



**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 1 – Descrizione banco**

**Sommario**

Introduzione.....	2
Descrizione dei componenti in prova.....	2
Gancio di trazione e respingenti.....	2
Respingenti.....	2
Gancio.....	5
Digital Automatic Coupler (DAC).....	6
Forze e spostamenti attesi.....	10
Possibile layout banco prova.....	12
Sistemi di misura.....	14
Bibliografia e norme di riferimento.....	14

## Introduzione

Il presente allegato definisce le caratteristiche di base necessarie alla progettazione di un banco prova HiL (Hardware in the Loop) che consenta di riprodurre in laboratorio la dinamica dei dispositivi di interfaccia tra due vagoni. Il banco dovrà essere in grado di movimentare un telaio nel piano orizzontale, controllandone le 2 traslazioni e la rotazione. Questo *telaio mobile* rappresenta l'estremità anteriore di uno dei due vagoni.

Il *telaio fisso* rappresenta invece l'estremità posteriore del vagone 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 (DAC, *Digital Automatic Coupler*). 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 misurare le forze scambiate attraverso i dispositivi di accoppiamento e restituirle al codice di simulazione in esecuzione sulla scheda.

## Descrizione dei componenti in prova

L'interfaccia simulata tramite il banco HiL intende riprodurre l'accoppiamento fra due vagoni ferroviari in diverse configurazioni di equipaggiamento e utilizzo. Pertanto, le due testate devono poter essere equipaggiate con i seguenti sistemi di accoppiamento:

- Accoppiatori a gancio di trazione e respingenti, attualmente in uso sulla maggior parte della rete ferroviaria europea;
- *Digital Automatic Coupler* o DAC, attualmente al centro di una serie di studi relativi ad una sua introduzione a livello europeo.

I dettagli relativi alle due tipologie di accoppiamento sono dettagliati nei seguenti paragrafi.

### Gancio di trazione e respingenti

#### Respingenti

Per i dati tipici sui respingenti si considera come riferimento normativo la norma EN 15551:2017. Da quest'ultima sono estratti i valori riportati nel seguito. Le dimensioni di massima dei due respingenti sono indicate nella Figura 1 e nella Tabella 1 estratti dalla normativa di riferimento.

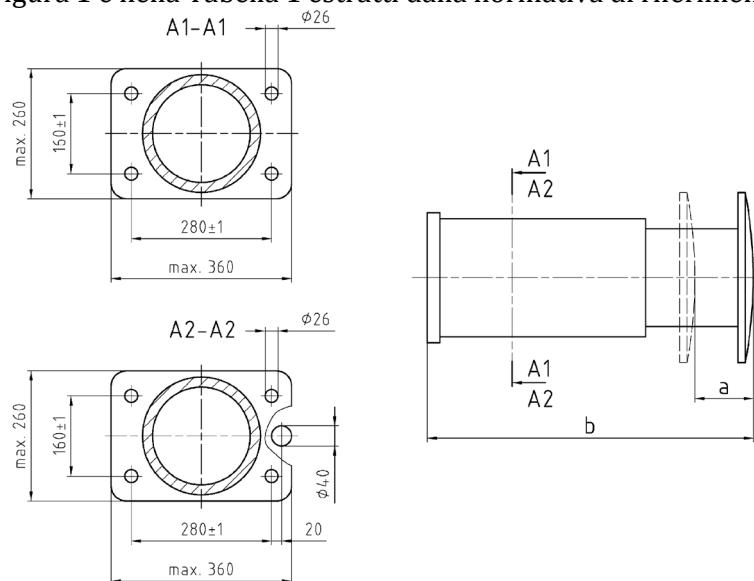


Figura 1: Dimensione dei punti di ancoraggio dei respingenti.

*Tabella 1: Dimensioni standard dei respingenti.*

	<b>Respingente da 105 mm</b>	<b>Respingente da 110 mm</b>	<b>Respingente da 150 mm</b>
<b>Corsa (a) [mm]</b>	$(105^0_{-5})$	$(110^0_{-5})$	$(150^0_{-5})$
<b>Lunghezza (b) [mm]</b>	620	650	665

Il respingente da 150 mm non è di interesse per la ricerca. È importante potere alloggiare i respingenti da 620 mm (che equipaggiano i carri merci) e quelli da 650 mm, che equipaggiano invece i vagoni passeggeri. I respingenti devono essere installati simmetricamente rispetto alla mezzzeria dei telai fisso e mobile, ad una distanza di 1750 mm.

I fori di installazione dei respingenti sul pancone debbono essere congruenti alla norma UIC 526-1: quattro fori del diametro di 20 mm dotati delle quote di cui all'immagine. Si deve inoltre lasciare libera un'area di dimensioni 360x260 mm, centrata rispetto all'asse di installazione del respingente al fine di consentire l'appoggio del componente stesso sulla testata.

Il sistema di attuazione dovrà permettere l'applicazione di carichi nell'ordine di quelli riportati nella Tabella 2. I livelli di energia assorbita tipici sono invece riportati in Tabella 3.

*Tabella 2: Carichi tipici respingenti.*

<b>Corsa</b>	<b>Respingente da 105 mm</b>	<b>Respingente da 110 mm (molle convenzionali)</b>	<b>Respingente da 110 mm (molle idrauliche)</b>	<b>Respingente da 150 mm</b>
<b>[mm]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>	<b>[kN]</b>
<b>&gt;0</b>	10-50	7.5-20	7.5-50	10-90
<b>&gt;25</b>	30-130	10-40	-	30-130
<b>&gt;50</b>	-	-	60-200	-
<b>&gt;60</b>	100-400	50-160	-	80-220
<b>&gt;100</b>	350-1000	-	-	150-390
<b>&gt;105</b>	-	300-1000	<600	-
<b>&gt;125</b>	-	-	-	200-520
<b>&gt;145</b>	-	-	-	350-880

*Tabella 3: Carichi tipici respingenti.*

<b>Respingente da 105 mm</b>	<b>Respingente da 110 mm (molle convenzionali)</b>	<b>Respingente da 110 mm (molle idrauliche)</b>	<b>Respingente da 150 mm</b>
<b>Energia Accumulata (We) per forze <math>\leq 1000\text{kN}</math> <math>\geq 12.5\text{ kJ}</math></b>	Energia Accumulata (We) per forze $\leq 1000\text{kN}$ $\geq 10\text{ kJ}$	Energia Accumulata (We) per forze $\leq 600\text{kN}$ $\geq 12\text{ kJ}$	Energia Accumulata (We) per forze $\leq 880\text{kN}$ $\geq 18\text{ kJ}$
<b>Energia assorbita (Wa) 1° ciclo <math>\geq 0.5\text{ We}</math></b>	Energia assorbita (Wa) 1° ciclo $\geq 0.5\text{ We}$	Energia assorbita (Wa) 1° ciclo $\geq 0.5\text{ We}$	Energia assorbita (Wa) 1° ciclo $\geq 0.5\text{ We}$
<b>Energia assorbita (Wa) 2°-3° ciclo <math>\geq 0.42\text{ We}</math></b>	Energia assorbita (Wa) 2°-3° ciclo $\geq 0.42\text{ We}$	Energia assorbita (Wa) 2°-3° ciclo $\geq 0.42\text{ We}$	Energia assorbita (Wa) 2°-3° ciclo $\geq 0.42\text{ We}$

## Gancio

Per i dati tipici del gancio di trazione si considera come riferimento normativo la norma EN 15566:2022. Da quest'ultima sono estratti i valori riportati nel seguito. Le dimensioni di massima dei piatti di ancoraggio dei due ganci sono indicate nella Figura 2 estratti dalla normativa di riferimento.

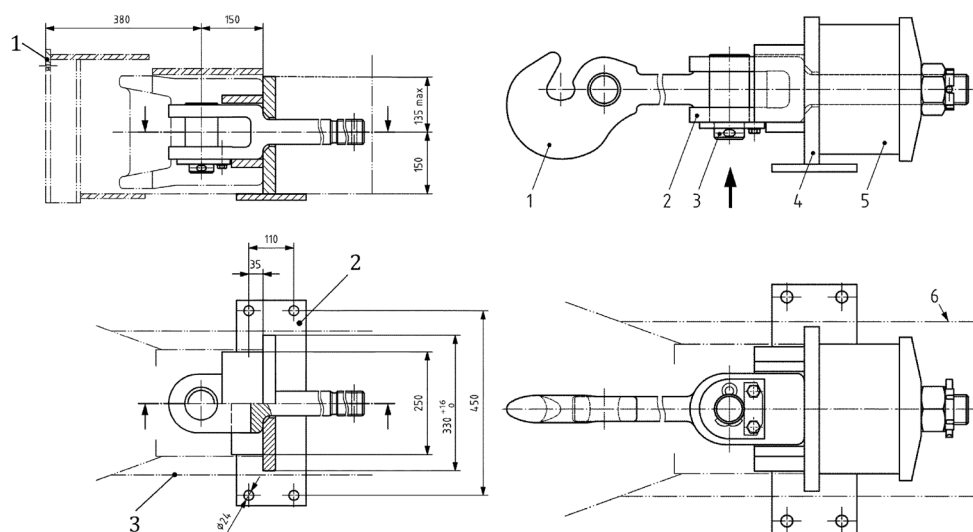


Figura 2: Dimensione del piatto di ancoraggio gancio (sinistra) e del gancio montato (destra).

È pertanto necessaria la presenza di uno spazio di installazione, dietro il pancone, atto ad ospitare il piatto o *castelletto di trazione*, conforme ai requisiti di spazio e ai fori di installazione delineati nella norma UIC 520 e riportato in Figura 3.

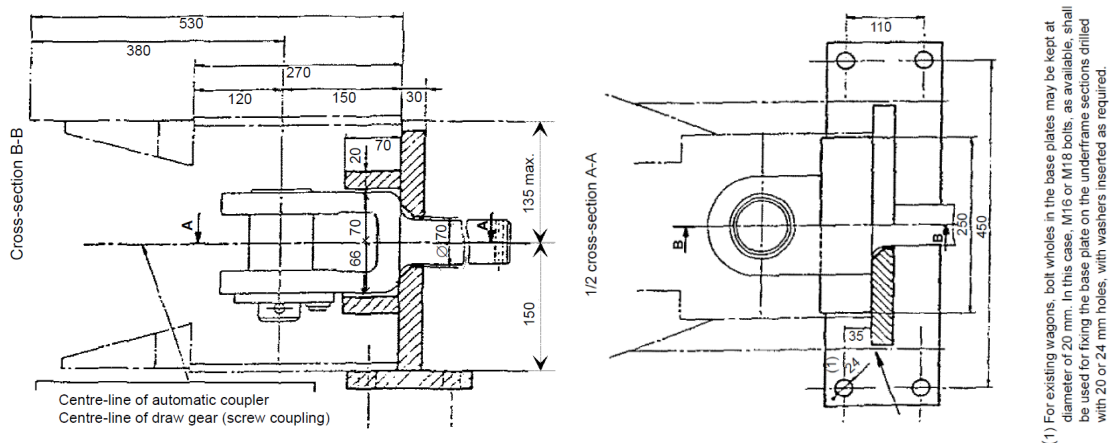


Figura 3: quote di installazione castelletto di trazione

L'asse della struttura del gancio deve essere situato parallelamente alla direzione longitudinale dei telai fisso e mobile, 20 mm sotto il piano di installazione dei respingenti.

La testata di ciascuno dei due telai deve inoltre prevedere la possibilità di installare un sostegno verticale del gancio di trazione, in maniera da evitare la sua caduta in caso di avvicinamento dei telai stessi. La seguente figura fornisce, a titolo di esempio, una possibile soluzione costruttiva.



Figura 4: un esempio di sistema di sospensione del gancio

I carichi massimi applicabili ai ganci sono definiti in tre livelli di carico massimo: 1,0 MN, 1,2 MN e 1,5 MN. L'elemento elastico (elemento 5 nella Figura 3) deve garantire i seguenti valori di forza:

- Forza minima per compressioni tra 50÷60 mm: 550 kN.
- Valore minimo di precompressione statica: 20 kN.
- Energia immagazzinata minima: 10 kJ, 20 kJ per ganci da 1,5 MN.
- Energia dissipata in un ciclo di carico scarico: 30%

### Digital Automatic Coupler (DAC)

La seconda tipologia di organo di accoppiamento oggetto delle attività di caratterizzazione del presente banco di prova è l'accoppiatore automatico *Type 10* o *Scharfenberg*, scelto dall'*European DAC Delivery Programme* come lo standard del futuro sistema di accoppiamento interoperabile all'interno della rete europea. I dettagli normativi dell'accoppiatore sono descritti nella norma EN 16019:2016, mentre le figure seguenti riportano una rappresentazione dell'assieme del gancio e un dettaglio sulla sua testata.

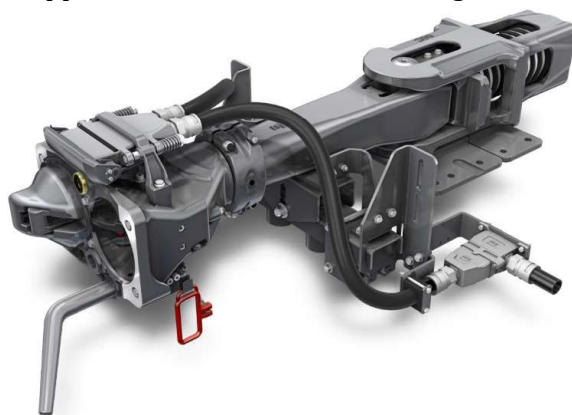


Figura 5: immagine rappresentativa dell'accoppiatore tipo Scharfenberg.

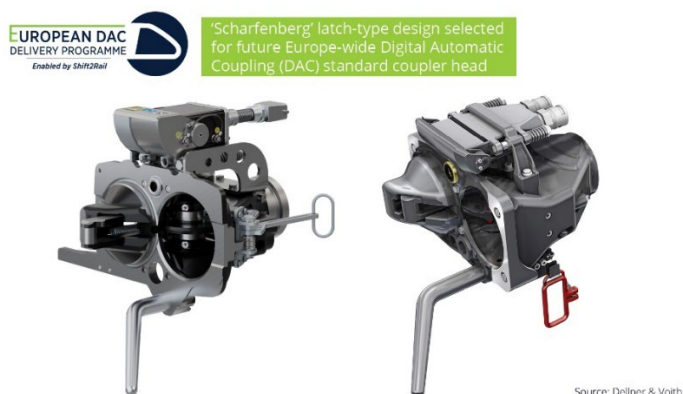


Figura 6: testata dell'accoppiatore tipo Scharfenberg.

L'accoppiatore Scharfenberg permette la trasmissione di sforzi sia in compressione che trazione, sostituendo quindi sia la funzione del gancio di trazione tradizionale che dei respingenti. È formato dall'interfaccia di accoppiamento vera e propria, il castelletto di trazione e il sistema di stabilizzazione dell'interfaccia di accoppiamento. L'interfaccia è collegata al castelletto di trazione mediante un perno che consente a oscillazioni in senso verticale e trasversale rispetto all'asse del veicolo. Il gancio incorpora infine le condotte dell'aria e una contattiera elettrica.

L'accoppiatore DAC è caratterizzato da una distanza di 1000 mm fra l'interfaccia di accoppiamento e il perno di articolazione dell'interfaccia. Tale perno è a sua volta situato 380 mm dietro la testata del veicolo. Ne risulta una distanza fra l'interfaccia di accoppiamento e la testata di ciascuno dei due veicoli accoppiati di 620 mm e una distanza fra le due testate di 1240 mm.

Il DAC può accoppiarsi con un suo omologo in presenza di scarti fino a 125 mm in direzione verticale e 220 mm in direzione orizzontale.

Il castelletto di trazione contiene al suo interno i sistemi di molle e smorzatori necessari all'assorbimento di energia dovuta urti e sollecitazioni. I carichi massimi trasmissibili dall'accoppiatore sono riassunti nella Tabella 4.

*Tabella 4: Carichi massimi trasmissibili dall'accoppiatore DAC.*

<b>Compressione</b>	<b>2000 kN</b>
<b>Trazione</b>	1000 kN
<b>Carico di rottura in trazione</b>	1500 kN

Diverse tipologie di elementi di assorbimento di energia sono installabili all'interno del castelletto di trazione. Questi sono classificati rispettivamente come categoria A, AX, C e L. Le loro caratteristiche sono riassunte in Tabella 5.

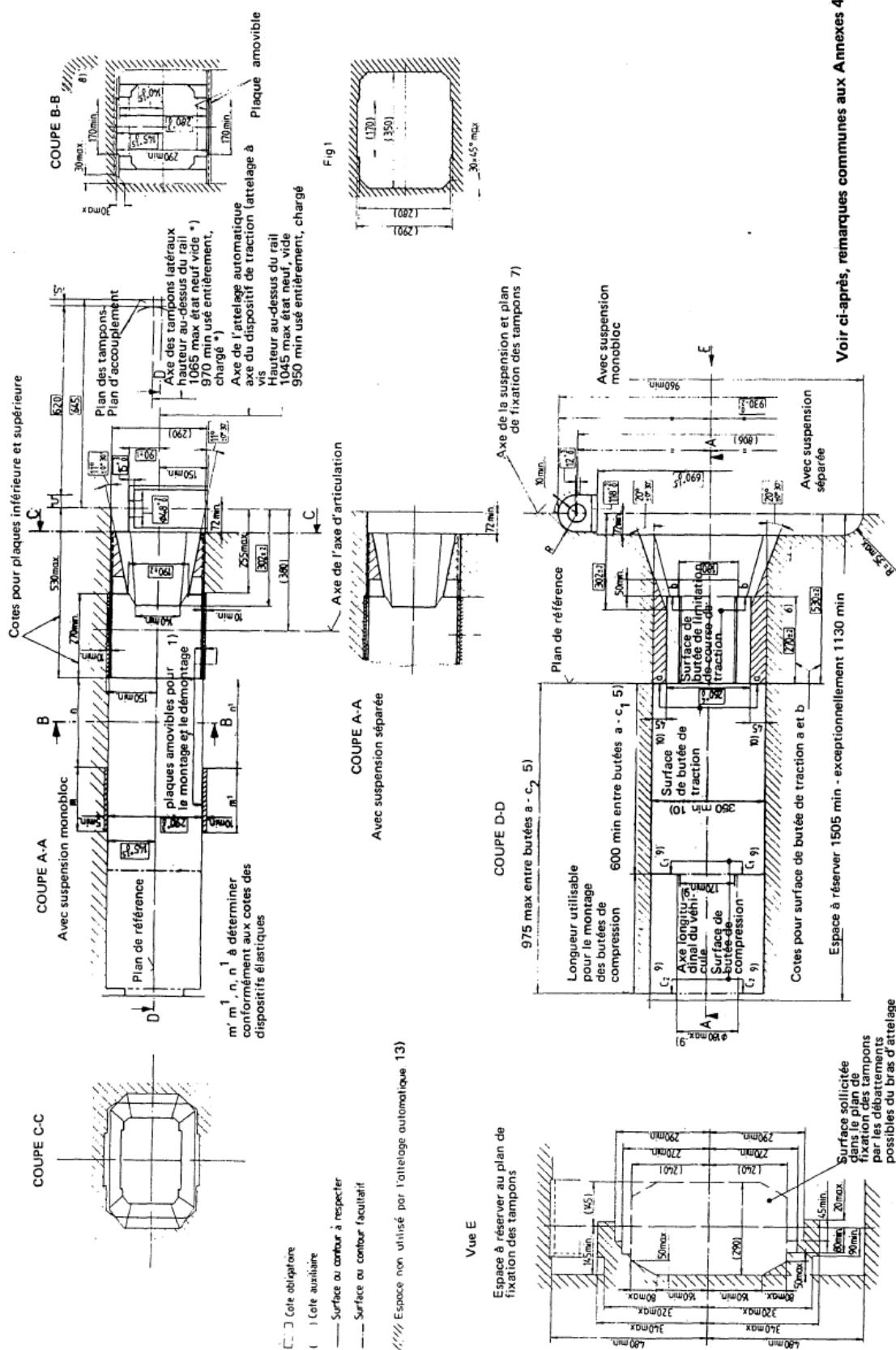
*Tabella 5: principali caratteristiche in funzione delle tipologie di elementi elastici.*

	<b>A</b>	<b>AX</b>	<b>C</b>	<b>L</b>
<b>Corsa utile (compressione)</b>	110 mm	110 mm	110 mm	150 mm
<b>Corsa utile (trazione)</b>	50-70 mm	50-70 mm	50-70 mm	50-70 mm
<b>Energia assorbita (compressione)</b>	>75 kJ	>600 kJ <sup>1</sup>	>140 kJ	-
<b>Energia assorbita (trazione)</b>	>20 kJ	-	>20 kJ	-
<b>Smorzamento (trazione)</b>	>30%	-	>30%	-

Lo spazio da riservare al DAC è regolato dalla norma UIC 530-1. Nel disegno seguente, si ipotizza che il DAC possa essere installato sia frontalmente che dal basso: la struttura deve quindi essere sia aperta inferiormente (con apposite staffe in grado di sostenerlo) che frontalmente.

<sup>1</sup> Questo valore si intende da raggiungersi tramite la deformazione di un dissipatore di energia irreversibile aggiuntivo, dotato di corsa massima pari a 275 mm. Il dissipatore di energia irreversibile deve attivarsi solo in presenza di una forza di compressione maggiore di 3000kN.





**Voir ci-après remarques communes aux Annexes 4a, 4b, 4c.**



Technical drawing of a mechanical part, likely a bracket or support, showing dimensions and force distribution. The part is shown in a cross-sectional view with a central horizontal slot. Dimensions include:

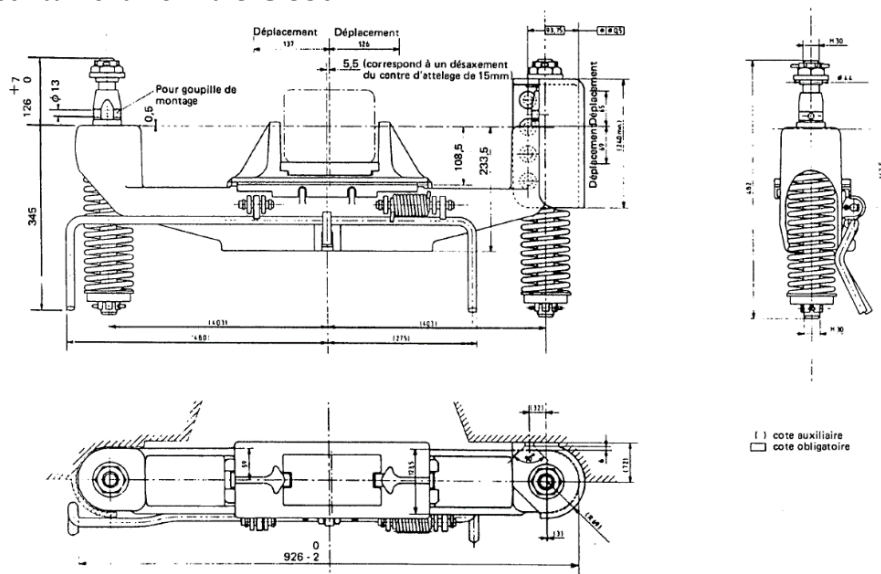
- Overall width: 975 min
- Overall height: 530
- Slot width: 350 min
- Slot depth: 180
- Slot radius:  $\varnothing 24$
- Slot thickness: 110
- Slot depth: 35
- Slot depth: 450
- Slot depth: 260
- Slot depth: 302
- Slot depth: 20°

Force distribution is indicated by arrows and labels:

- Superfici scarico forze di trazione (Tension force relief surfaces)
- Superfici scarico forze di compressione (Compression force relief surfaces)

L'interfaccia di accoppiamento è sostenuta in direzione verticale da un supporto a molle, fissato alla testata del veicolo in accordo alla norma UIC 530-1. Questo supporto può assumere due diverse forme costruttive:

- I dettagli costruttivi di questi organi di sostegno e le rispettive modalità di installazione sulla testata dei veicoli sono descritti nella norma UIC-530-1.



9

In vista della migrazione dal tradizionale accoppiamento basato su gancio di trazione e respingenti al DAC, è prevista un'installazione di quest'ultimo in due fasi nei carri merci sottoposti a revisione periodica. Tale processo prevede il montaggio del solo castelletto di trazione all'interno dell'alloggiamento predisposto in una prima fase. Al castelletto sarebbe poi incernierato un tradizionale gancio di trazione, mentre sulla testata verrebbero mantenuti i respingenti. Questo setup permetterebbe una conversione più graduale dell'attuale flotta europea di carri merci, in quanto le operazioni più laboriose (ovvero quelle connesse all'installazione del castelletto di trazione del DAC) potrebbero essere effettuate in maniera graduale, mentre la seconda fase di conversione, ovvero l'installazione della nuova interfaccia di accoppiamento, richiederebbe un tempo significativamente minore (circa un'ora). La seguente figura dettaglia le due fasi del processo di conversione.

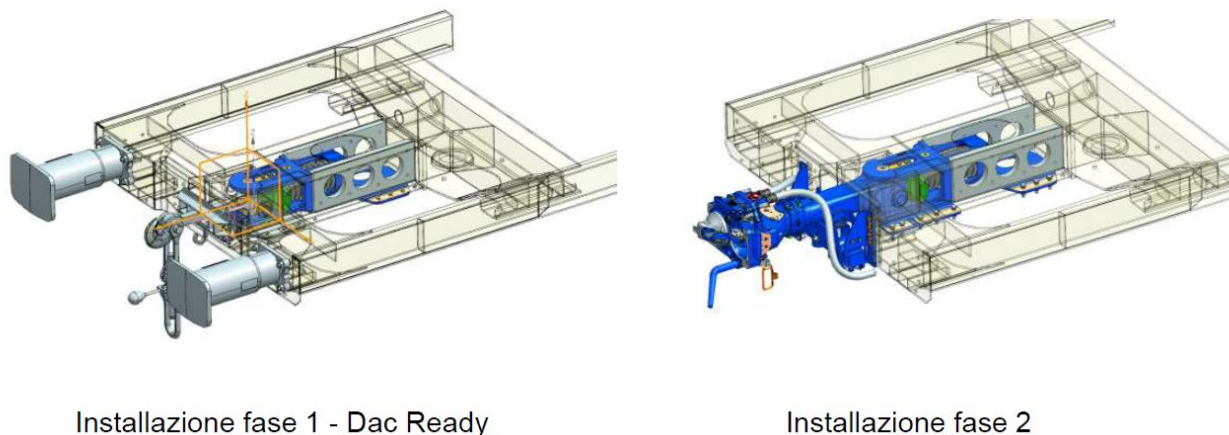


Figura 10: dettagli dell'installazione in due fasi del DAC.

### Forze e spostamenti attesi

Rispetto ai valori di forza e spostamento illustrati nei paragrafi precedenti i carichi e gli spostamenti che dovrà gestire il banco sono minori. I valori normativi, infatti, si riferiscono alle specifiche di omologazione che prevedono caratterizzazioni statiche o quasi-statiche dei componenti mentre il banco dovrà effettuare le reali condizioni di esercizio.

Il tipico range di utilizzo dei respingenti nell'ambito della dinamica longitudinale di un convoglio merci è tra il 25% ed il 60% della corsa utile del respingente a partire dalla quota di precarico degli elementi elastici  $H_1$ . Nel caso di veicoli merci la quota  $H_1$  è la lunghezza indeformata del respingente essendo questo montato senza precarico.

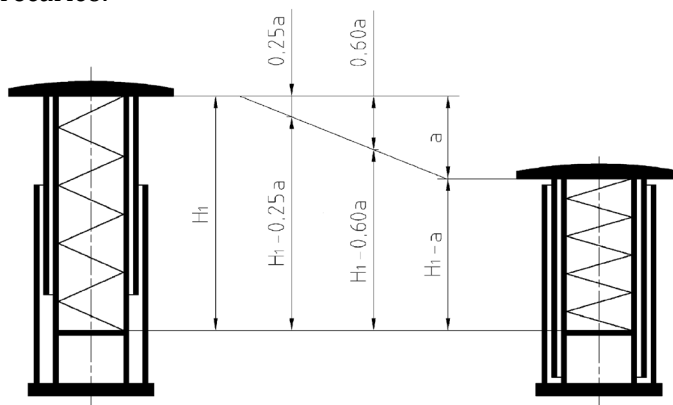


Figura 11: Quote di lavoro tipiche respingenti.

Come per i respingenti anche per i ganci, il tipico range di utilizzo è tra il 25% ed il 60% della corsa ammessa sotto carico massimo ( $a$ ) a meno della compressione statica di montaggio  $H_1$  che, anche in questo caso è pari a zero in caso di veicoli merci.

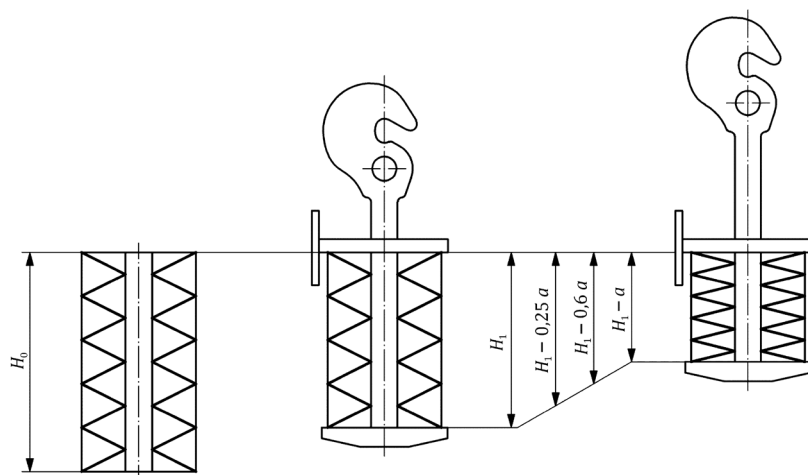


Figura 12: Quote di lavoro tipiche ganci.

Visto che il DAC andrà a sostituire il tradizionale sistema di accoppiamento, le caratteristiche dinamiche dovranno essere le medesime.

Considerando il comportamento dei componenti in condizioni di esercizio (diverse quindi dai corrispettivi carichi massimi) e sulla base delle attività numerico sperimentali condotte dal Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano nel corso degli anni, la seguente tabella raccoglie le prestazioni massime che il banco dovrà garantire sulla base della configurazione da testare, in termini di forza e spostamento.

Tabella 6: Valori di forza e corsa massimi.

<b>Carico massimo a compressione DAC:</b>	1000 kN
<b>Carico massimo a compressione respingenti:</b>	350 kN (per ciascun respingente) <sup>2</sup>
<b>Carico massimo a trazione (Gancio e DAC):</b>	1000 kN
<b>Carico laterale massimo (Gancio e DAC):</b>	±75 kN
<b>Corsa utile longitudinale (Gancio e DAC):</b>	±150 mm
<b>Corsa utile laterale (Gancio e DAC):</b>	±350 mm

<sup>2</sup> Quindi almeno 700 kN qualora entrambi i respingenti vengano compressi simultaneamente

## Possibile layout banco prova

Indicativamente il banco prova dovrebbe avere la configurazione mostrata in Figura 13. Si evidenzia un telaio rettangolare esterno ed un telaio mobile interno al quale sono solidali dei pattini di strisciamento. Il telaio mobile viene azionato tramite attuatori idraulici in direzione longitudinale e laterale. Il telaio mobile si muove di fatto nel piano orizzontale e presenta 3 gradi di libertà relativi rispetto al telaio fisso.

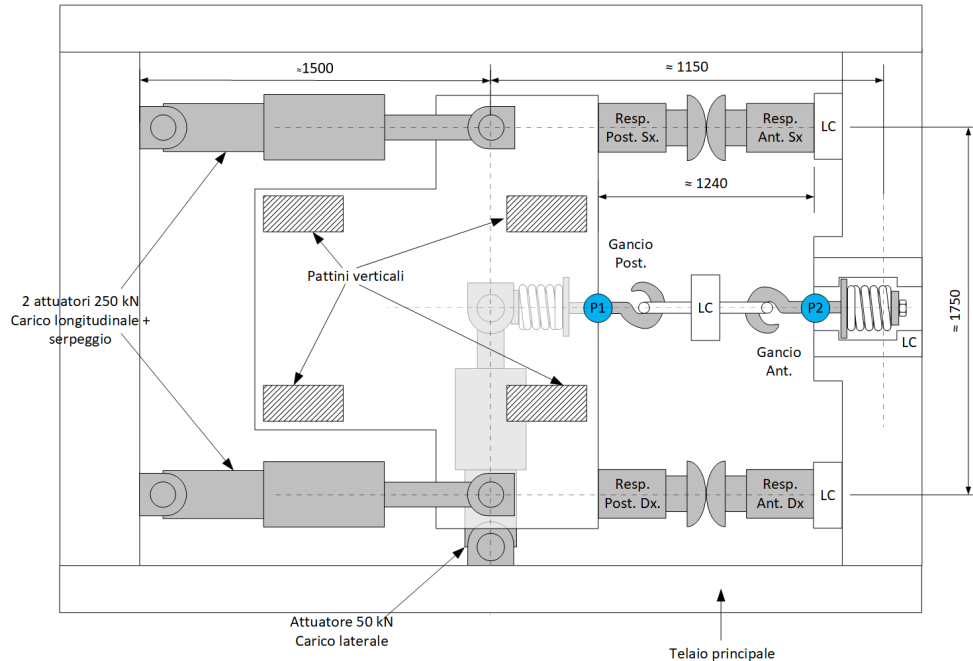


Figura 13: layout del banco prova, vista dall'alto.

All'estremità destra del telaio mobile sono montati due respingenti e un gancio di trazione. Di fronte a questi, sul telaio fisso sono montati altri 2 respingenti e un gancio di trazione. I due ganci di trazione sono uniti tramite un tenditore. Il banco dovrebbe essere adatto anche ad ospitare un collegamento tra i due telai realizzato tramite DAC. In configurazione di base lo scartamento tra i respingenti deve essere di 1750 mm mentre la distanza tra i due telai può variare tra 1240 mm e 1300 mm a seconda che vengano montati respingenti con corsa 105 mm o 110 mm.

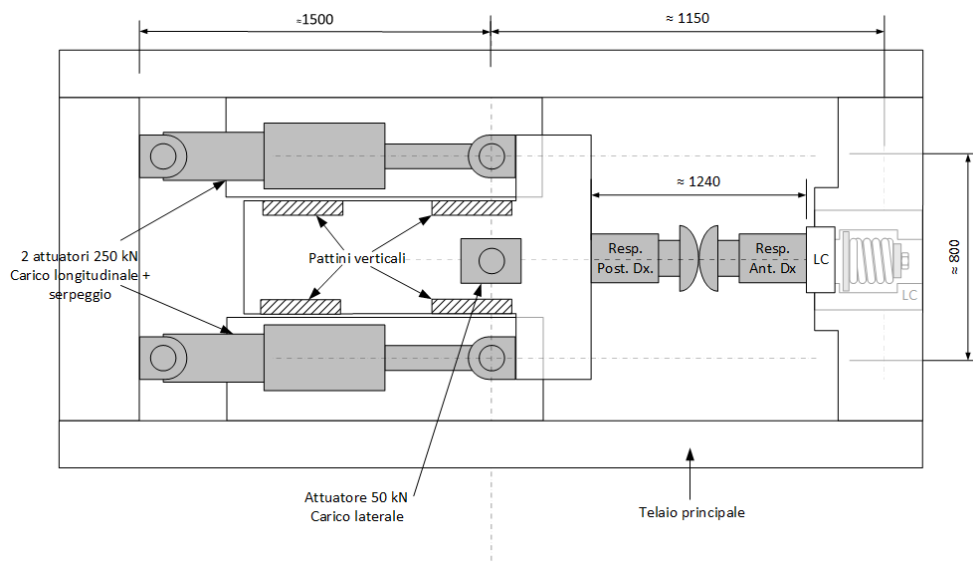


Figura 14: Vista laterale del banco.

La vista laterale del banco potrebbe presentarsi come in Figura 14; in questo caso sono stati considerati 4 attuatori longitudinali di taglia ridotta, ma possono eventualmente essere sostituiti da 2 attuatori di taglia maggiore.

Gli attuatori idraulici saranno controllati in posizione, sia per realizzare specifici test di caratterizzazione sui componenti dell'interfaccia, sia per simulazioni HIL in cui il banco riceverà la posizione relativa tra i due telai e dovrà restituire le forze scambiate tramite gli elementi di interfaccia. Il banco dovrebbe essere in grado di considerare un possibile disallineamento verticale tra i carri, dovuto alle diverse condizioni di carico; in altri termini i respingenti possono presentare differenze di quota legate alla differenza di carico utile tra i carri. La differenza massima di quota è di 50 mm.

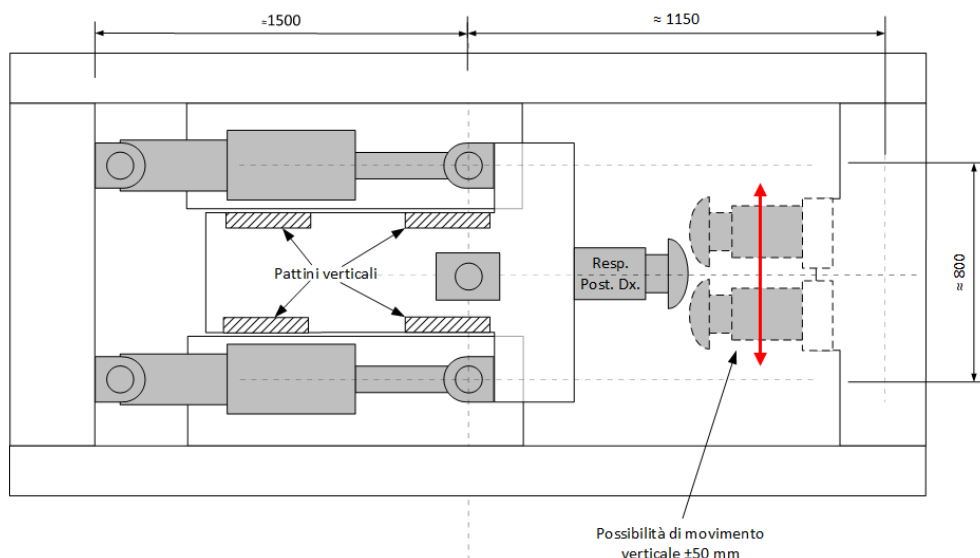


Figura 15: Possibilità di movimentazione verticale parte fissa del banco.

Il banco prove dovrà essere inoltre in grado di alloggiare anche sistemi di accoppiamento DAC. La distanza di base tra telaio fisso e mobile rimane quella della configurazione standard con respingenti e gancio, ovvero 1240 – 1300 mm. L'alloggiamento del castelletto di trazione del DAC dovrà essere in grado di reagire forze sia di trazione che di compressione.

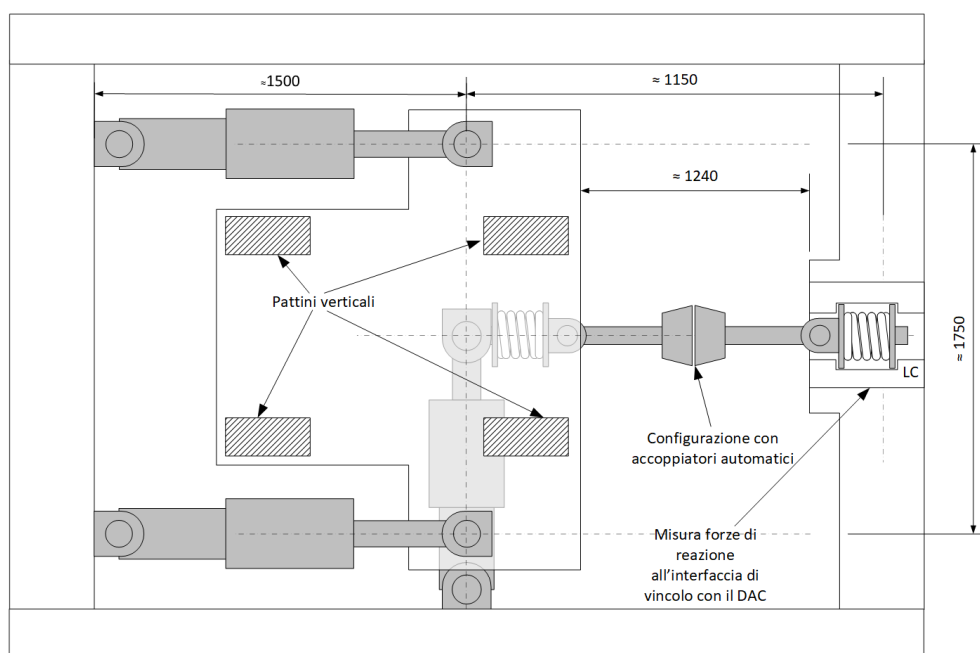


Figura 16: Configurazione banco prove per accoppiatori DAC.

Al fine di garantire il montaggio dei componenti in prova dovrà essere prevista la possibilità di extra-corsa statica del telaio mobile. Per la quota longitudinale si prevede la possibilità di un arretramento ulteriore di 200 mm rispetto la massima quota indicata in Tabella 6. In laterale si prevede la possibilità di scostamento statico massimo di ulteriori 150 mm. La Figura 17 meglio illustra gli spazi e i movimenti.

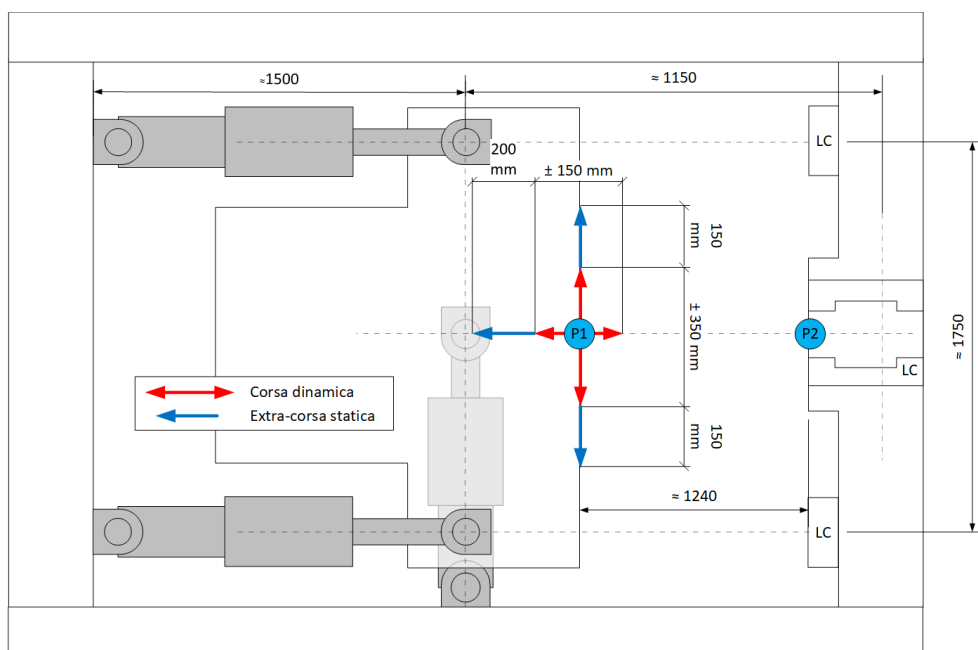


Figura 17: Spostamenti ed extra-corse.

Quanto illustrato in termini di disposizione e numerosità degli attuatori, metodo di confinamento del telaio mobile è puramente indicativo, all'aggiudicatario è lasciata la piena libertà di proporre schemi alternativi purché rispettino gli ingombri di 6x4 m citati nell'Allegato 3 e gli spazi di lavoro dei sistemi di trazione (scartamento respingenti 1750, distanza a riposo parte fissa e mobile 1240-1300 mm).

### Sistemi di misura

Al fine di attuare correttamente il banco e realizzare efficacemente il controllo HiL, sarà necessario avere le seguenti misure:

- Misura di forza e spostamento di ciascun attuttore.
- Misura della forza in 5 componenti (3 forze e 2 momenti nel piano verticale ed orizzontale) per la misura delle reazioni a terra dei 2 respingenti sul lato fisso del telaio.
- Misura della forza in 5 componenti (3 forze e 2 momenti nel piano verticale ed orizzontale) per la misura delle reazioni a terra del sistema di fissaggio del DAC e del castello di trazione al lato fisso del telaio.
- Misura della forza scambiata dall'elemento di collegamento tra i due ganci traino.
- Misura di 16 canali analogici aggiuntivi a  $\pm 10V$ .

Tutti i canali dovranno avere una risoluzione minima di 16 bit e garantire una frequenza di campionamento di 2000 Hz.

Opzionalmente viene richiesta la possibilità di installare un sistema di misura ottico in grado di ricostruire gli spostamenti relativi degli oggetti in prova.

### Bibliografia e norme di riferimento

UIC 520:2003	Wagons, voitures et fourgons - Organes de traction – Normalisation
UIC 526-1:1998	Wagons - Tampons à course de 105 mm
UIC 526-3:1998	Wagons - Tampons à course de 130 et 150 mm
UIC 527-1:2005	Voitures, fourgons et wagons – Dimensions de plateaux de tampons – Tracé des courbes en S
UIC 530-1:1982	Dispositions constructives relatives aux wagons à observer en vue de

l'application de l'attelage automatique des chemins de fer membres de l'UIC et des chemins de fer membre de l'OSJD

EN 15551:2017

Railway applications Railway rolling stock - Buffers

EN 15566:2022

Railway applications. Railway Rolling stock - Draw gear and screw coupling

EN 16019:2016

Railway applications. Automatic coupler - Performance requirements, specific interface geometry and test method