



SICUREZZA STRADALE

obiettivo zero  vittime

con il patrocinio di



Uso di un simulatore di guida dinamico per valutare le reazioni del conducente in risposta a raffiche di vento laterale

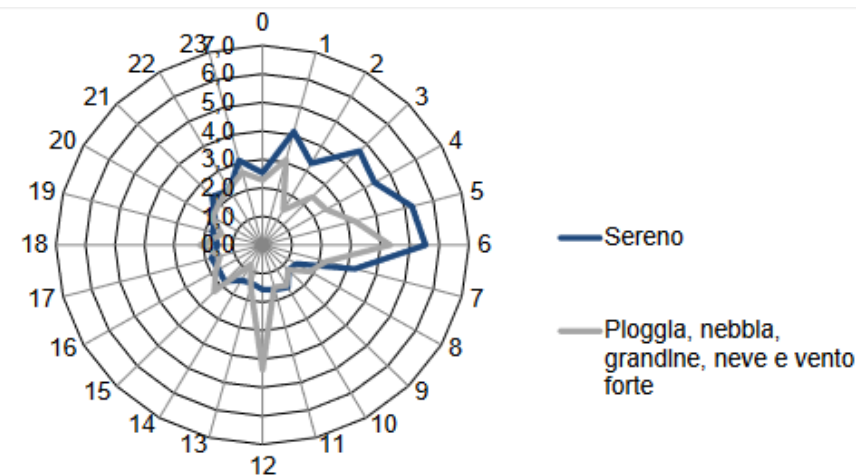
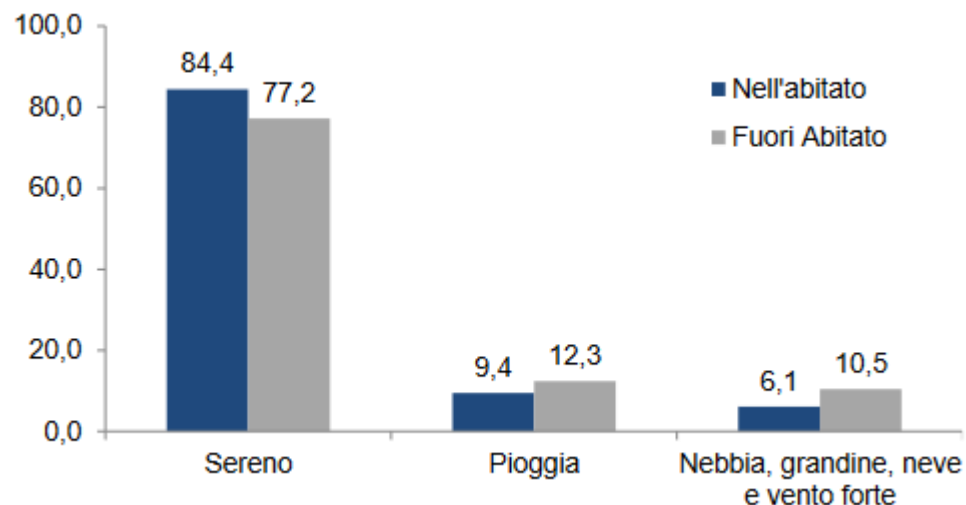
F. Cheli, A. Cioffi, S. Melzi, E. Sabbioni, M. Vignati

Dipartimento di Meccanica Politecnico di Milano



Impatto delle condizioni meteorologiche sulla sicurezza stradale

- Le condizioni meteorologiche avverse costituiscono un fattore di rischio per la sicurezza stradale.
- Un'indagine Istat del 2018, riconduce a questa causa circa il 15% degli incidenti occorsi sulla rete italiana.



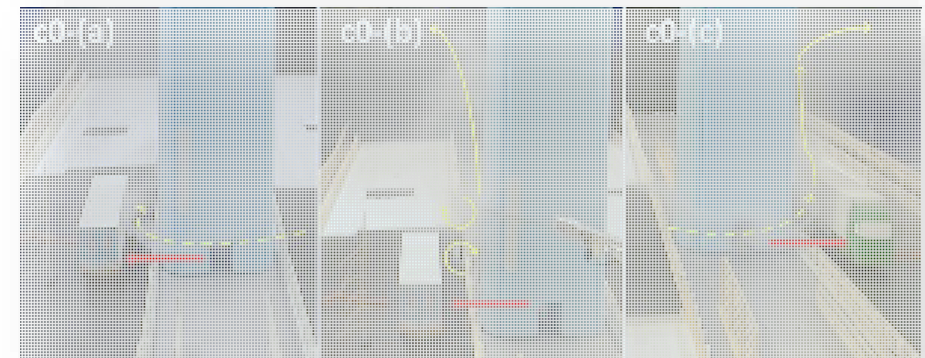
<https://www.istat.it/it/archivio/232366>



Effetto delle raffiche di vento trasversale

- Le raffiche di vento trasversale rappresentano una condizione meteorologica avversa
- Sono particolarmente insidiose per veicoli telonati o furgonati che si muovono a velocità elevata, particolarmente se viaggiano a tara
- Raffiche di vento improvvise possono causare invasioni di corsia o, nei casi peggiori, il ribaltamento dei veicoli

Discontinuità dei flussi d'aria (dovute ad esempio a piloni) portano a variazioni improvvise delle forze scaricate sul veicolo rendendone molto difficoltoso il controllo





Scopo del lavoro

Non tutti i conducenti sono in grado di controllare adeguatamente il veicolo a velocità elevate (scenario autostradale) con raffiche di vento intense.

⇒ installare barriere frangivento

⇒ **adeguare il limite di velocità in funzione dell'intensità delle raffiche di vento misurate.**

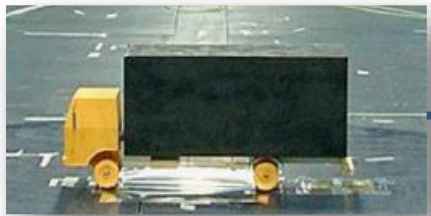
L'obiettivo del lavoro è individuare un limite di velocità che consenta alla totalità degli utenti di mantenere il pieno controllo del veicolo in presenza di raffiche di vento

L'approccio utilizzato è di tipo DIL (Driver In the Loop) che consiste nel riprodurre l'interazione tra veicolo e vento mediante un simulatore di guida

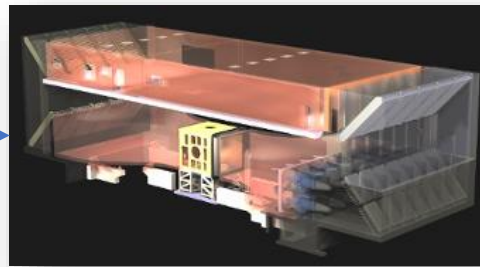
Il simulatore di guida consente di caratterizzare la risposta di un campione di conducenti in uno scenario perfettamente controllato (stesse condizioni) ed in un ambiente di test sicuro

Fasi del lavoro

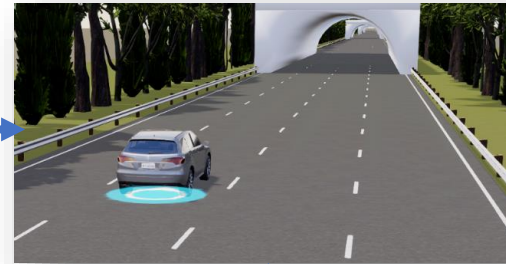
Veicolo esaminato



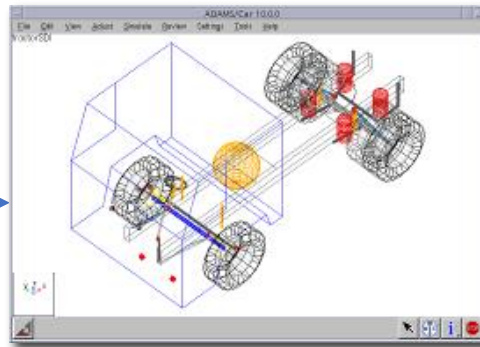
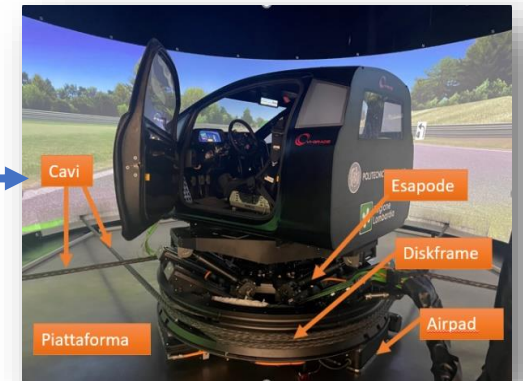
Test galleria del vento



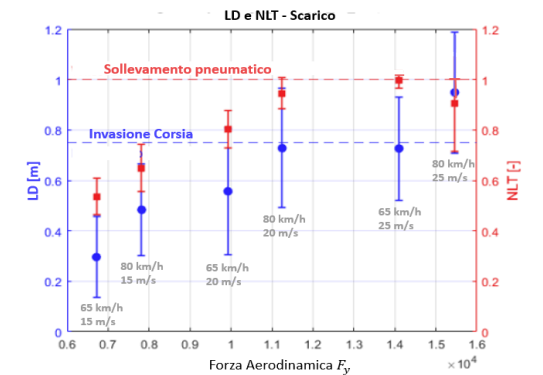
Modello interazione veicolo + vento



Prove al simulatore



Modello matematico

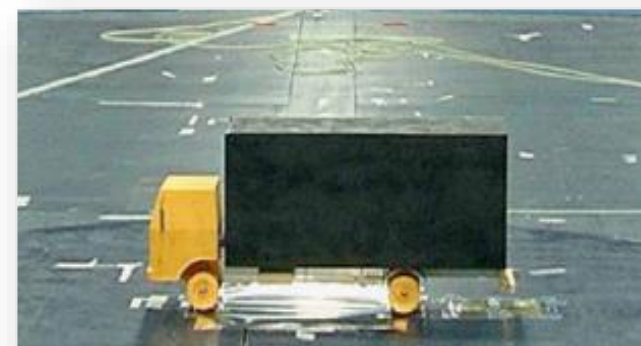


Rischio ribaltamento/invasione di corsia



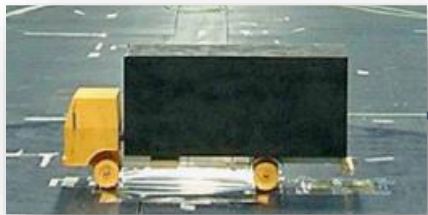
Caratteristiche del veicolo utilizzato

Caratteristica	Valore
Passo	4450 mm
Carreggiata anteriore	2000 mm
Carreggiata posteriore	1800 mm
Altezza baricentro	1184 mm (T) 1644 mm (PC)
Distanza asse anteriore-baricentro	1817 mm (T) 2562 mm (PC)
Massa	3911 kg (T) 13550 kg (PC)
Rapporto di sterzo	17:1

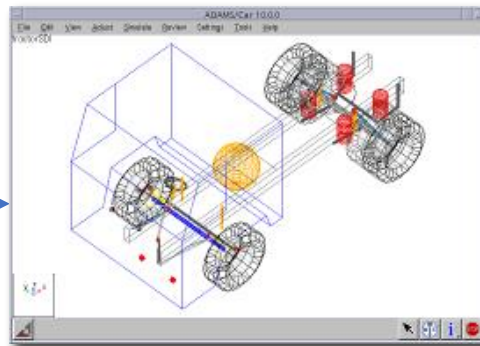
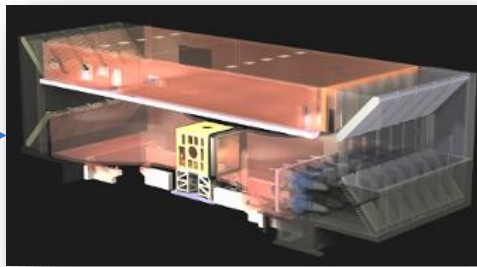


Fasi del lavoro

Veicolo esaminato

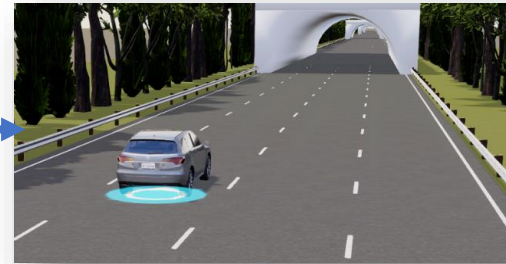


Test galleria del vento

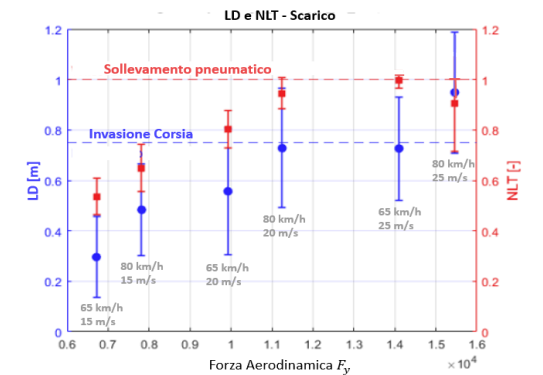
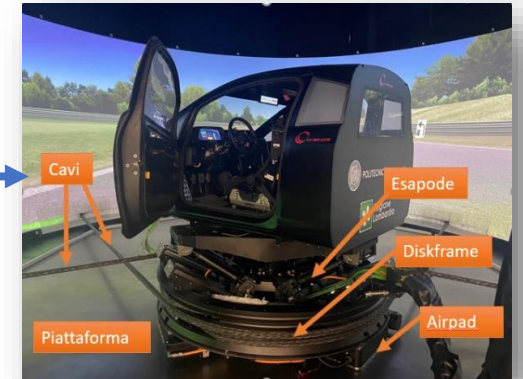


Modello matematico

Modello interazione veicolo + vento



Prove al simulatore

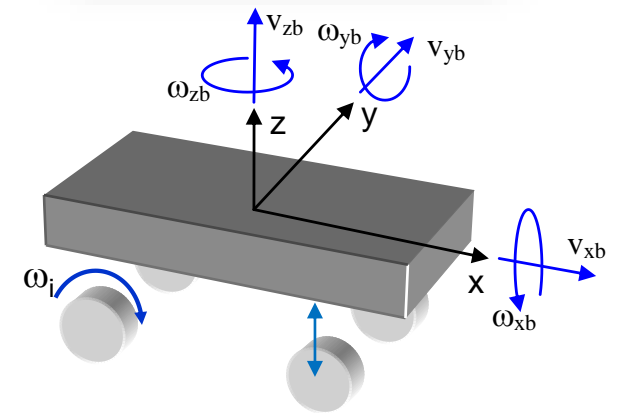
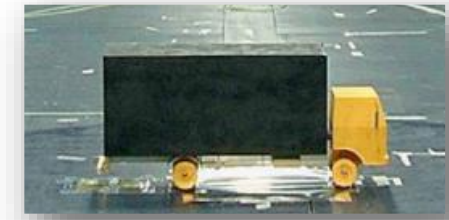


Rischio ribaltamento/invasione di corsia



Caratteristiche del veicolo utilizzato

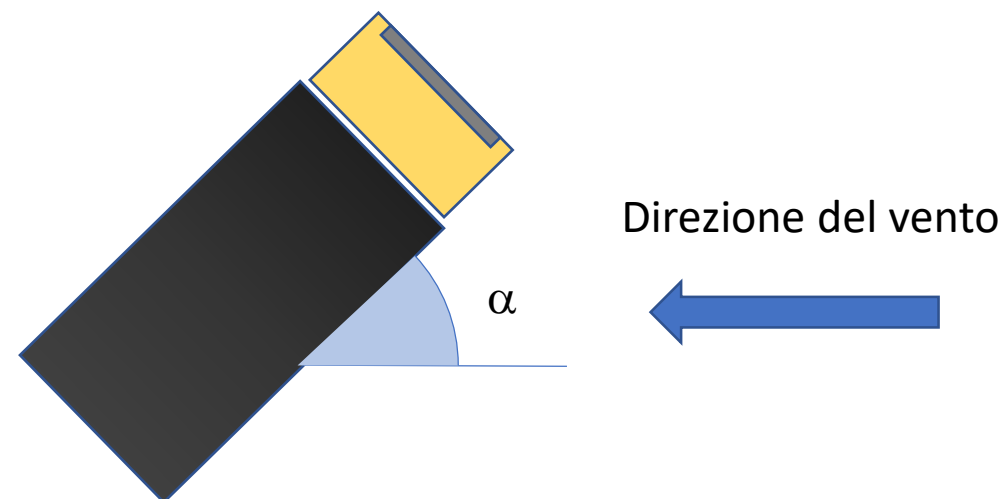
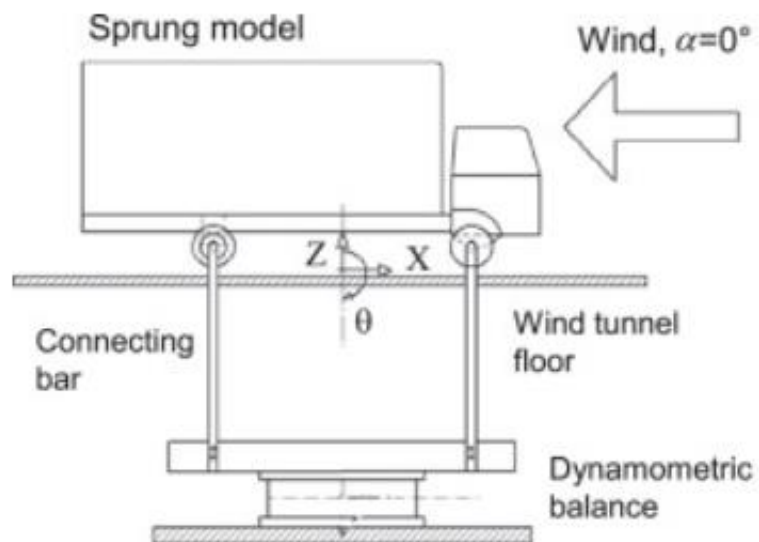
- Modello a 14 Gradi di Libertà (GdL): 3 traslazioni e 3 rotazioni della cassa oltre che gli scuotimenti verticali e le rotazioni delle ruote.
- Sospensioni modellate con di **tabelle pre-calcolate** che forniscono le forze scambiate tra ruote e cassa in funzione degli scuotimenti e delle loro velocità.
- Modellazione dello **sterzo** particolarmente curata in modo da fornire al guidatore valori di coppia sterzante realistici.
- Il modello rappresenta un buon **compromesso** tra necessità di **accuratezza** del risultato e contenimento dei **tempi di calcolo**



Modello di veicolo a 14 GdL

Prove in galleria del vento

Modello in scala 1:10

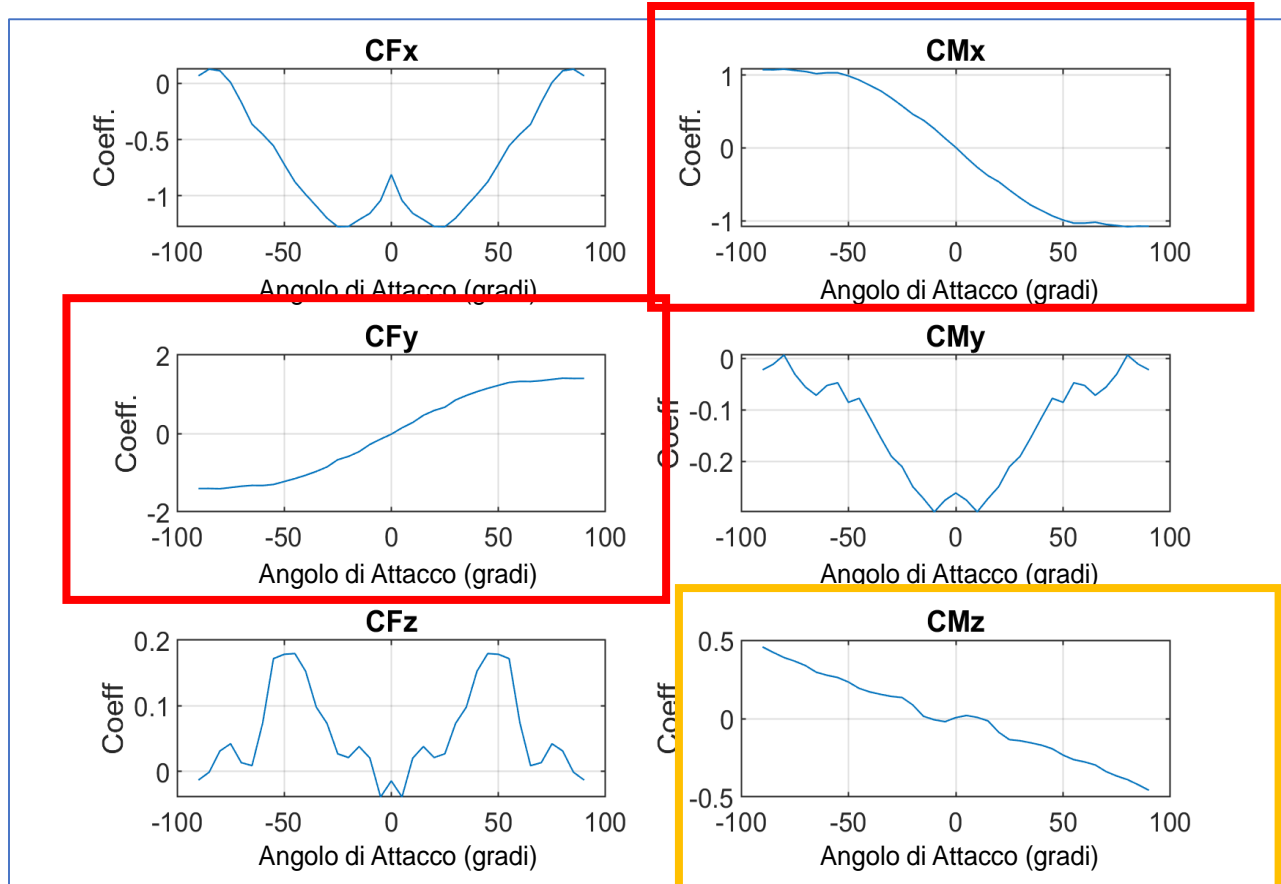
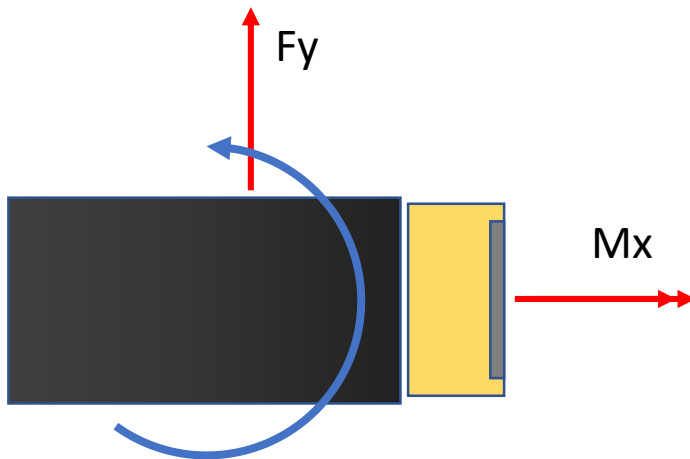




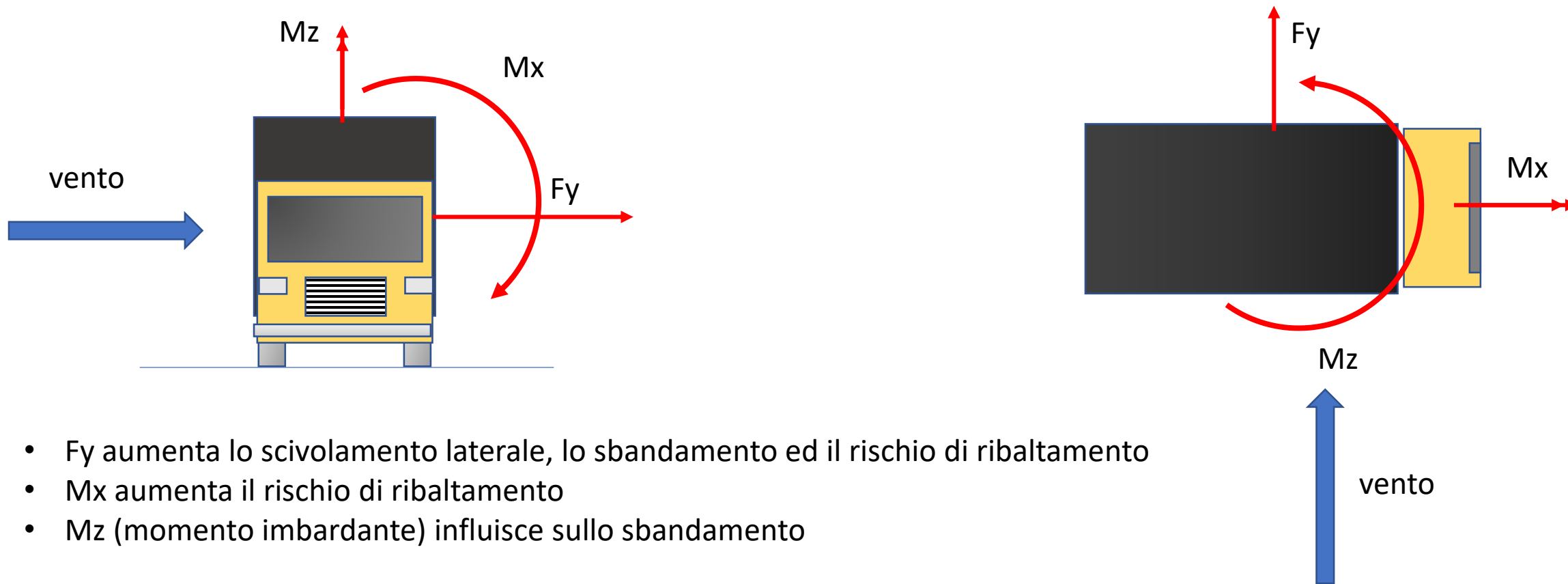
Prove in galleria del vento, coefficienti aerodinamici

$$F_i = \frac{1}{2} \rho A C_{F,i} U_r^2$$

$$M_i = \frac{1}{2} \rho A B C_{M,i} U_r^2$$



Prove in galleria del vento, coefficienti aerodinamici

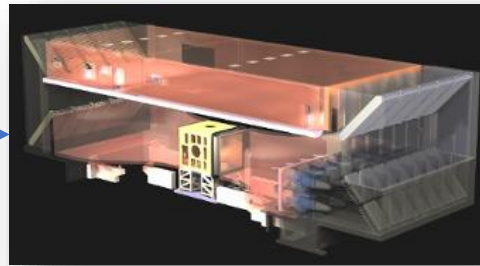


Fasi del lavoro

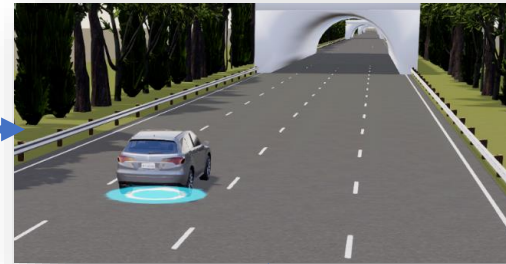
Veicolo esaminato



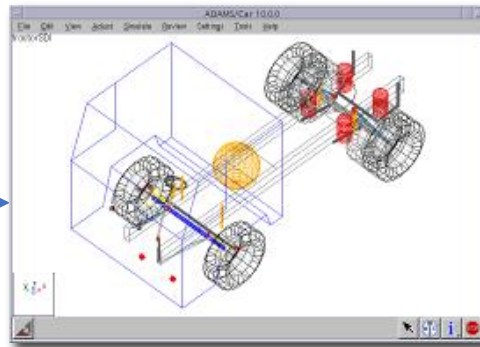
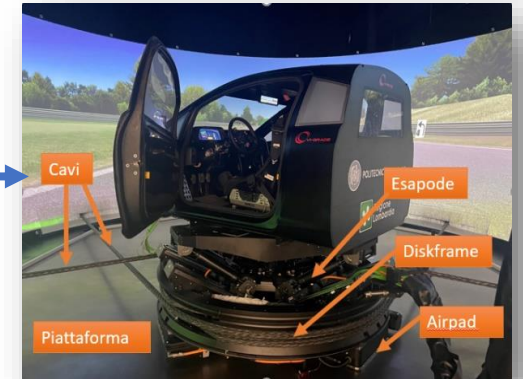
Test galleria del vento



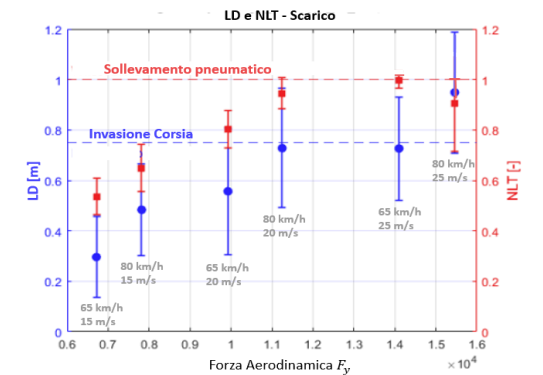
Modello interazione veicolo + vento



Prove al simulatore



Modello matematico



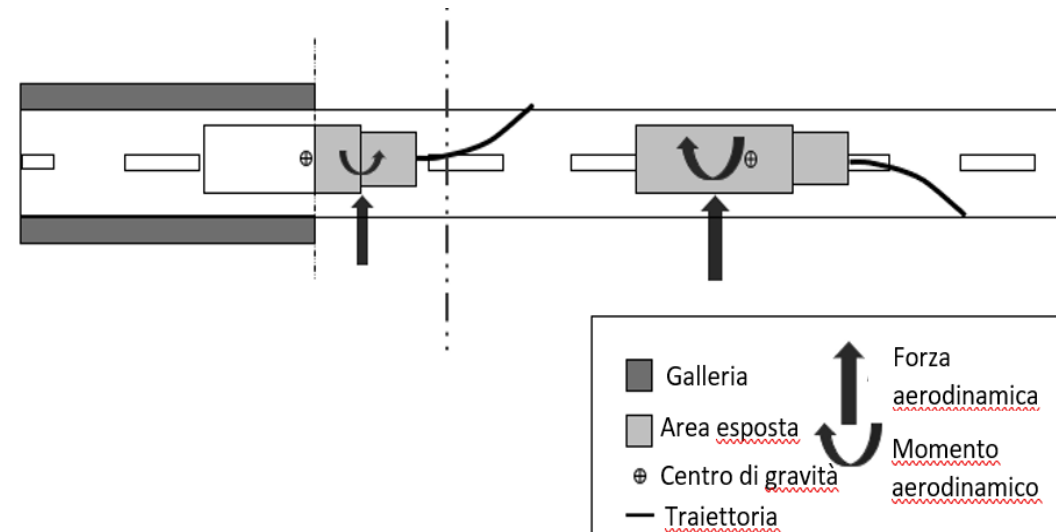
Rischio ribaltamento/invasione di corsia



Modello integrato

Scenario:

- marcia in rettilineo (2km) a velocità costante
- sequenza di 10 gallerie da 75 m
- Vento laterale in tra le gallerie

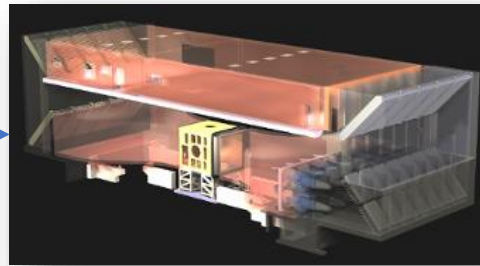


Fasi del lavoro

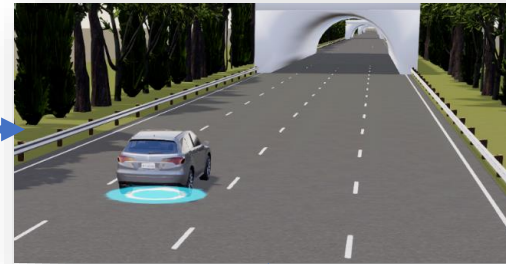
Veicolo esaminato



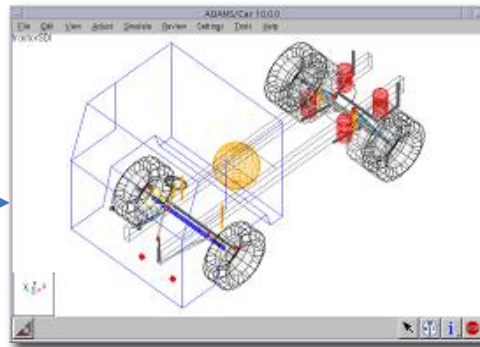
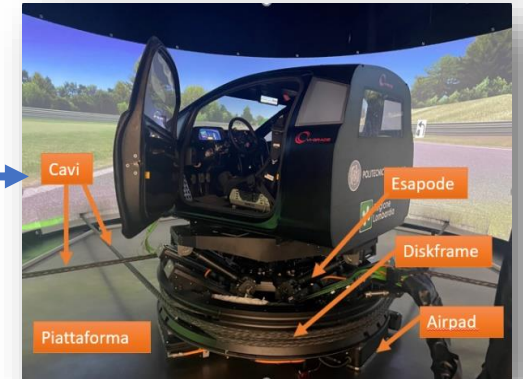
Test galleria del vento



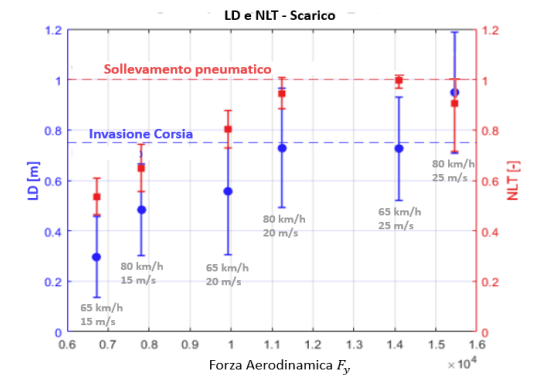
Modello interazione veicolo + vento



Prove al simulatore



Modello matematico



Rischio ribaltamento/invasione di corsia

Prove al simulatore dinamico di guida (DRiSMi)

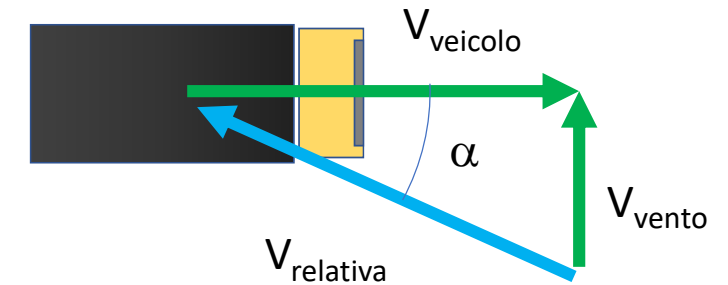


Caratteristica	Valore
Escursione longitudinale	4.0 m
Escursione laterale	4.0 m
Escursione verticale	± 298 mm
Angolo di imbardata	± 62°
Angolo di rollio	± 15°
Angolo di beccheggio	± 15°
Massima accelerazione longitudinale	1.5 g
Massima accelerazione laterale	1.5 g
Massima accelerazione verticale	2.5 g
Latenza	≈20 ms
Angolo schermo	270°



Prove al simulatore dinamico di guida: condizioni di prova

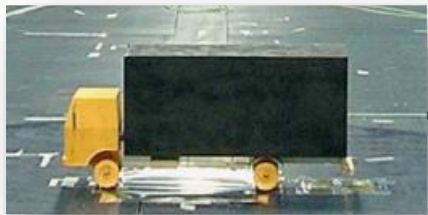
Prova	Condizione di carico	Velocità del veicolo	Velocità del vento	Velocità relativa	Angolo di incidenza	Forza laterale
1.1	Tara	65 km/h	15 m/s	23.47 m/s	39.72°	6.8 kN
1.2			20 m/s	26.94 m/s	47.93°	10.0 kN
1.3			25 m/s	30.83 m/s	54.17°	14.2 kN
2.1	80 km/h	80 km/h	15 m/s	26.08 m/s	34.02°	7.4 kN
2.2			20 m/s	29.89 m/s	41.99°	11.4 kN
2.3			25 m/s	33.44 m/s	48.36°	15.6 kN
3.1	Pieno carico	65 km/h	20 m/s	26.94 m/s	47.93°	10.0 kN
3.2			25 m/s	30.83 m/s	54.17°	14.2 kN
3.3			30 m/s	35.01 m/s	58.96°	18.8 kN
4.1	80 km/h	80 km/h	20 m/s	29.89 m/s	41.99°	11.4 kN
4.2			25 m/s	33.44 m/s	48.36°	15.6 kN
4.3			30 m/s	37.33 m/s	53.47°	20.6 kN



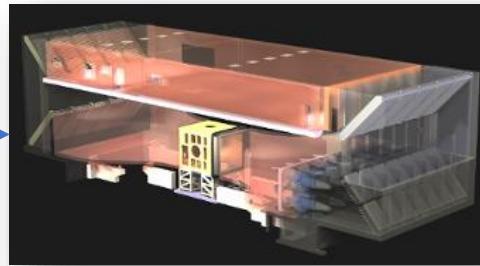
28 volontari tra 20 e 40 anni

Fasi del lavoro

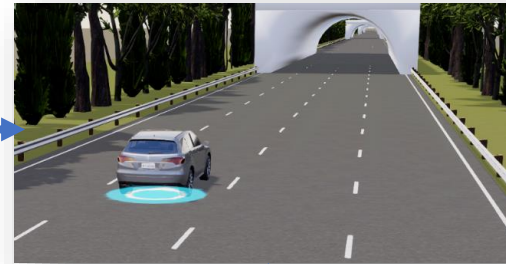
Veicolo esaminato



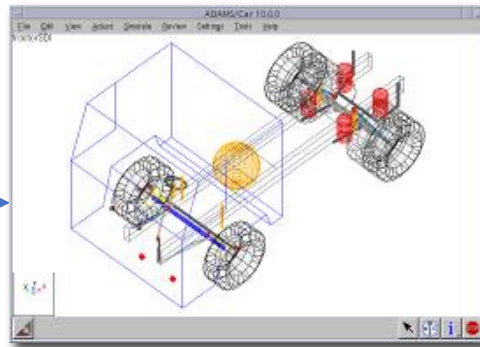
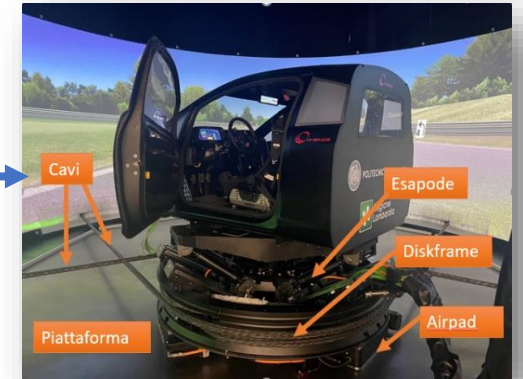
Test galleria del vento



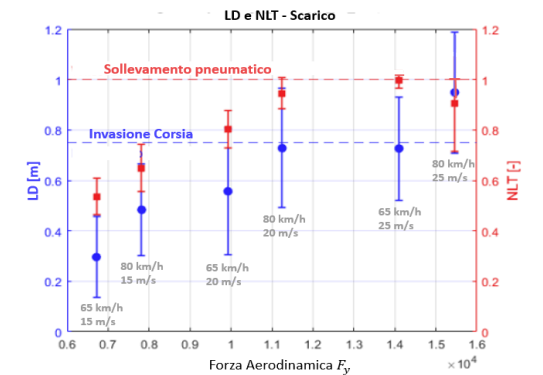
Modello interazione veicolo + vento



Prove al simulatore



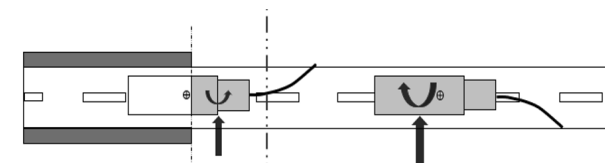
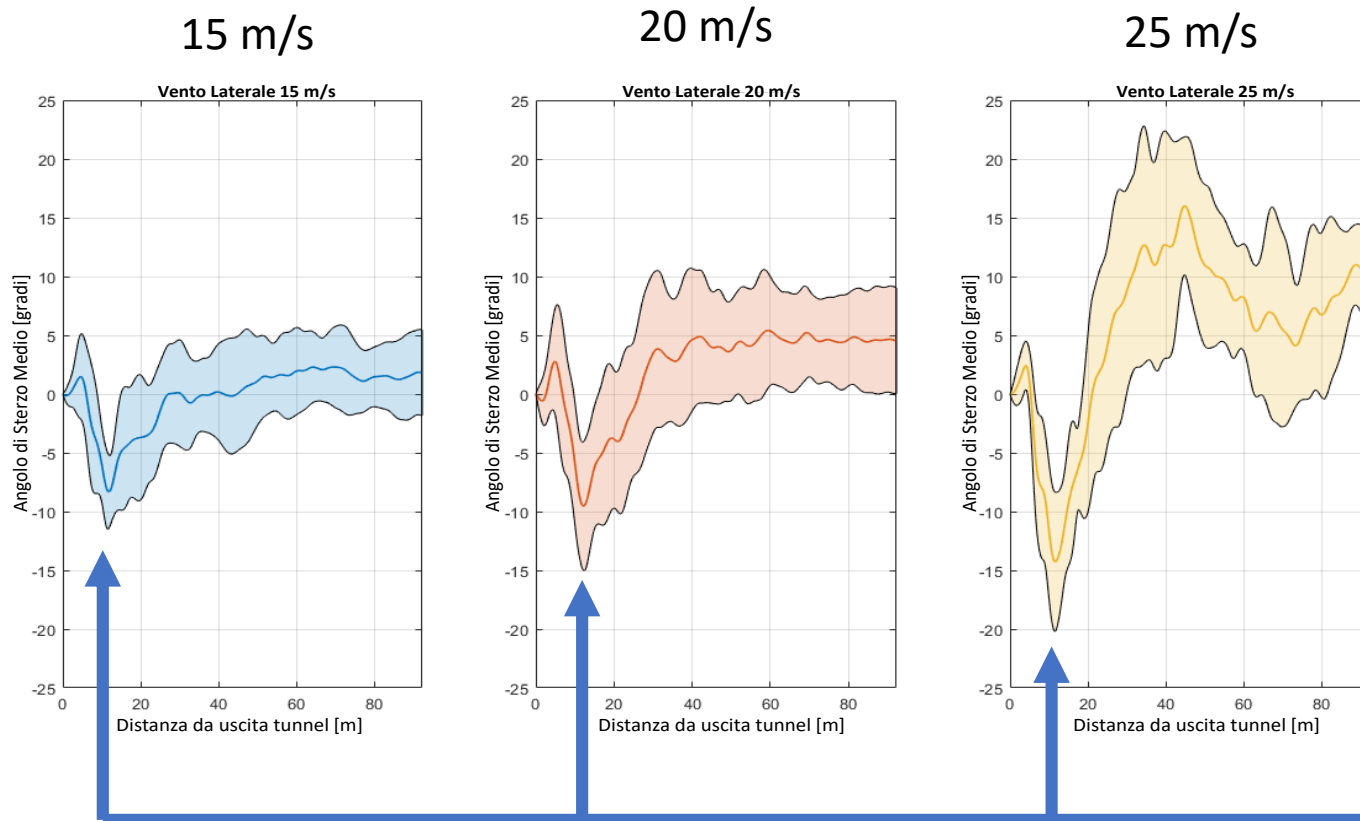
Modello matematico



Rischio ribaltamento/invasione di corsia



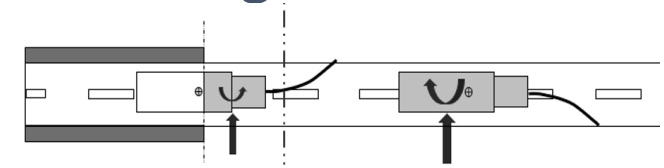
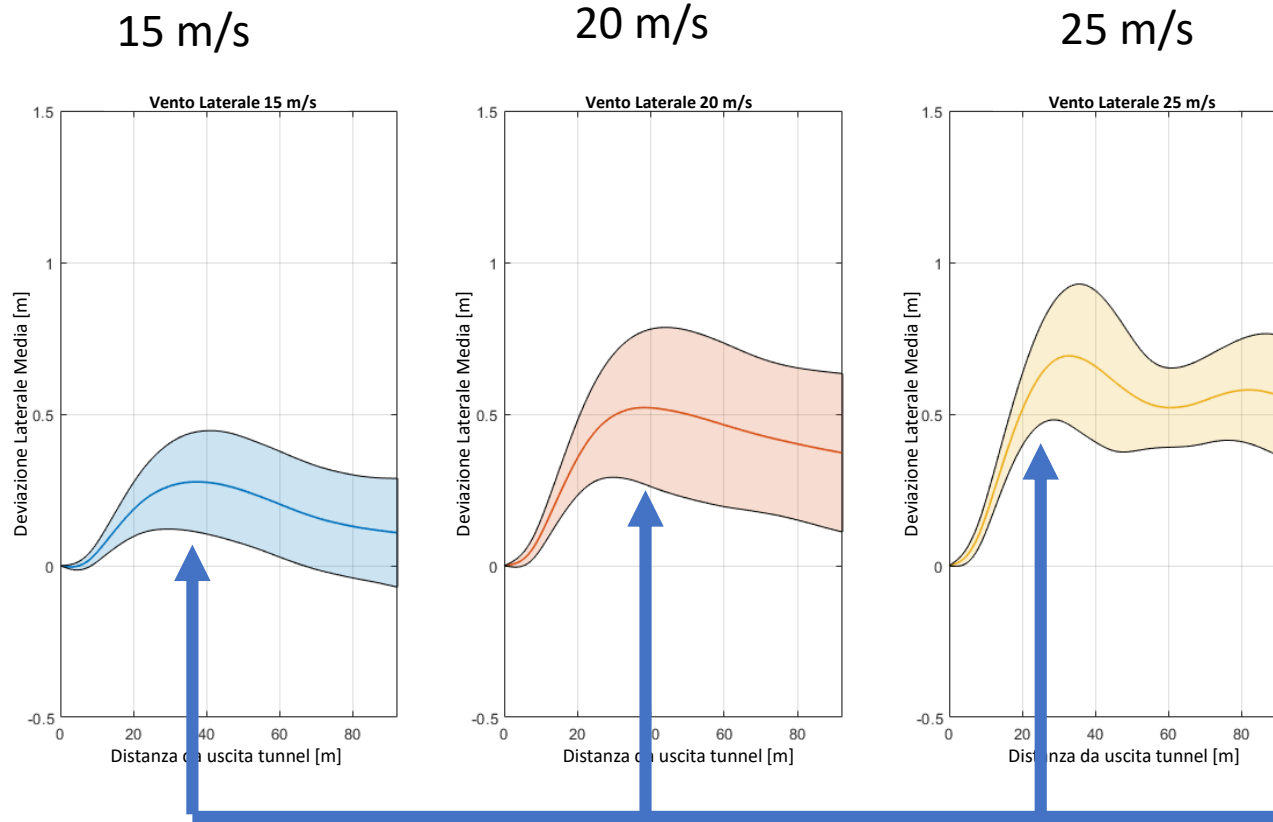
Risultati della sperimentazione: angolo di sterzo VS distanza dalla galleria



Sterzo costante verso sinistra per compensare il momento imbardante fuori dalla galleria

Sterzata a destra dovuta alla forza laterale applicata nella parte frontale del veicolo

Risultati della sperimentazione: spostamento laterale VS distanza dalla galleria

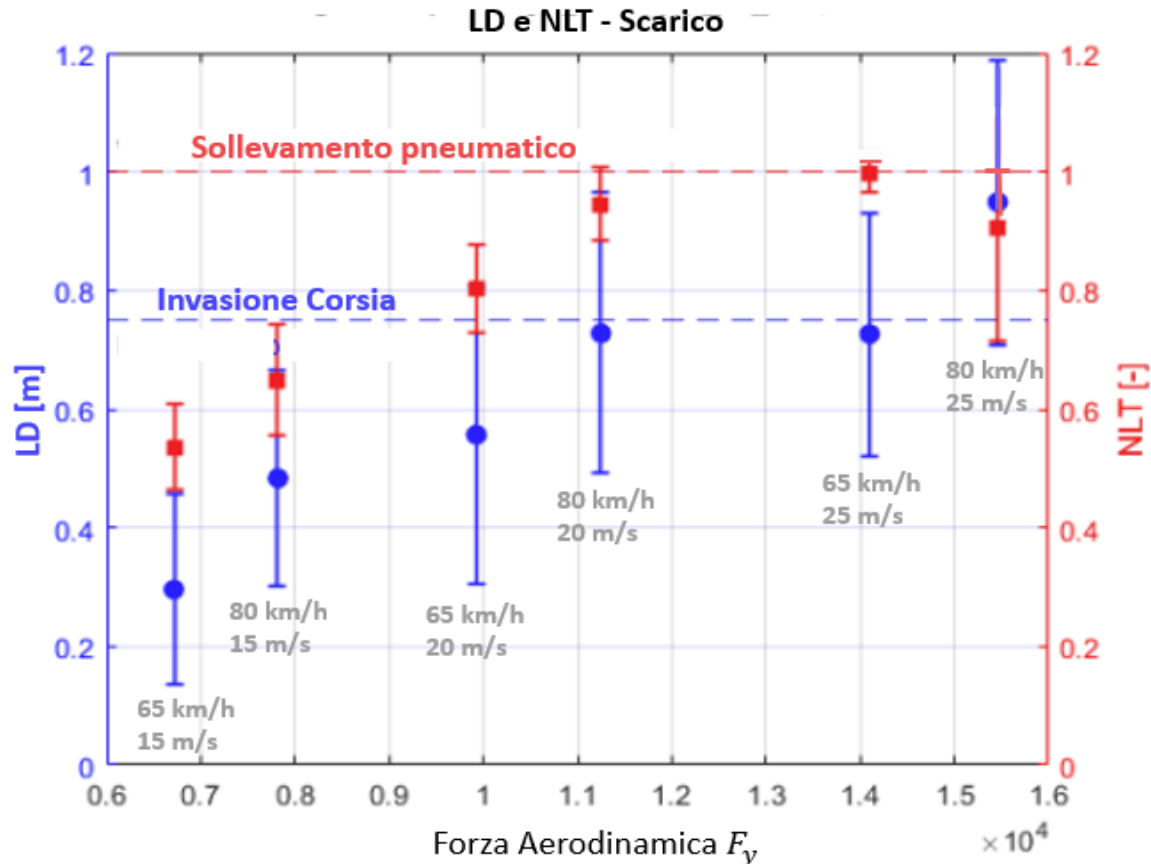


Sbandamento costante,
non recuperato tra le
due gallerie

Sovraelongazione all'uscita
dalla galleria



Risultati della sperimentazione: rischio ribaltamento e invasione di corsia

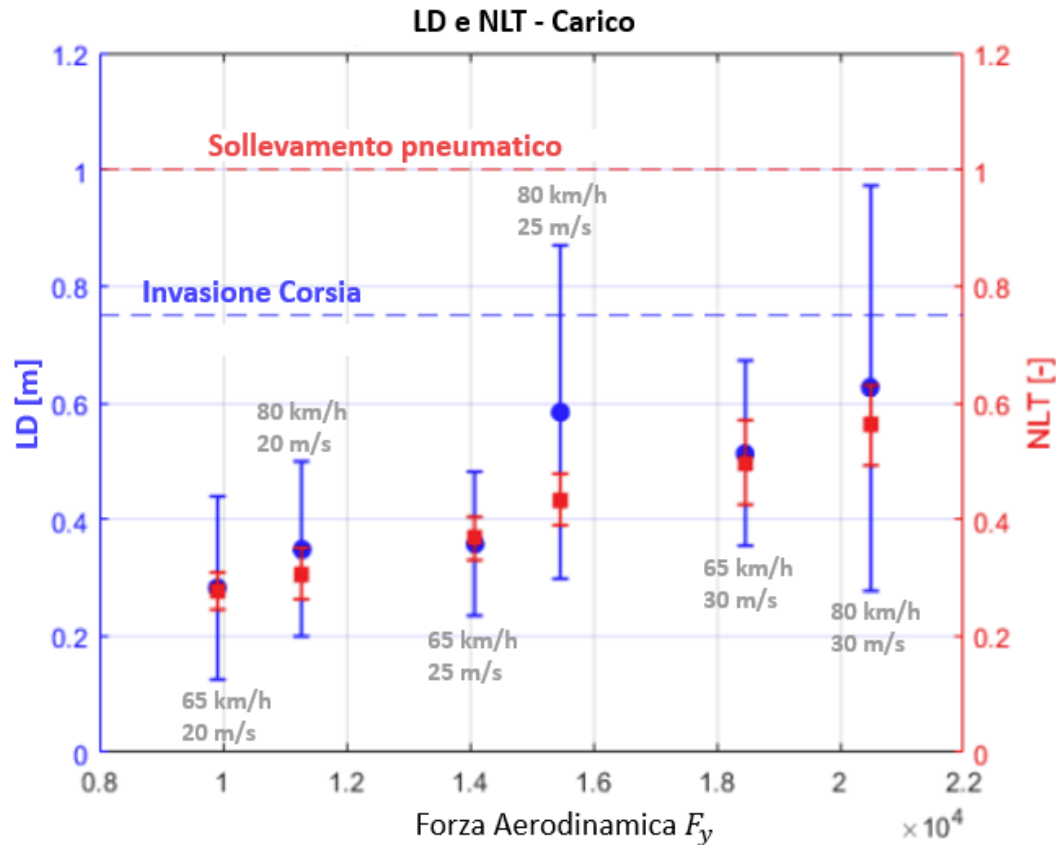


Veicolo a tara

- A 65 km/h, raffiche di vento di velocità uguale o superiore a 25 m/s hanno elevate probabilità di invasione di corsia e di ribaltamento.
- Ad 80 km/h, la soglia di velocità del vento scende a 20 m/s. Il veicolo a pieno carico è associato invece a rischi di invasioni di corsia per velocità di marcia di 80 km/h combinate a raffiche di vento uguali o superiori a 25 m/s.



Risultati della sperimentazione: rischio ribaltamento e invasione di corsia



Veicolo a pieno carico

- Rischi di invasioni di corsia per velocità di marcia di 80 km/h combinate a raffiche di vento uguali o superiori a 25 m/s.



Conclusioni

L'impiego di simulatori di guida consente di caratterizzare il comportamento di guidatori in condizioni critiche, mantenendo un ambiente di prova sicuro e ripetibile

La ricerca condotta ha permesso di identificare combinazioni di velocità del veicolo e del vento oltre le quali il rischio per la sicurezza di marcia diviene significativo

Possibili applicazioni

- elaborazione di criteri per l'installazione di barriere frangivento in determinati contesti;
- misura della velocità del vento in tratte critiche e conseguente adeguamento del limite di velocità per veicoli pesanti con opportuna segnaletica;
- misura della velocità del vento in tratte critiche e condivisione dell'informazione con i veicoli che, in funzione delle loro caratteristiche (dimensioni, condizioni di carico), possono adeguare il limite di velocità di conseguenza.



GRAZIE

PER L'ATTENZIONE

SICUREZZA
STRADALE


obiettivo zero  vittime

con il patrocinio



Ordine degli Ingegneri
della Provincia
di Roma

I CONSIGLIO NAZIONALE
DEGLI INGEGNERI