



ITALOIBERICA ENGINEERING GROUP SL

**“La sicurezza delle gallerie stradali: la
qualità e le prestazioni dei materiali e
componenti, le verifiche, il collaudo e
l’esercizio degli impianti elettrici e
ausiliari”**

**Giornata di studio CEI
ISA- Roma**

Ing. Mario Bruno Lanciano

25/ 06 / 2024



ITALOIBERICA ENGINEERING GROUP SL

La mitigazione di incendio e verifiche sperimentali

Ing. Mario Bruno Lanciano

CRITERI DI PROGETTAZIONE

La complessità, la capillarità, l'eterogeneità degli impianti richiedono un'attenta valutazione dei criteri guida da porre alla base della loro progettazione. Perciò si devono privilegiare quelle configurazioni (zonizzazione e modularità dei circuiti) e dotazioni impiantistiche che consentano il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- **Elevato livello di affidabilità:** adozione di componenti caratterizzati da un alto grado di sicurezza intrinseca e robustezza
- **Manutenibilità:** l'omogeneità e la collocazione corretta degli apparecchi rende la manutenzione semplice ed economica e consente di effettuare le lavorazioni in condizioni di sicurezza;
- **Selettività:** una corretta suddivisione dei circuiti, assicura che la parte di impianto che viene messa fuori servizio in caso di guasto venga ridotta al minimo;
- **Sicurezza** degli utenti nei confronti di eventuali incidenti o altre emergenze: impianti di illuminazione, TVCC e dalla segnaletica di sicurezza;
- **Risparmio energetico:** l'adozione di sistemi per la gestione automatica degli impianti (illuminazione, ventilazione).
- **Idoneo grado di comfort visivo:** opportune condizioni ambientali (illuminazione e sanitaria).
- **Servizi di informazione e comunicazione:** (PMV, impianto SOS, impianto radio, telefonia mobile , ecc.);
- **Automazione e supervisione** per la gestione ed il controllo remoto dei vari impianti (algoritmi)

Stato critico per la sicurezza della vita umana:

- l'esposizione delle persone ad un flusso termico radiante pari a **2,5 kW/m²** determinato da stratificazioni di fumo caldo;
- l'esposizione delle persone a temperature di **60° C** per tempi superiori a dieci minuti;
- l'esposizione delle persone a temperature di **80° C** per tempi superiori a tre minuti;
- una visibilità, riferita alla percezione delle uscite dalla galleria, pari a **15 m** misurata ad un'altezza di 1,8 m dal piano di calpestio;
- un livello medio della **FED** (Fractional Effective Dose) non superiore a 0,3, calcolata considerando solo il contributo dell'ossido di carbonio.

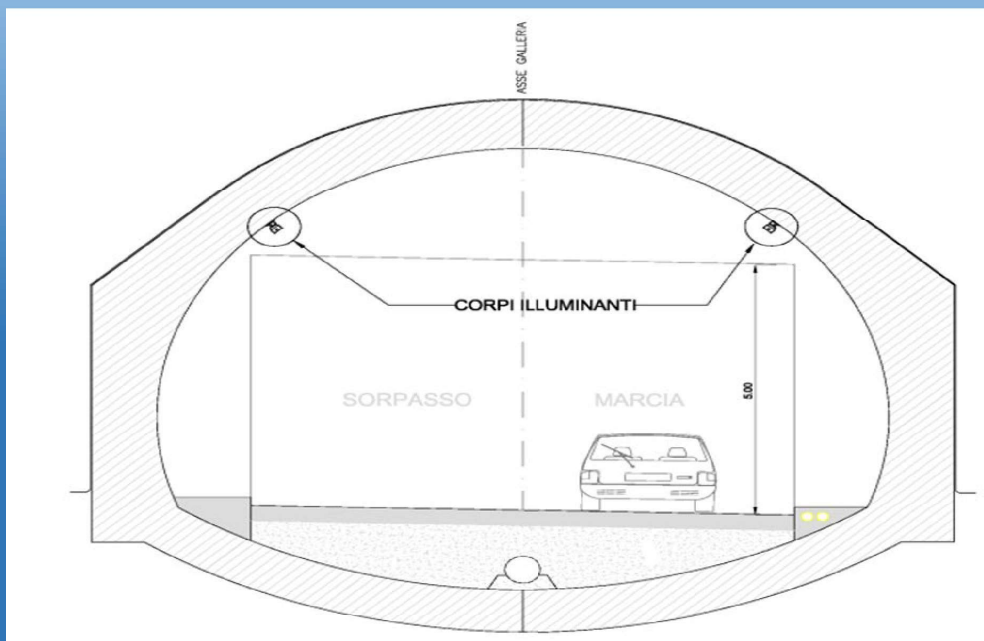
ZONIZZAZIONE IN FUNZIONE DELLA ESPOSIZIONE TERMICA

E' una metodologia per analizzare e classificare l'ambiente dove si possono propagare le conseguenze di un incendio autoveicolare (alte temperature e fumi), al fine di facilitare la corretta scelta ed installazione degli apparecchi ed impianti in tali zone.

Zona 2P (livello 2P): zona ad elevata esposizione termica.

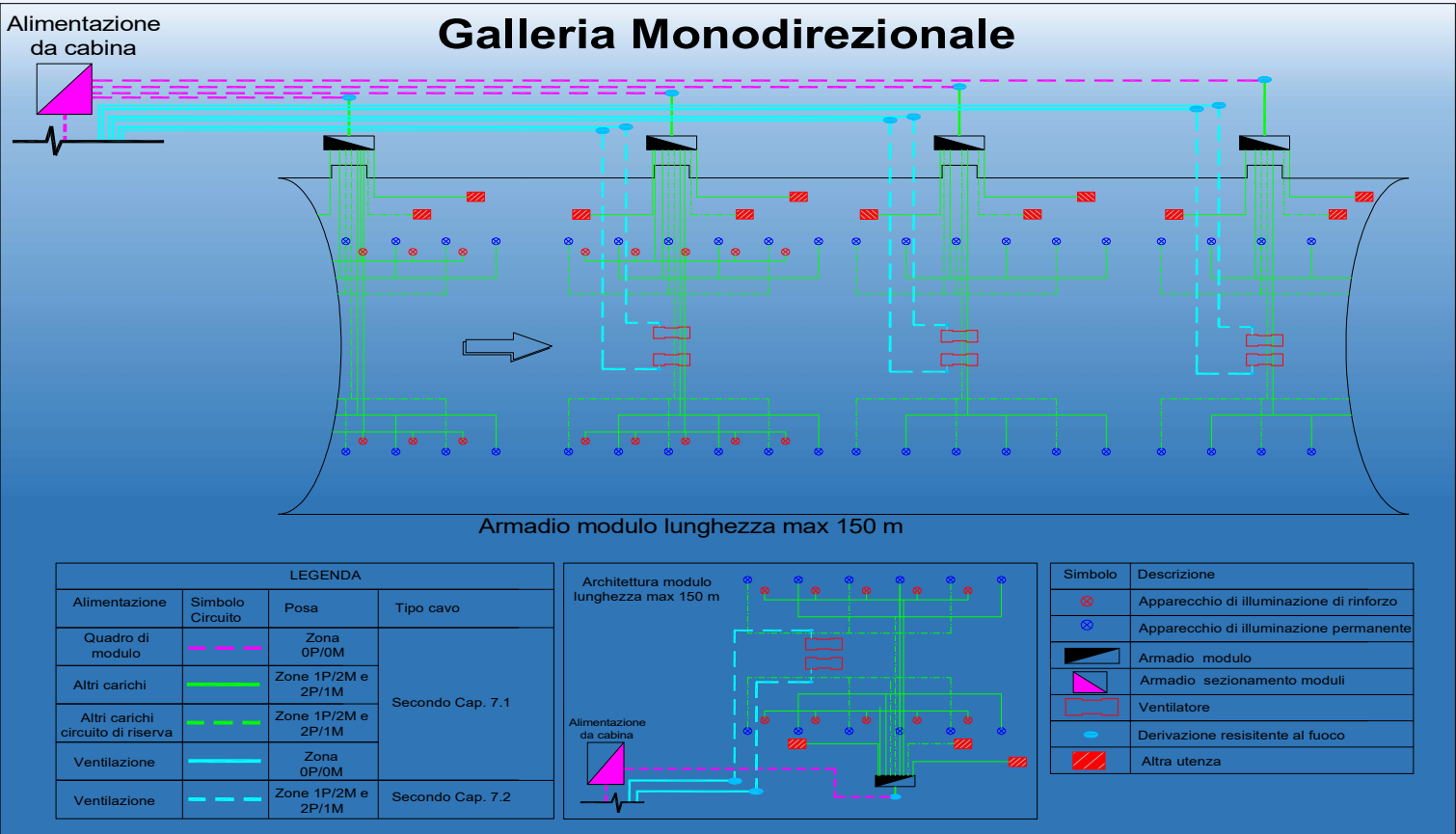
Zona 1P (livello 1P): zona a bassa esposizione termica.

Zona 0P (livello 0P): zona non soggetta ad esposizione termica.



MODULO

Tratto di galleria stradale di lunghezza non superiore a 150 m.

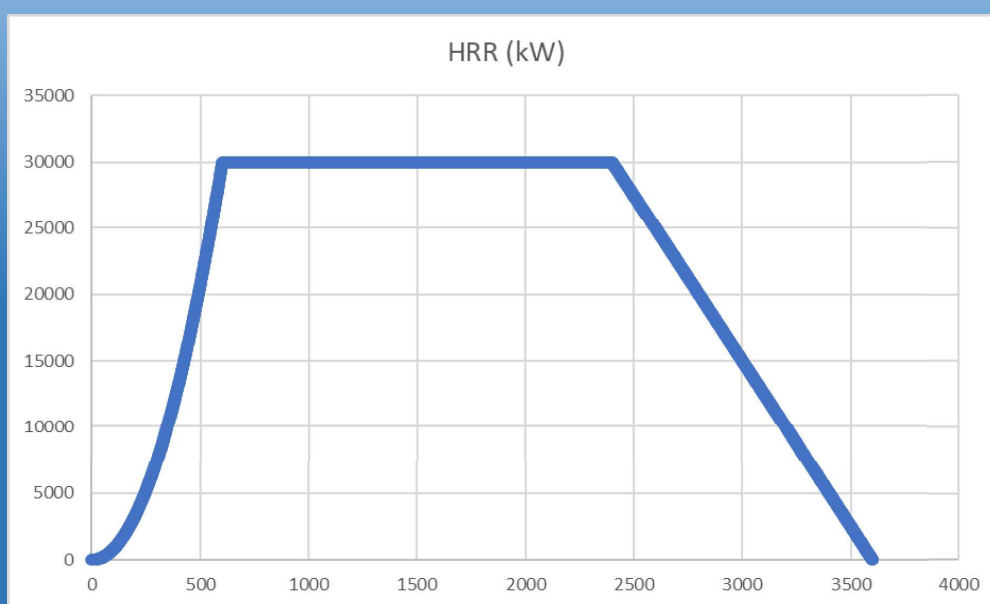


Potenza termica HRR di picco per diversi tipi di veicoli (PIARC 2017R01EN/2.2.1)

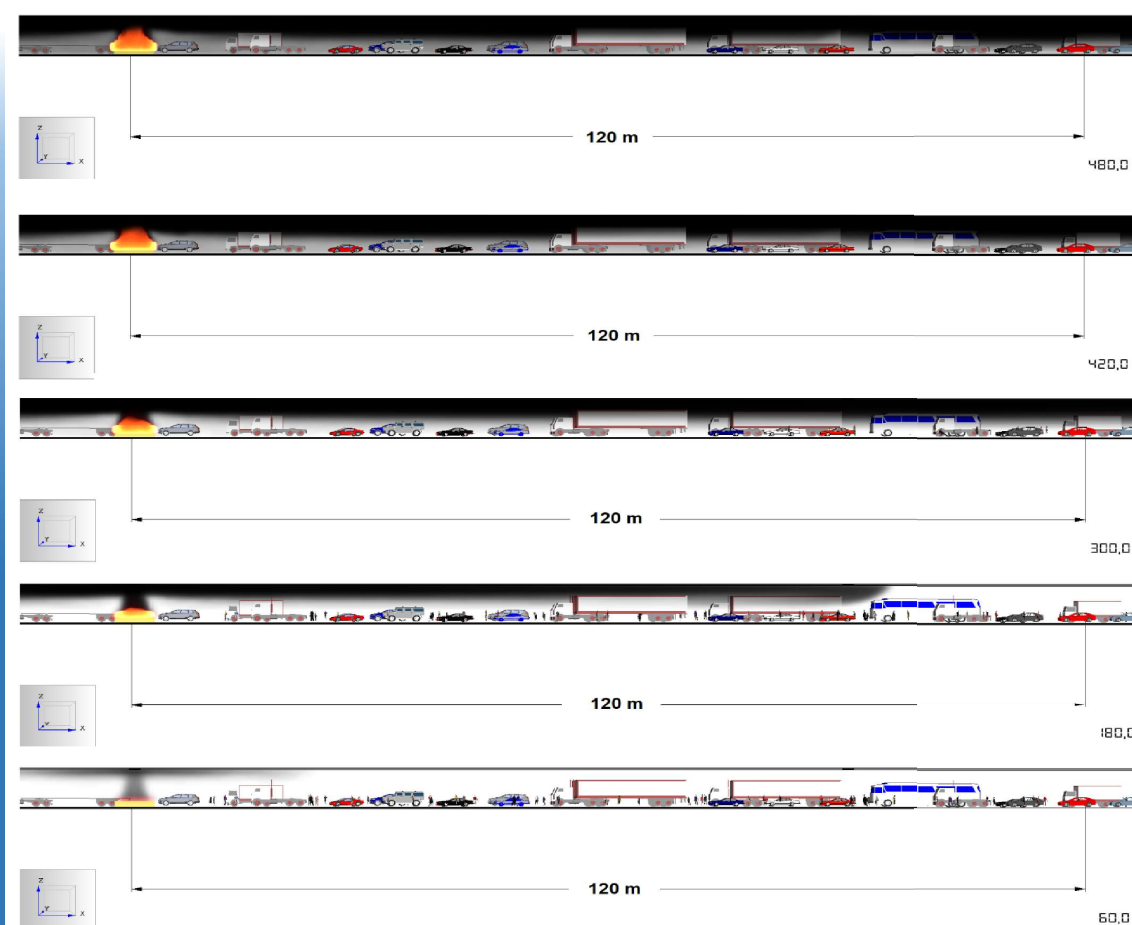
Vehicle Type	Peak HRR(MW)
Passenger car	5-10
Light duty vehicle	15
Coach, bus	20
Lorry, Heavy-goods vehicle up to 25tn	30-50
Heavy-goods vehicles typically 25-50tn	70-150
Petrol tanker	200-300

Incendio di progetto da 30 MW di potenza termica rilasciata

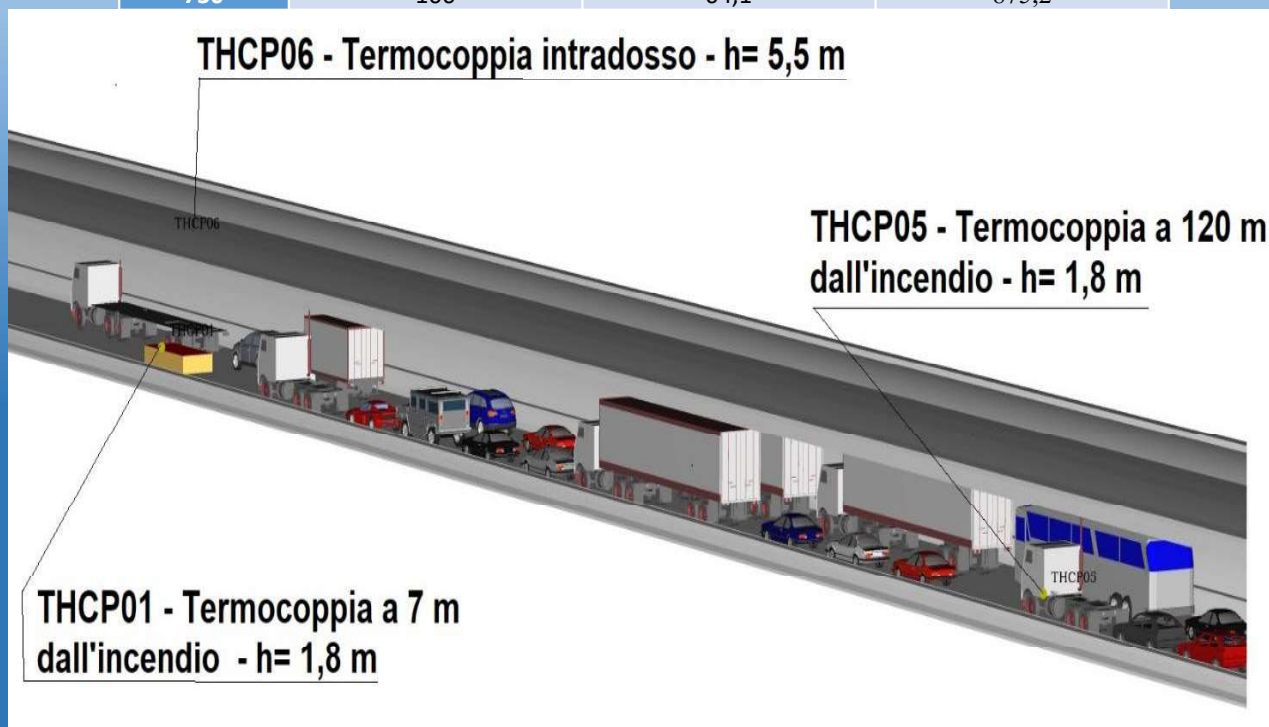
Crescita	$HRR_{crescita} = \alpha \cdot t^2$	
Potenza di picco	30	MW
Coefficiente α	0,083333	kW/s ²
t_{α}	110	s
t_{picco}	600	s



Immagini rappresentative dello sviluppo dei fumi caldi ad istanti successivi.



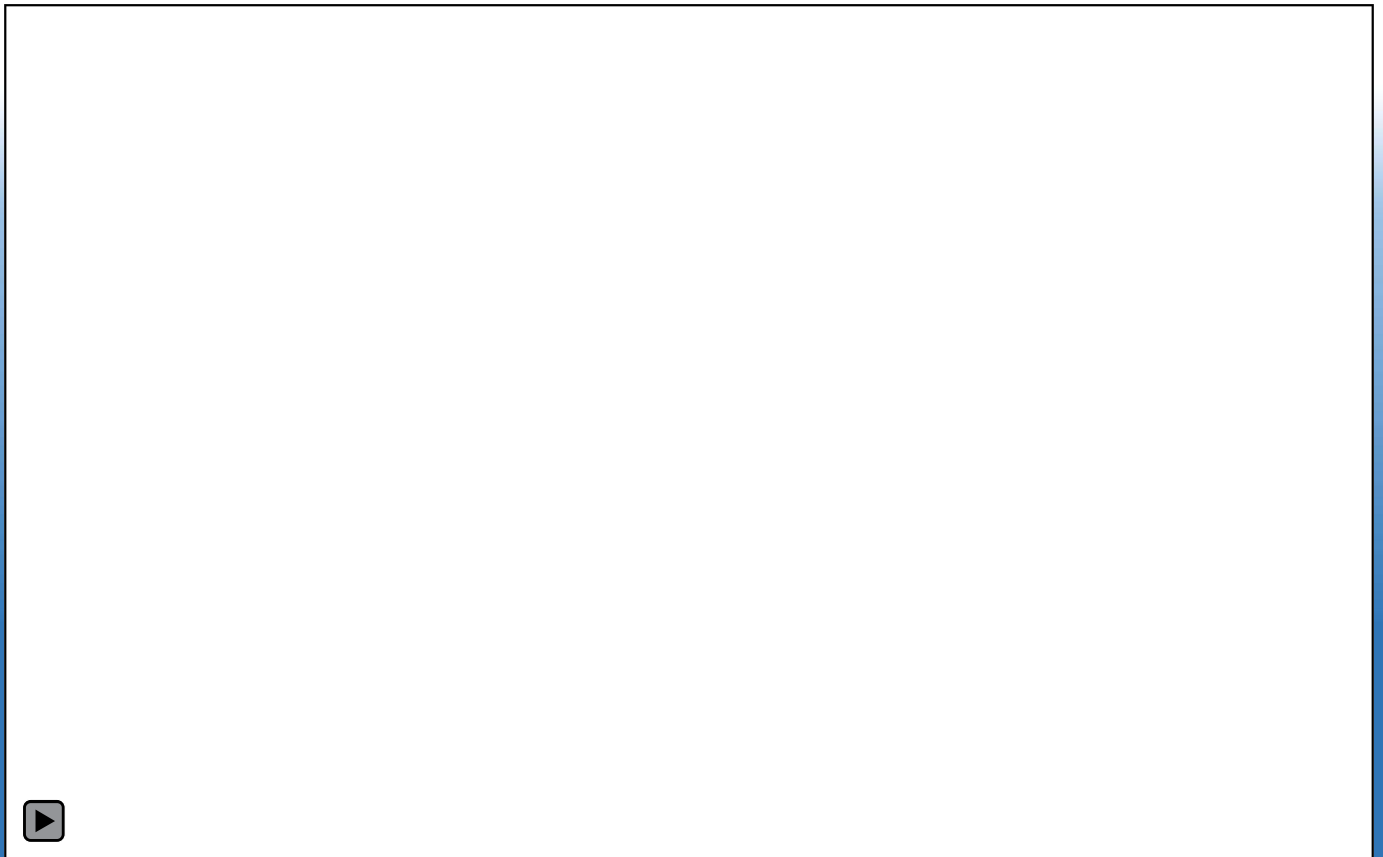
Temperatura	Tempo (s)	Temperatura sensore THCP01 (°C)	Temperatura sensore THCP05 (°C)	Temperatura sensore THCP06 (°C)
	300	37,6	22,9	247,5
	400	48,1	29,5	413
	500	79,7	38,4	534,1
	600	85	49,5	865,9
	750	106	64,1	875,2



CRONOLOGIA EVENTI

T0	0s	0min	Inizio dell'incendio rappresentato dall'evento e inizio e inizio della formazione della coda
T1	120s	2min	Rilevazione dell'incendio
T1+	150s	2,5min	Conferma dell'incendio. Attivazione del funzionamento di emergenza
T2	180s	3min	Fase di auto -salvataggio
T3	540s	9min	Completato l'avvicinamento limite degli utenti alle uscite di emergenza
T4	600s	10min	Corrisponde alle condizioni di potenza massima
T5	1200s	20min	Arrivo dei soccorritori
T6	1260s	21min	Inizio della fase di evacuazione per eventuali utenti non ancora usciti dalla galleria
T7	1500s	25min	Conclusione dello stato stazionario dell'incendio ed inizio fase di decadimento. Inizio della lotta al fuoco da parte dei VVF
T8	2400s	40min	Estinzione dell'incendio

Incendio in galleria- Stratificazione



Incendio in galleria- Stratificazione



Incendio in galleria- Fumo



Incendio in galleria- Fumo

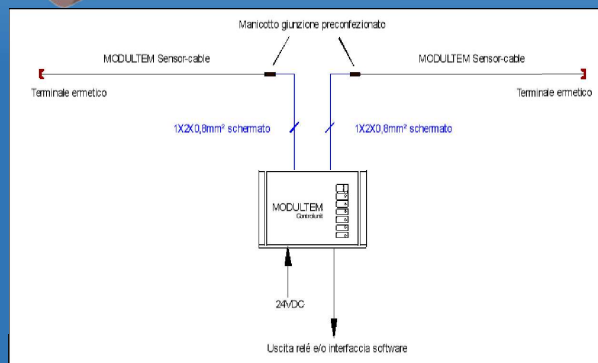
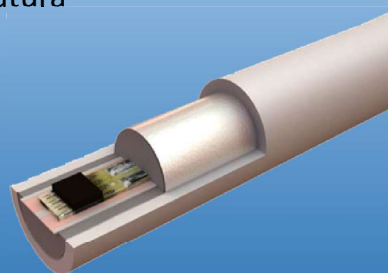


ALLARME INCENDIO- ATTIVAZIONE IMPIANTI

- L'attivazione dell'impianto avviene in forma automatica attraverso l'interazione con il sistema di rilevazione lineare di temperatura del tipo sensorico (rilievo continuo), delle telecamere AID (Automatic Incident Detection/ fumo e temperatura) e/o delle stazioni di misura (CO/NO/NOx/OP). NEC (H₂, HF, HCN, PO_F₃) ???

MODULTEM. Sistema di rilevamento lineare di temperatura

- Localizzazione precisa dell'evento incendio.
- Misura continua, gradiente di temperatura e direzione dell'incendio.
- Sistema modulare (2x75m).
- Risoluzione di 0,1°C
- Installazione intuitiva, facile e veloce
- Assenza di manutenzione
- Assenza di calibratura
- Connessione del rilevatore lineare tramite manicotti preconfezionati
- Soglie di allarme programmabili in modo indipendente sensore per sensore



Circolare ANSFISA prot. N. 44844 del 26.07.2023

Saranno considerati idonei ai fini della sicurezza antincendio gli impianti caratterizzati da:

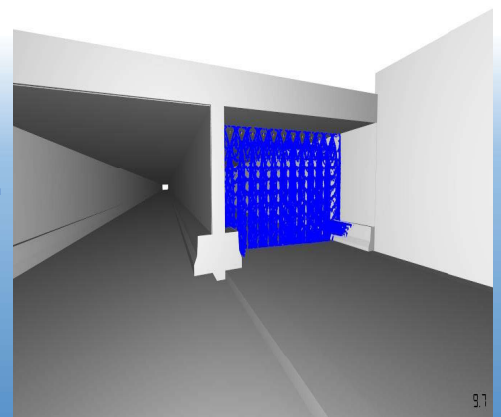
1. punti di erogazione idrica di tipo naspo UNI DN 35 o UNI DN 45 ad un'interdistanza massima di 250 metri, e comunque in posizione tale da poter raggiungere con il getto ogni punto dell'area da proteggere;
2. punti di erogazione idrica all'interno della galleria installati a vista sul lato destro della carreggiata, sopra il marciapiede, o sopra la banchina non carrabile;
3. punti di erogazione dell'impianto protetti dal danneggiamento da urti accidentali dei veicoli in svio oltre che, nel caso di impianto "ad umido", dal gelo e dal fuoco mediante l'adozione di opportune soluzioni tecniche o gestionali finalizzate a garantire la pronta disponibilità dell'erogazione di estinguente in caso di emergenza.

SISTEMI DI MITIGAZIONE

Il VIRTUNEL è un sistema che simula la caduta della pioggia a velocità bassissima producendo l'uscita di un fluido omogeneo e continuo su tutta l'altezza, creando in senso longitudinale o trasversale una cortina d'acqua.

Il sistema crea una schermatura termica per impedire che il fumo e i gas caldi provenienti da un incendio all'interno della galleria, possano invadere le vie di uscita.

Realizzato attraverso la giunzione di elementi Modulari in acciaio inox, di lunghezza pari a 3/6m, formando settori idraulicamente autonomi (long.75m.).



VIRTUNEL- Laboratorio



VIRTUNEL- Imbocco



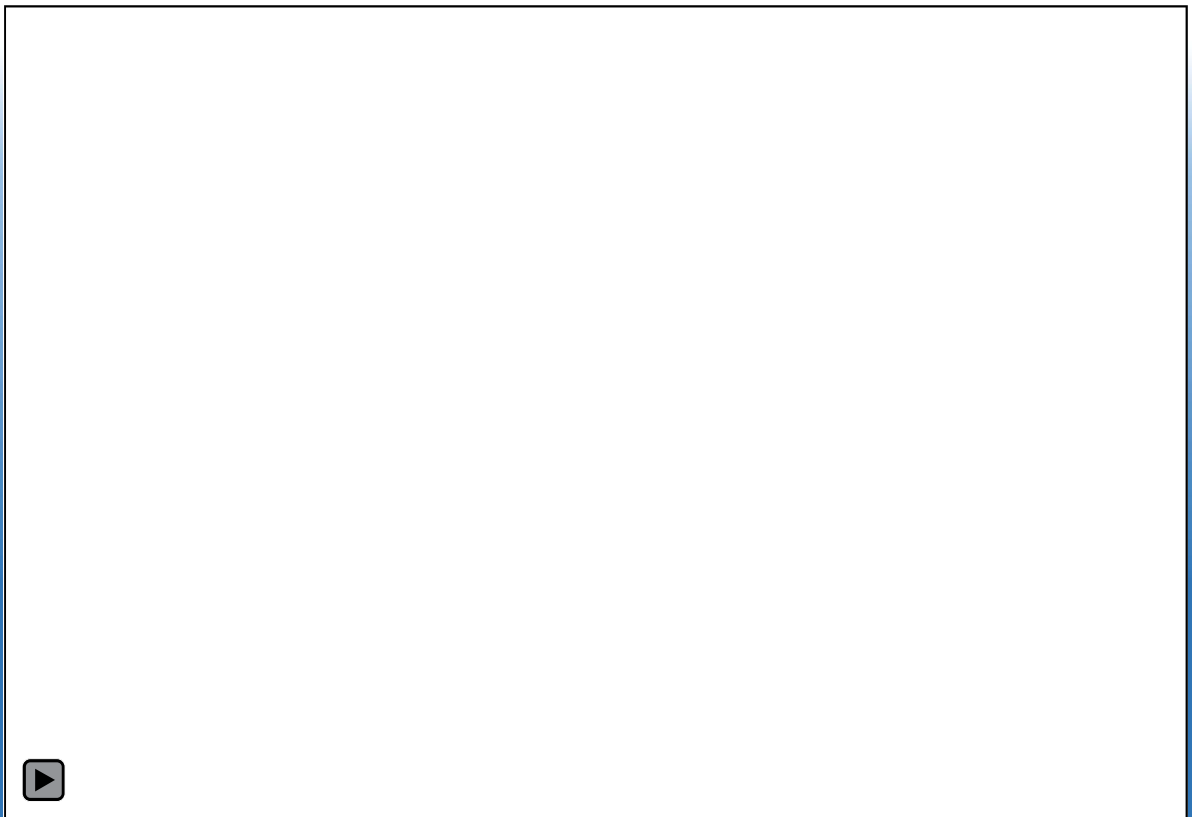
VIRTUNEL- Attiv. a monte



VIRTUNEL- Attiv. A valle



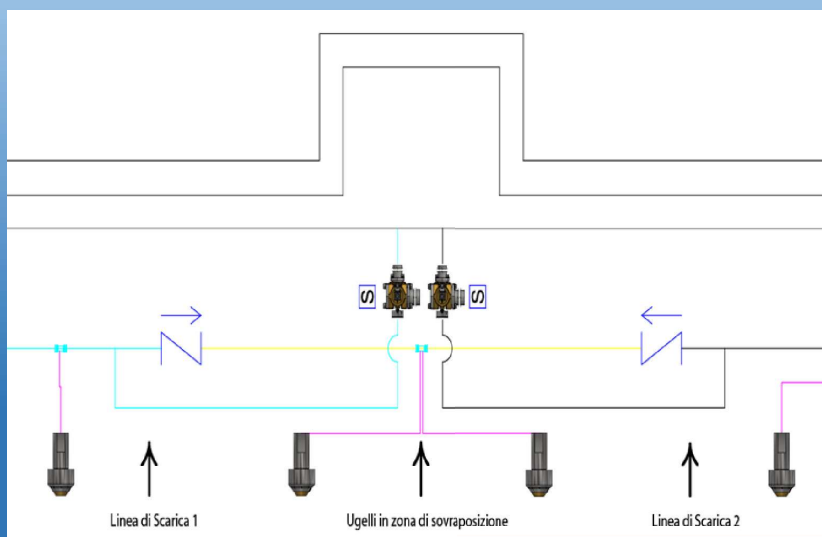
VIRTUNEL- Stratificazione- A valle



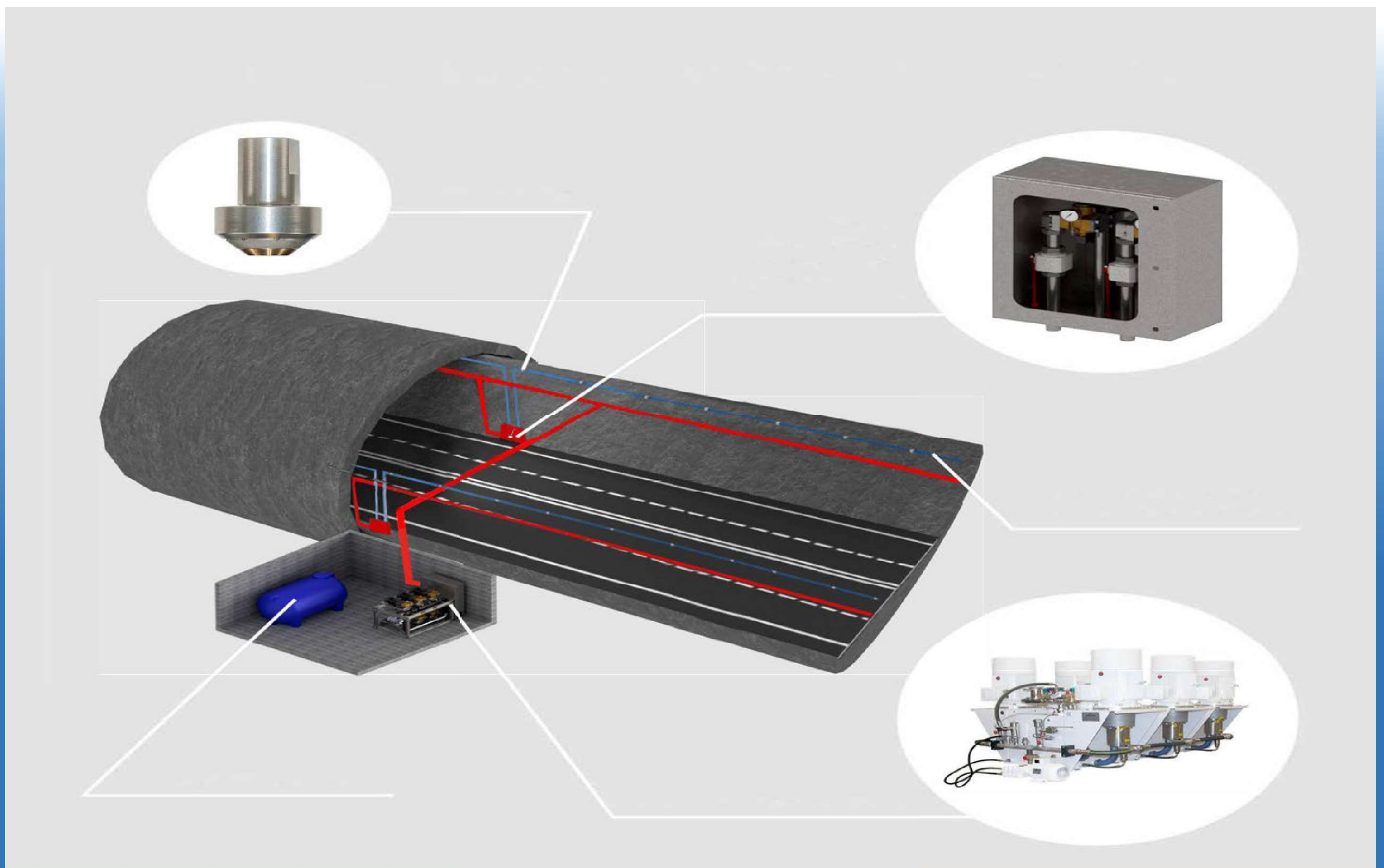
TUNNEB Sistema automático de extinción de incendios

Il TUNNEB è un sistema di acqua nebulizzata ad alta pressione che utilizza, sostanzialmente, una combinazione di effetti: il raffreddamento, l'inertizzazione dell'ossigeno presente ed il blocco della trasmissione del calore radiante.

- Entrata in funzione automatica e indipendente di ogni zona in maniera tale che si apra solo la zona più vicina al focolaio.
- Crea una schermatura termica nella zona interessata dall'evento.
- Dalla rete di distribuzione dell'impianto idrico antincendio principale vengono derivate, attraverso l'utilizzo di elettrovalvole, tratti di tubazione secondaria, complete di distributori, collettori ed erogatori multi ugello.



TUNNEB



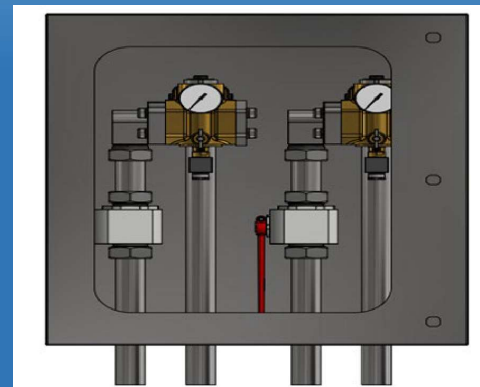
TUNNEB

La galleria viene divisa in parti uguali di lunghezza pari a 75 mt, ciascuna protetta con 20 ugelli erogatori, installati ogni 4 metri, attivati contemporaneamente dalla valvola di zona.

Tutti gli ugelli afferenti alla medesima sezione sono collegati tramite una tubazione in acciaio inossidabile da DE 42mm lasciata priva di acqua al suo interno fino alla valvola di sezionamento motorizzata gestite dal sistema di rilevamento incendi.

L'attivazione dell'impianto avviene in forma automatica attraverso l'interazione con il sistema di rilevazione lineare di temperatura del tipo sensorico che individua con assoluta precisione l'ubicazione del focolaio all'interno della galleria.

Es. N° 20 ugelli; P=62bar; C= 700l/min.; P= 5x30kW



SISTEMI DI MITIGAZIONE AD ACQUA NEBULIZZATA AD ALTA PRESSIONE

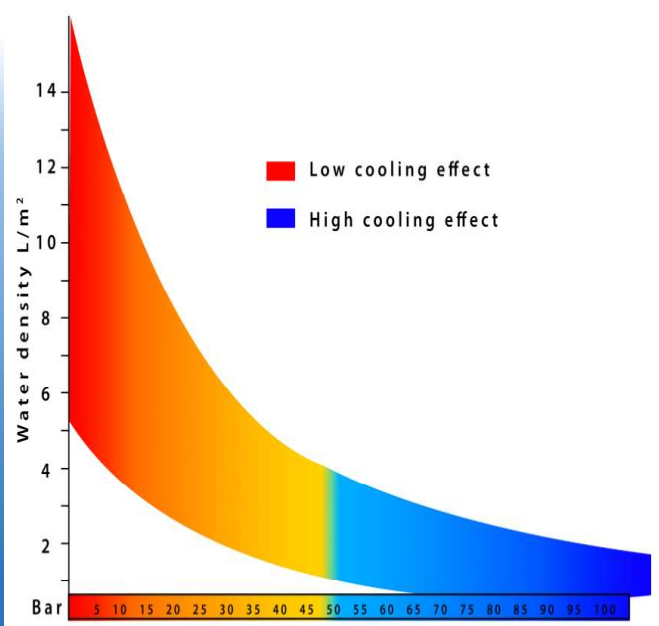


LO STATO DELL'ARTE

Gli impianti ad acqua nebulizzata rappresentano lo stato dell'arte per quanto riguarda l'impiantistica fissa antincendio in molti settori che vanno in maniera trasversale dalla protezione di grandi navi da crociera alle strutture ricettive, ai musei , alla grande distribuzione fino ad arrivare alla protezione di siti industriali, di macchinari, di cabine di trasformazione fino alla più recente applicazione per i centri di calcolo e data center per le comunicazioni.

Grazie alla nebulizzazione dell'acqua, alla sua energia cinetica dovuta all'alta pressione, il sistema garantisce eccezionali capacità estinguenti e di raffreddamento delle zone interessate da incendio utilizzando una frazione dell'acqua che viene utilizzata dai tradizionali sistemi a diluvio.

Lo stato dell'arte e la finalità dei test in scala reale.



All'aumentare della pressione di scarica, la dimensione media delle gocce d'acqua generate diventa più piccola. L'evaporazione viene facilitata ed il cambio di stato assorbe calore al fuoco, incrementando drasticamente l'effetto raffreddante.

L'efficacia del sistema nella protezione delle gallerie è stata dimostrata con test al fuoco in scala reale, gli unici che possono fornire dati concreti sull'andamento di temperature, di concentrazione dei gas tossici e formazione di fumi stratificati.

Testing facility presso San Pedro de Anes

I test in scala reale si sono svolti in Spagna , presso il laboratorio Applus+TST che dispone di un tunnel costruito fuori terra con le caratteristiche di un vero e proprio tunnel stradale, attrezzato come laboratorio.



Scenario di incendio:

I carichi incendio hanno il compito di simulare diverse tipologie di veicolo e di merci trasportate e la loro curva di rilascio termico (HRR Heat release rate)

Sono stati simulati due scenari utilizzando incendi di Classe A tramite l'utilizzo di pallet di legno impilati su una struttura in cemento e incendi di Classe B mediante vasche riempite di liquido infiammabile (Gasolio)

Le curve di rilascio termico di riferimento provengono da prove al vero di incendio di diverse tipologie di veicolo

Incendio auto: circa 5MW
Incendio furgone: circa 10MW
Incendio autobus: circa 25MW
Incendio camion con carico: 100-150MW

Scenario di incendio:

Il sistema ad acqua nebulizzata è stato testato con i seguenti scenari di incendio:

30 MW Classe A : 78 pallet di legno

50 MW Classe A : 128 pallet di legno

100MW Classe A : 252 pallet di legno

200MW Classe A : 544 pallet di legno

60MW Classe B: 32mq (795 litri di gasolio)



Procedure di test:

Gli ugelli , con un K Factor di 4,2 sono stati installati su entrambi i lati del tunnel. Per le configurazioni da 30 e 50MW una sola fila è stata attivata, per gli altri test (100,200MW Classe A e 60MW Classe B) entrambe le file sono state attivate.

- Tutti gli ugelli hanno una inclinazione di 40°
- La spaziatura tra gli ugelli è di 4 metri.
- Sono stati installati 20 ugelli per lati, per una
- protezione totale di 80 metri di galleria (Modulo da 75+5m)



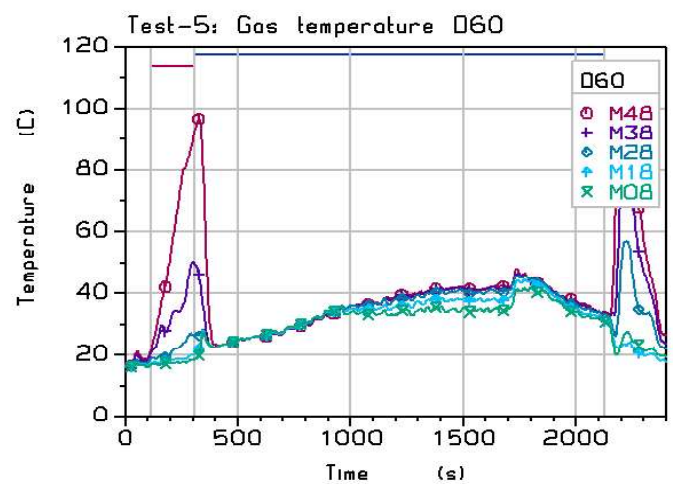
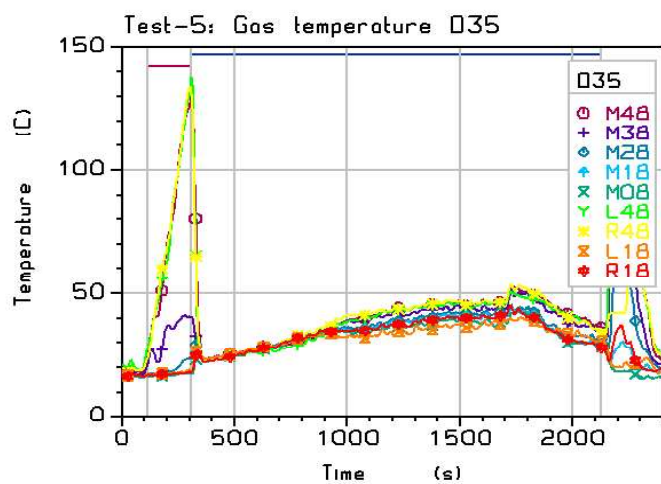
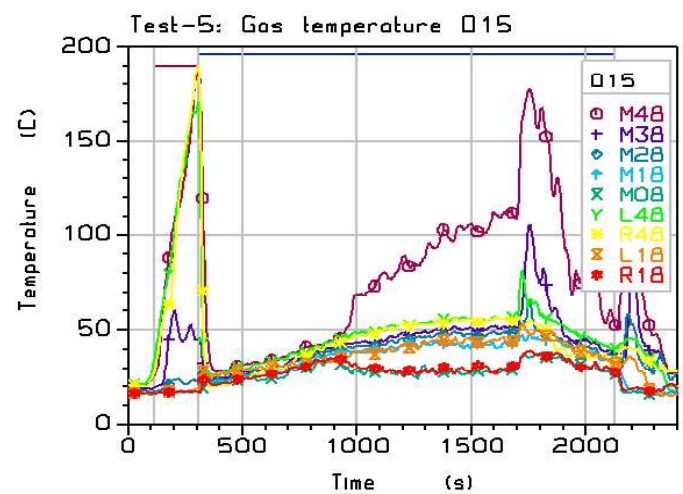
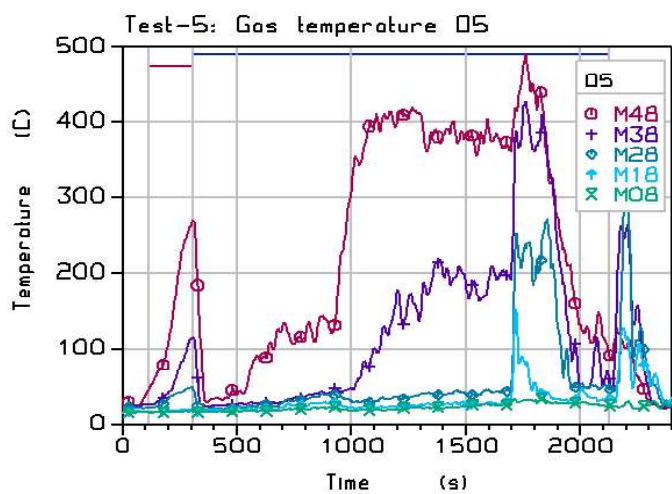
Procedure di test:

- Il fuoco per gli incendi di classe A viene fatto partire frontalmente rispetto alla direzione della ventilazione usando 2 vasche di benzina posizionate sotto ai pancali. Al segnale di inizio, viene acceso il combustibile su entrambe le vasche.
- Il sistema di acqua nebulizzata viene fatto partire 2/3 minuti dopo la rilevazione dell'incendio (per simulare i ritardi introdotti dal riempimento e pressurizzazione della linea).
- La rilevazione determina la presenza di incendio quando la temperatura in volta raggiunge i 60°C.
- La durata dei test è fissata in 30 minuti dopo l'attivazione del sistema.
- In tutti gli scenari è presente la ventilazione (velocità critica a 2/3 metri/secondo).

Mitigazione -Test 100MW



Test 50MW- Temperatura fumi



Valori misurati- Criterio di sopravvivenza

- **TEST Scenario da 30 MW - Risultati**

Stato critico	Valori di sopravvivenza	Valori misurati
Temperatura ambiente U35 m	60 °C	22 °C
Flusso termico radiante U15m	5,0 kW/m ²	0,2 kW/m
Flusso termico radiante U35m	2,5 kW/m ²	<0,2 kW/m
Visibilità	15m	> 15m
FED	<=0,3	U35=0 / D35=0,07

Valori misurati- Criterio di sopravvivenza

- **TEST Scenario da 50 MW - Risultati**

Stato critico	Valori di sopravvivenza	Valori misurati
Temperatura ambiente U35 m	60 °C	18 °C
Flusso termico radiante U15m	5,0 kW/m ²	0,64 kW/m
Flusso termico radiante U35m	2,5 kW/m ²	<0,6 kW/m
Visibilità	15m	> 15m
FED	<=0,3	U35=0 / D35=0,09

Valori misurati- Criterio di sopravvivenza

- **TEST Scenario da 100 MW - Risultati**

Stato critico	Valori di sopravvivenza	Valori misurati
Temperatura ambiente U35 m	60 °C	12 °C
Flusso termico radiante U15m	5,0 kW/m ²	0,27 kW/m
Flusso termico radiante U35m	2,5 kW/m ²	<0,2 kW/m
Visibilità	15m	> 15m
FED	<=0,3	U35=0 / D35=0,12

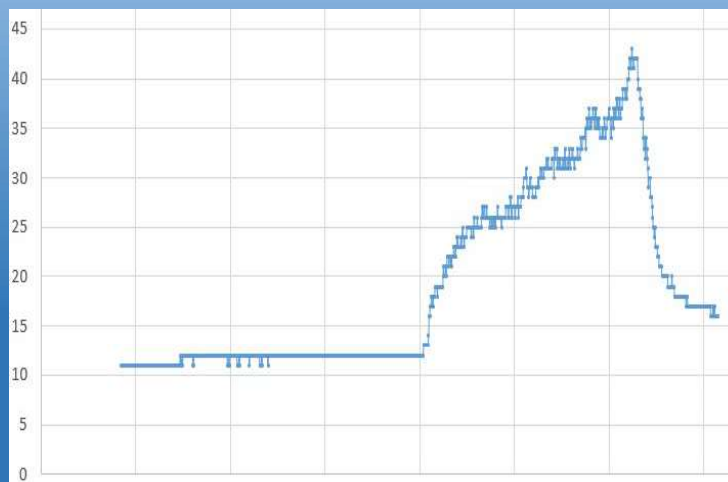
Valori misurati- Criterio di sopravvivenza

- **TEST Scenario da 200 MW - Risultati**

Stato critico	Valori di sopravvivenza	Valori misurati
Temperatura ambiente U35 m	60 °C	20 °C
Flusso termico radiante U15m	5,0 kW/m ²	1,3 kW/m
Flusso termico radiante U35m	2,5 kW/m ²	<0,2 kW/m
Visibilità	15m	> 15m
FED	<=0,3	U35=0 / D35=0,12

Conclusioni

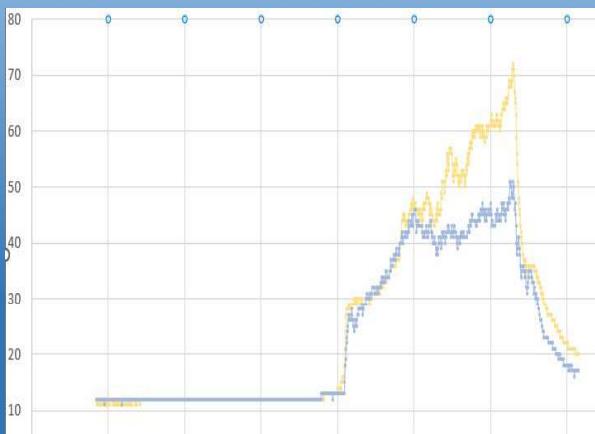
L'ambiente circostante all'incendio è raffreddato in maniera drastica dal sistema di mitigazione. A 15 metri dal centro del carico incendio, in direzione opposta alla ventilazione, la temperatura non risente dell'incendio. A 15 metri nella direzione della ventilazione, la temperatura ad 1,5 metri dal terreno è sorprendentemente pari a 42°C sul picco.



Temperatura a valle dell'incendio a 1,5m di altezza

Conclusioni

- A 5 metri dalla fine del carico incendio è stata posizionata una pila di pancali come target per dimostrare la capacità del sistema di non propagare l'incendio. In nessun test i pancali hanno mostrato segni di innesco o carbonizzazione.



Temperatura sul target di pancali a 5 metri dal carico incendio



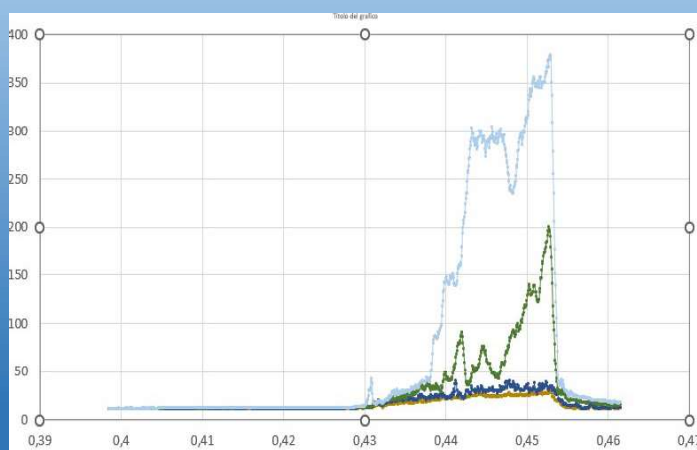
Conclusioni

- Il fenomeno del backlayering è azzerato istantaneamente con velocità critica estremamente bassa. Nel video sotto è possibile apprezzare la scomparsa della stratificazione del fumo immediatamente dopo l'attivazione del sistema. In questo video il carico incendio è di Classe B, il combustibile è gasolio , con produzione estrema di fumo.

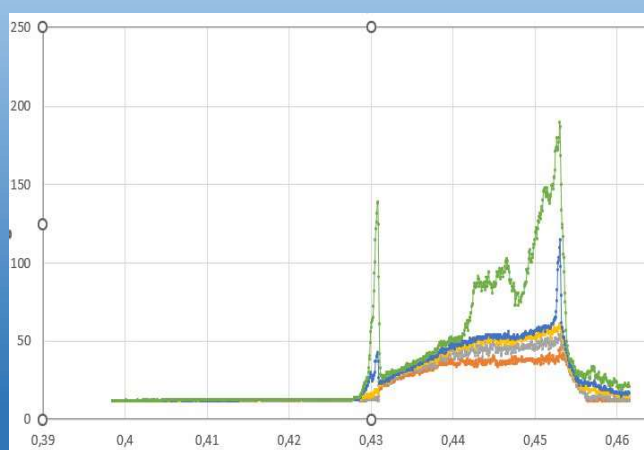


Conclusioni

- La temperatura in volta presenta valori elevati solamente sopra all'incendio.
- Dai grafici di temperatura si evince che appena fuori dalle fiamme la temperatura decresce rapidamente.



Temperatura in volta a 10 metri
(a valle della ventilazione)
dal centro del carico incendio



Temperatura in volta a 25 metri
(a valle della ventilazione)
dal centro del carico incendio

Conclusioni

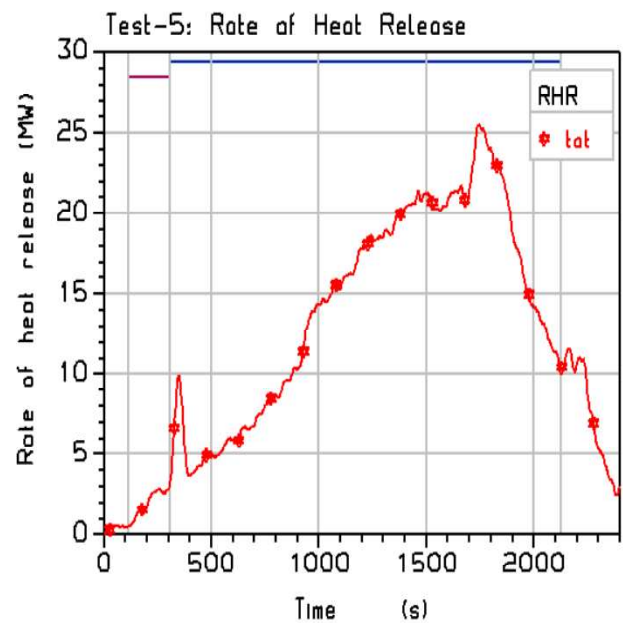
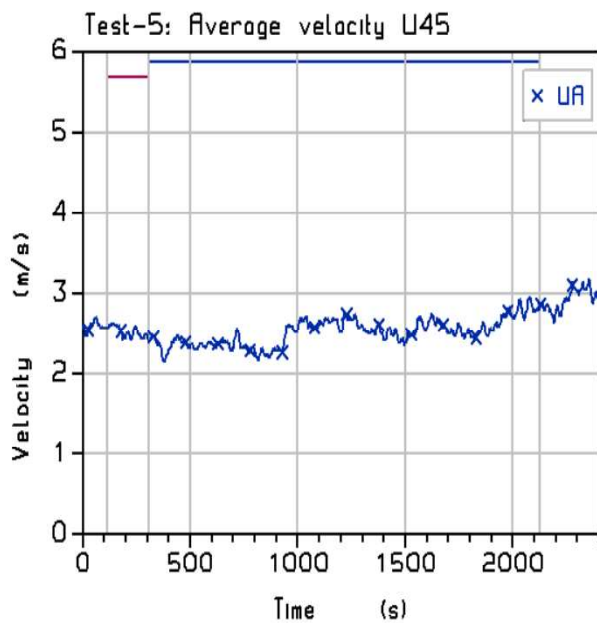
La curva di rilascio del calore è tenuta sotto controllo dal sistema di mitigazione. I carichi incendio potenziali vengono ridotti ad una frazione:

- 30MW di carico raggiungono il picco di 7MW (23% del carico nominale)
- 50MW di carico raggiungono il picco di 27MW (53% del carico nominale)
- 100MW di carico raggiungono il picco di 30MW (30% del carico nominale)
- 200MW di carico raggiungono il picco di 47MW (24% del carico nominale)

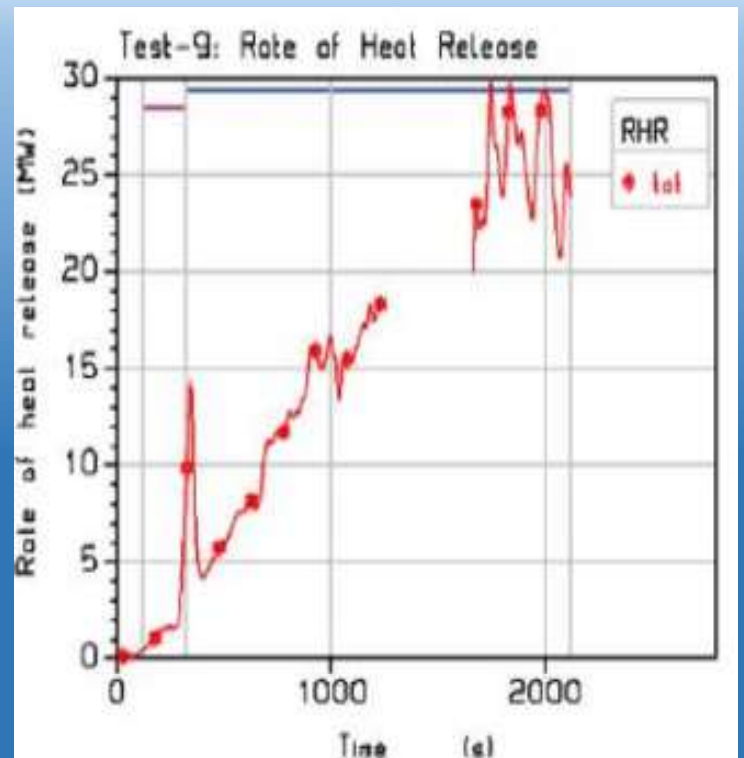
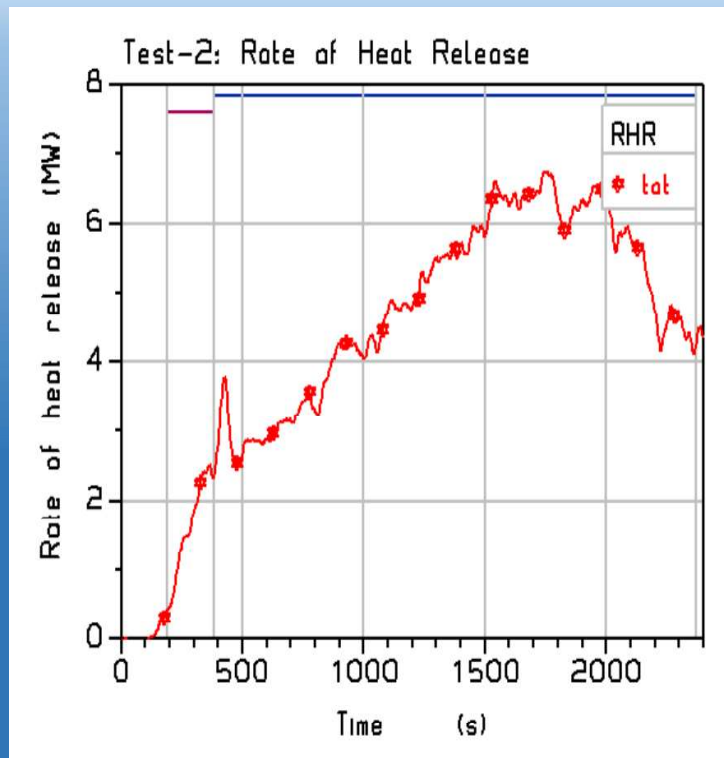
Test - 50MW - VC e HRR

Test-5

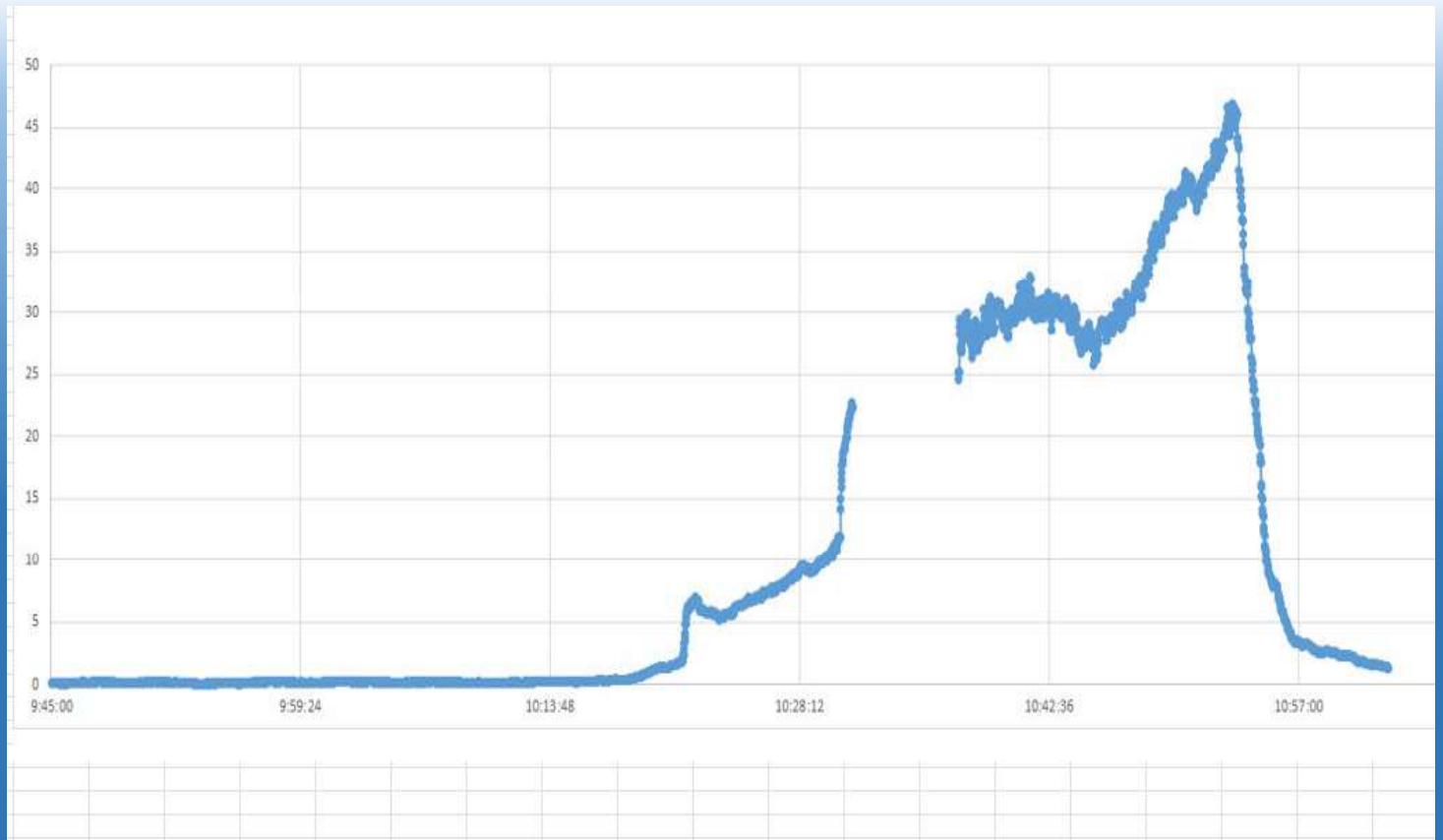
22 Sep 2020



HRR 30 e 100MW



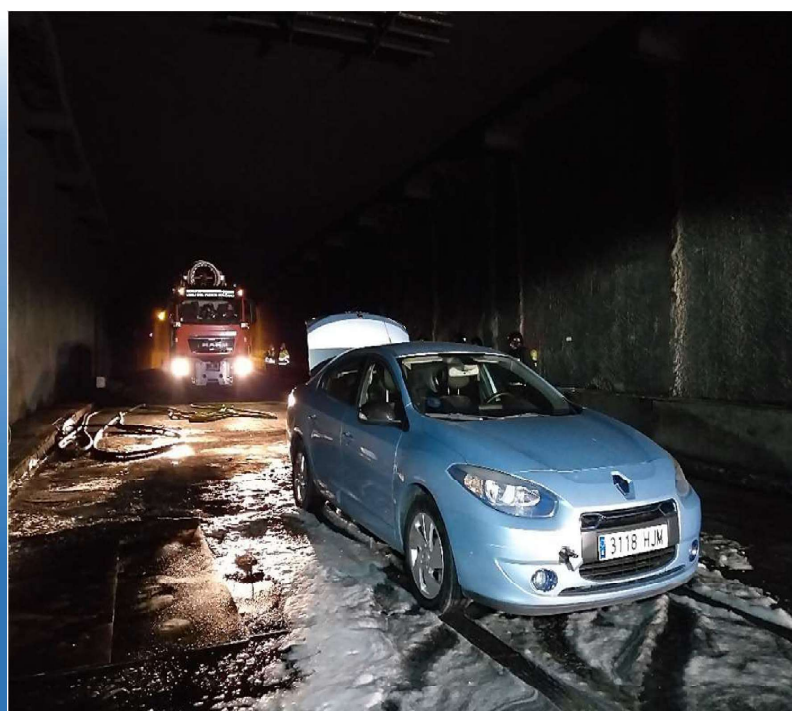
HRR 200MW



MITIGAZIONE IN GALLERIA



NUOVI VETTORI ENERGETICI(NEC)-MACCHINE ELETTRICHE-PROVE DI SICUREZZA



**Estinzione totale con immersione
in acqua**



Autoaccensione dopo svuotamento



**NUOVI VETTORI ENERGETICI(NEC)-MACCHINE ELETTRICHE-
PROVE DI SICUREZZA
LABORATORIO DI RICERCA**

AMBITO DEI TEST

- Prove di resistenza al fuoco.
- Test elettrico: sovraccarico, cortocircuito, sovratensione, sovracorrente, campi elettromagnetici.
- Test termico: propagazione termica, incendio di combustibili, riscaldamento esterno
- Test meccanico: penetrazione di elementi, schiacciamento, caduta, deformazione, vibrazione
- Test ad hoc con strutture interne ed esterne.
- Simulazione: Analisi del trasferimento di calore e del flusso dei fluidi con modelli computazionali, strumenti tra cui la dispersione di gas tossici e la modellazione della combustione.
- Analisi meccanico con strumenti analitici (tensioni e deformazioni strutturali).

GRAZIE