



Politecnico
di Torino



ENERGY
CENTER

Redazione dell'Analisi di Rischio

“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”

Sede ISA – Via del Commercio, 13
25 giugno 2024

Romano Borchellini

Dipartimento Energia

Referente del Rettore per l'Energy Center

Politecnico di Torino

Membro Commissione Permanente Gallerie



SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO

Dal Road Tunnel Manual del PIARC

<http://tunnelsmanual.piarc.org>

"In una galleria stradale moderna, **la sicurezza è garantita per mezzo di un approccio integrato**. È disponibile un insieme di strumenti ben sviluppati - tra cui la valutazione dei rischi, ispezioni di sicurezza e procedure di sicurezza - per aiutare a raggiungere gli obiettivi di sicurezza dalle fasi di pianificazione iniziale e progettazione di una nuova galleria fino all'operatività e riqualificazione delle gallerie esistenti."

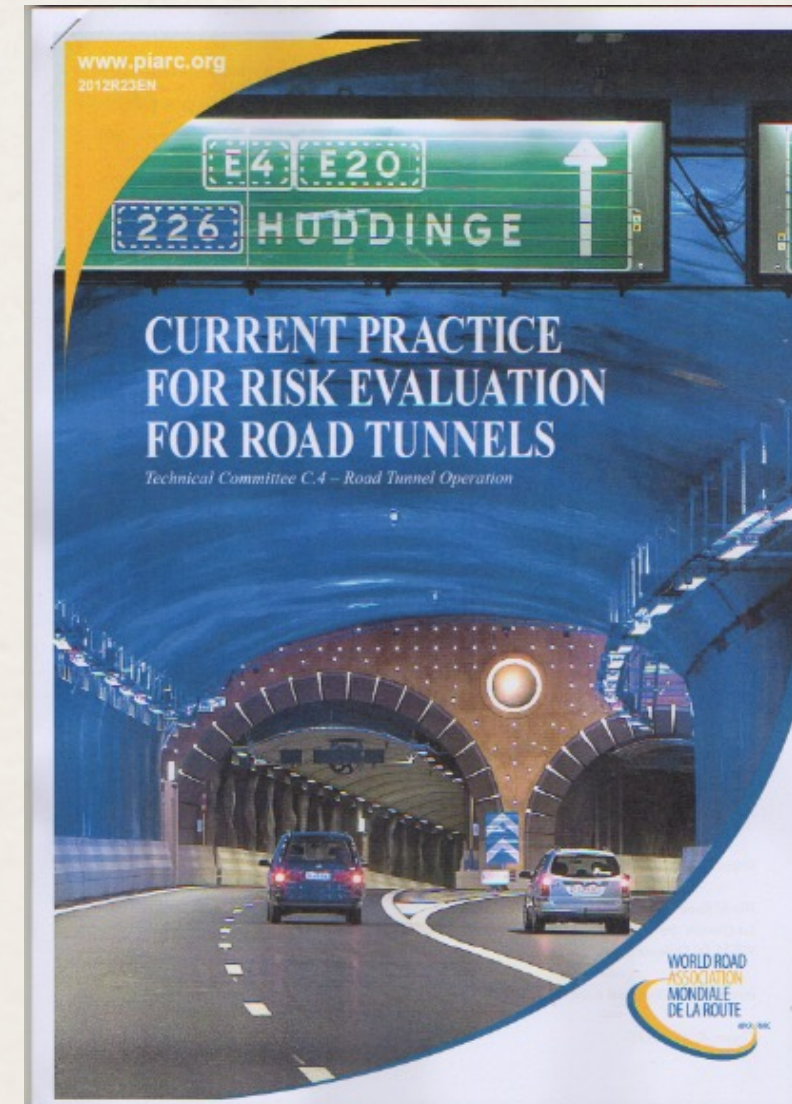
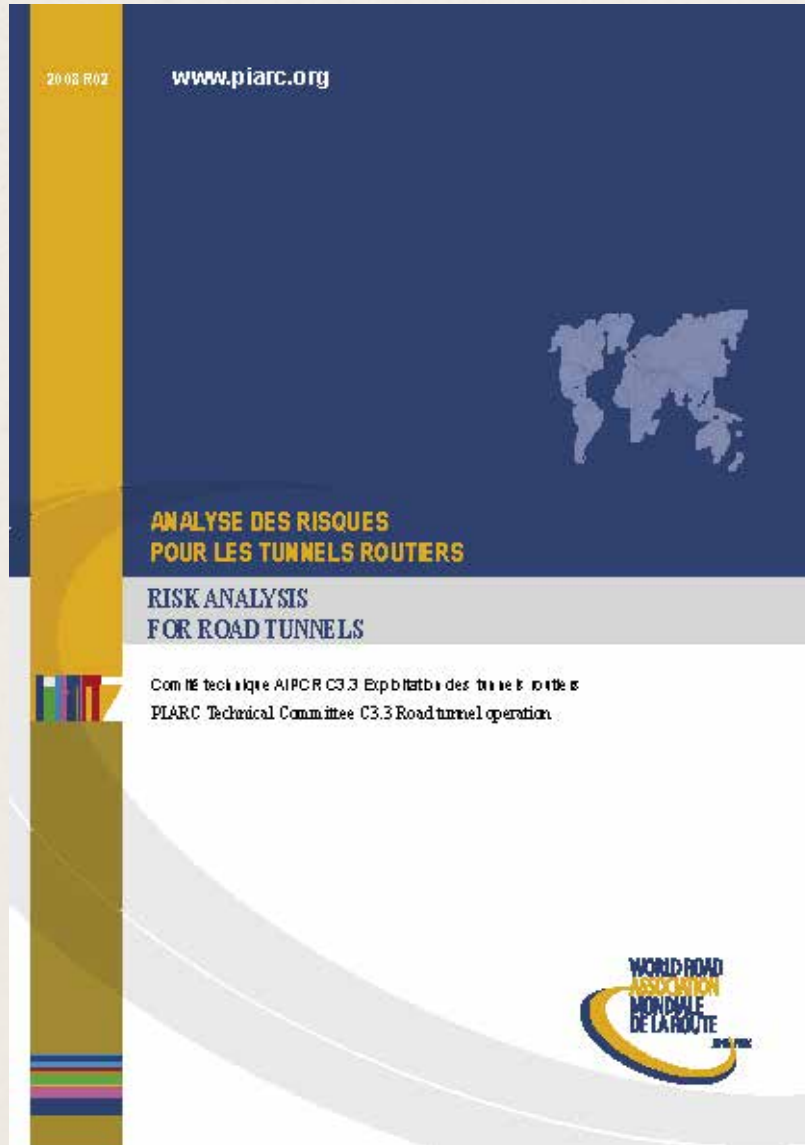


Politecnico
di Torino



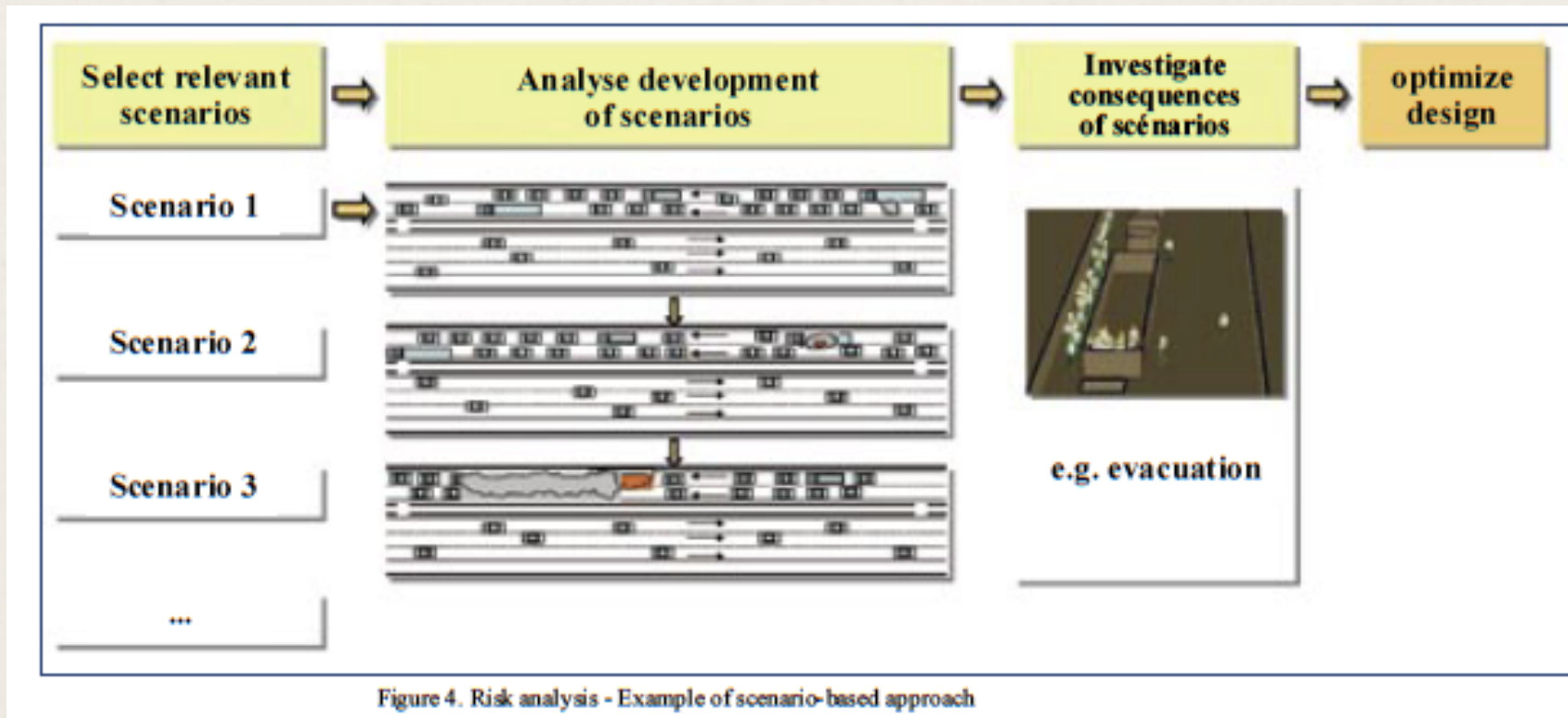
ENERGY
CENTER

SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO



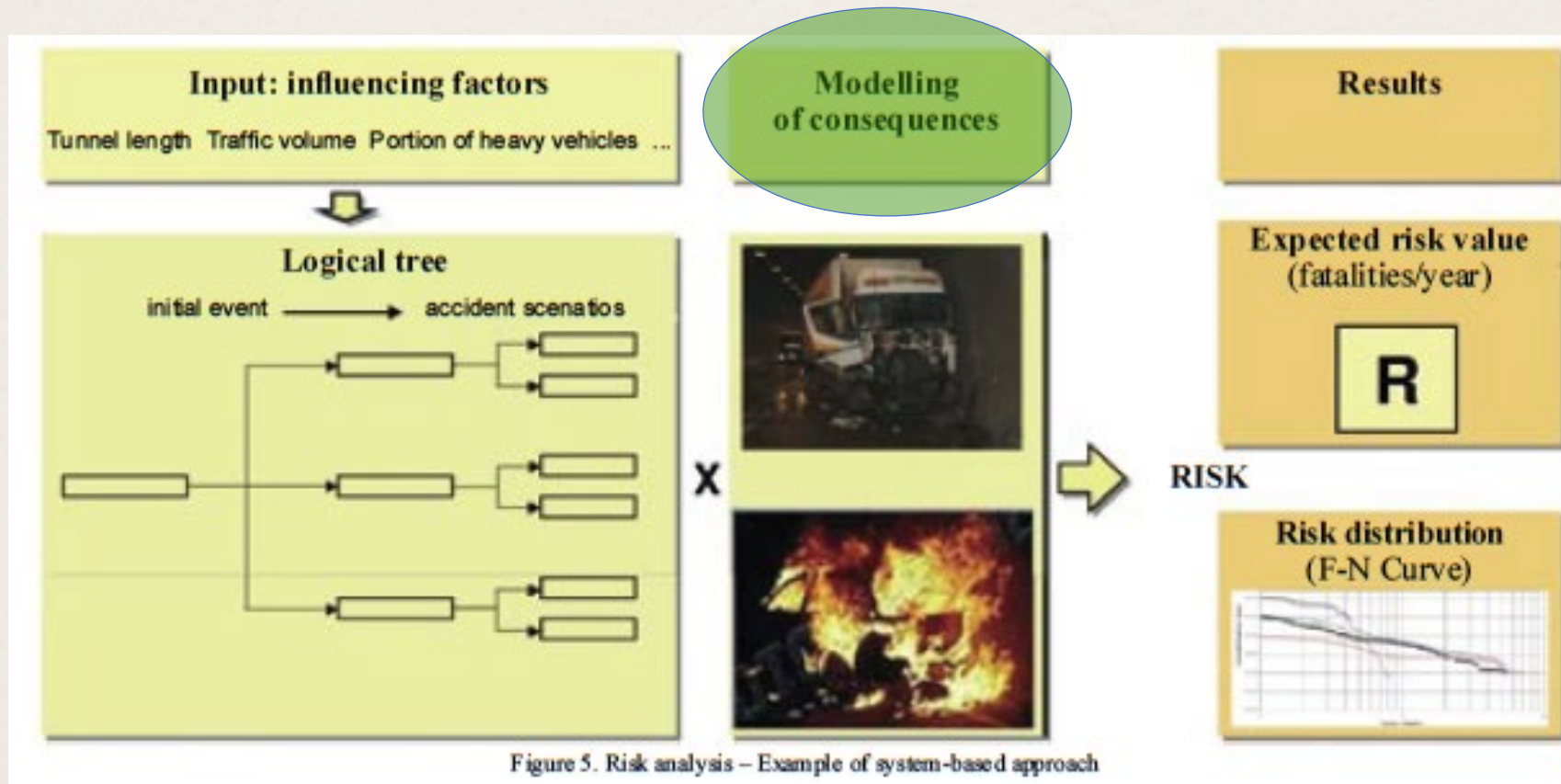
SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO

Approccio basato su analisi di scenario (da Current Practice for risk evaluation for road tunnels 2012R23EN PIARC)



SICUREZZA E ANALISI DI RISCHIO

Approccio basato su analisi di sistema (da Current Practice for risk evaluation for road tunnels 2012R23EN PIARC)



Epigrafe

Premessa

- 1. Oggetto e campo di applicazione.*
- 2. Definizioni.*
- 3. Misure di sicurezza.*
- 4. Commissione permanente per le gallerie.*
- 5. Gestore della galleria.*
- 6. Responsabile della sicurezza.*
- 7. Notifica dell'autorità per le gallerie.*
- 8. Gallerie il cui progetto preliminare non è stato ancora approvato.*
- 9. Gallerie il cui progetto preliminare è già stato approvato ma che non sono ancora aperte al traffico.*
- 10. Gallerie già in esercizio.*
- 10-bis. Disciplina del processo di adeguamento delle gallerie aperte al traffico ai requisiti minimi di sicurezza di cui all'articolo 3.*
- 10-ter. Disciplina transitoria del processo di adeguamento delle gallerie aperte al traffico ai requisiti minimi di sicurezza di cui all'articolo 3.*
- 11. Funzioni ispettive.*
- 12. Ispezioni periodiche.*
- 13. Analisi di rischio.*

In Italia il documento di riferimento per quanto riguarda la sicurezza in galleria è il D.Lgs. 264/2006

- 14. Derghe per innovazioni tecniche.*
- 15. Relazioni periodiche.*
- 16. Sanzioni.*
- 17. Disposizioni finanziarie.*
- 18. Disposizioni finali.*
- 19. Entrata in vigore.*

Allegato 1

Allegato 2

Allegato 3

Allegato 4

Allegato 4-bis

Allegato 4-ter



Politecnico
di Torino



ENERGY
CENTER

D.LGS. 264/2006

Il D.lgs 264/2006 definisce la documentazione di sicurezza che il Gestore presenta alla Commissione permanente per le gallerie per l'ottenimento della conformità e per la successiva richiesta di Messa in servizio. Inoltre, il Decreto introduce l'Analisi di Rischio come strumento utile per la valutazione prestazionale delle misure di sicurezza adottate nelle gallerie nei casi previsti dall'art. 13 del Decreto stesso.



ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

- Nel seguito si evidenziano alcuni punti caratterizzanti le richieste del D.Lgs. 264/2006 (Articolo 13 e Allegato 3)
- art. 13 comma 3 SPIEGARE PERCHE' SI SVOLGE ANALISI DI RISCHIO
- *“L'analisi di rischio deve essere svolta, secondo le modalità previste nell'allegato 3, per le gallerie esistenti che presentano carenze rispetto ai requisiti di sicurezza di tipo strutturale di cui all'allegato 2, ovvero per quelle gallerie che presentano caratteristiche speciali di cui all'articolo 4, comma 8. L'analisi di rischio deve dimostrare che opportune misure di sicurezza alternative o integrative, rispetto a quelle previste dall'allegato 2, siano tali da realizzare condizioni con livello di protezione equivalente o accresciuto rispetto agli obiettivi di sicurezza definiti dall'articolo 3, con particolare riferimento alla sicurezza degli utenti, del personale addetto, dei servizi di soccorso in genere e dei servizi resi dal Corpo nazionale dei vigili del fuoco.”*

ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

- Allegato 3 - Premessa
- *“La metodologia qui presentata si riferisce esclusivamente all'analisi degli eventi considerati critici nello specifico ambiente confinato delle gallerie, vale a dire incendi, collisioni con incendio, sversamenti di sostanze infiammabili, rilasci di sostanze tossiche e nocive.”*
- Allegato 3 - Premessa
- *“L'Analisi di Rischio Quantitativa nelle gallerie stradali deve essere sviluppata adottando un approccio sistemico adatto allo specifico ambito del sistema galleria.*
- *Il livello di dettaglio da adottare nell'applicazione della metodologia di Analisi di Rischio Quantitativa al sistema galleria stradale deve consentire la determinazione della salvabilità degli utenti per scenari derivanti dagli eventi incidentali considerati critici nello specifico ambiente «Galleria».”*

ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

- Allegato 3 - Metodologia
- *“La metodologia di Analisi di Rischio Quantitativa si **deve riferire ad una galleria determinata** e deve tener conto di:*
 - *incidentalità caratteristica della galleria, rilevata o di progetto;*
 - *tutti gli elementi inerenti alle caratteristiche progettuali della stessa, come la lunghezza, la geometria e la pendenza;*
 - *caratteristiche prestazionali dei requisiti di sicurezza di cui la galleria stessa è dotata;*
 - *condizioni di traffico che incidono sulla sicurezza, quali il volume, la composizione ed il tipo di traffico, in particolare la percentuale di veicoli pesanti in transito giornaliero.”*

Il Sistema galleria: caratteristiche delle gallerie stradali

Molte variabili (dati) possono essere utilizzate per descrivere un tunnel.

[PIARC Tunnel manual](#) [PIARC Tunnel Dictionary](#)

A seconda della situazione che stiamo analizzando, è possibile definire un insieme necessario di variabili.

Le variabili possono essere raggruppate in:

- Geometriche (sezione, lunghezza, carreggiata, ...)
- Traffico (corsie, uni/bidirezionali, capacità e velocità di guida,.....)
- Ambientali (altitudine, morfologia del terreno, condizioni meteorologiche medie ai portali,.....)
- Impianti (ventilazione, sicurezza, illuminazione,...)

La Galleria di Base della Variante di Valico (8734 m) e la galleria S.Lucia (7548 m) sono tra i tunnel di più recente apertura in Italia.



Dati sul traffico

Funzionalità e categoria della strada

I tunnel appartengono a reti per il traffico con diverse funzioni:

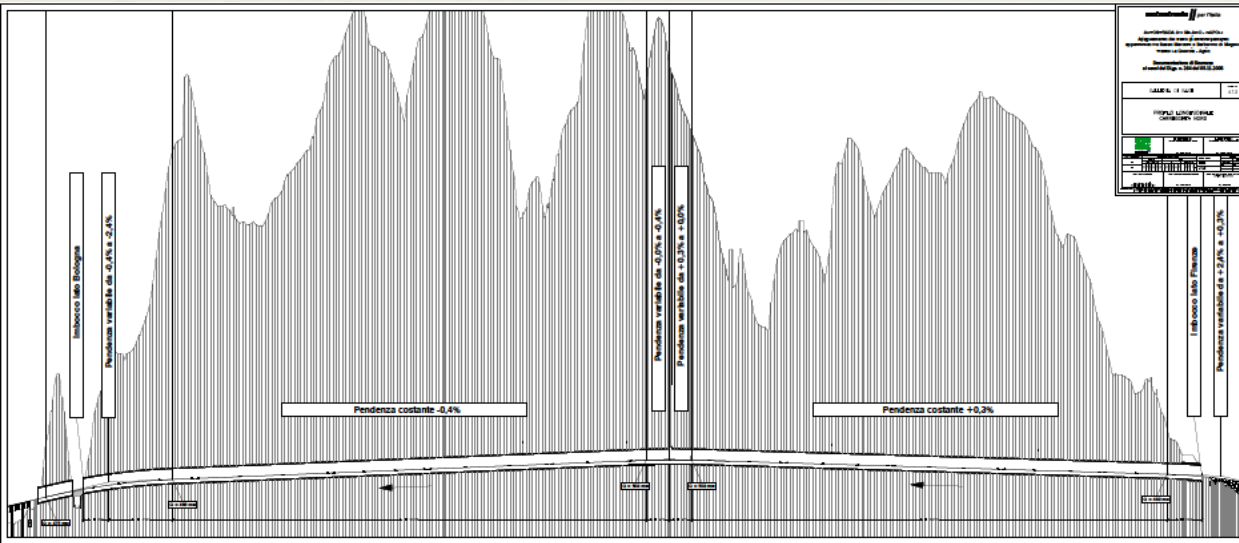
- reti continentali come la TEN o le Interstate Highways negli Stati Uniti per collegare i paesi,
- reti nazionali per collegare le regioni urbane e i centri economici nazionali,
- reti regionali e locali.

Capacità e velocità della strada nella galleria

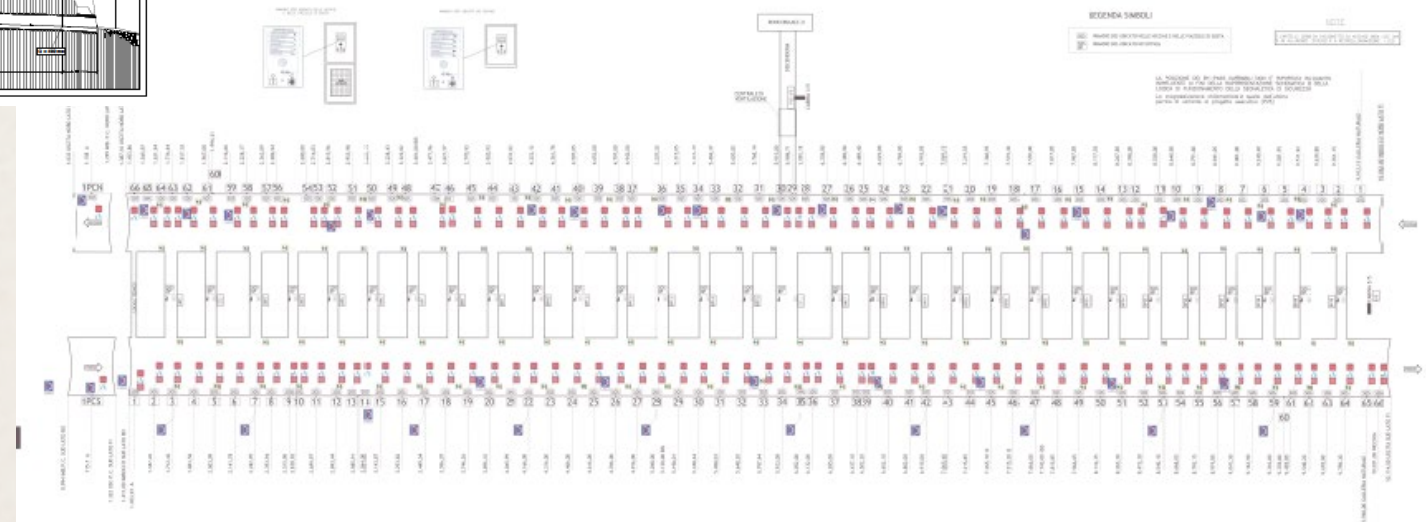
I fattori che influenzano la capacità e la velocità sono: la capacità teorica di una strada ideale, la larghezza delle corsie di traffico e l'area fuori carreggiata, la percentuale di veicoli pesanti, la lunghezza e l'inclinazione e infine il comportamento di guida.

Dati ambientali

altitudine, morfologia del terreno, condizioni meteorologiche medie ai portali,..... necessario per la valutazione dell'effetto camino (stack effect)



Tunnel attraverso le montagne: esempio A1 Variante di valico Galleria di base



Impianti

Un tunnel in condizioni operative non è solo tubo (fornice), marciapiede, corsia,..... ma anche un insieme di attrezzature per fornire:

- Energia elettrica e illuminazione
 - tunnel stradale: emergenza e funzionamento ordinario
 - tunnel ferroviario: principalmente condizioni di emergenza
- Ventilazione
 - gallerie stradali: diluizione dell'inquinamento; sicurezza; controllo termico
 - Una buona ventilazione e aerodinamica sono fondamentali per la moderna progettazione di gallerie, specialmente nei tunnel stradali in cui il comfort e la sicurezza dei passeggeri è di fondamentale importanza.
- Informazioni e dati
 - Dispositivo per la misurazione di visibilità, temperatura, NOx,....
 - Sistema di monitoraggio: rete di trasmissione dati completamente ridondante, rilevamento incendi basato su analisi del fumo, controllo del traffico e degli incidenti con CCTV.
- Impianti antincendio e di impianti di spegnimento fissi (FFFS)

La sicurezza del tunnel include anche....

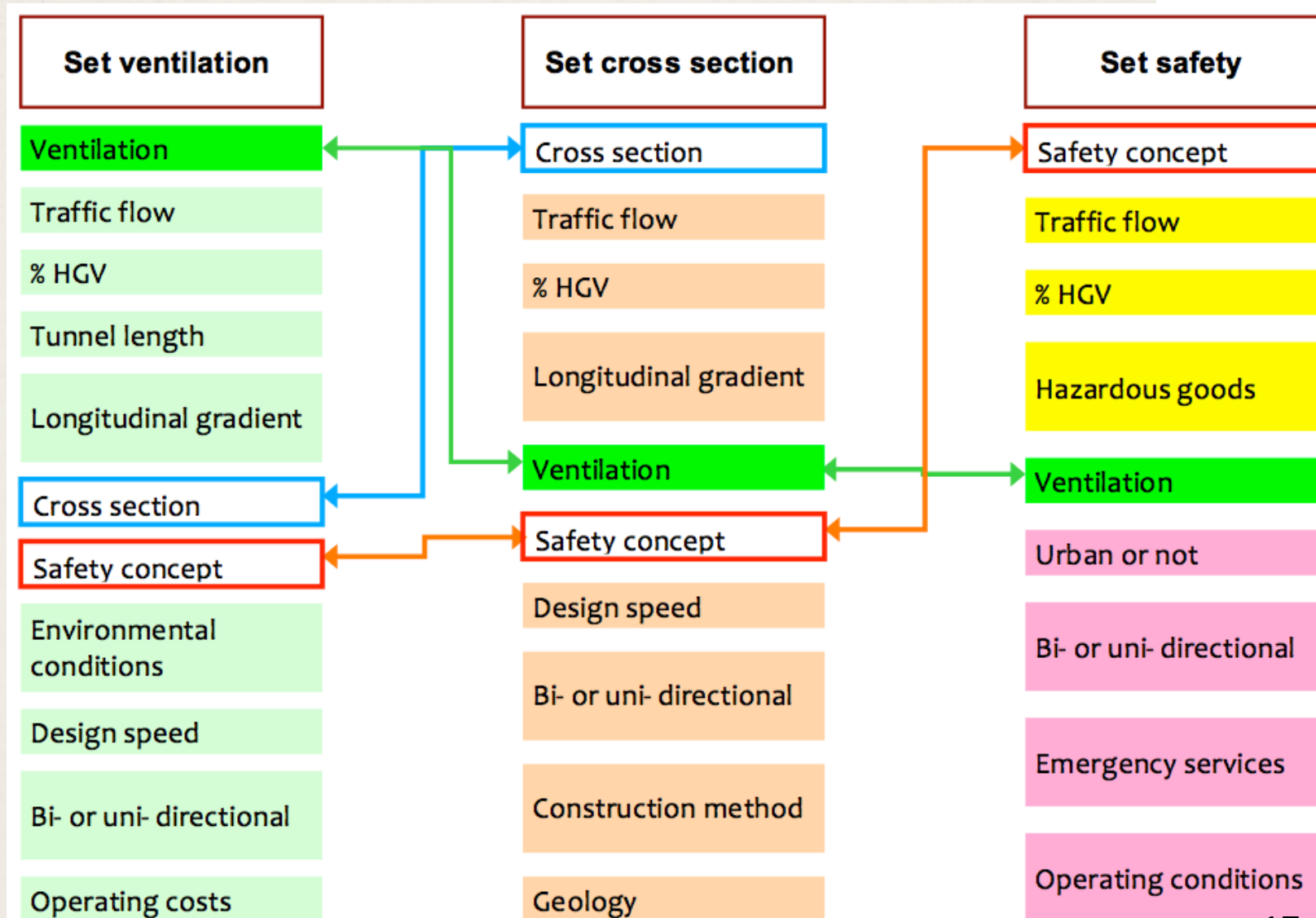
Infine, è importante sottolineare che il **comportamento umano** deve essere considerato nella valutazione della sicurezza della galleria in caso di incendio.

- I tunnel e altri ambienti sotterranei sono spesso percepiti dagli utenti come complessi, confinanti, visivamente monotoni e persino noiosi.
- L'ambiente creato non ha illuminazione naturale, visibilità ridotta e spesso scarsa accessibilità visiva.
- Le persone confinate da tali ambienti possono sentirsi claustrofobiche e temere l'intrappolamento.

Introduzione - Sintesi

IL TUNNEL E' UN SISTEMA COMPLESSO

<http://tunnels.piarc.org/it/aspetti-strategici/sistema-complesso.htm>



ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

- Allegato 3 - Metodologia
- *“Gli scenari incidentali e la loro evoluzione in galleria in termini di pericolosità sono rappresentati mediante modelli che includano come elementi costitutivi **l'albero delle cause, l'evento critico iniziatore e l'albero degli eventi.**”*
- *.”**Gli eventi terminali dei rami dell'albero** degli eventi, determinati in numero dalle combinazioni mutuamente esclusive delle azioni di condizionamento esercitate dalle misure mitigative previste, **individuano gli scenari di fine emergenza possibili.**”*

ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

Allegato 3 - Metodologia

- *“La salvabilità degli eventi in una specifica galleria è determinata attraverso la quantificazione e la zonizzazione del flusso del pericolo all'interno della struttura.*
- *Le diverse zone del flusso del pericolo individuano le condizioni nelle quali si realizza **il processo di esodo degli utenti dalla galleria.***
- *La caratterizzazione del flusso del pericolo è ottenuta modellando l'evoluzione condizionata dai vincoli posti dalle misure di mitigazione previste dei fenomeni chimici e fisici che si instaurano in conseguenza dell'accadimento di eventi critici iniziatori.*
- ***La modellazione** del flusso del pericolo è attuata con livelli di dettaglio diversi a seconda delle necessità ed utilizzando le migliori tecniche note e disponibili.*
- ***I risultati della modulazione del flusso del pericolo costituiscono i dati di ingresso per la simulazione del processo di esodo degli utenti dalla struttura.”***

ANALISI DI RISCHIO – D.LGS. 264/2006

Allegato 3 - Metodologia

- “*Il numero degli utenti coinvolti nel processo di esodo è determinato attraverso la formulazione e la soluzione di idonei modelli di formazione delle code nella galleria analizzata.*”
- Allegato 3 - Obiettivi di Sicurezza e Criteri di Accettabilità
- “*In tutti i casi previsti dal decreto, incluso il caso in cui si debba verificare il livello di rischio di una galleria con caratteristiche speciali, si deve direttamente confrontare la distribuzione cumulata complementare della galleria reale con il limite di rischio tollerabile.*”

Considerazioni sui modelli.....

Noi utilizziamo continuamente modelli e spesso siamo così fiduciosi sulla loro bontà che dimentichiamo il ruolo fondamentale dell'ingegnere nel loro impiego e soprattutto nei passi evidenziati nello schema precedente:

- la scelta del modello
- quesiti dalla realtà al modello
- risposte dal modello alla situazione reale

Con riferimento alla protezione e sicurezza in caso di incendio nei tunnel, l'applicazione della Direttiva comunitaria 2004/54/EC e dell'approccio basato sull'analisi di rischio ha aumentato ulteriormente l'utilizzo dei modelli per l'analisi dei diversi scenari considerati

Considerazioni sui modelli.....

I modelli utilizzati nell'analisi della sicurezza in caso d'incendio in un tunnel sono molti ma possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

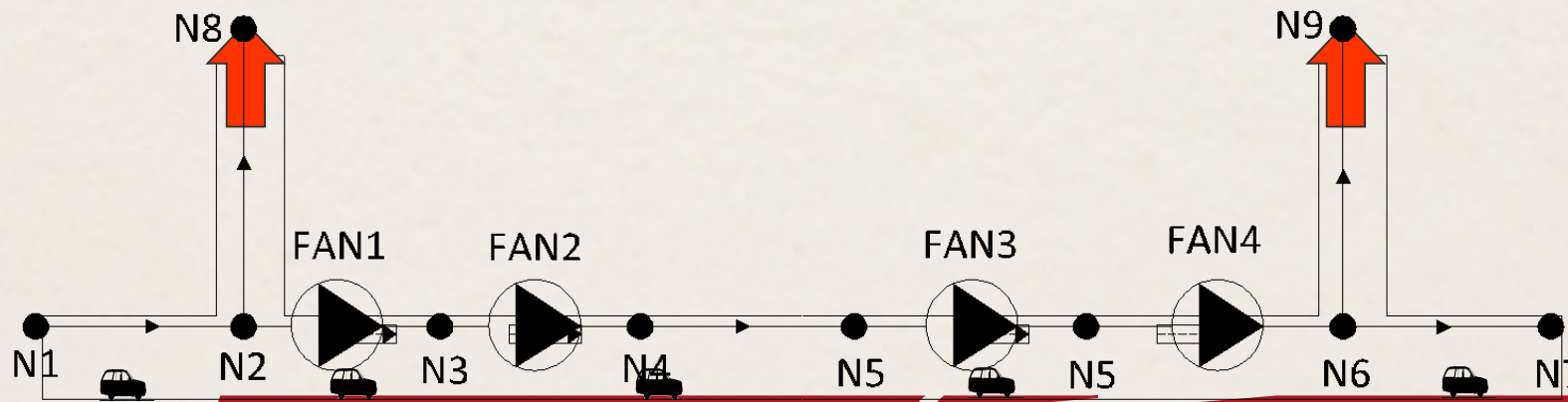
- Mono-dimensionali (1D models)
- Modelli a zona
- 3D

Questi modelli sono utilizzati per studiare:

- Ventilazione ordinaria
- Strategie di ventilazione
- Propagazione dei fumi
- Campo di temperature
- Produzione e diffusione degli inquinanti
- Evacuazione
- Applicazione di impianti fissi di spegnimento (FFFS)
-

Modelli utilizzati nella sicurezza antincendio nelle gallerie - Modello di rete 1D

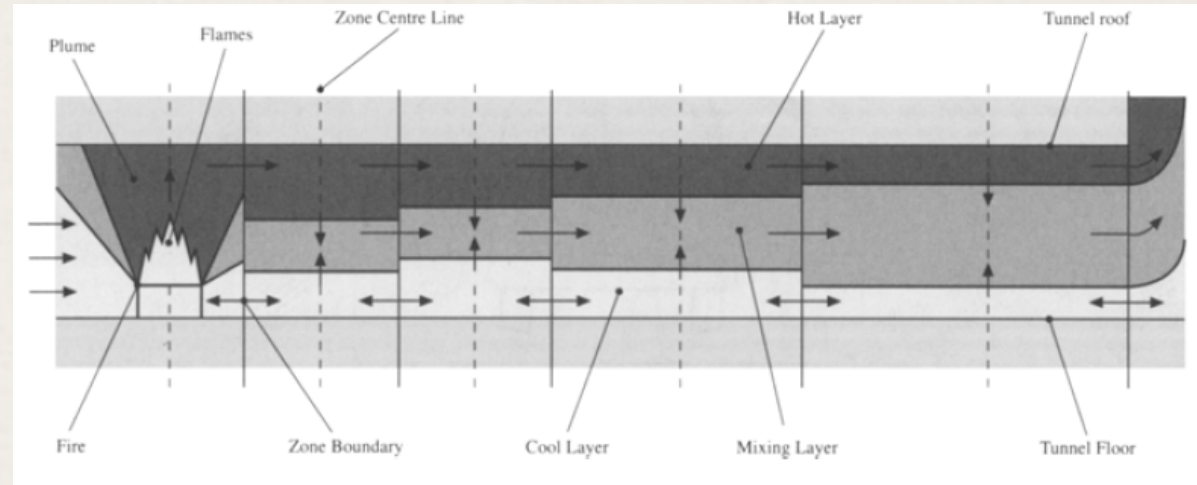
- Simulazioni veloci di stato stazionario/transitorio
- Utilizzano formulazione generalizzata di Bernoulli
- Servono costanti di calibrazione
- Definizione diretta delle condizioni al contorno
- Prevedere il comportamento globale del tunnel e del sistema di ventilazione
- Utilizzato per scopi di progettazione



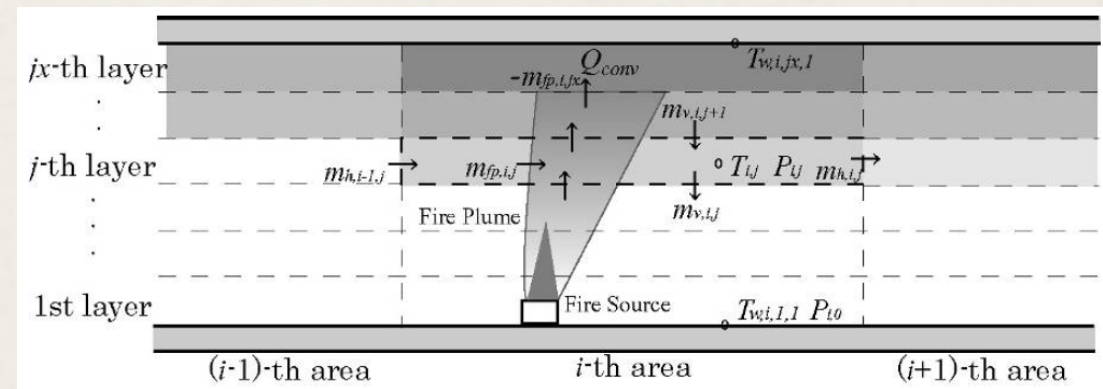
Modelli utilizzati nella sicurezza antincendio nelle gallerie - Modelli a zona

- 2 or more layers are used to solve temperature stratification
- Reasonably fast simulations compared to CFD models
- Results are limited since the accuracy relies on calibration constants to solve plume entrainment and mixing between layers (the application in not straightforward tunnel environments)

3-Zone model with mixing layer FASIT, Charters et. Al. (1994)

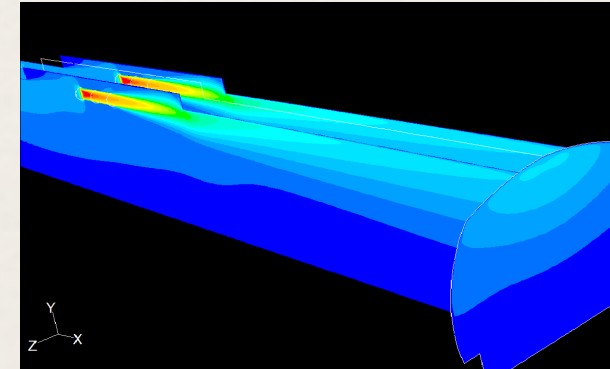
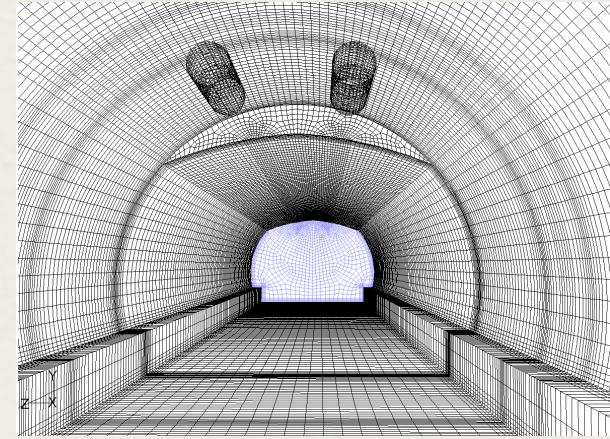


Multi-layer Zone model, Suzuki et. Al. (2006)



Modelli utilizzati nella sicurezza antincendio nelle gallerie - Modelli CFD

- Utilizzato principalmente per la verifica del progetto
- Suddivide il dominio computazionale in milioni di piccole celle
- Le equazioni di trasporto fluidodinamiche sono risolte per ogni cella, tra cui :
 - Equazione di continuità
 - Equazioni della quantità di moto
 - Trasporto di grandezze turbolente (per modelli di turbolenza RANS)
 - Equazioni di trasporto delle specie chimiche
- Anche il trasferimento di calore per radiazioni può essere considerato



Modelli utilizzati nella sicurezza antincendio nelle gallerie - Modelli CFD

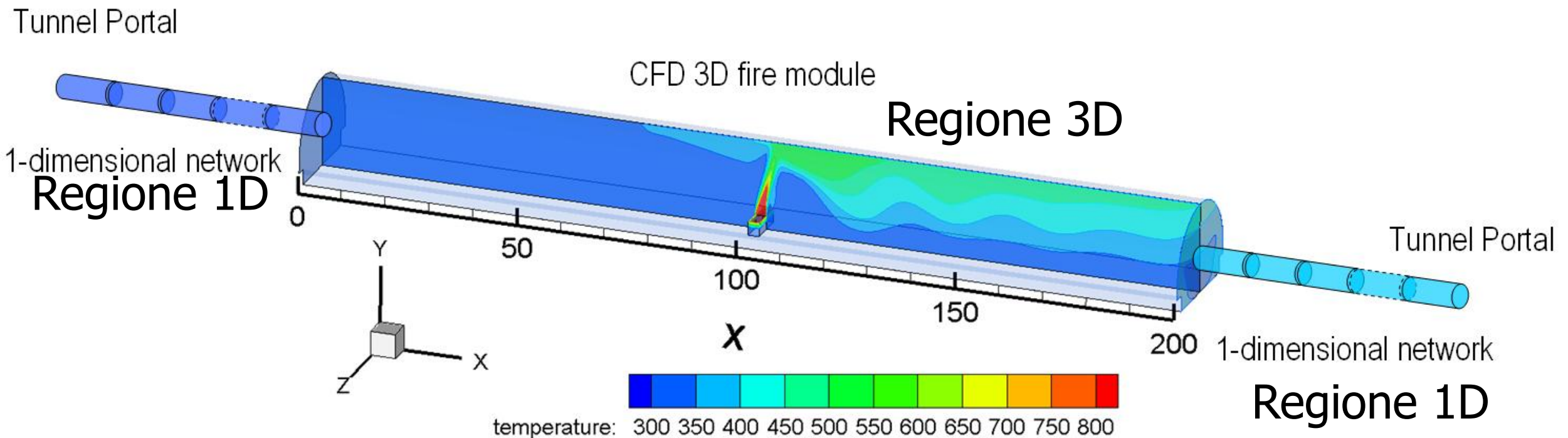


- *Fletcher et al. (1994)*; tunnel length 90 m, grid **32k Cells**
- *Woodburn et al. (1996)*; tunnel length 40 m, grid **10k Cells**
- ...
- *Karki et al. (2000)*; tunnel length 850 m, grid **250k Cells**
- *Ballestreros et al (2006)*; tunnel length 1500 m, grid **250k Cells**
- *Galdo et al (2007)*; tunnel length 800 m, grid **100k Cells**
- *Colella et al. (2010)*; tunnel length 1200 m, grid **2.4M Cells**

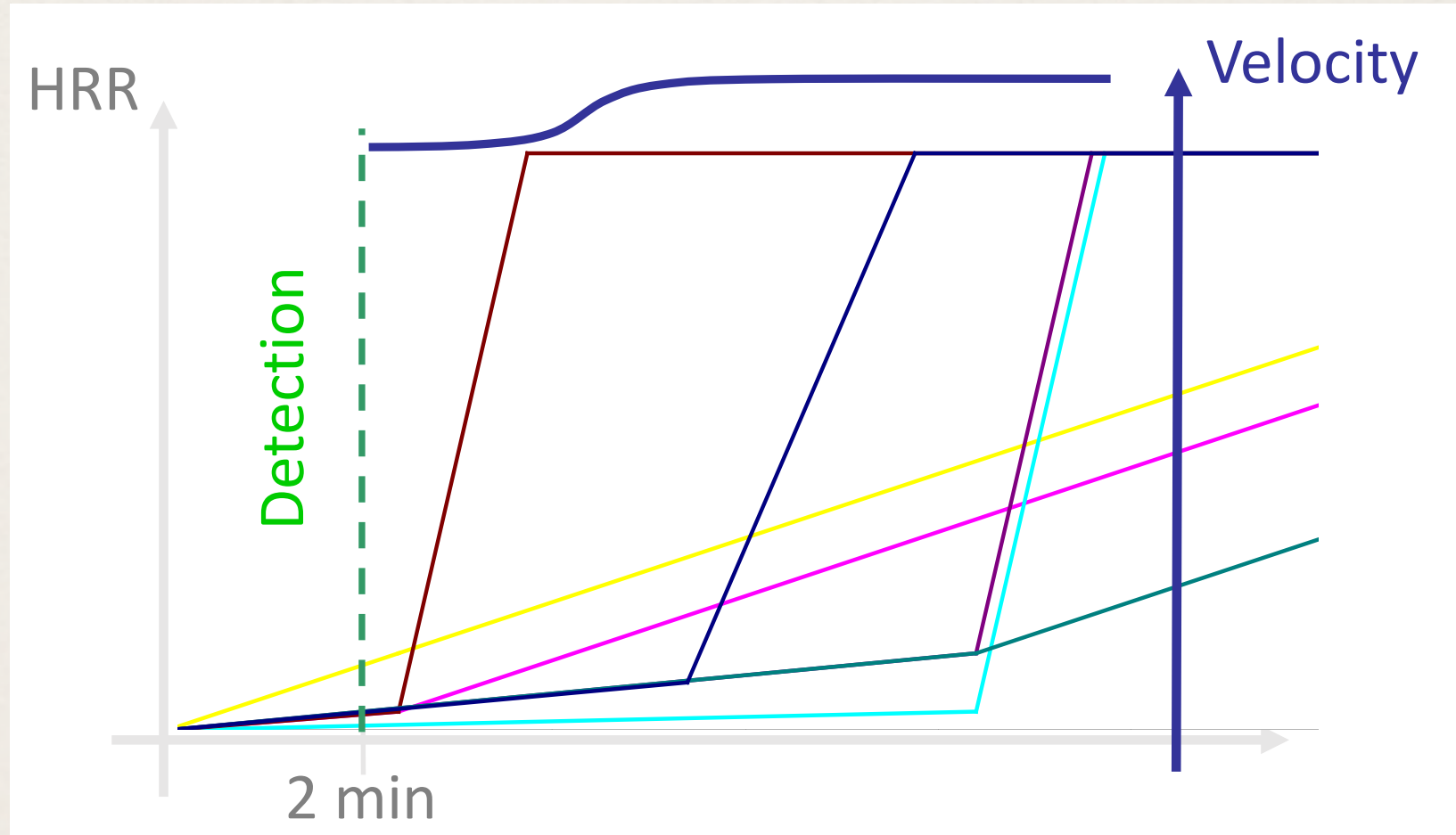
-
- The computational complexity increased by more than 3 orders of magnitude
 - There is a clear tendency to study longer tunnels
 - The limiting tunnel length is still around 1 km

Modelli utilizzati nella sicurezza antincendio nelle gallerie. Modelli multiscala - Scomposizione del dominio.

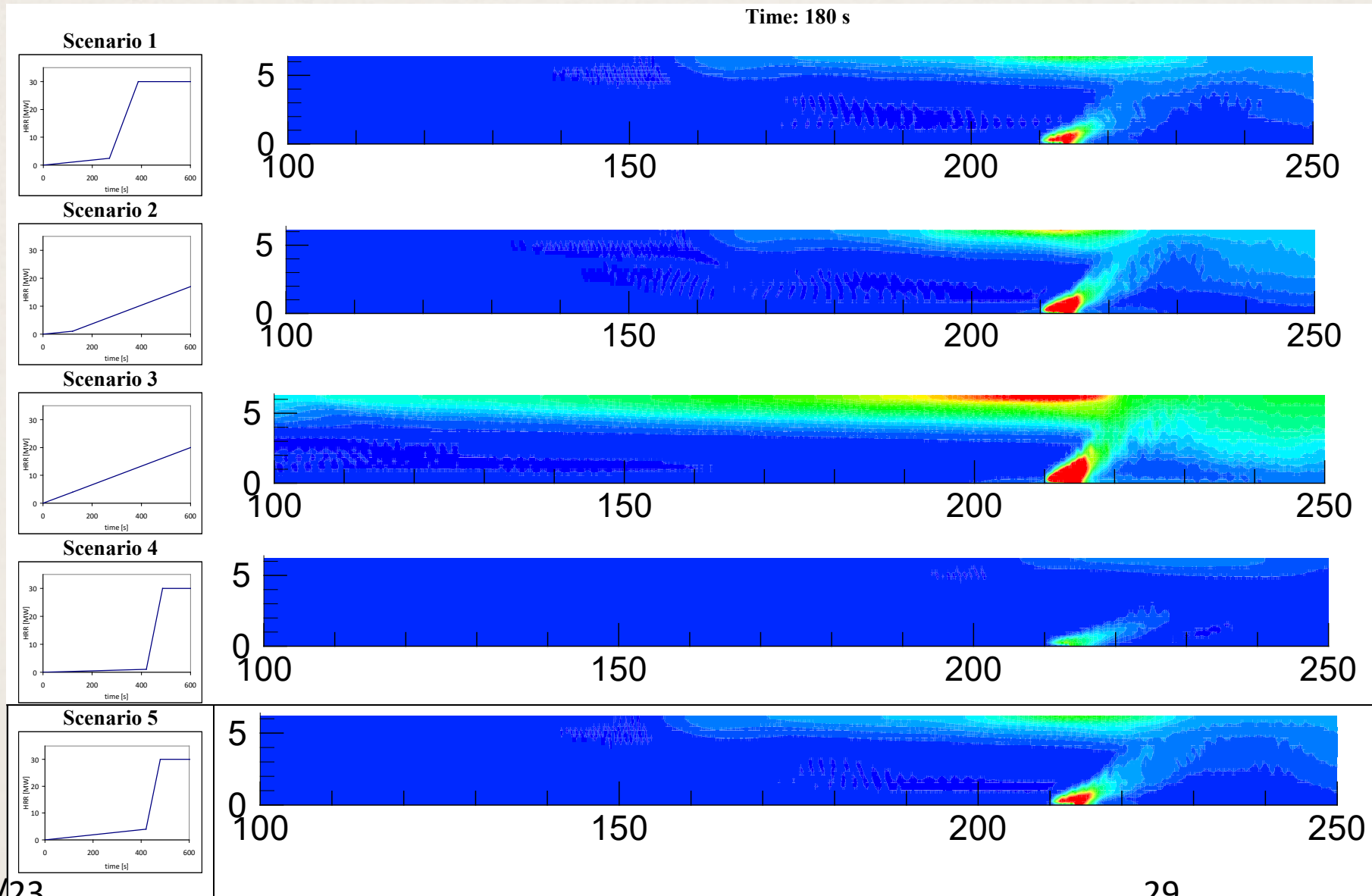
Contorni di velocità tipici in presenza di un incendio



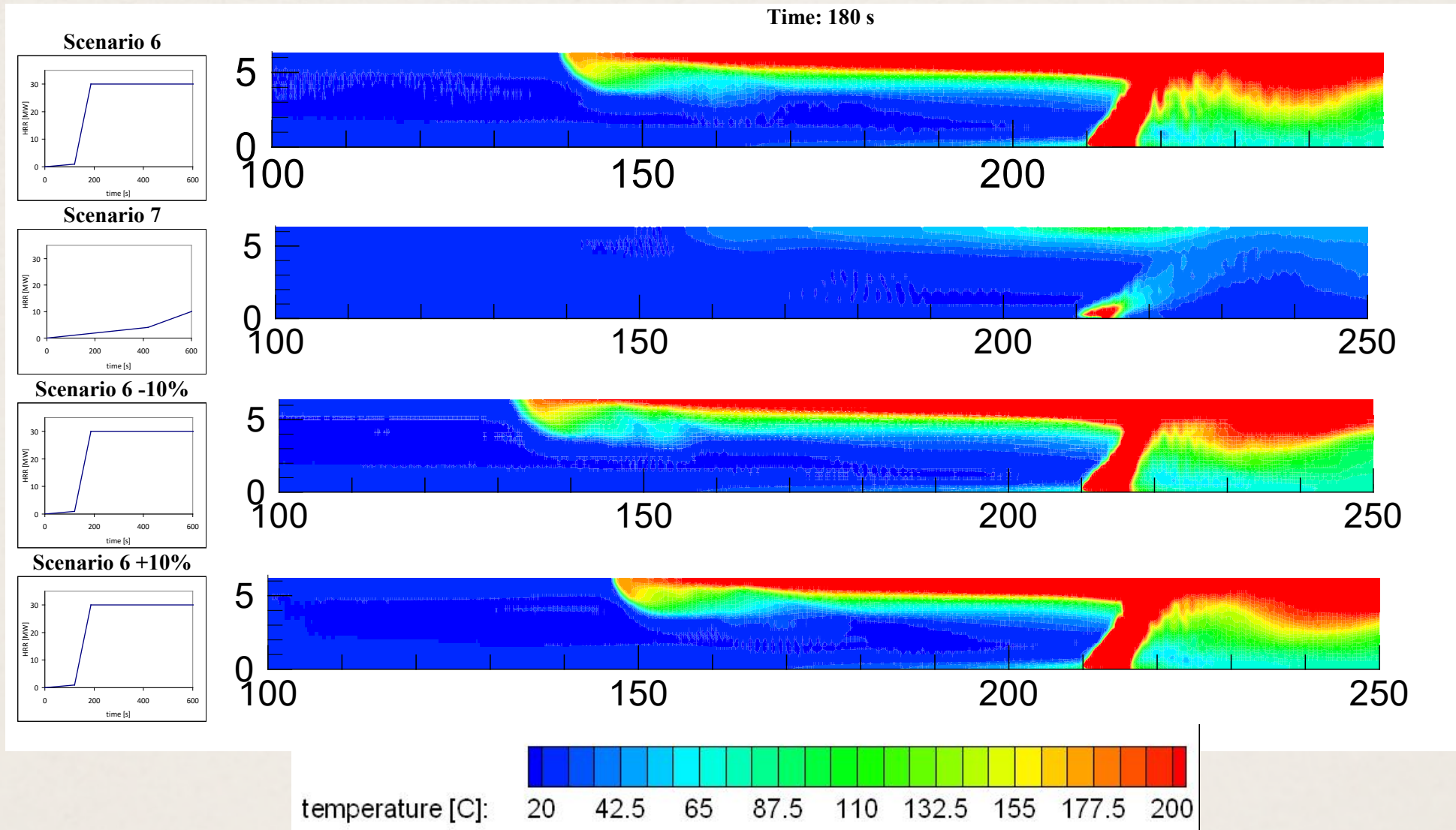
Modelli 3D – Precauzioni e limiti (esempio)



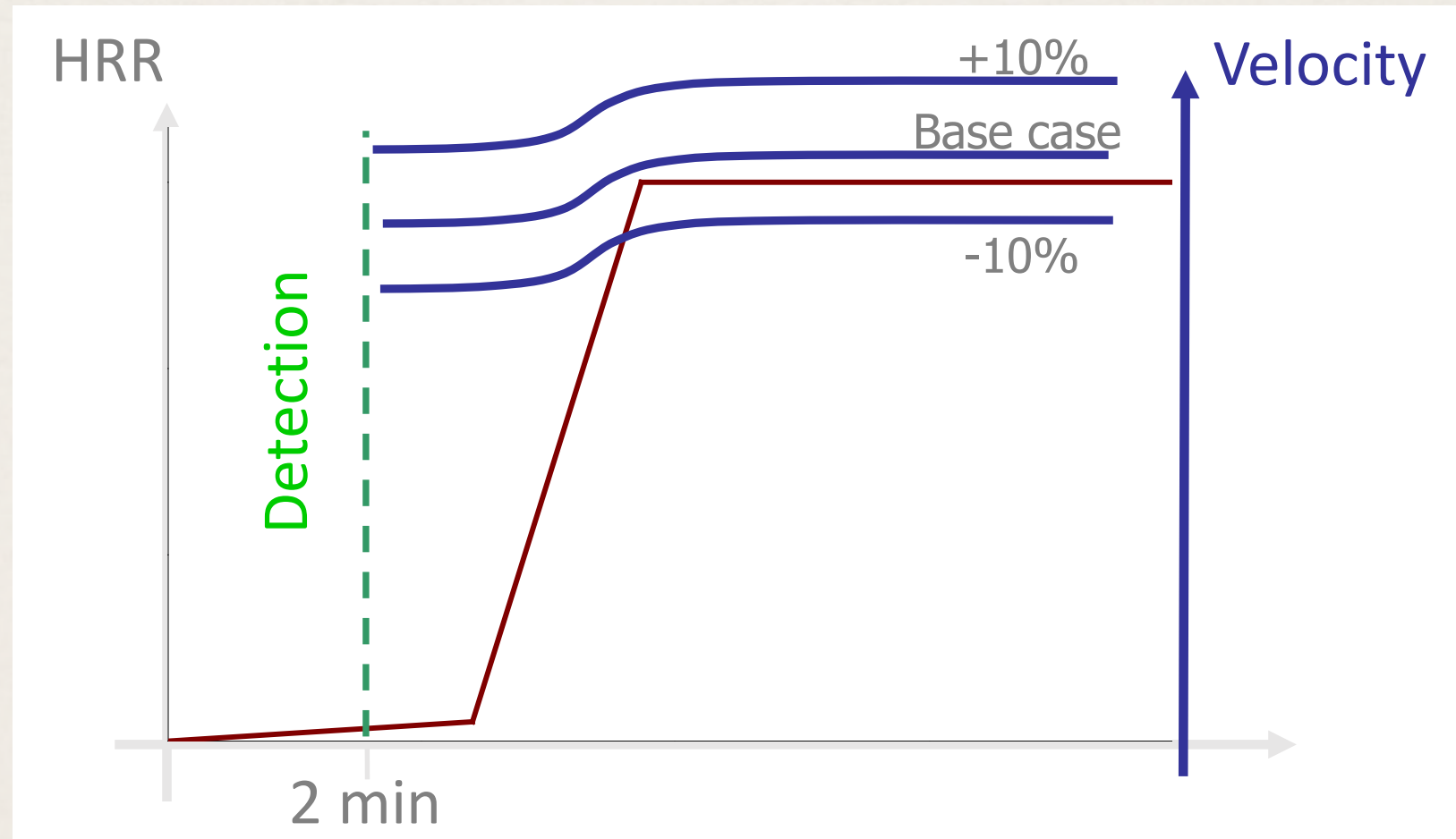
Modelli 3D – Precauzioni e limiti



Modelli 3D – Precauzioni e limiti

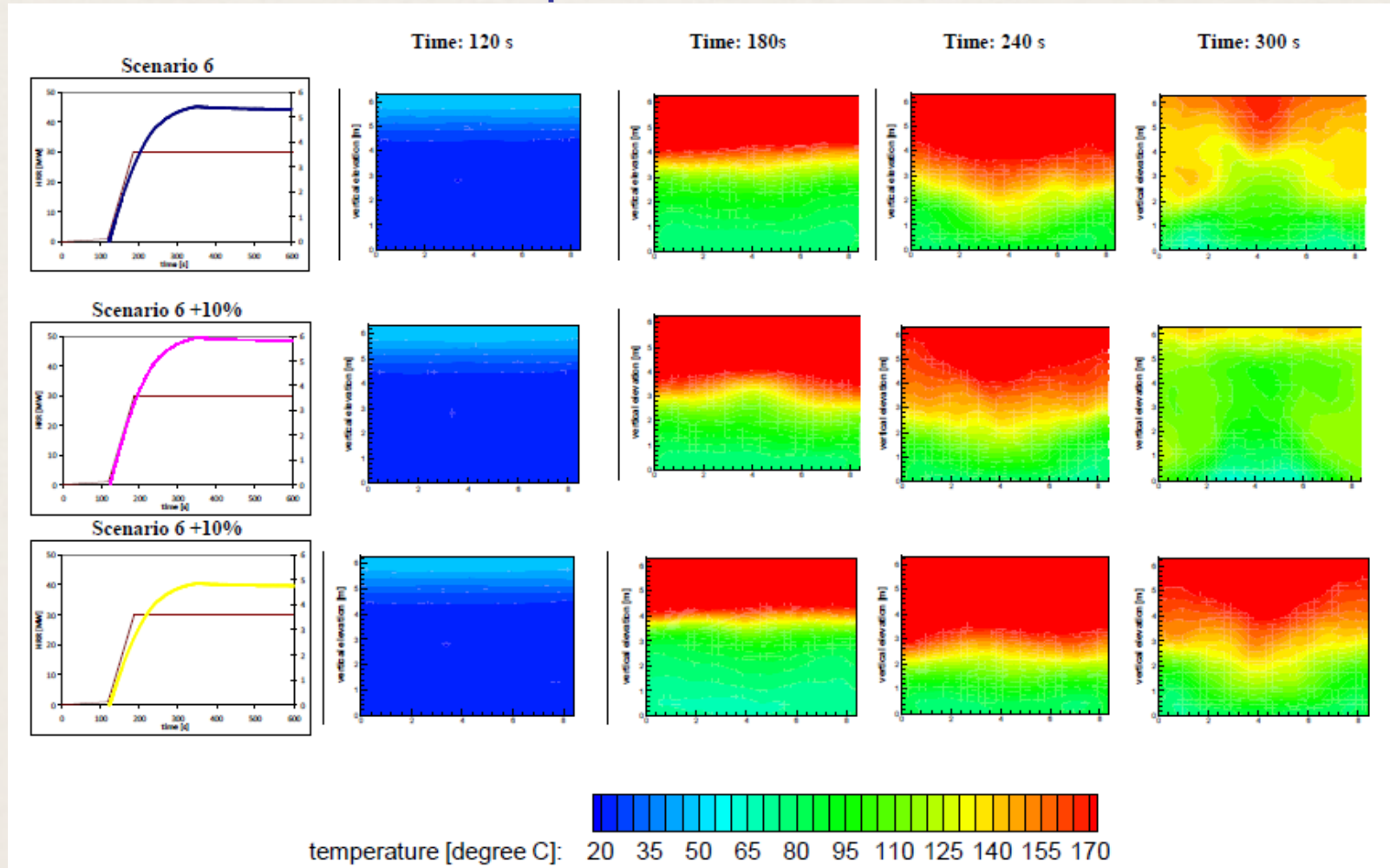


Modelli 3D – Precauzioni e limiti



Modelli 3D – Precauzioni e limiti

Temperature contours 50m downstream of the fire



Modelli 3D – Precauzioni e limiti – sensibilità alla dimensione della mesh

Article

Simulation Study on Suppressing Shielded Fires by Water Mist Systems

Azad Hamzehpour ^{1,*}, Vittorio Verda ¹ and Romano Borchellini ¹

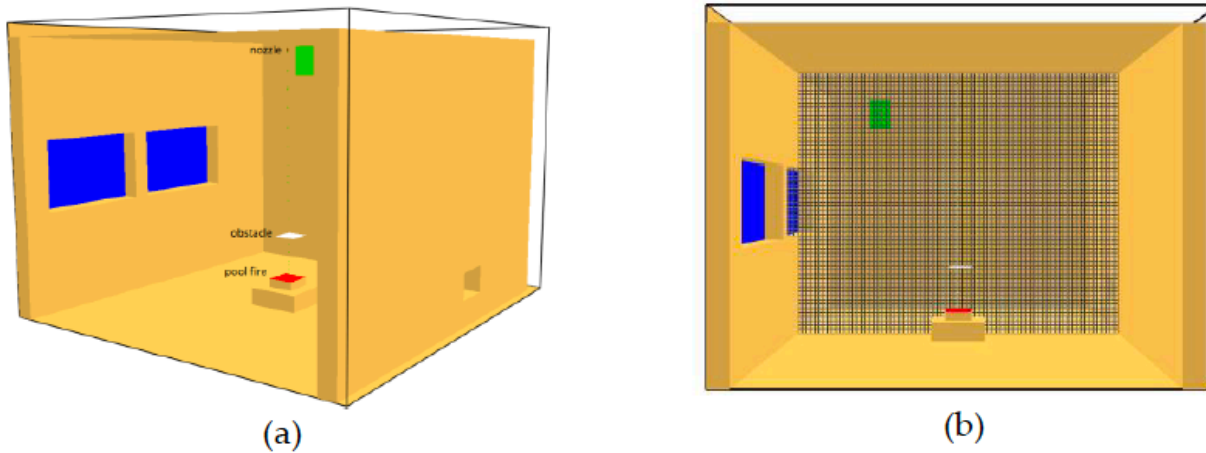
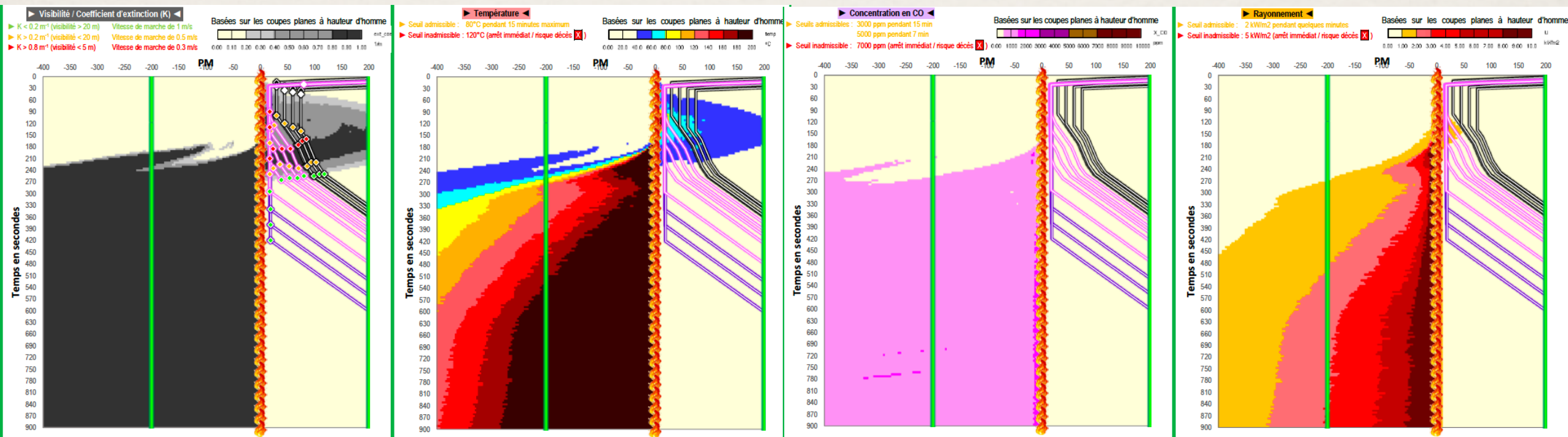


Figure 2. (a) Snapshot of the model geometry in FDS and (b) XZ plane of the grid

Sono stati effettuate analisi suddividendo il dominio da 300000 celle fino a 1700000 celle per determinare il numero minimo di celle da utilizzare nelle successive analisi di confronto tra risultati sperimentali e risultati CFD.

Il progetto della ventilazione mira ad un controllo dei fumi tale da assicurare alle persone la possibilità di raggiungere le uscite; le considerazioni precedenti evidenziano l'attenzione che deve essere fatta nell'uso dei modelli che permettono di giungere a risultati come quelli mostrati negli esempi sotto.



Conclusioni: la redazione in sintesi

La galleria deve essere considerata come un **sistema complesso** (geometrie, morfologia del territorio, condizioni ambientali, impianti..... utenti...)

Il **progetto della sicurezza** deve **spiegare** come il progettista ha scelto e dimensionato le diverse misure adottate per la sicurezza e deve far capire come queste misure operano in sinergia tra loro per assicurare la sicurezza (degli utenti innanzi tutto); non basta elencare le singole misure ne specificare che tutti gli adempimenti normativi sono soddisfatti.

Il D.lgs 264/2006 introduce l'Analisi di rischio con lo scopo di **misurare il livello di rischio** di una galleria stradale in termini di opportuni indicatori quantitativi e **per raggiungere questi obiettivi, l'analisi di rischio deve partire dal «racconto» fatto nel progetto della sicurezza.**

Conclusioni: la redazione in sintesi

Attraverso l'Analisi di Rischio sono definite le condizioni prestazionali in termini di **affidabilità ed efficienza** dei dispositivi e dei sottosistemi che realizzano le misure di sicurezza al fine di **dimostrare che l'insieme** delle misure di prevenzione, protezione, mitigazione o inibizione del potenziale incremento di pericolosità dell'evento iniziatore, nonché di **facilitazione delle azioni di auto-soccorso e di soccorso**, sia tale da assicurare che il livello di rischio della struttura ricada al di sotto del livello di rischio tollerabile considerando il malfunzionamento dei singoli sottosistemi.

Uno degli elementi fondamentali per lo sviluppo di una **corretta e credibile** Analisi di Rischio attiene alla **giustificazione dei dati** implementati, la **coerenza** con dati di indagini sperimentali e/o con i dati riportati nella letteratura tecnico-scientifica nazionale e internazionale nonché **l'attualità** dei dati utilizzati.

Illustrare i **risultati** in modo chiaro ed estensivo con particolare attenzione all'esodo.



Politecnico
di Torino



ENERGY
CENTER

Redazione dell'Analisi di Rischio

“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”

Sede ISA – Via del Commercio, 13
25 giugno 2024

Romano Borchellini
romano.borchellini@polito.it

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

