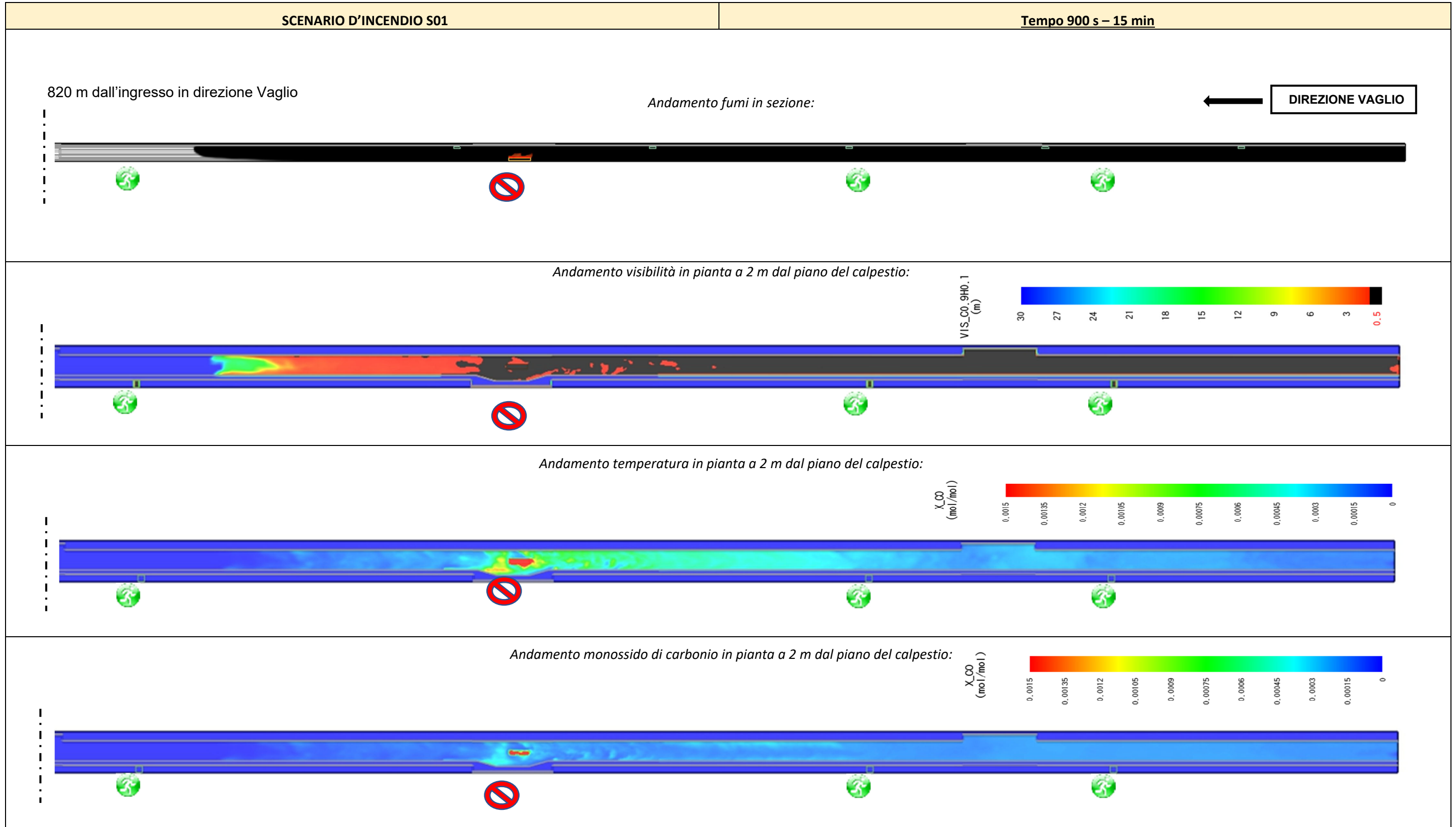


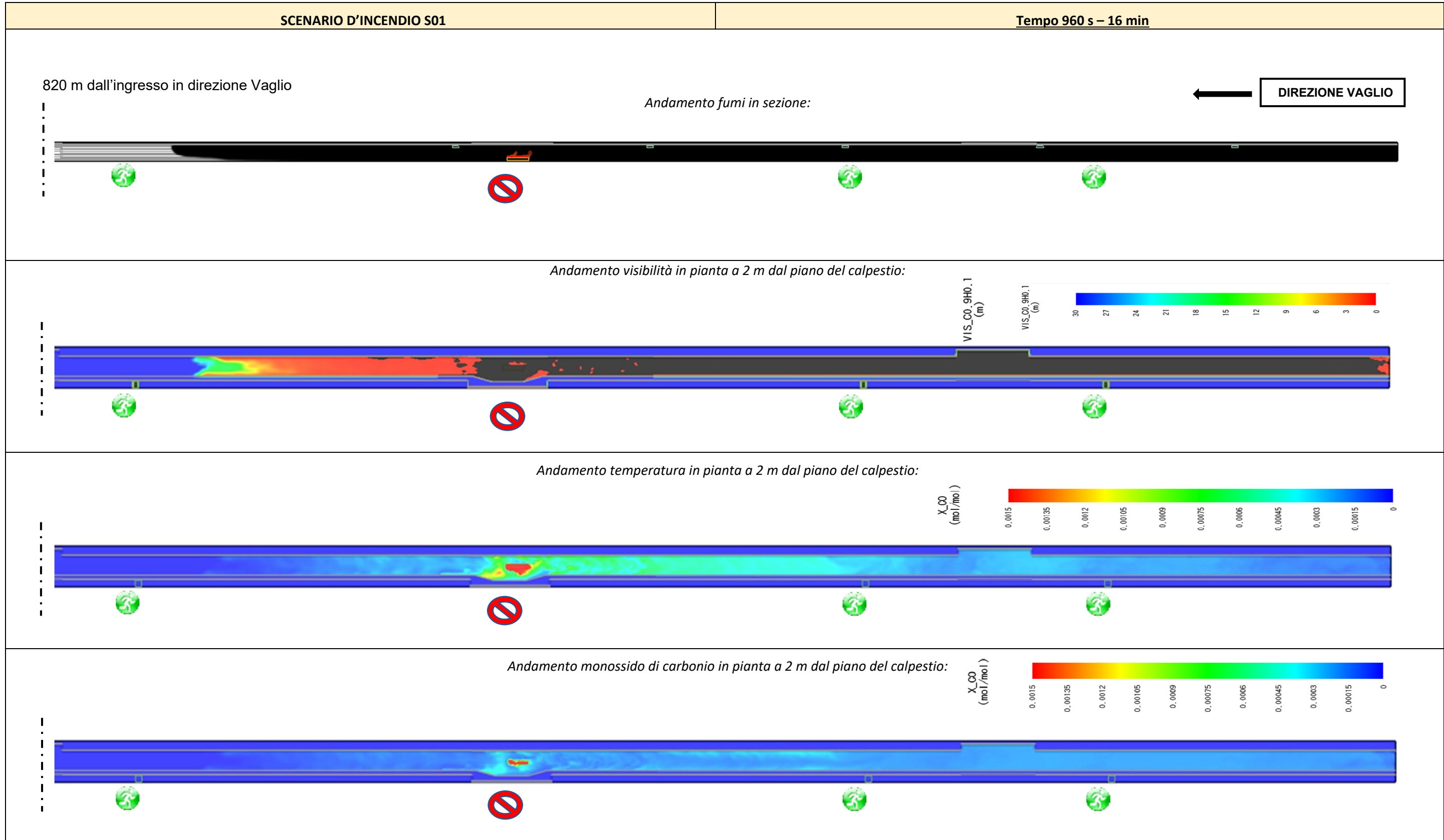


PROGETTAZIONE ATI:

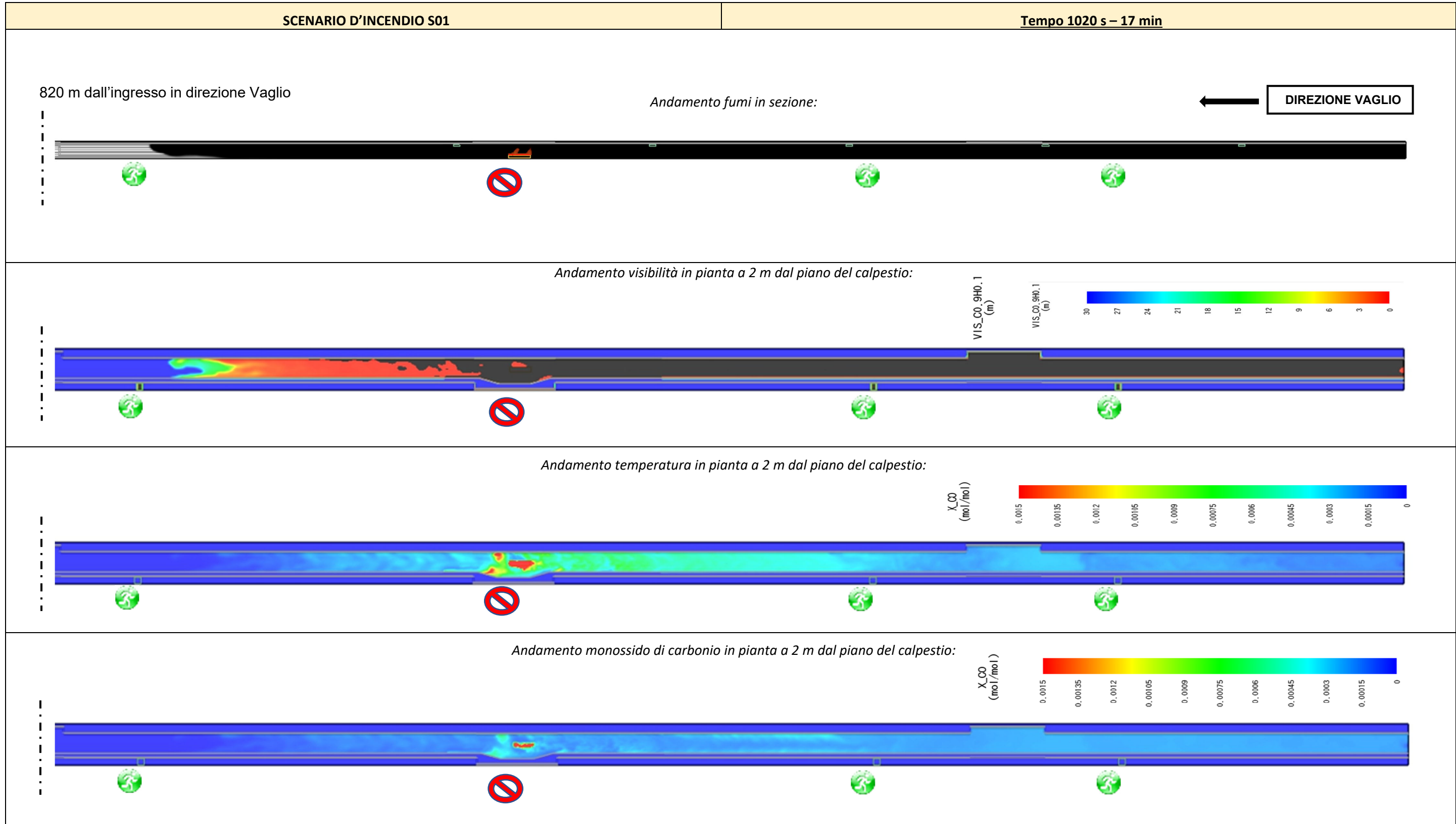


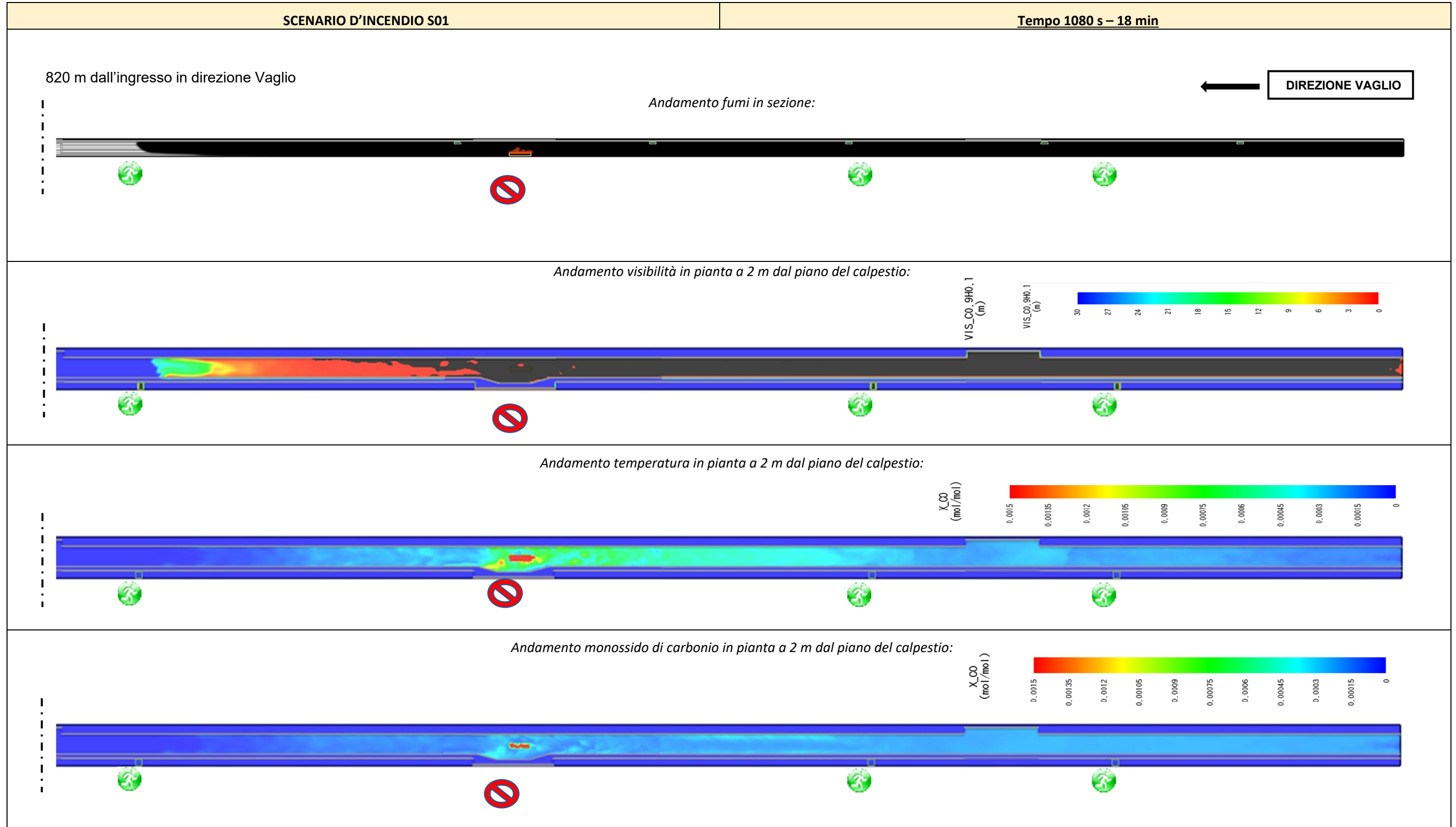


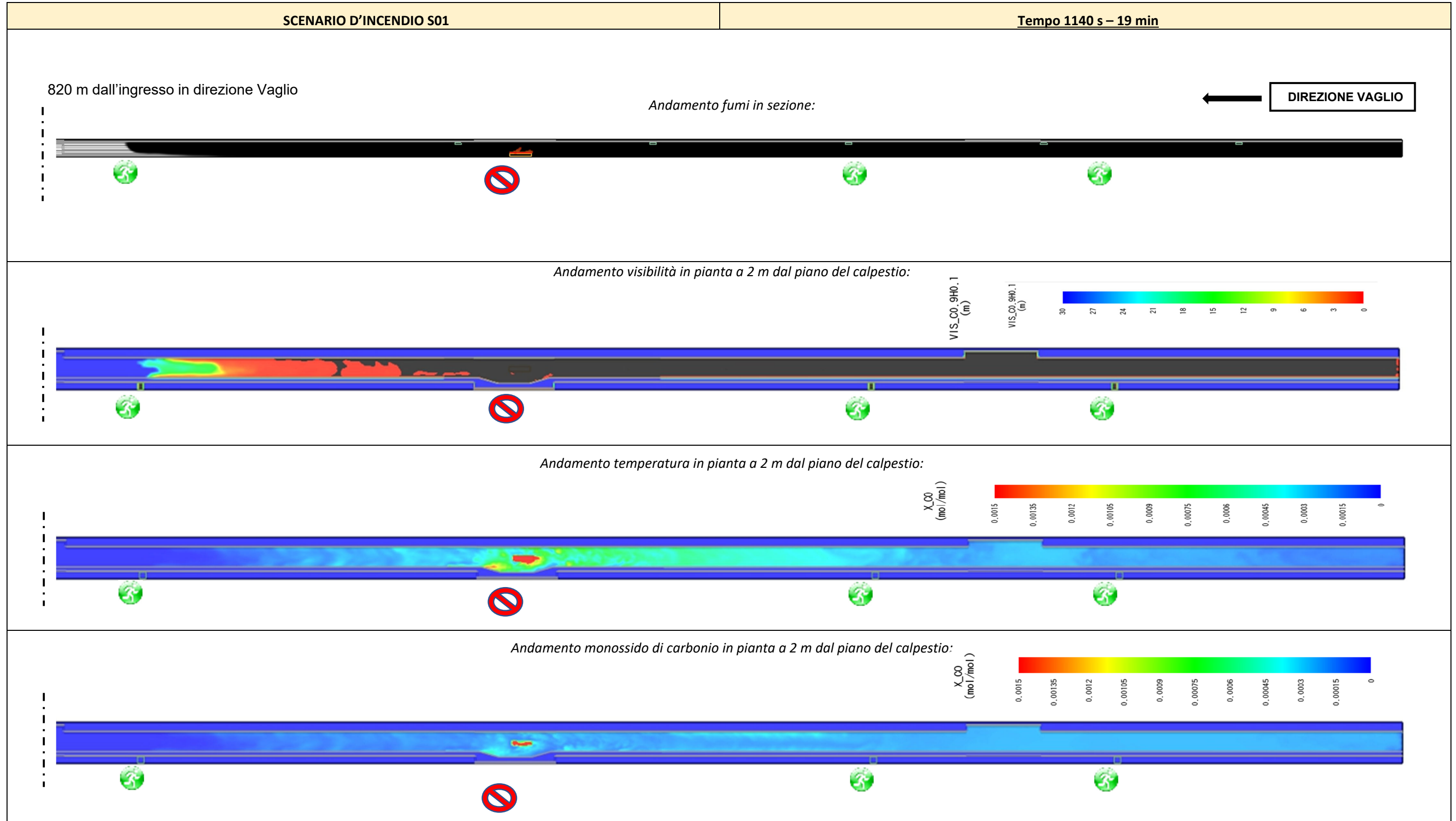


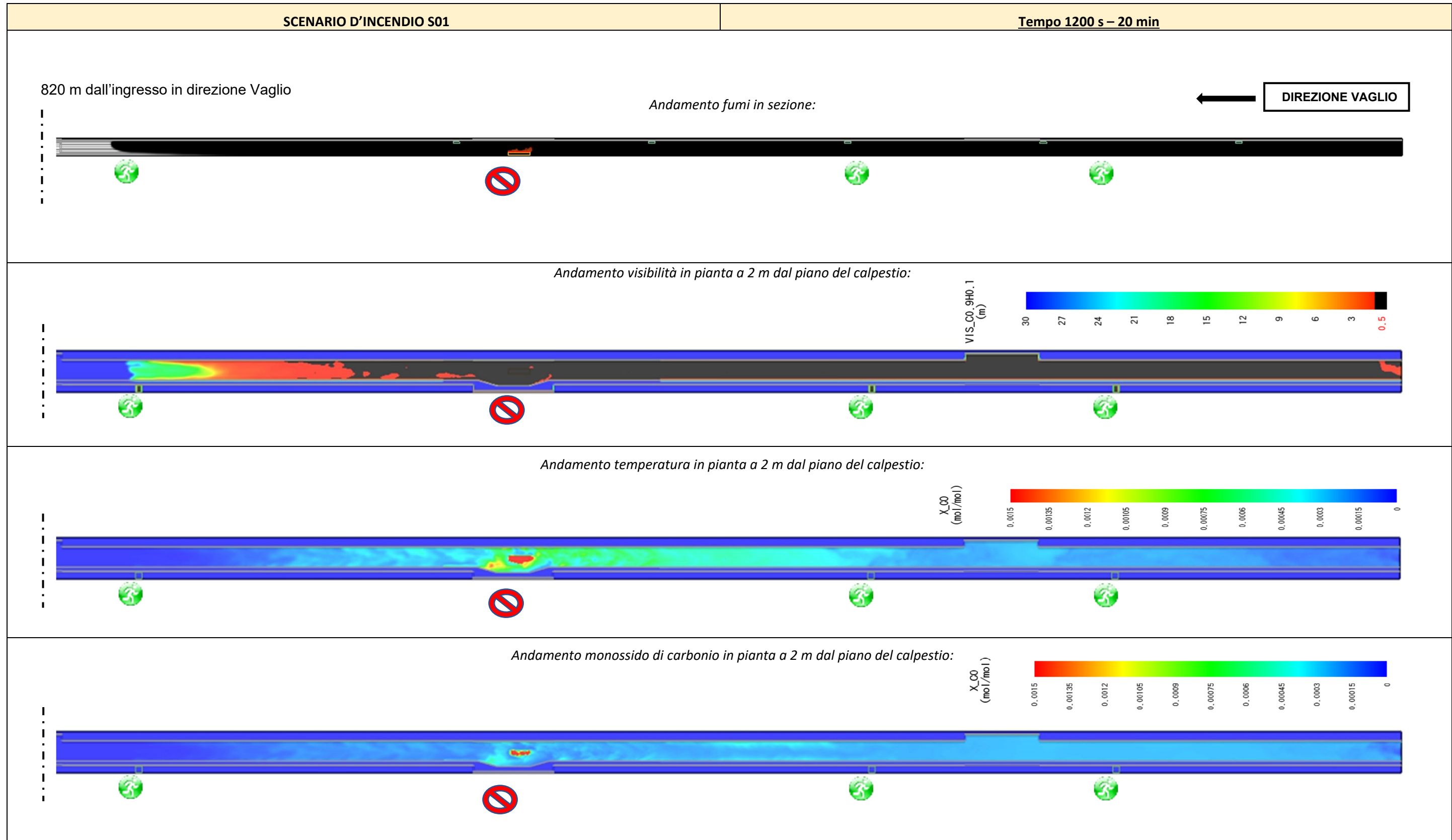


PROGETTAZIONE ATI:









6. RISULTATO DELLA SIMULAZIONE CFD 3D E DELLA CAPACITA' DI ESODO NELLE DUE CONDIZIONI ANALIZZATE

Di seguito si riportano i risultati delle capacità di esodo per lo scenario incendio analizzato, in particolare si riportano i risultati nelle due situazioni:

- E1 chiusura della galleria in 3'
- E2 chiusura della galleria in 6'

Il risultati ottenuti sono riportati nella tabella riepilogativa, nella quale sono evidenti i dati ottenuti dall'analisi del tratto a monte (lato caratterizzato dalla pendenza negativa) e a valle (lato caratterizzato dalla pendenza positiva) del focolare.

Dalla simulazione CFD è emerso che **l'unico parametro a superare la soglia incapacitante** è quello della visibilità e, pertanto, nella tabella sottostante si riportano solamente le tempistiche relative a tale parametro.

Voce	SCENARIO D'ESODO (Reset 930s)	SUPERAMENTO SOGLIA INCAPACITANTE VISIBILITÀ<0,5 M [S]	OCCUPANTI CHE ABBANDONANO LA GALLERIA CON PIENA VISIBILITA'	OCCUPANTI COINVOLTI DAL SUPERAMENTO DELLA SOGLIA DI INCAPACITA' / SUPERATA LA SOGLIA DI PIENA VISIBILITA'
SUPERAMENTO SOGLIE IN CORRISPONDENZA DEL BY-PASS A MONTE DELL'INCENDIO (LATO PENDENZA NEGATIVA)				
1	E01	>1200	100% (38 PERSONE)	0%
2	E02		100% (49 PERSONE)	0%
SUPERAMENTO SOGLIE IN CORRISPONDENZA DEL BY-PASS A VALLE DELL'INCENDIO (LATO PENDENZA POSITIVA)				
3	E01	660	75,6% (2 PERSONE)	24,4% (1 PERSONA)
4	E02		75,9% (3 PERSONE)	24,1% (2 PERSONE)

Dalla tabella sopra riportata si evince che la percentuale di occupanti in grado di raggiungere in sicurezza un luogo sicuro in caso di incendio a monte dell'incendio è pari al 100%. A valle dell'incendio la stessa percentuale vale circa il 75%.

Si rammenta come per le valutazioni sull'esodo sia stata considerata, a vantaggio di sicurezza, una soglia incapacitante per la visibilità pari a 0,5 m, seppur la sola riduzione di tale parametro non comporti realmente una fatalità ma un aggravio nella capacità di auto evacuazione.

7. CONCLUSIONI

È importante sottolineare che, in via cautelativa, l'analisi è stata svolta per il solo scenario incendio nel punto più gravoso, considerando parametri a favore di sicurezza con la finalità di poter determinare la validità delle scelte fatte dal progettista (vedi Introduzione).

È inteso che le successive fasi progettuali dovranno tener conto delle valutazioni di tutti gli scenari meno gravosi ma più probabili, oltre agli scenari coinvolgenti merci pericolose ma con una probabilità di accadimento sensibilmente inferiore.

Si riportano di seguito le conclusioni al presente studio:

- Lo scenario da 30MW considerato ha evidenziato come l'impianto di ventilazione meccanica longitudinale risulti efficace nel mantenere libera l'uscita di emergenza a monte del bruciatore per un tempo necessario tale da permettere l'esodo di tutti gli occupanti nella corsia in direzione Tolve.
- Viceversa, a valle dell'incendio, l'intervento della ventilazione meccanica longitudinale conduce a una riduzione della visibilità sotto alla soglia incapacitante, aggravando la capacità di esodo di una percentuale di occupanti (24%). In particolare, l'uscita di emergenza a valle dell'incendio resterà disponibile per un tempo di 660 s.
- Che il tempo di chiusura della galleria (tempo di reazione di tutti i sistemi e attivazione semafori rossi) influisce sulle conseguenze di un evento
- **Si rammenta come per le valutazioni sull'esodo sia stata considerata, a vantaggio di sicurezza, una soglia incapacitante per la visibilità pari a 0,5 m, seppur la sola riduzione di tale parametro non comporti realmente una fatalità ma un aggravio della capacità di esodo.**
Qualora non fosse stata fatta tale assunzione, è emerso come nessun altro parametro scenda al di sotto della soglia incapacitante. Di conseguenza, non si avrebbe nessuna fatalità nei due scenari d'esodo considerati.

Tutto quanto sopra esposto conferma le scelte fatte dal progettista essendo verificata l'efficacia delle dotazioni previste a progetto, nella condizione più sfavorevole; è altresì evidente che l'auto evacuazione è il primo fattore a garantire la sicurezza degli utenti e, nel caso specifico, l'interdistanza delle vie di fuga di 250m costituisce un fattore di grande rilevanza (in termini di sicurezza); da considerare che un utente alla velocità di 0,5m/s percorre 250m in circa 8'.

Per quanto concerne la capacità di intervento di soccorritori, a prescindere dal tempo di intervento, date le caratteristiche geometriche della galleria (pendenza oltre il 3%) e delle caratteristiche di esercizio bidirezionale, consente di poter affermare che i soccorritori potranno accedere alla galleria dalla parte bassa – in assenza di fumi e, tramite il cunicolo di sicurezza arrivare a monte dell'incendio (utilizzando gli adeguati sistemi di protezione).

Si può quindi confermare:

- idoneità delle scelte fatte considerando le caratteristiche di specialità della galleria;
- sono stati considerati i problemi intrinseci del regime di circolazione bidirezionale;
- che la galleria è dotata di misure eccedenti a quelle previste di norma (telecamere, segnaletica attiva e inter distanza tra le vi di fuga inferiore ai 500m)

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] R.D. PEACOCK, S. DAVIS, B.T. LEE, 1988. Experimental Data Set for the Accuracy Assessment of Room Fire Models. NBSIR 88-3752;
- [2] SOCIETY OF FIRE PROTECTION ENGINEERING, 2008. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Fourth Edition. USA: National Fire Protection Association;
- [3] G. ASCENZI, G. VILLI, G. VULPIANI, 2010. *Ingegneria della sicurezza antincendio, Guida all'utilizzo di FDS (Fire Dynamics Simulator)*. Palermo: Dario Flaccovio Editore. p. 47;
- [4] DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE ANAS S.P.A., 2009. *Linea Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente*;
- [5] H. INGASON, Y. ZHEN LI, A. LONNERMARK, 2015. *Tunnel Fire Dynamics*. USA. Springer;
- [6] L. CORBO. *Lo sviluppo dell'incendio e gli impianti di ventilazione*;
- [7] 2015. *Pathfinder Verification and Validation*. USA: Thunderhead Engineering;
- [8] E. RONCHI, 2015. *Evacuation modelling and Virtual Reality for fore safety engineering*. Sweden: Lund University
- [9] G. GAI, P. CANCELLIERE, 2016. *Utilizzo dei metodi avanzati della Fire Safety engineering per la progettazione della sicurezza antincendio*. ResearchGate.