



**POLITECNICO**  
MILANO 1863

**GARA EUROPEA A PROCEDURA TELEMATICA APERTA  
PER L’AFFIDAMENTO “Progettazione, fornitura e posa di  
un banco prova indoor per la misura delle forze di  
trazione/repulsione scambiate tra veicoli ferroviari”  
PROGETTO DI GARA**

Allegato 2 – Storie temporali della posizione del telaio mobile e delle  
forze scambiate attraverso gancio e respingenti per manovre  
significative

**Sommario**

Introduzione.....	2
Prove effettuate.....	4
M12, veicolo 3 .....	4
M12, veicolo 15.....	4
M41, veicolo 4 .....	5
M41, veicolo 15.....	5
M44, veicolo 4 .....	6
M44, veicolo 15.....	6
Sintesi.....	7

## Introduzione

Il presente allegato definisce le caratteristiche di base necessarie alla progettazione di un banco prova HiL che consenta di riprodurre in laboratorio la dinamica dei dispositivi di interfaccia tra due vagoni. Il banco dovrà essere in grado di movimentare nel piano orizzontale un telaio, controllandone le 2 traslazioni e la rotazione. Il telaio mobile rappresenta l'estremità anteriore di uno dei due vagoni. Il telaio fisso rappresenta invece l'estremità posteriore di quello adiacente. Sul telaio mobile e su quello fisso verranno montati i dispositivi di accoppiamento tra i carri, rappresentati dai tradizionali gancio-respingenti o da accoppiatori automatici. Il movimento del telaio mobile sarà controllato anche mediante un'interfaccia su scheda real-time (già presente e non oggetto della fornitura) su cui sarà simulata la dinamica longitudinale di un convoglio.

Il banco dovrà essere in grado di spostare il telaio mobile in modo da replicare fedelmente la cinematica dell'interazione fra due vagoni ferroviari facenti parte di un convoglio merci. Per consentire la progettazione dello stesso, sono disponibili le storie temporali di una serie di manovre di un convoglio, strutturate in maniera da essere rappresentativi dell'involuppo di spostamenti, velocità, accelerazioni e forze che il banco dovrà essere in grado di compiere.

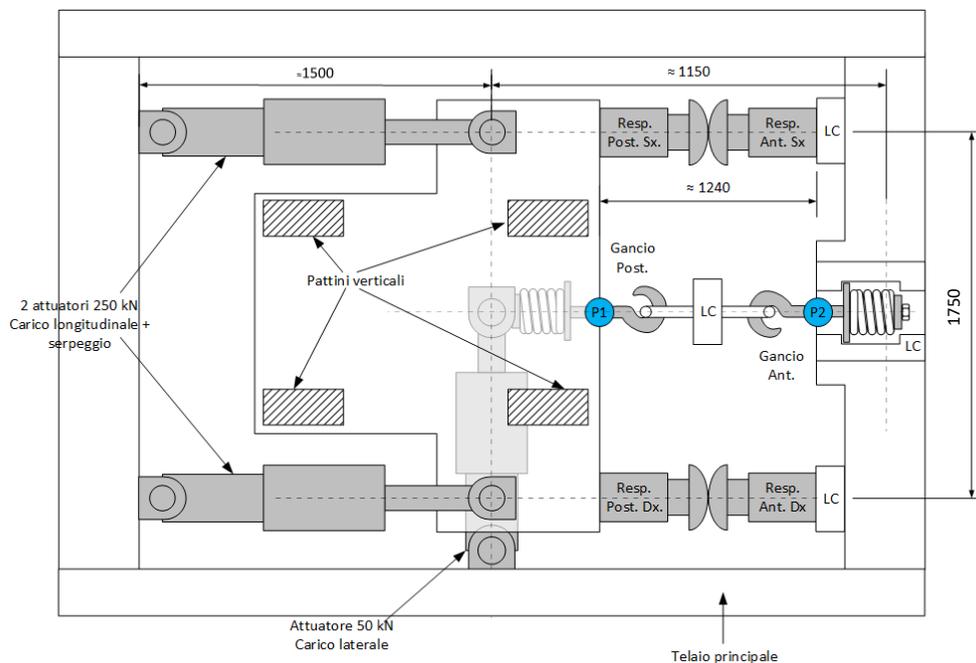


Figura 1: layout del banco prova, vista dall'alto.

Le simulazioni sono state effettuate con il software TSDYN, messo a punto dal Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano. Il software simula la dinamica di un convoglio nel piano orizzontale tenendo conto dei moti relativi tra i veicoli, determinati da forze traenti, frenanti, resistenze al moto e forze scambiate tramite gancio e respingenti.

Il convoglio simulato consiste in due locomotive di testa che trainano 27 carri SGNSS a pieno carico. Si tratta quindi di un convoglio merci. Il convoglio ha una lunghezza rimorchiata di 700 m ed una massa rimorchiata di 2500 t; si trova quindi ai limiti delle caratteristiche ammesse attualmente per la circolazione sulla rete italiana. I carri impiegati sono inoltre i carri a 4 carrelli più lunghi (26 m) tra quelli utilizzati; questo implica un maggiore angolo relativo tra i veicoli in curva, creando maggiori compressioni sui respingenti per solo effetto geometrico.

Le simulazioni consentono di stimare i moti relativi tra due carri adiacenti; in questo modo è possibile generare dei riferimenti per il telaio mobile del banco rappresentato in Figura 1. Il telaio mobile viene considerato come vagone posteriore di una coppia di carri.

Per stimare le prestazioni del banco è stato realizzato un modello del banco stesso. Si sono assunte le quote mostrate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tabella 1: Principali dati del modello numerico del banco impiegati nei conti per il dimensionamento di massima delle prestazioni degli attuatori.

Dato	Valore	Note
Scartamento respingenti	1750 mm	
Scartamento attuatori orizzontali	1750 mm	
Compressione dei respingenti	105 mm	
Lunghezza libera dei respingenti	620 mm	I vagoni merci vengono accostati senza precomprimere i respingenti

Le manovre simulate sono le seguenti:

- **M12\_3**: accelerazione del convoglio in rettilineo seguita da frenatura rapida; controllo della posizione del 3° veicolo del convoglio, su cui si scarica la forza di trazione massima in accelerazione;
- **M12\_15**: accelerazione del convoglio in rettilineo seguita da frenatura rapida; controllo della posizione del 15° veicolo del convoglio, su cui si scarica il massimo dell'onda di compressione seguente alla frenata rapida;
- **M41\_4**: inserimento, percorrenza e frenata rapida in curva sinistra; controllo della posizione del 4° veicolo del convoglio, che transita sulla curva a velocità costante;
- **M41\_15**: inserimento, percorrenza e frenata rapida in curva sinistra; controllo della posizione del 15° veicolo del convoglio sul quale si sovrappongono la compressione geometrica dei respingenti e la compressione legata alla frenata rapida;
- **M44\_4**: Attraversamento di un doppio scambio (destra-sinistra) con frenata rapida; controllo della posizione del 4° veicolo del convoglio, che transita sul doppio scambio a velocità costante
- **M44\_15**: Attraversamento di un doppio scambio (destra-sinistra) con frenata rapida, controllo della posizione del 15° veicolo del convoglio, sul quale si sovrappongono la compressione geometrica dei respingenti e la compressione legata alla frenata rapida.

Per ciascuna manovra sono stati calcolati:

1. Lo spostamento del telaio mobile rispetto alla posizione di riposo nelle direzioni longitudinale, trasversale e angolo di rotazione;
2. La velocità del telaio mobile nelle due direzioni e la sua velocità angolare;
3. L'accelerazione del telaio mobile nelle due direzioni e la sua accelerazione angolare;
4. Forze e momenti sul telaio mobile generati da gancio/respingenti ridotti al punto  $P_1$  del telaio mobile, nel suo sistema di riferimento.

I sistemi di riferimento usati per esprimere spostamenti, rotazioni, forze e coppie sono indicati in Figura 2. In particolare:

- spostamenti, velocità ed accelerazioni sono espressi nel riferimento solidale con il punto  $P_2$  del telaio fisso; l'orientazione della terna è quindi costante nel tempo. Nella posizione iniziale, in cui il telaio mobile è allineato con quello fisso e i respingenti sono semplicemente accostati, la posizione di  $P_1$  è -1.4m in direzione x e 0m in direzione y; la rotazione di serpeggio è ovviamente nulla;
- le forze e i momenti sono espressi nel riferimento solidale con il punto  $P_1$  del telaio mobile; l'orientazione di questa terna cambia quindi nel tempo seguendo l'andamento del serpeggio  $\varphi$ .

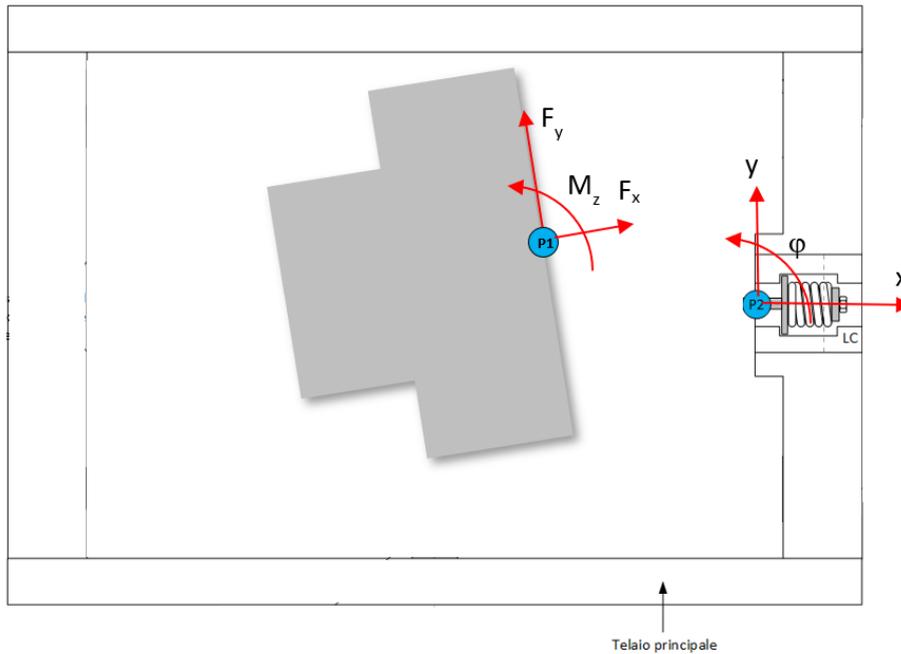


Figura 2: Sistema di riferimento spostamenti e forze.

Per ciascuna manovra sono disponibili figure rappresentative delle principali grandezze in analisi, nonché le storie temporali (con risoluzione 0,01 secondi) di tutte le grandezze di cui sopra.

I file sono disponibili in formato \*.csv, \*.txt ed \*.xlsx.

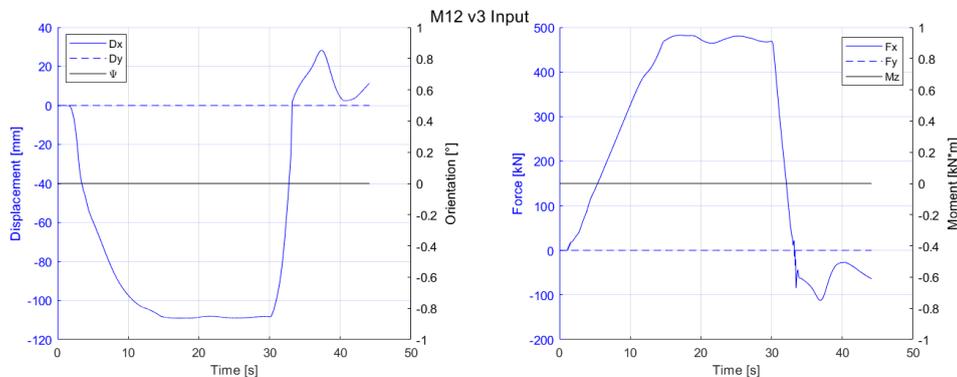
Una tabella riassuntiva finale raccoglie infine i valori massimi e minimi di ciascuna grandezza per ciascuna prova.

## Prove effettuate

### M12, veicolo 3

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto P<sub>1</sub> espressi nella terna solidale a P<sub>2</sub>. Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di P<sub>1</sub>, ossia (-1.24,0); Dx rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso, Dy lo spostamento lungo la direzione trasversale.  $\phi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in P<sub>1</sub> e solidale al telaio mobile.

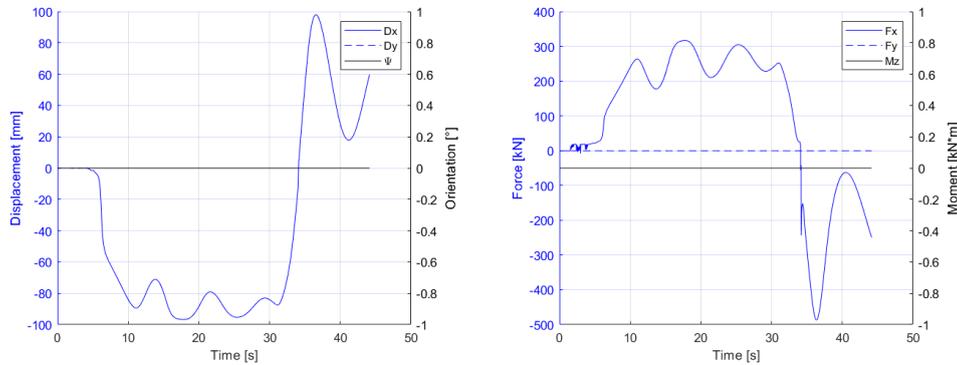


### M12, veicolo 15

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto P<sub>1</sub> espressi nella terna solidale a P<sub>2</sub>. Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di P<sub>1</sub>, ossia (-1.24,0); Dx rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso, Dy lo

spostamento lungo la direzione trasversale.  $\varphi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

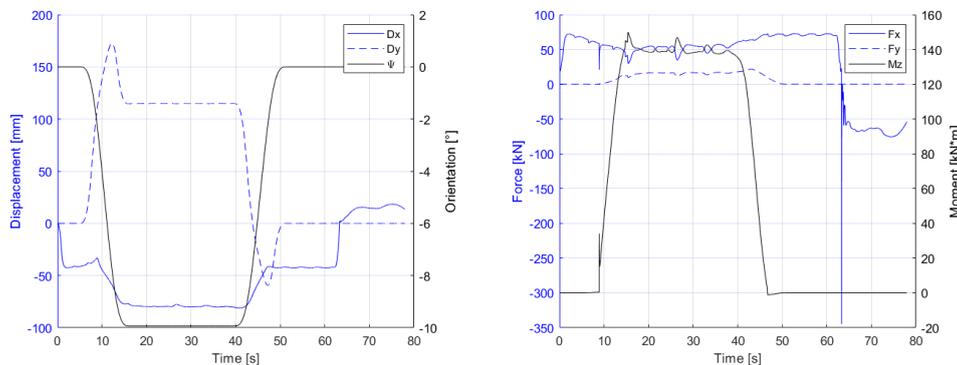
Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in  $P_1$  e solidale al telaio mobile.



#### M41, veicolo 4

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto  $P_1$  espressi nella terna solidale a  $P_2$ . Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di  $P_1$ , ossia  $(-1.24,0)$ ;  $D_x$  rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso,  $D_y$  lo spostamento lungo la direzione trasversale.  $\varphi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

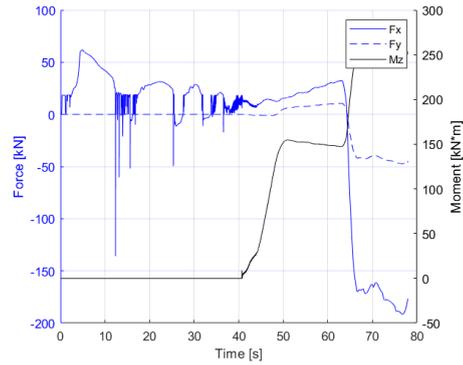
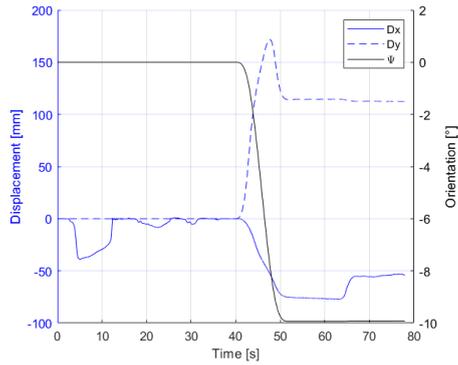
Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in  $P_1$  e solidale al telaio mobile.



#### M41, veicolo 15

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto  $P_1$  espressi nella terna solidale a  $P_2$ . Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di  $P_1$ , ossia  $(-1.24,0)$ ;  $D_x$  rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso,  $D_y$  lo spostamento lungo la direzione trasversale.  $\varphi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

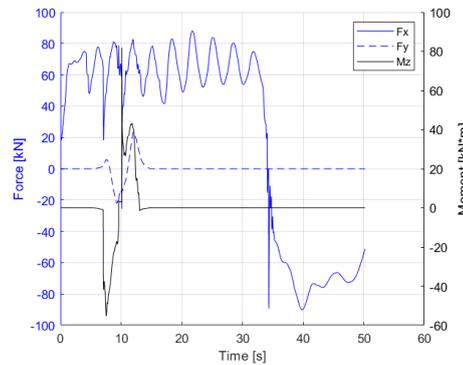
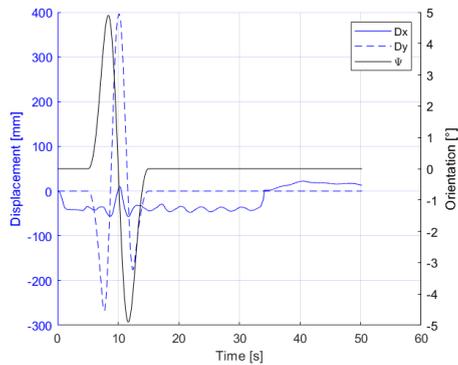
Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in  $P_1$  e solidale al telaio mobile.



#### M44, veicolo 4

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto  $P_1$  espressi nella terna solidale a  $P_2$ . Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di  $P_1$ , ossia  $(-1.24,0)$ ;  $D_x$  rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso,  $D_y$  lo spostamento lungo la direzione trasversale.  $\varphi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

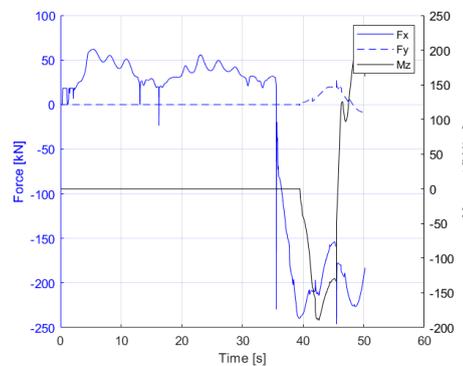
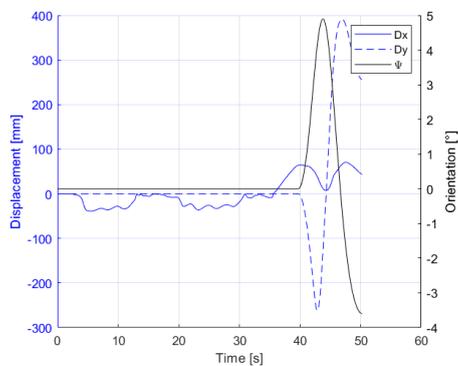
Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in  $P_1$  e solidale al telaio mobile.



#### M44, veicolo 15

Il grafico di sinistra si riferisce agli spostamenti del punto  $P_1$  espressi nella terna solidale a  $P_2$ . Per avere una scala del grafico più leggibile, tali spostamenti sono espressi a partire dalla posizione iniziale di  $P_1$ , ossia  $(-1.24,0)$ ;  $D_x$  rappresenta lo spostamento lungo la direzione longitudinale del telaio fisso,  $D_y$  lo spostamento lungo la direzione trasversale.  $\varphi$  è la rotazione del telaio mobile positiva in senso antiorario.

Il grafico di destra mostra invece forze e momenti trasmessi al telaio mobile da gancio e respingenti; queste quantità sono espresse nel riferimento centrato in  $P_1$  e solidale al telaio mobile.



## Sintesi

Nome prova	Spostamento longitudinale [mm]	Spostamento trasversale [mm]	Angolo [rad]	Velocità longitudinale [m/s]	Velocità trasversale [m/s]	Velocità angolare [rad/s]	Accelerazione longitudinale [m/s <sup>2</sup> ]	Accelerazione trasversale [m/s <sup>2</sup> ]	Accelerazione angolare [rad/s <sup>2</sup> ]	Forza longitudinale [kN]	Forza trasversale [kN]	Coppia [kNm]
M12.inp_3_max	28	0	0,00	0,15	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	482	0	0
M12.inp_3_min	-109	0	0,00	-0,04	0,00	0,00	-3,93	0,00	0,00	-112	0	0
M12.inp_15_max	98	0	0,00	0,23	0,00	0,00	3,23	0,00	0,00	317	0	0
M12.inp_15_min	-97	0	0,00	-0,10	0,00	0,00	-5,01	0,00	0,00	-487	0	0
M41.inp_4_max	18	172	0,00	0,12	0,05	0,03	1,32	0,10	0,01	73	22	150
M41.inp_4_min	-81	-59	-0,17	-0,06	-0,05	-0,03	-3,17	-0,09	-0,01	-345	-1	-1
M41.inp_15_max	1	172	0,00	0,07	0,05	0,00	0,98	0,08	0,01	62	11	260
M41.inp_15_min	-77	0	-0,17	-0,05	-0,03	-0,03	-1,96	-0,08	-0,01	-192	-47	0
M44.inp_4_max	22	396	0,09	0,12	0,44	0,04	1,30	0,67	0,07	88	24	82
M44.inp_4_min	-57	-267	-0,09	-0,08	-0,36	-0,08	-3,10	-0,54	-0,07	-90	-22	-55
M44.inp_15_max	71	392	0,09	0,08	0,26	0,03	1,25	0,35	0,02	62	28	203
M44.inp_15_min	-39	-262	-0,06	-0,05	-0,13	-0,04	-2,08	-0,19	-0,04	-246	-8	-190