

Trasporto di idrogeno e veicoli elettrici in galleria, i nuovi pericoli



Prof. Ing. Ciro Caliendo. Ordinario di Strade, ferrovie ed aeroporti
Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Salerno. Email:ccaliendo@unisa.it



Contesto globale

Accordo di Parigi (2015): I **Paesi di tutto il mondo** si sono impegnati a mantenere l'aumento del riscaldamento globale al di sotto di 2°C rispetto ai livelli pre-industriali



Contesto europeo

L'**UE** attraverso lo «**European Green Deal (2019)**» ha definito gli obiettivi energetici e climatici:

- Riduzione entro il **2030** di almeno il **55%** delle emissioni di gas climalteranti rispetto allo scenario del 1990;
- Neutralità climatica entro il **2050**.



Contesto italiano

L'Italia con il:

- 1) «**Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima**» (PNIEC, 2019), il quale è in fase di aggiornamento e rafforzamento per riflettere il nuovo livello di ambizione definito in ambito europeo,
- 2) «**Strategia italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra**» (2021).

Fornisce un importante inquadramento strategico per l'evoluzione del sistema al fine di contribuire agli obiettivi europei in materia di energia e ambiente.



Obiettivi finora raggiunti in Italia

**Riduzione delle emissioni totali di gas serra
del 19% nel periodo 1990 - 2019**

La suddetta riduzione, pur rappresentando un importante risultato, **è ancora lontano dagli obiettivi al 2030 e 2050 dell'UE**, per cui il PNIEC è in fase di aggiornamento.

L'obiettivo del **Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR, 2021)** è di contribuire al raggiungimento degli **obiettivi strategici di decarbonizzazione attraverso 5 linee di riforme e investimenti in tre settori.**



Ruolo dell'idrogeno

All'interno della **terza linea progettuale del PNRR**
un ruolo rilevante è attribuito all'**idrogeno**

*Nel Luglio 2020 la **Strategia europea per l'idrogeno** ha previsto una forte crescita dell'idrogeno nel mix energetico per far fronte all'esigenza di progressiva decarbonizzazione di **settori con assenza di soluzione alternative oppure soluzioni meno competitive.***

Il documento prevede un **incremento nel mix energetico** fino al **13-14%** entro il **2050** (oggi è **inferiore al 2%**)



Obiettivi dell'Italia con riferimento all'idrogeno

L'**Italia**, in linea con la Strategia europea, intende perseguire questa opportunità promuovendo la produzione e utilizzo di idrogeno **nel PNRR**:

- 1) Sviluppando progetti per l'utilizzo di idrogeno in settori industriali;
- 2) Favorendo la creazione di «hydrogen valleys» in particolare su aree con siti industriali dismessi;
- 3) Abilitando – tramite stazioni di ricarica – l'utilizzo dell'idrogeno nel trasporto pesante su strada;
- 4) Utilizzando l'idrogeno in tratte ferroviarie non elettrificabili;
- 5) Supportando la ricerca e sviluppo;
- 6) Completando le riforme e regolamenti necessari per consentire l'utilizzo, il trasporto, e la distribuzione di idrogeno.



L'IDROGENO NEI VARI SETTORI DI TRASPORTO

Si prevede che l'idrogeno diventi un'opzione per la decarbonizzazione **nei sistemi di trasporto**

Le emissioni totali di gas serra sono attribuibili per il **30%** al settore dei trasporti

Circa il 90% delle emissioni derivanti dal settore dei trasporti è dovuto al trasporto su strada (rispetto al 30% dei trasporti in generale)*



Marittimo



Aereo



Ferroviario



Stradale

Uno studio più recente di Commissioni del MIMS indica che il 25% dei cambiamenti climatici è attribuibile ai trasporti di cui il 93% è responsabile il trasporto su strada.

* Fonte: Ministero (Ambiente), Ministero (Sviluppo Economico), Ministero (Infrastrutture e Trasporti), Ministero (Politiche Agricole) "Strategia Italiana Di Lungo Termine Sulla Riduzione Delle Emissioni Dei Gas a Effetto Serra," pp. 1-100, 2021.



Con riferimento al sistema stradale, il trasporto di idrogeno attraverso spazi confinati come le **gallerie stradali può rappresentare un pericolo**



Prof. Ing. **Ciro Caliendo** ✉ ccaliendo@unisa.it

Gallerie in Italia

L'Italia con **458 gallerie** è il paese europeo con il **più alto** numero di gallerie stradali appartenenti alla rete TERN (**53%**).

Gallerie		Direttiva 54/2004				
		TERN 2006			TERN 2014	
		Art. 9	Art. 10	Art. 11		
Gallerie e Rete TERN Italiana 458	Aperte al traffico 406	CONFORMI con le misure previste dal Decreto all'allegato 2, punti 2.1+2.18 73	-	62	11	-
		NON CONFORMI 333	-	26	263	44
	In progettazione 52	-	31	10	-	11

Fonte: Relazione annuale al Parlamento. Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Commissione Permanente per le Gallerie. Dati aggiornati al 31 dicembre 2020.

Nota: l'82% delle gallerie non è ancora conforme alla Direttiva europea.

Art. 9 della Direttiva 54/2004 : gallerie il cui progetto non è stato ancora approvato.

Art.10 della Direttiva 54/2004: gallerie il cui progetto è approvato ma le gallerie non sono ancora aperte al traffico.

Art. 11 Gallerie aperte al traffico,

D.LGS 264/2006 Allegato 2 (misure di sicurezza) **Prof. Ing. Ciro Caliendo** ✉ ccaliendo@unisa.it

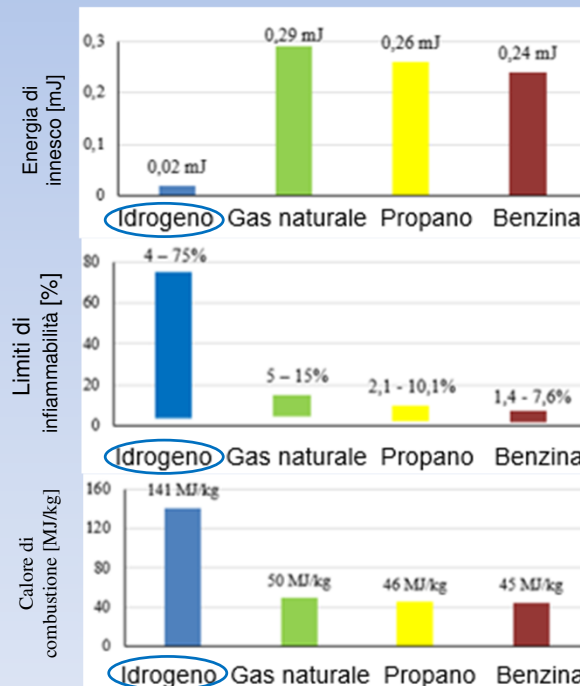


Rischio del trasporto di idrogeno

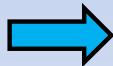
La presenza di **veicoli che trasportano idrogeno** potrebbe rappresentare un **rischio aggiuntivo** per gli utenti, **soprattutto in spazi chiusi come le gallerie**, data la **natura pericolosa dell'idrogeno**:

Fonte: <https://h2tools.org/hydrogen-compared-other-fuels>

Bassa energia di innesco



Alto range di infiammabilità



Alto calore di combustione



Scenari di pericolo associati al trasporto di idrogeno liquido

Fireball



Esplosione derivante
dalla rottura
catastrofica della
cisterna

VCE (Vapour Cloud Explosion)



Esplosione derivante
dall'innesco di una
nube di gas
inflammabile

Flash Fire



Propagazione
improvvisa di una
fiamma ad alta
velocità e breve durata



GAP DI CONOSCENZA

Per quanto risulta non esiste un metodo quantitativo specifico
per l'analisi di rischio dell'idrogeno liquido (LH₂) nelle gallerie stradali

È un problema
rilevante da affrontare



Studio preliminare per capire se il problema è rilevante

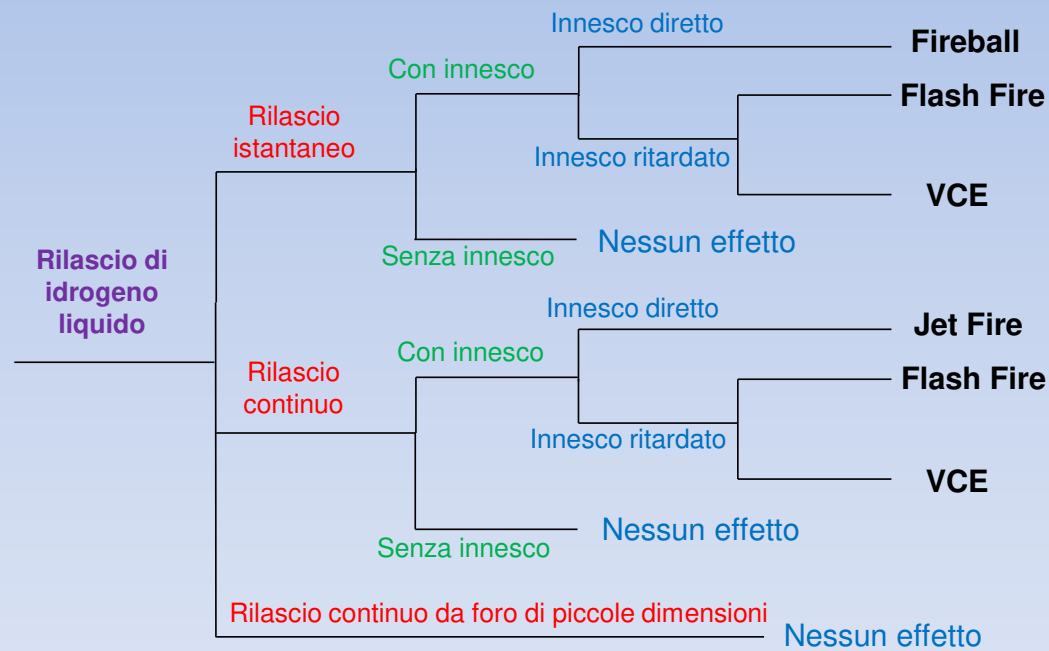


A tale fine si è utilizzato un **metodo approssimato**, in cui è stato **modificato la struttura dell'albero degli eventi esistente** introducendo quello **relativo al trasporto di idrogeno liquido** e aggiunti **i relativi scenari di pericolo.**



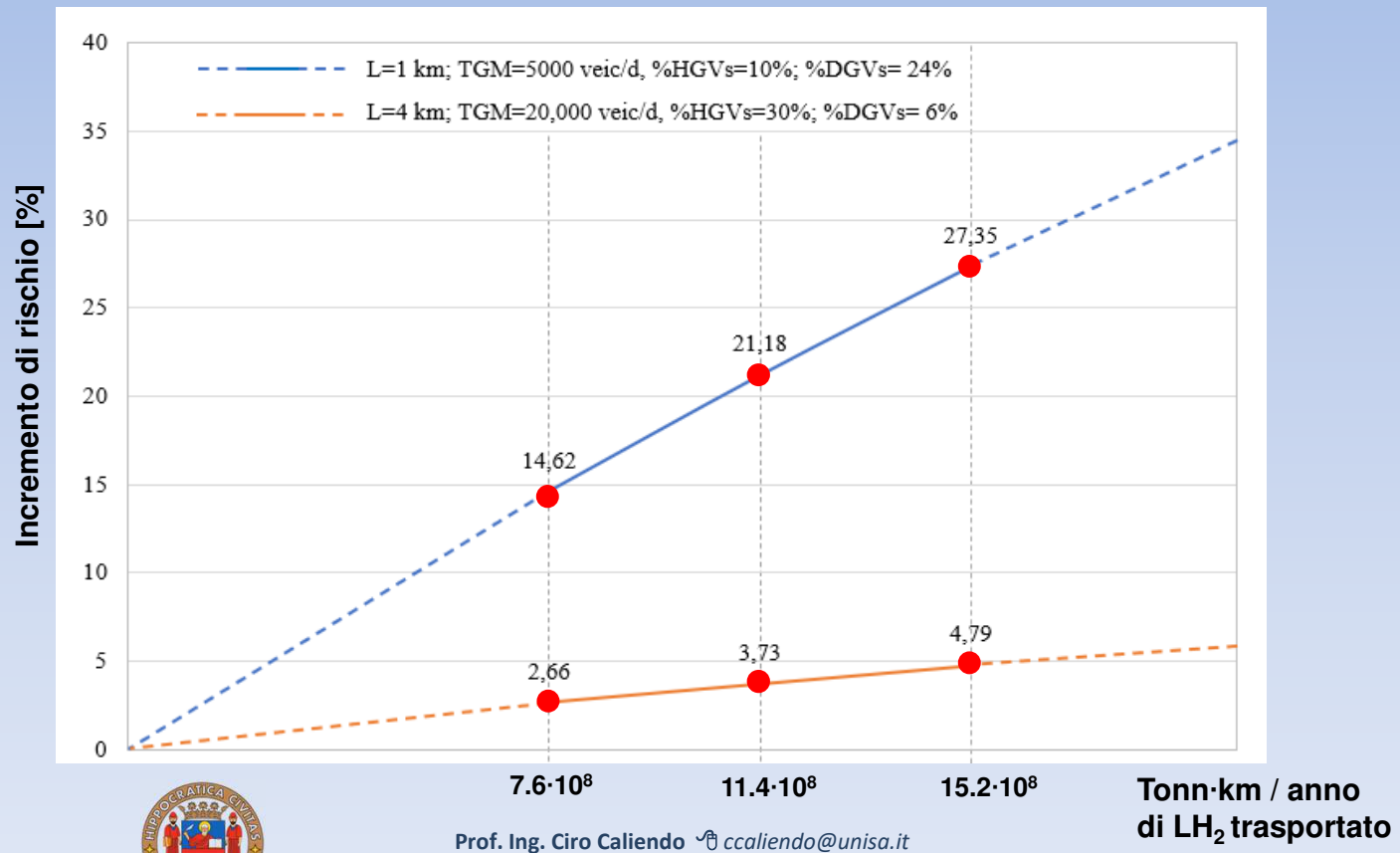
Albero degli eventi del rilascio di idrogeno liquido

Per includere il trasporto di idrogeno liquido è stato necessario definire
l'albero degli eventi



Incremento di rischio al crescere delle tonn-km/anno di LH₂ trasportato

Risultati delle simulazioni effettuate



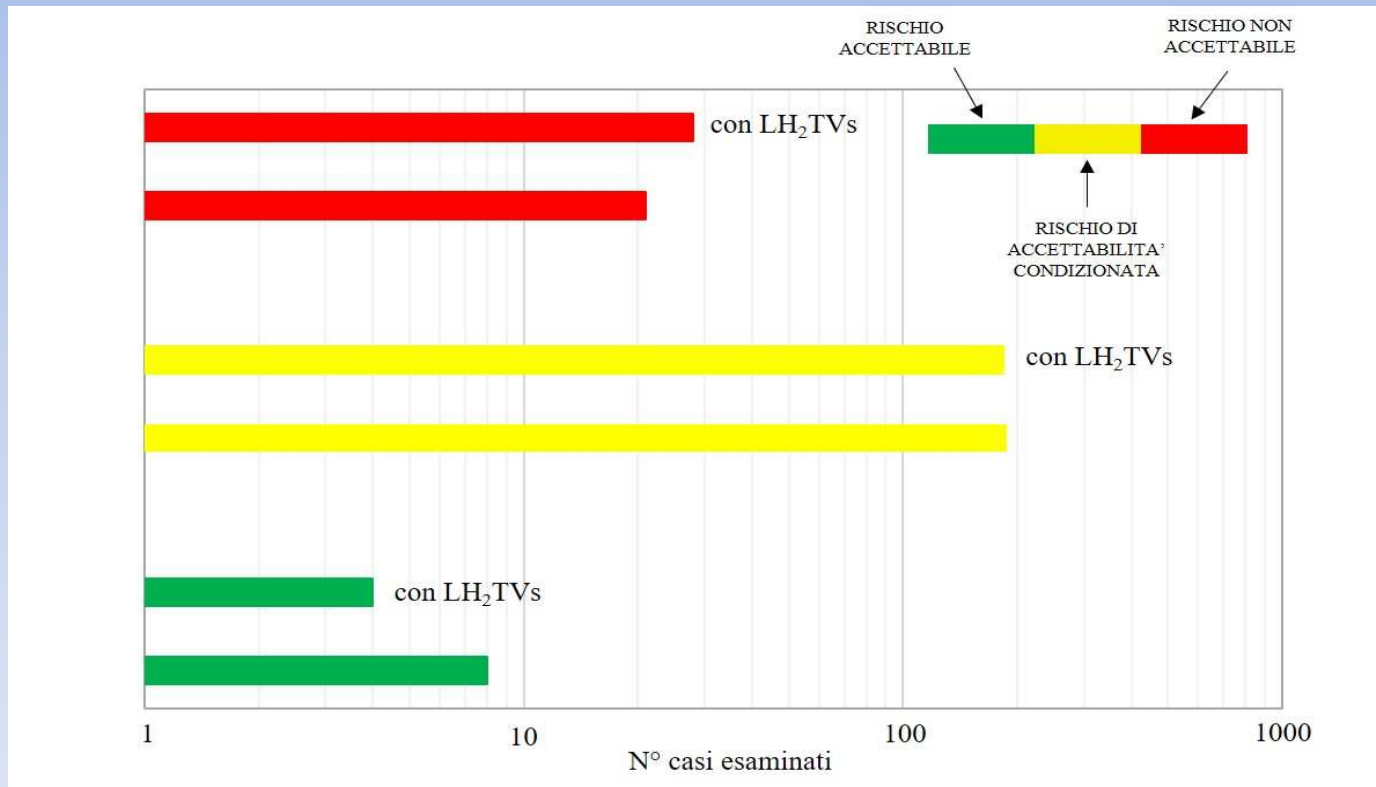
PRINCIPALI RISULTATI

- La presenza di veicoli che trasportano idrogeno liquido nelle gallerie stradali può incrementare significativamente il livello di rischio.
- L'**incremento di rischio** dovuto al trasporto di idrogeno liquido è risultato maggiore per gallerie corte e basso traffico.

Per gallerie lunghe e traffici più intensi il livello di rischio è già così alto che la presenza di veicoli pesanti che trasportano idrogeno liquido ha poco effetto sull'incremento del rischio.



L'incremento di rischio in presenza di veicoli che trasportano idrogeno liquido (LH₂) fu trovato per incrementare il numero di gallerie che superano la soglia di accettabilità



Rilevanza del rischio del trasporto di idrogeno

- L'obiettivo dello studio tuttavia non era quello di stimare in maniera accurata il rischio dovuto al trasporto di idrogeno, ma evidenziare se il problema fosse rilevante e quindi la necessità di studi più approfonditi utilizzando modelli e metodi di calcolo più appropriati.

SVILUPPI FUTURI DELLA RICERCA



Sviluppo di un **metodo per l'analisi quantitativa del rischio in galleria** dovuto al trasporto di idrogeno

- Software utilizzabili per lo **sviluppo del modello** per studiare in maggiore dettaglio la problematica del trasporto di idrogeno

1) ANSYS CFX

2) OPENFOAM

3) FLACS

4) FDS

5) ADREA-HF

6) ANSYS FLUENT

per rilasci di idrogeno liquido

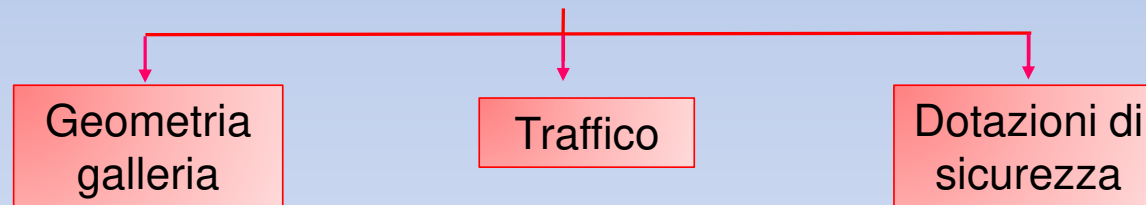


OBIETTIVI



1) Investigare il rischio dovuto al trasporto di idrogeno in funzione

di



2) Individuare i parametri più significativi che influenzano il fenomeno e **proporre interventi e/o strategie di mitigazione del rischio.**



VEICOLI a IDROGENO

VEICOLI ELETTRICI



- Tempi di rifornimento ridotti (3-5 min);
- Elevata autonomia (fino a 800 km);
- Alto apporto energetico (più alto delle batterie agli ioni di litio);
- Adatto ai mezzi di trasporto pesanti (autobus, camion).

- Mancanza di distributori;
- Prezzi di acquisto elevati;
- Produzione, trasporto e stoccaggio di idrogeno non ancora efficiente.

- Maggiori punti di ricarica; (rispetto ai veicoli ad idrogeno);
- Inquinamento acustico ridotto;
- Minore manutenzione (rispetto ad altre tipologie di veicoli);
- Produzione, trasporto e stoccaggio di energia efficiente.

- Tempi di ricarica elevati;
- Minore autonomia (rispetto ad altre tipologie di veicoli);
- Durata incerta delle batterie;
- Tecnologie di riciclaggio delle batterie non efficienti;
- Non adatto ai mezzi di trasporto pesanti (camion).



Veicoli elettrici nel settore stradale

In **Italia**, per **raggiungere gli obiettivi europei in materia di decarbonizzazione**, è anche previsto che il parco circolante di **veicoli elettrici** sia di circa **6 milioni entro il 2030*** e **19 milioni entro il 2050**** contro i **circa 20 mila veicoli elettrici presenti al 2018****.

*Fonte: Piano Nazionale Ripresa e Resilienza (PNRR), 2021.

**Fonte: M. Ministero, S. E. Ministero, and T. Ministero, "Strategia Italiana Di Lungo Termine Sulla Riduzione Delle Emissioni Dei Gas a Effetto Serra," 2021.



Prof. Ing. **Ciro Caliendo** [✉ ccaliendo@unisa.it](mailto:ccaliendo@unisa.it)

Problematiche dei veicoli elettrici in galleria

Le **batterie agli ioni di litio** comunemente utilizzate per i veicoli elettrici possono, in caso di incidenti e/o cortocircuiti, presentare **un repentino incremento di temperatura** in una sorta di reazione a catena che porta alla **rottura dell'equilibrio termico** del sistema con conseguente **incendio e/o esplosione delle batterie** stesse.

Le problematiche relative ai veicoli elettrici sono particolarmente rilevanti in caso di incendio di **autobus elettrici**, i quali sono caratterizzati sia da **potenze termiche** sia da **tempi di evacuazione** degli utenti più alti rispetto alle autovetture.

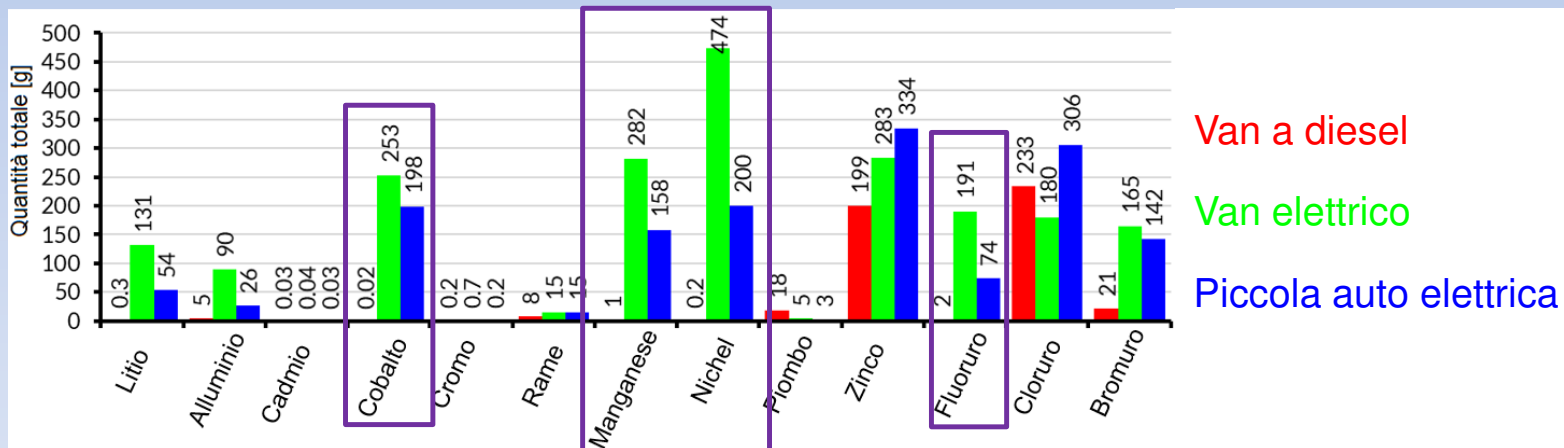


STATO DELL'ARTE

L'incendio dei veicoli elettrici, soprattutto in spazi confinati come le gallerie stradali, è un problema rilevante



Attraverso test sperimentali e simulazioni CFD si è osservato che gli incendi di veicoli elettrici producono alte concentrazioni di gas estremamente tossici se confrontate con quelli di un veicolo convenzionale a combustione interna.



Fonte: Ola Willstrand. Fires in Electric Vehicles. Webinar on New Energy Carriers in Road Tunnels, 2021.



GAP DI CONOSCENZA



Non appare esistere uno specifico metodo quantitativo
per l'analisi di rischio dei veicoli elettrici nelle gallerie stradali.



Software utilizzabili

ANSYS FLUENT

FDS

E' da capire meglio i punti di forza e debolezza, al fine di mettere a punto un modellizzazione più appropriata o proporre un nuovo metodo.



Quale sfida ci attende?

- Saper coniugare la **decarbonizzazione** (non più rinviabile) **del trasporto** con la **sicurezza delle gallerie stradali** (e più in generale con la sicurezza stradale), nonché **con la sicurezza delle gallerie ferroviarie** (nei casi di **gallerie molto lunghe** e/o in cui non sia competitiva l'elettrificazione).



Approccio multidisciplinare



Riferimenti

Caliendo, C., Genovese, G. Quantitative Risk Assessment on the Transport of Dangerous Goods Vehicles Through Unidirectional Road Tunnels: An Evaluation of the Risk of Transporting Hydrogen. *Risk Analysis*, 2021, vol. 41, no. 9, pp. 1522–1539, doi:10.1111/risa.13653.

Caliendo, C., Genovese, G. L'incremento di rischio nelle gallerie stradali per il trasporto di idrogeno. *Strade & Autostrade*, 2021, vol. 148, pp. 36-38. <https://www.stradeeautostrade.it/gallerie-e-tunnelling/lincremento-di-rischio-nelle-gallerie-stradali-per-il-trasporto-di-idrogeno/>

Caliendo, C., Russo, P., Ciambelli, P. Hydrogen Safety, State of the Art, Perspectives, Risk Assessment, and Engineering Solutions. *Utilization of Hydrogen for Sustainable Energy and Fuels*, 2021, pp. 433–450, doi:10.1515/9783110596274-021.

Grazie



Prof. Ing. **Ciro Caliendo** ✉ ccaliendo@unisa.it