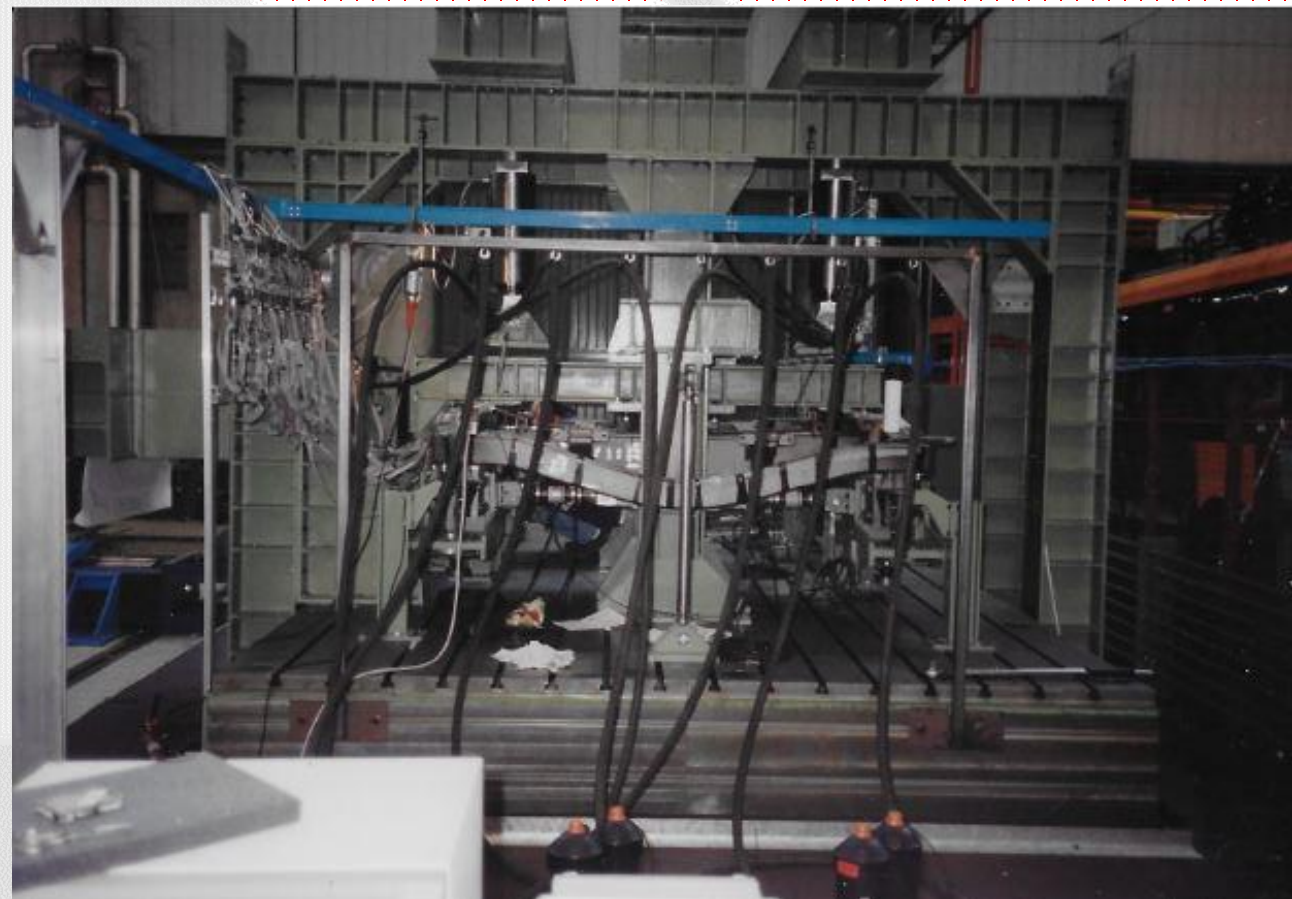


La verifica sperimentale quale parte integrante del progetto

Parte seconda

Fiorenzo Vitali



Rifondazione del Reparto Sperimentale

Quando ne ho assunto la responsabilità (1991), il Reparto sperimentale aveva dimensioni ridotte e del tutto insufficienti alle esigenze di una industria, sia in rapporto alla esecuzione di prove contrattuali sia, soprattutto, in relazione alla necessità di sviluppo strutturale dei prodotti.

Cominciò allora una fase di fondazione/ricostituzione del Reparto sulla base di concetti generali di progettazione e di prova, derivati dal settore aeronautico, essenziali per affrontare in particolare il problema della fatica, che risulta essere il vero problema dei materiali metallici, soprattutto in un settore come quello ferroviario.

Venne creato un piccolo gruppo di lavoro ben motivato personalmente e professionalmente; in breve tempo il Reparto divenne in grado di rispondere in maniera sempre più esaustiva alle esigenze della progettazione, sia in termini di verifica che di input di conoscenze sperimentali.

Le tappe fondamentali di questo rinnovamento, attuato in pochi anni, furono essenzialmente:

Rifondazione del Reparto Sperimentale

- Progetto, costruzione e messa in opera di un nuovo banco prove a fatica carrelli;
- Ammodernamento dei sistemi di controllo in ciclo chiuso attuatori;
- Progetto e costruzione di nuovi attuatori;
- Ammodernamento/rifacimento delle centrali idrauliche di potenza;
- Banchi prova ridotti per provini e piccoli componenti;
- Ammodernamento del sistema prove statiche casse;
- Sistemi di acquisizione di nuova generazione.

Una parte consistente di queste attività venne progettata, a volte realizzata e messa in opera dal reparto stesso, o da personale dell'azienda.

Il Problema della Fatica

Da un punto di vista ingegneristico l'esigenza fondamentale era affrontare il problema del fenomeno della fatica, soprattutto sulle strutture dei carrelli.

Era evidente che bisognava sviluppare dei metodi di verifica adeguati, superando talvolta anche le incompletezze delle normative; tutto questo per garantire affidabilità dei prodotti e, soprattutto, sicurezza di esercizio.

Disponendo di due banchi prova, fu possibile eseguire un numero considerevole di prove di fatica full-scale su telai carrelli, prove che hanno accompagnato lo sviluppo dell'ingegneria in quegli anni.

Ogni prova era attentamente progettata, sulla base di concetti fondamentali relativi al problema della fatica, quali:

- Applicazione di tutti i carichi presenti in esercizio
- Corretta applicazione dei carichi esterni
- Corretto sviluppo delle reazioni

Il Problema della Fatica

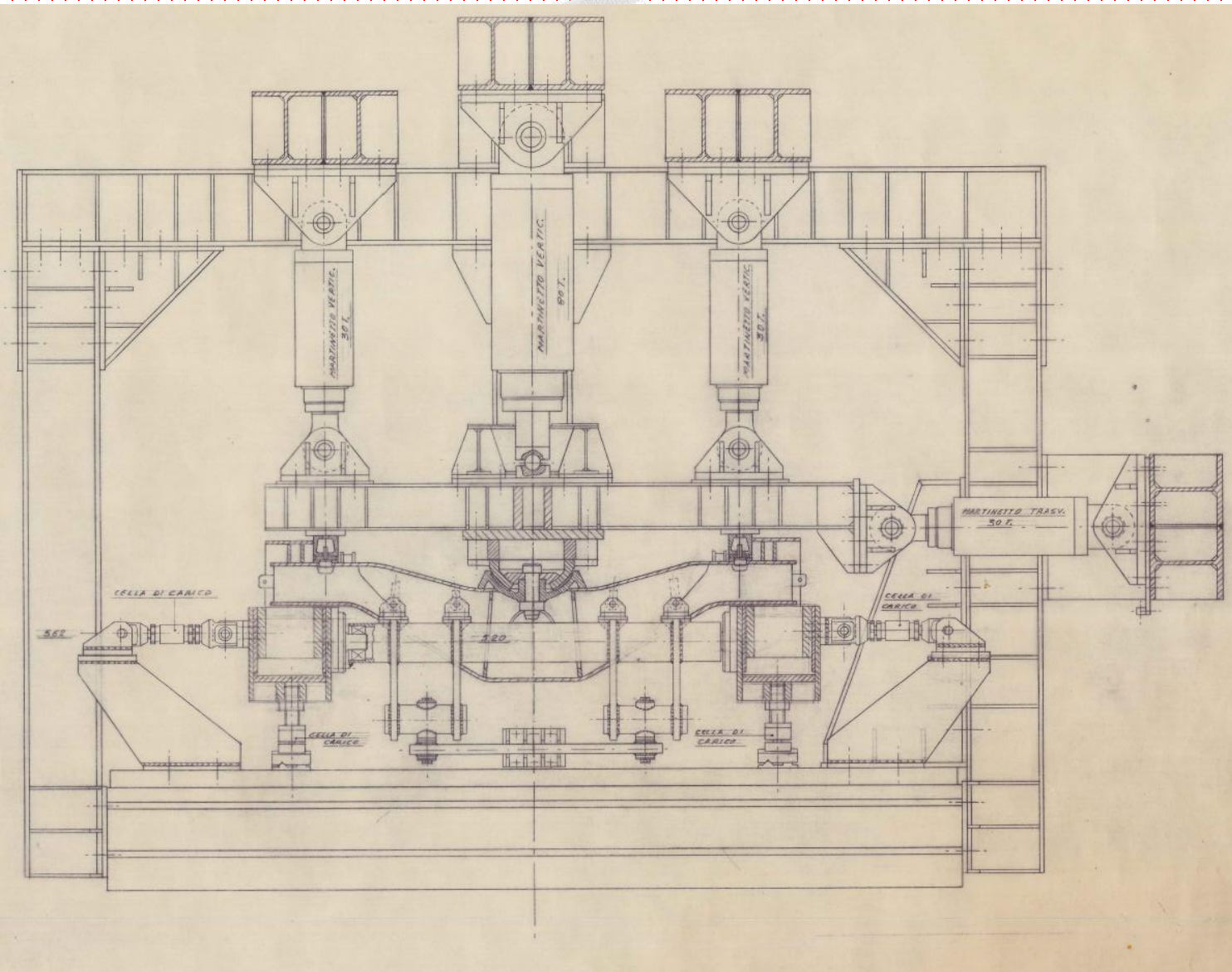
- Corretto trasferimento dei carichi all'interno della struttura
- Rispetto delle interfacce reali nella trasmissione dei carichi
- Ipotesi semplificative e simulazioni tali da provocare nelle strutture stati di stress non inferiori alla realtà.

BREDA

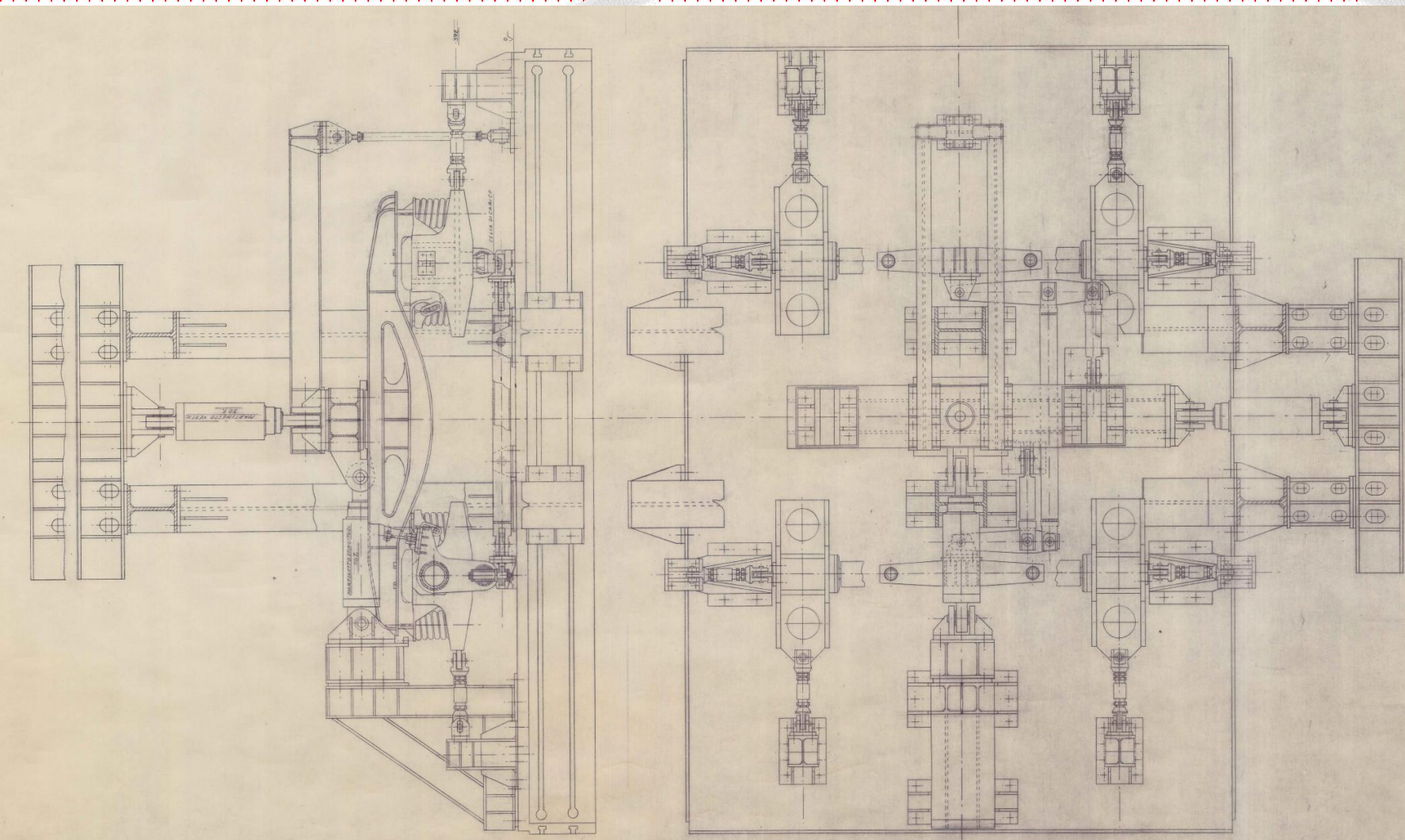
Prove di Fatica Carrelli

- Carrello motore *Metro Napoli*
- Carrello portante *FS 46 LD* (Fiche UIC)
- Carrello portante *FS 43 D* (Fiche UIC)
- Carrello portante *VLC Lille*
- Carrello motore tram *MUNI S.Francisco*
- Carrello portante *ETR 500 '91* (Fiche UIC)
- Carrello motore *Metro Roma*
- Carrello portante *TAF* (Fiche UIC)
- Carrello motore *TAF* (Fiche UIC)
- Carrello portante tram *LRV Boston*
- Carrello motore tram *LRV Boston*
- Carrello motore *ETR 500 Politensione* (Fiche UIC)
- Carrello motore tram *Copenhagen*
- Carrello motore *Marta Atlanta*
- Carrello motore *Metro Madrid*
- Carrello motore tram *Sirio Milano*
- Carrello motore tram *Sirio Atene*
- Carrello *Hembot*
- Carrello motore *DMU IC4 Danimarca*

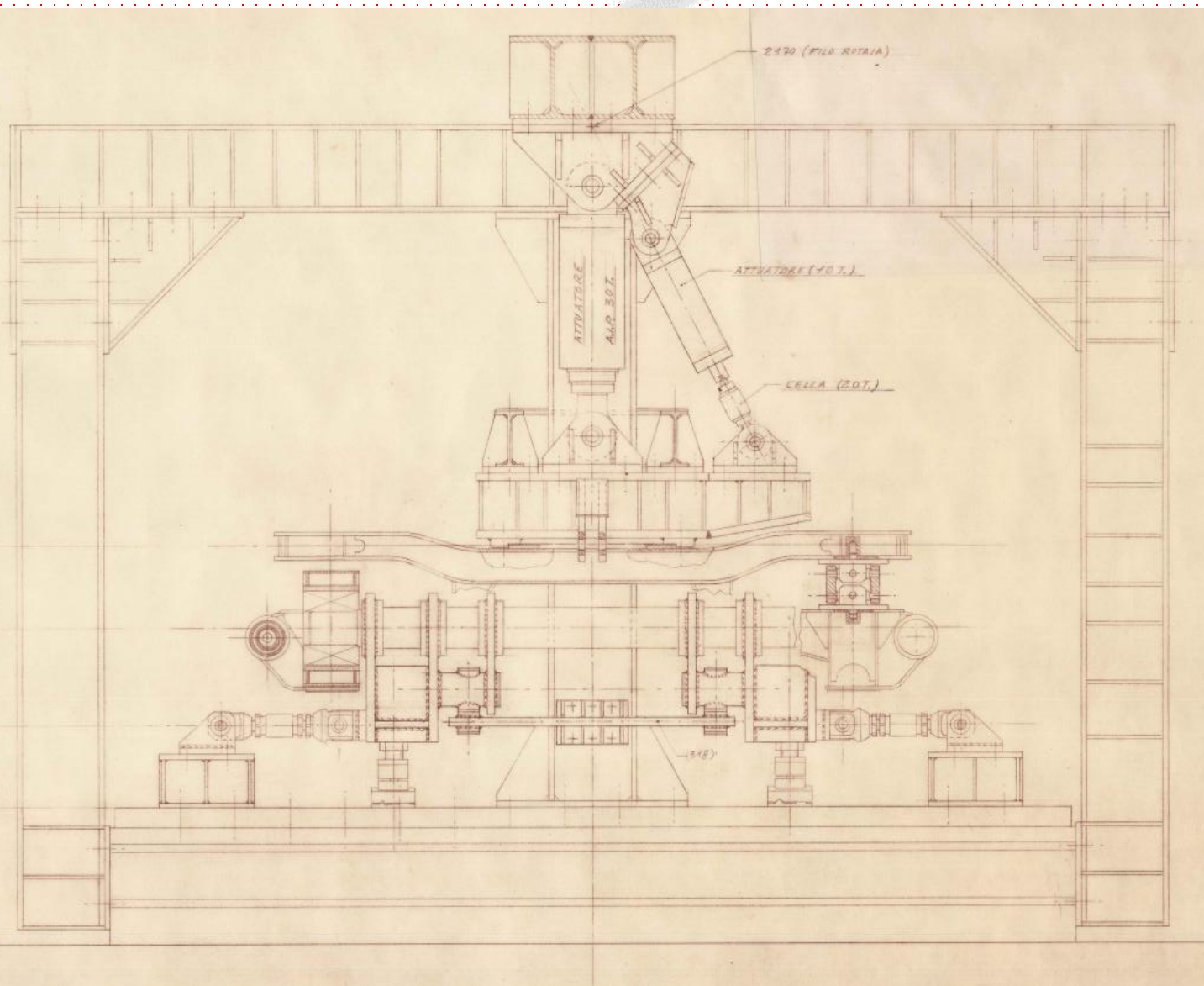
Carrello FFSS Y46



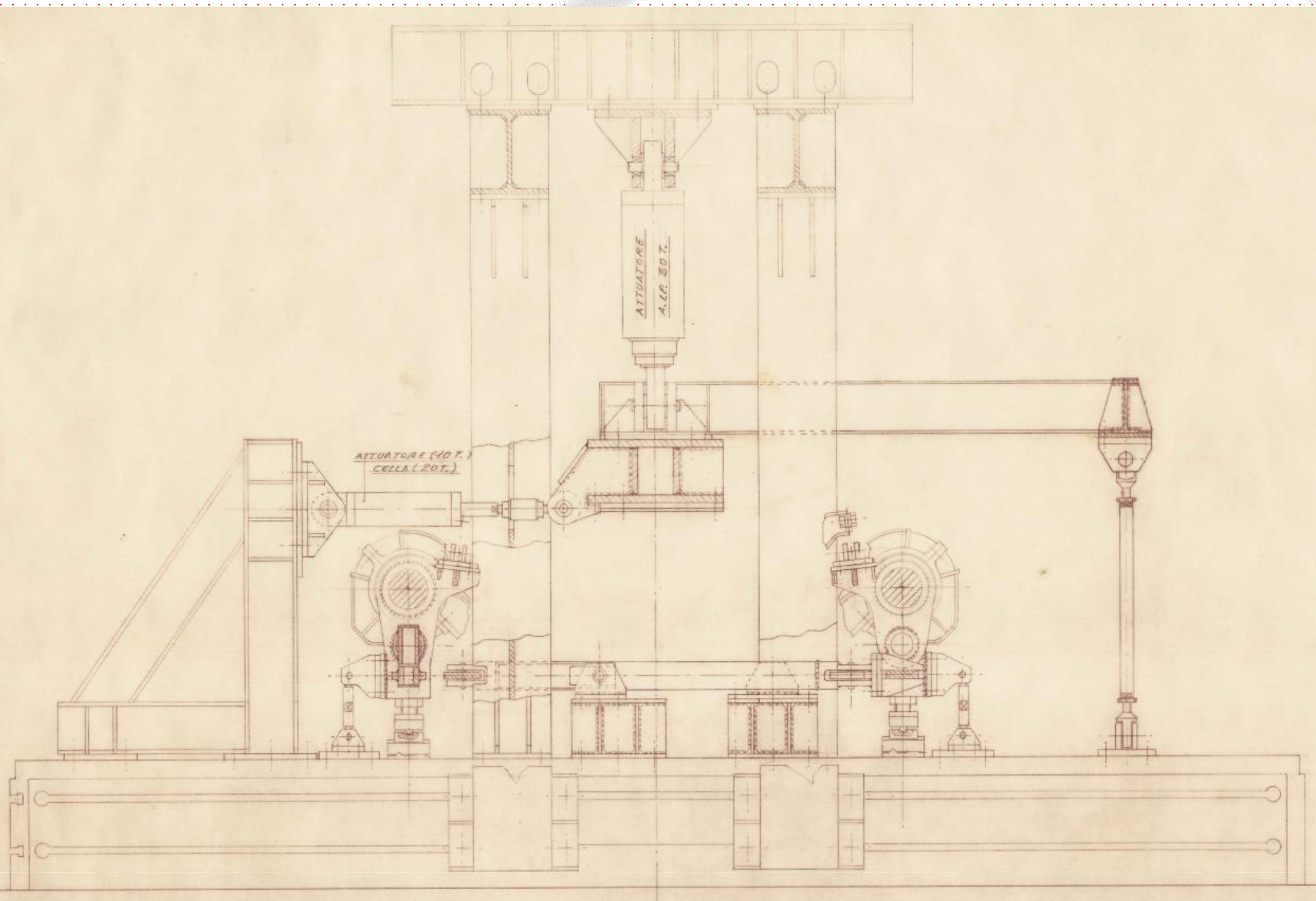
Carrello FFSS Y46

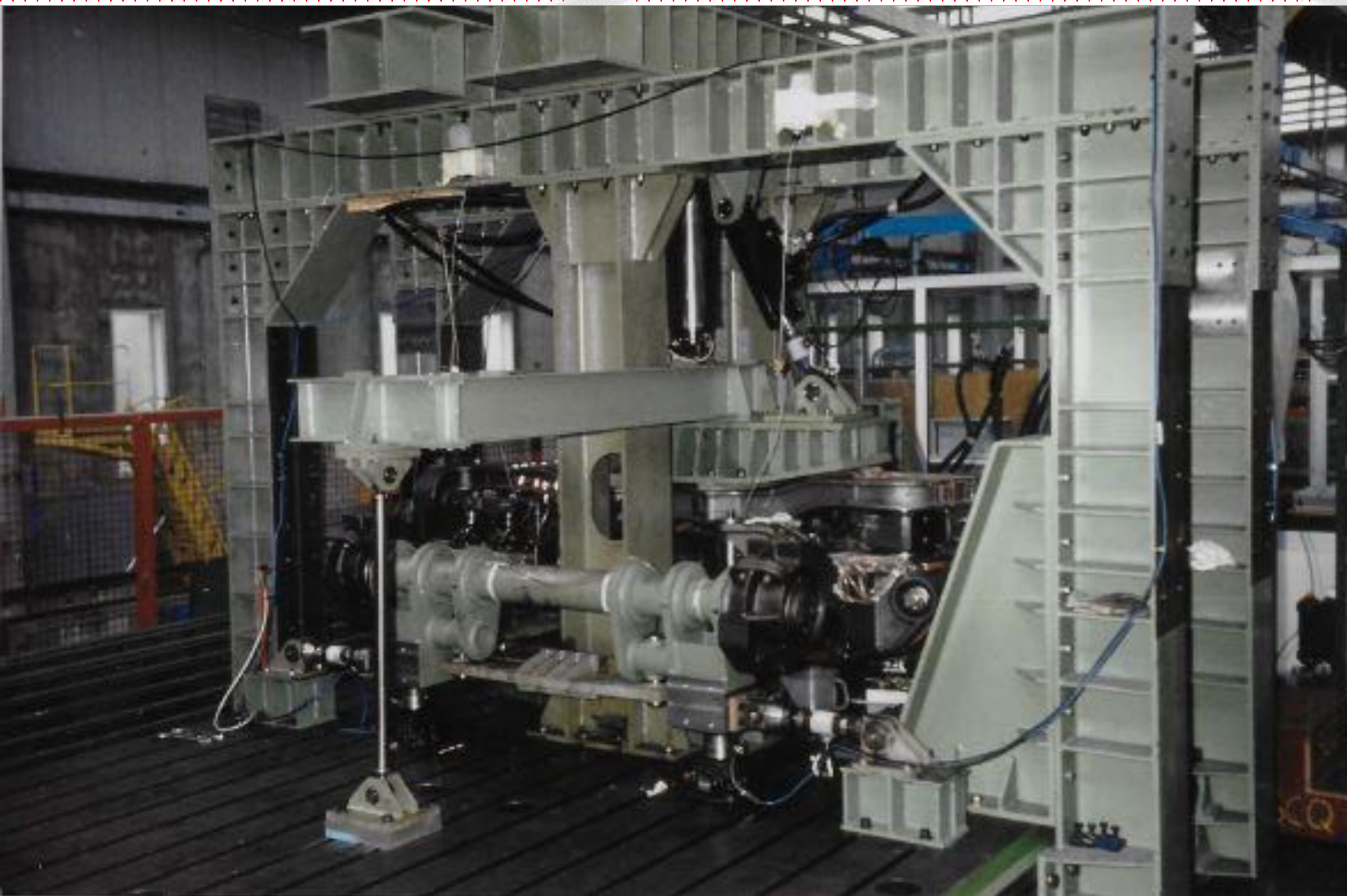


Carrello San Francisco



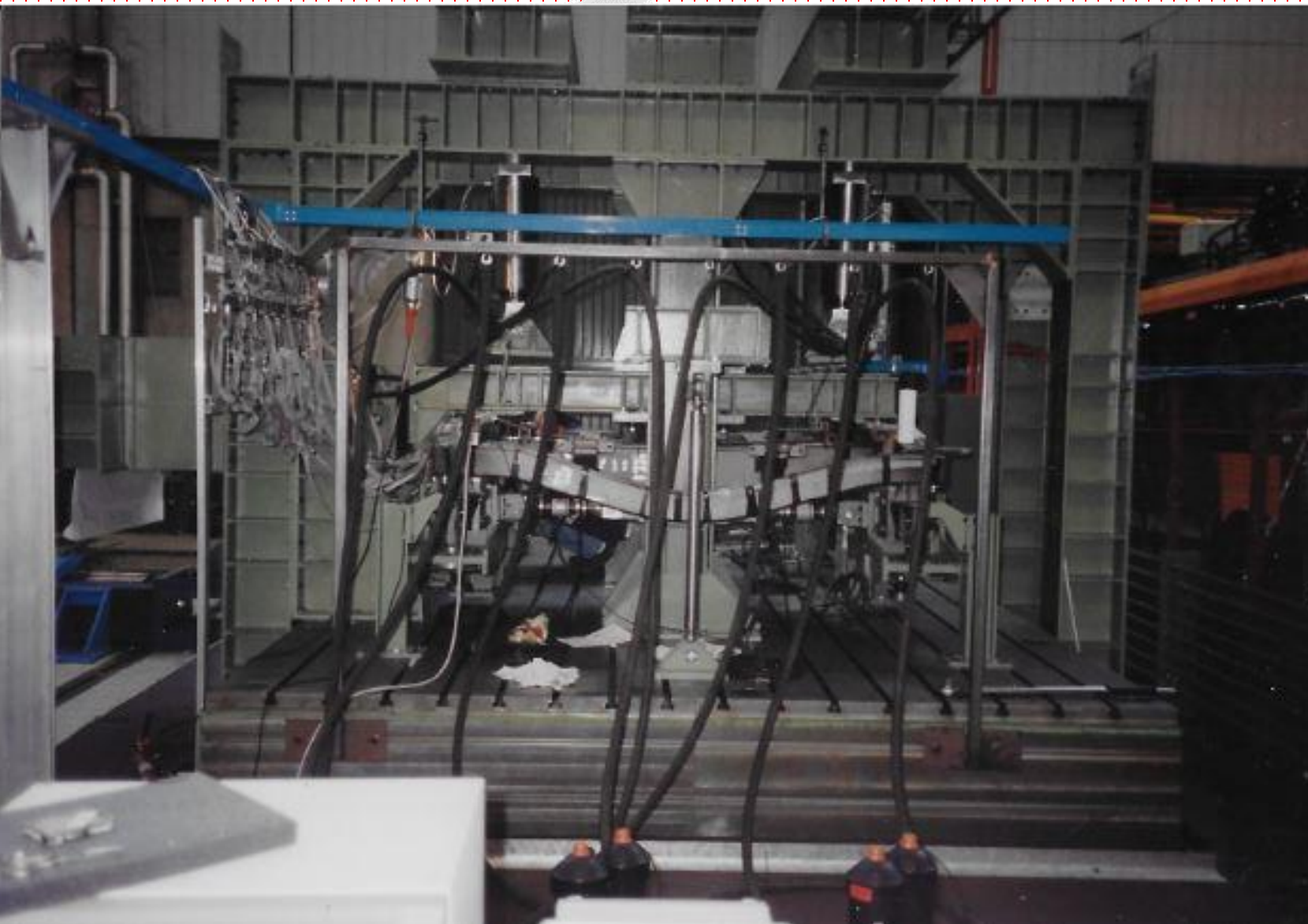
Carrello San Francisco

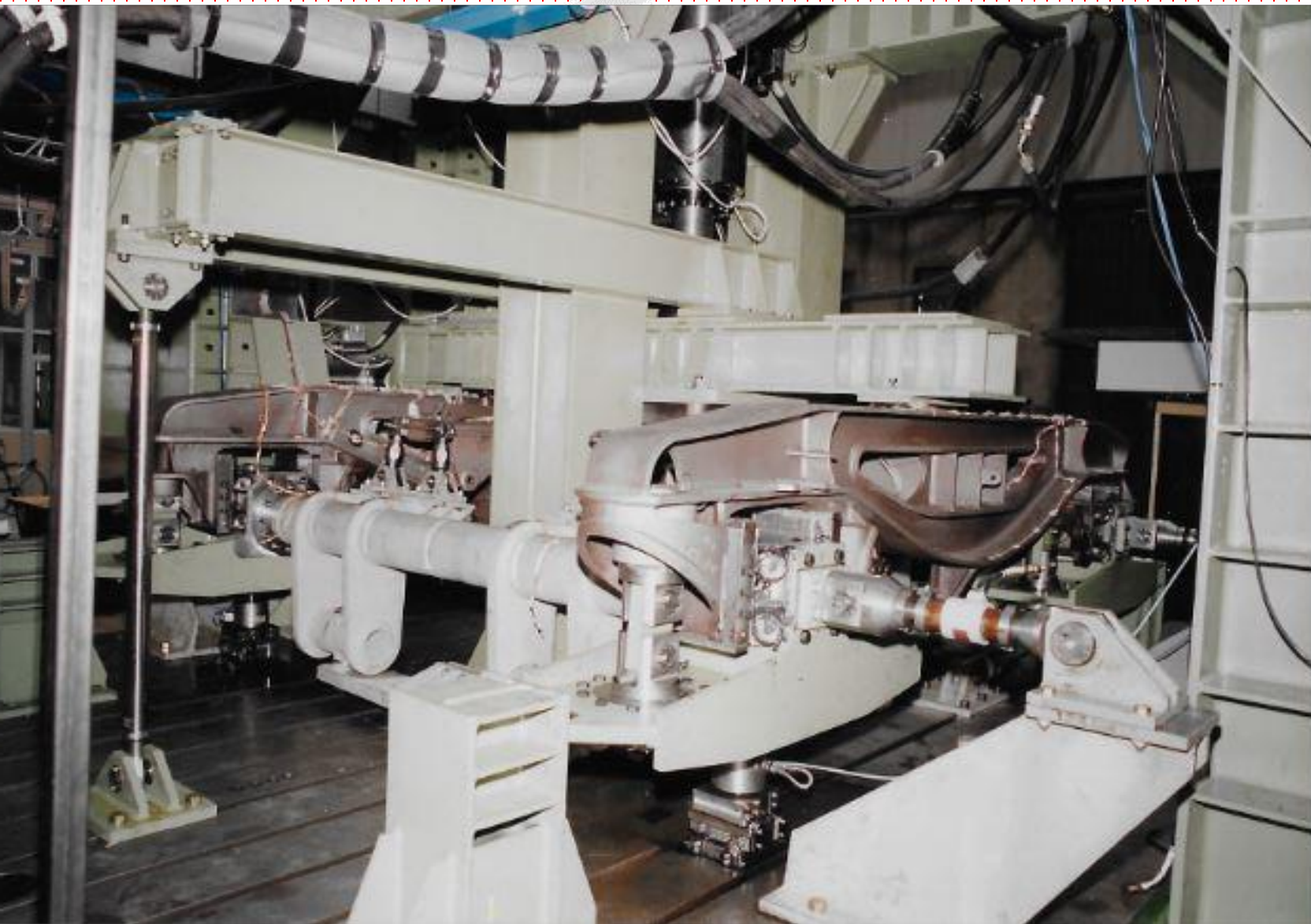




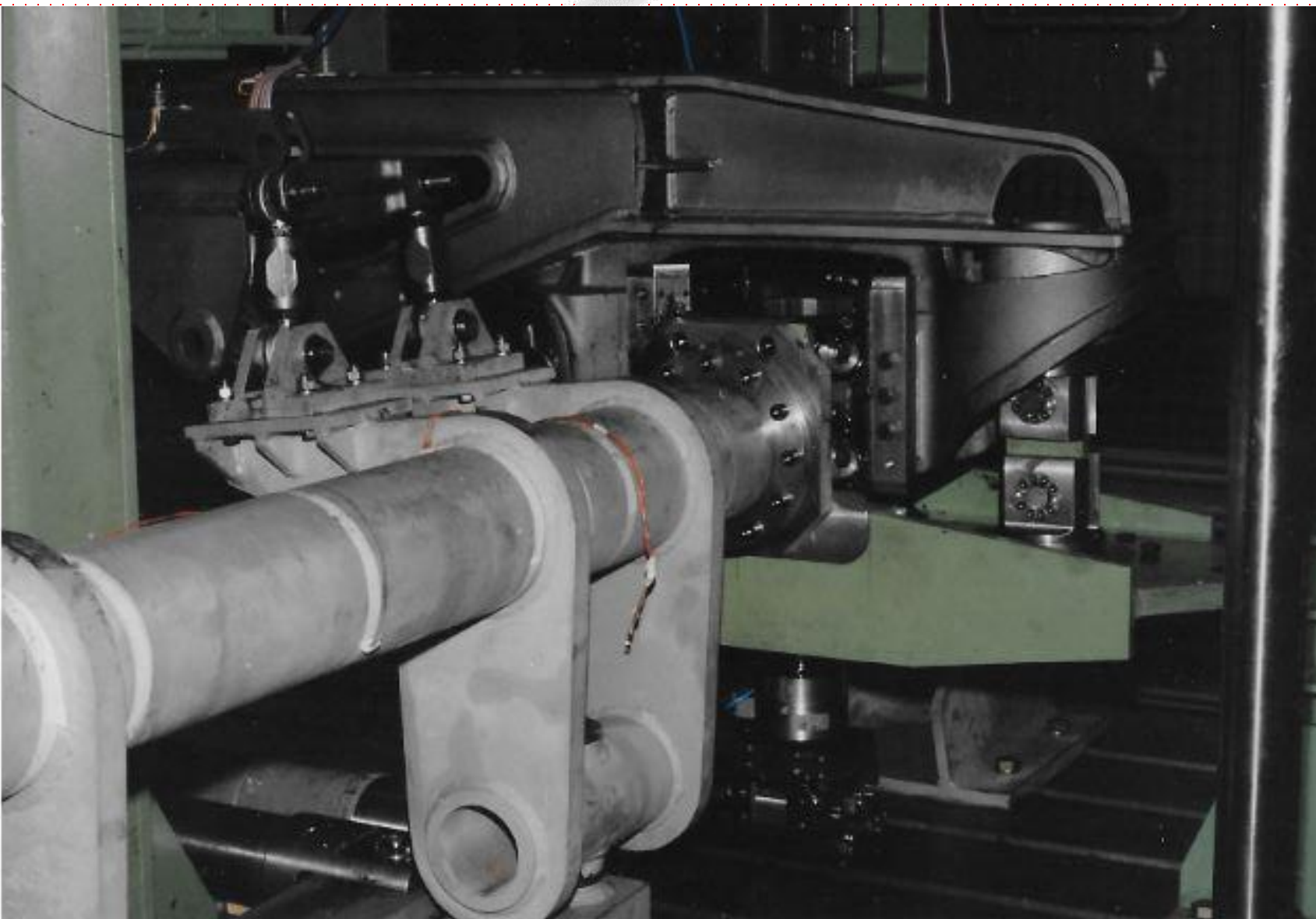
Carrello snodato in prova

Carrello FFSS Y43





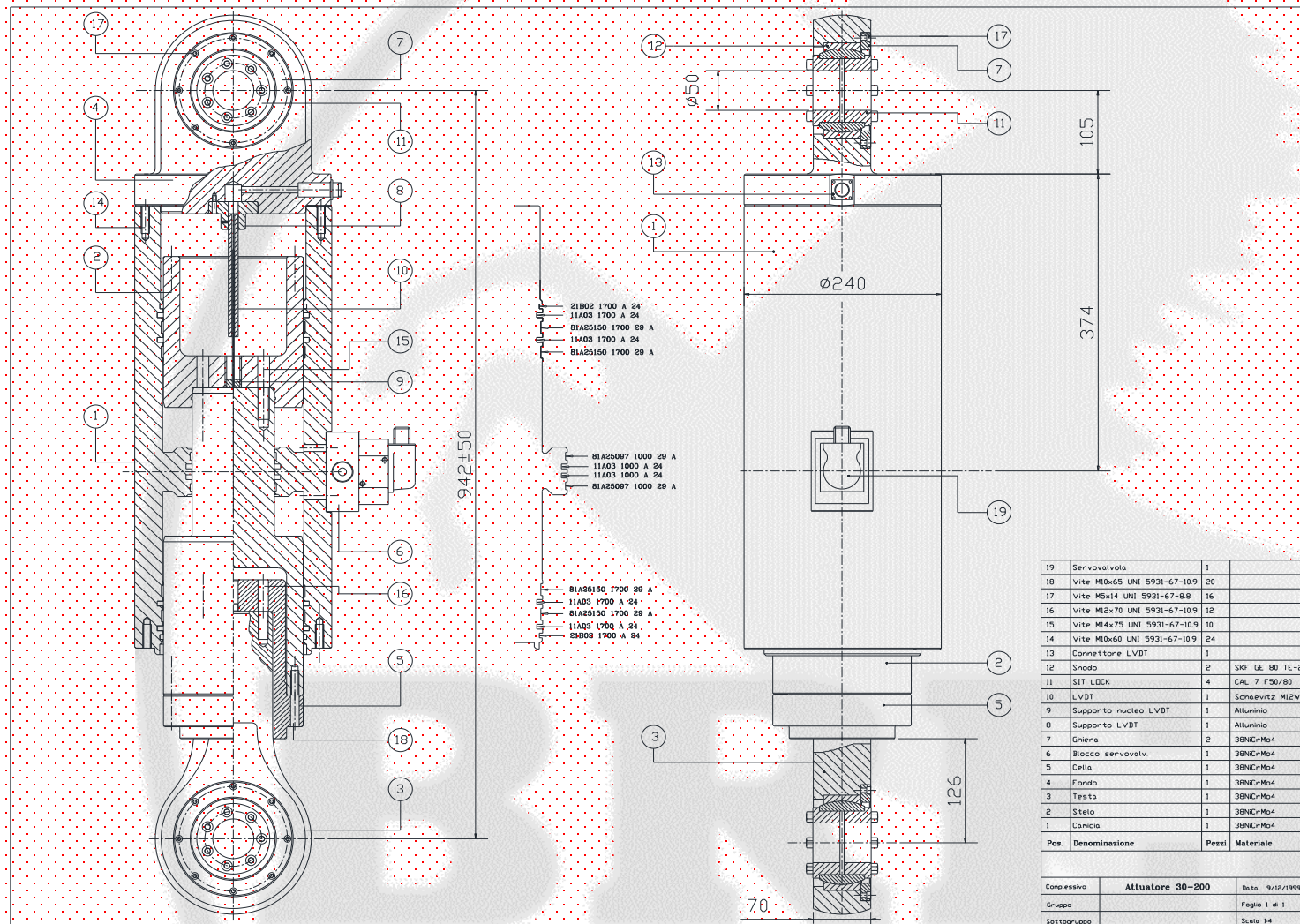
Carrello FFSS Y46



Carrello FFSS Y46

Sistema applicazione carichi frenatura

Attuatore per prove di fatica



Prove Statiche su Casse

- Cassa *VLC Lille*
- Carro merci *FS SNGGSS*
- Loco *ETR 500 91'* (Fiche UIC)
- Cassa *ETR500 91'* (Fiche UIC)
- Cassa *MUNI S.Francisco*
- Cassa metro *Ankara*
- Cassa *LRV Boston*
- Loco *E402B* (Fiche UIC)
- TAF (motrice) (Fiche UIC)
- TAF (cassa) (Fiche UIC)
- Loco *ETR 500 Politensione* (Fiche UIC)
- Filobus F15
- Metropolitana di Roma
- Tram LFC Boston
- Carrozza UIC-XAB semipilota
- Filobus F19
- Metropolitana di Atlanta
- Rimorchiata TT EMU Class 72 Norvegia
- Motrice EMU Class 72 Norvegia
- Metro Madrid
- Sirio tram Milano
- DMU IC4 Danimarca
- Loco E402C
- TSR



Prove statiche su cassa MARTA



Prove statiche su casse, applicazione carichi interni



**Prove statiche su casse,
carichi longitudinali.**

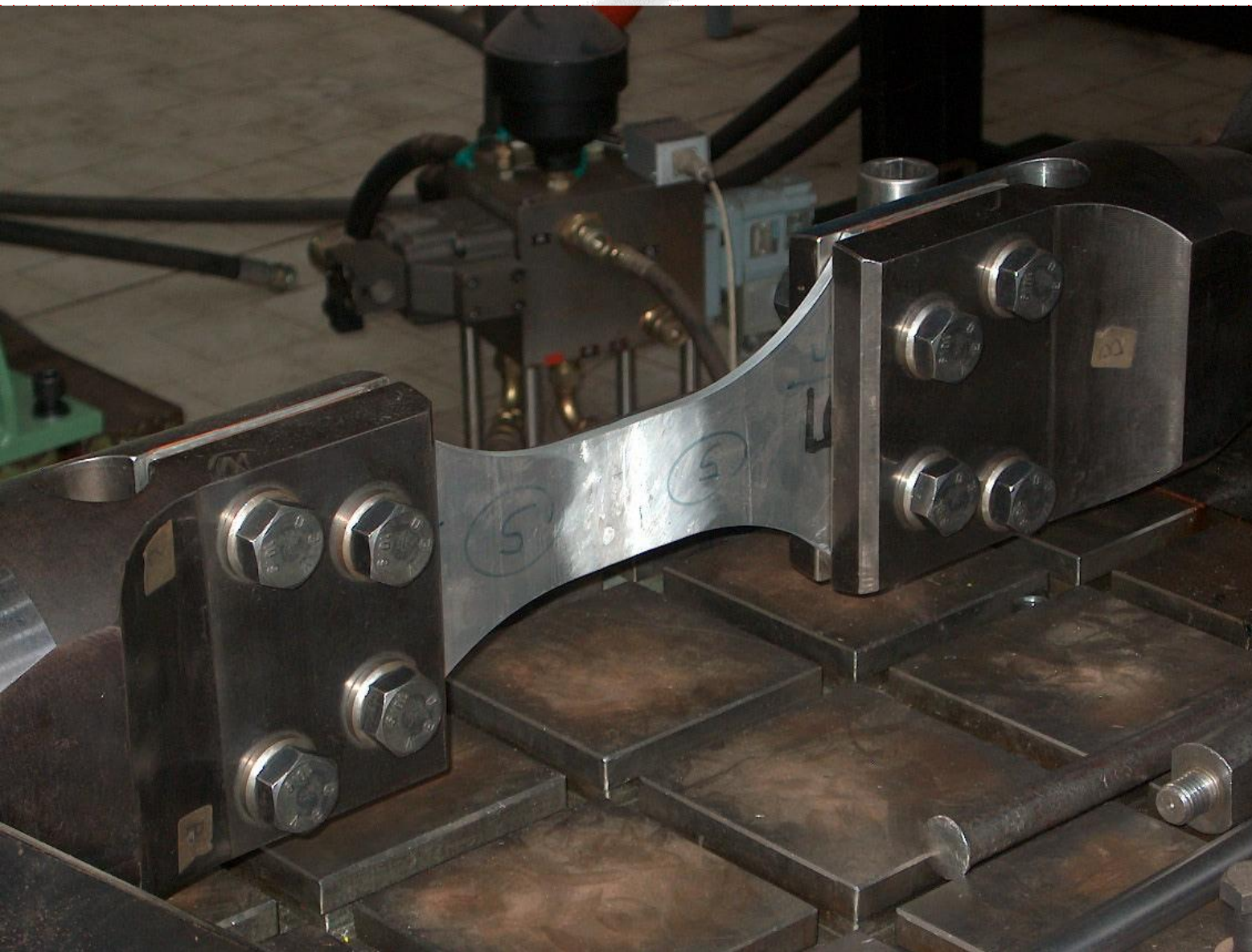
Prove di Ingegneria e su Componenti

Effettuazione di un numero molto elevato di prove su componenti strutturali, allo scopo di migliorare le soluzioni tecniche.

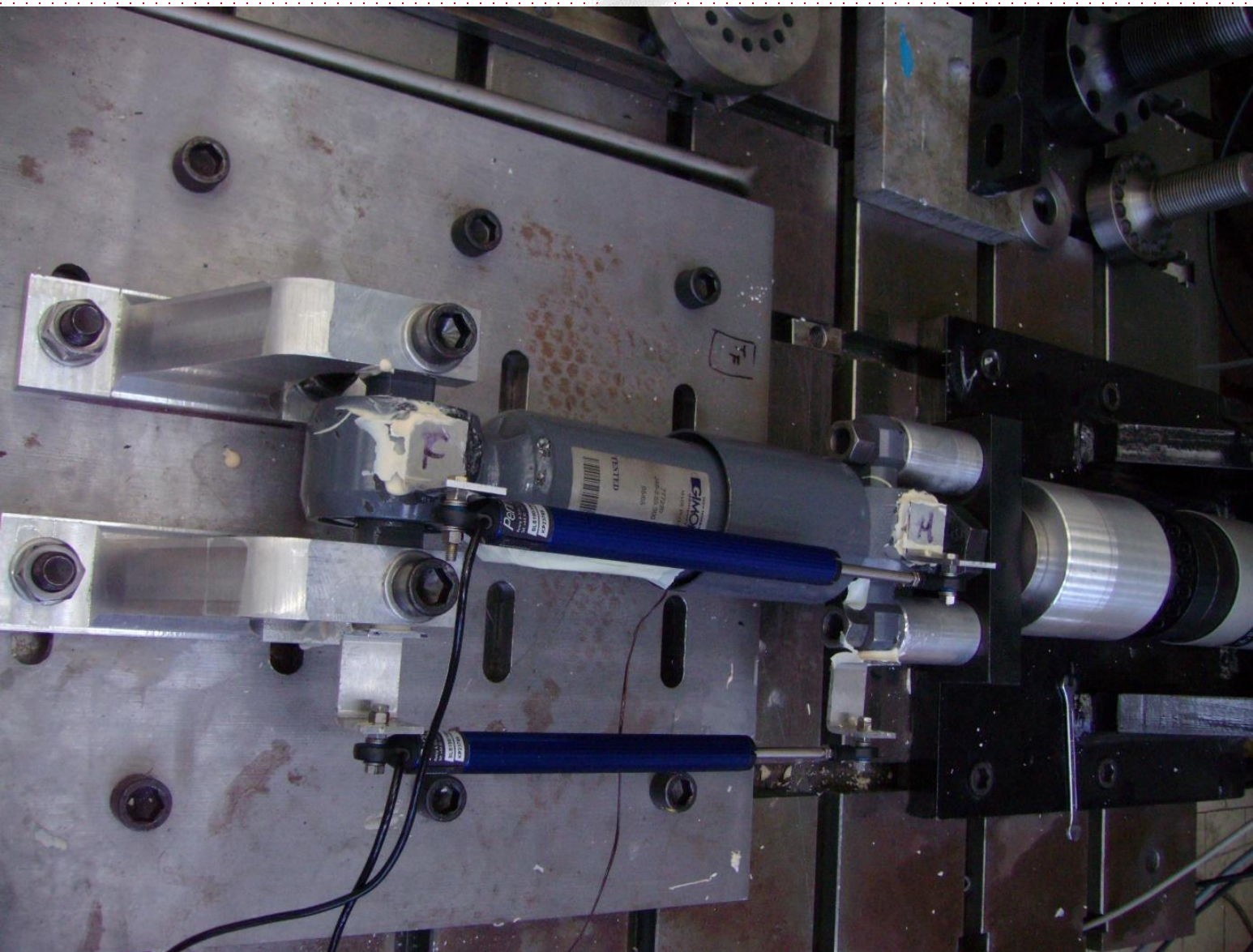
Selezione, in collaborazione con gli uffici di progettazione e calcolo, dei problemi da risolvere o da migliorare; ipotesi di prova, progettazione della prova, analisi dei risultati.

Prove di fatica su provini e/o piccoli componenti per determinare le curve di Wohler su:

- Fe 510 D1 (materiale base, principali tipi di giunti saldati, effetto di intaglio, alterazione termica, difetti, tensione media etc...) [Collaborazione con l'Università di Pisa];
- AISI 301 LN (materiale base, tensione media, saldatura per punti e Laser);
- Leghe d'alluminio - serie 6xxx (materiale base, saldature TIG, MIG, PLASMA, LASER);
- Leghe d'alluminio – serie 6xxx – Friction Stir Welding
- Prove di caratterizzazione di elementi diversi quali molle, smorzatori, elementi di strisciamento...

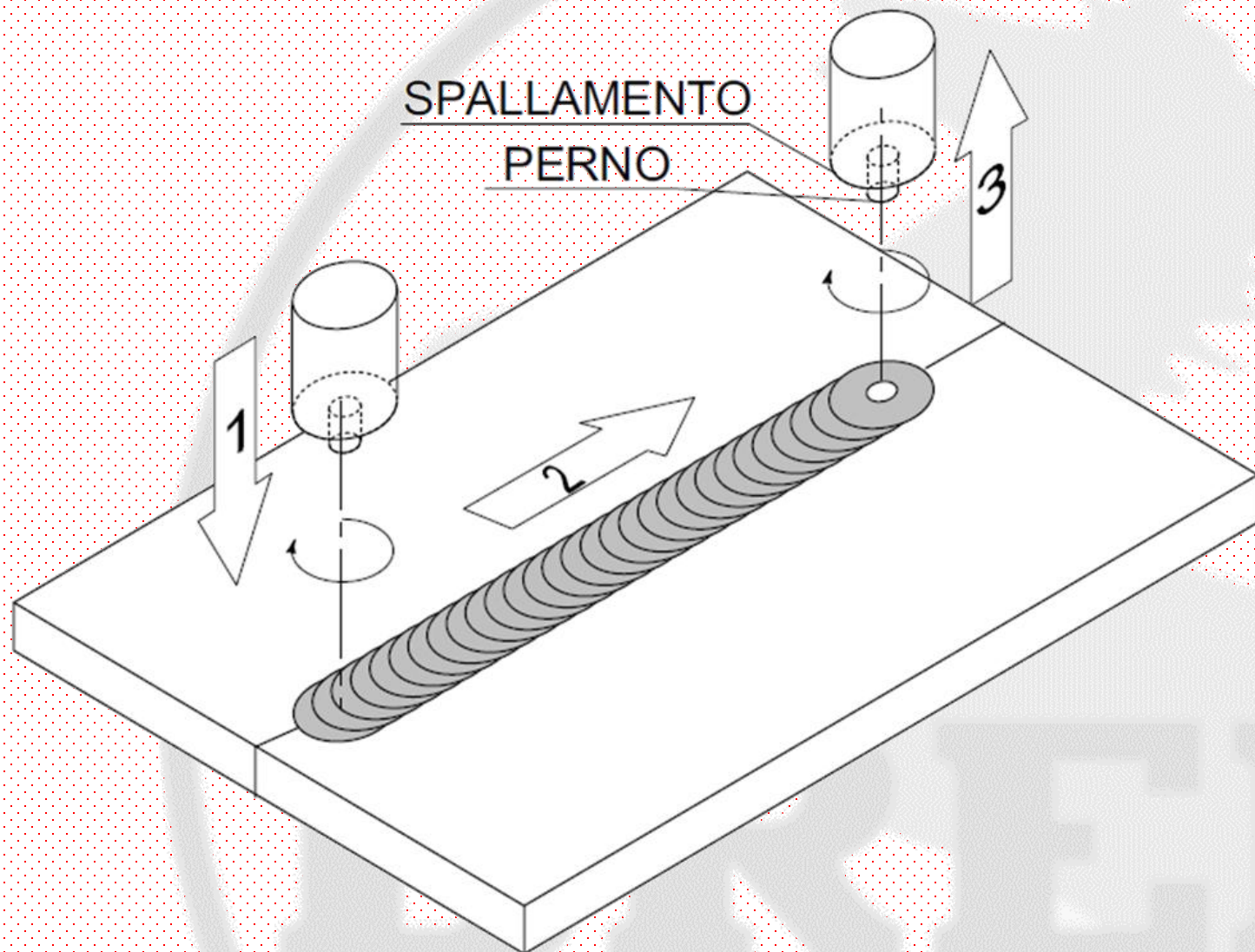


Provini a fatica per determinazione curve di Wohler

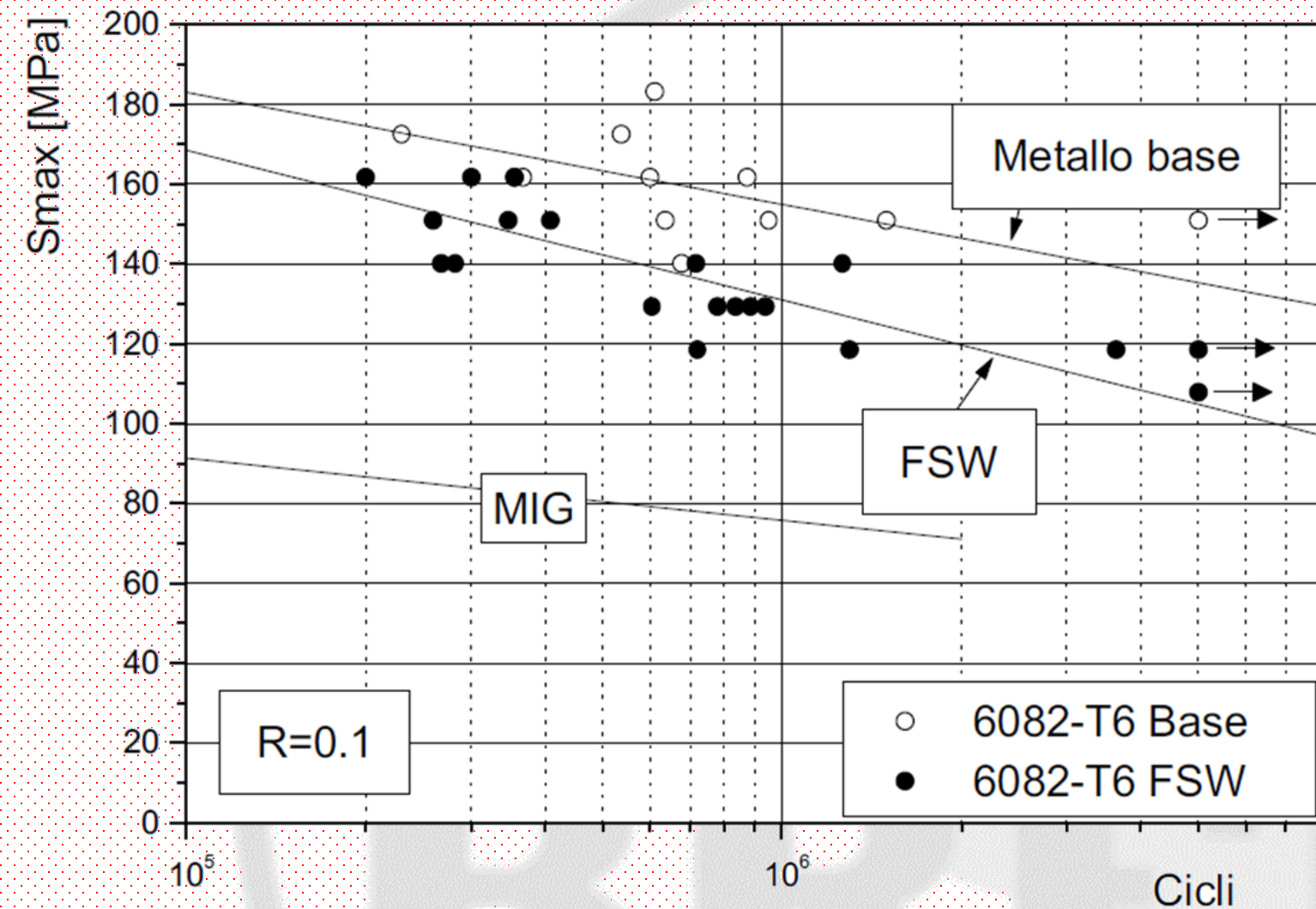


Prove di caratterizzazione smorzatori (TAF)

Friction Stir Welding



Curva di Wholer per FSW





Pannelli inox saldati a laser



Pannelli inox saldati a laser

Prova quasi statica assorbitori



Le Acquisizioni di Servizio

Per rendere completa la collaborazione della sperimentazione con la progettazione manca ancora un passo, vale a dire l'acquisizione di dati di esercizio.

La progettazione ha bisogno di dati certi di servizio come input al disegno.

L'esperienza e la professionalità del reparto sperimentale è tale da permettere la strumentazione dei veicoli in servizio (carrelli e casse).

Acquisizione di stati tensionali, accelerazioni, spostamenti, carichi, velocità, vibrazioni, comfort, qualità di marcia.

Le acquisizioni di servizio si moltiplicano e diventano uno standard.

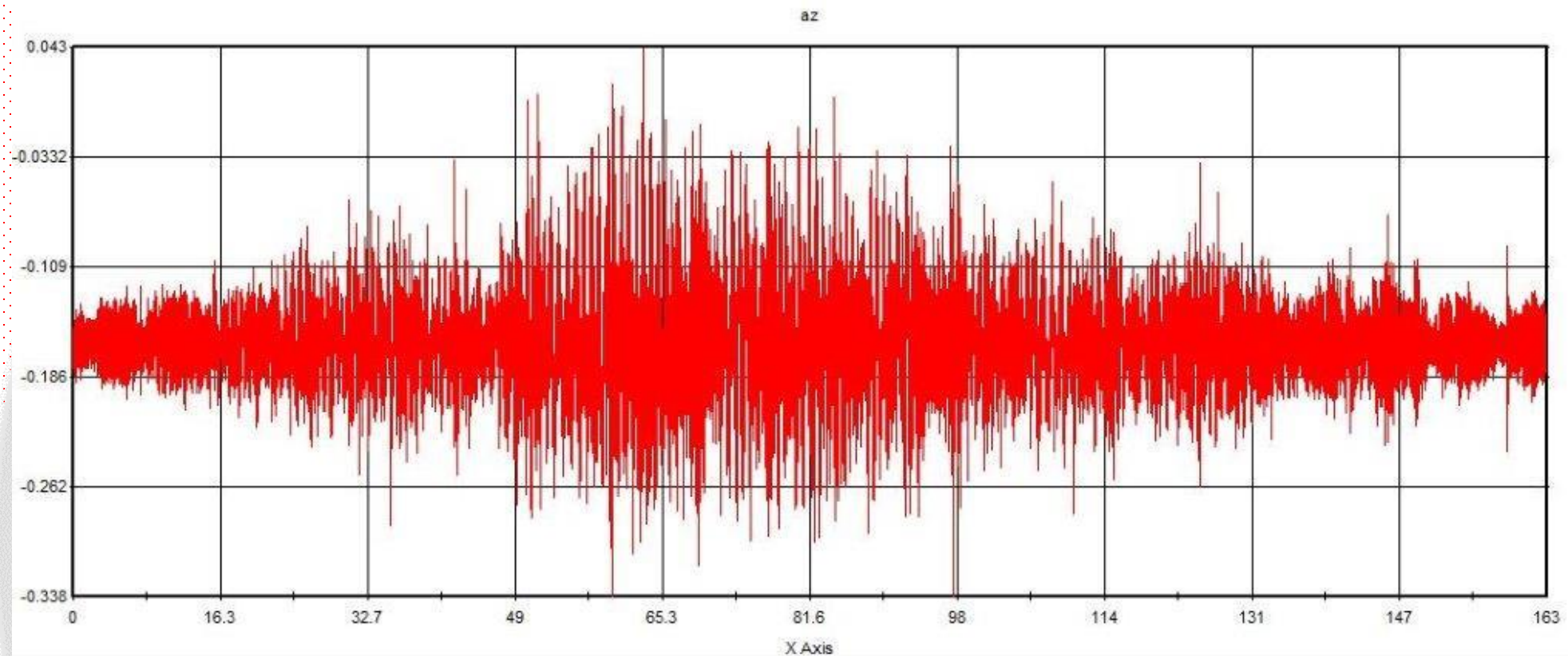
BREDA

Alcune Acquisizioni di Servizio

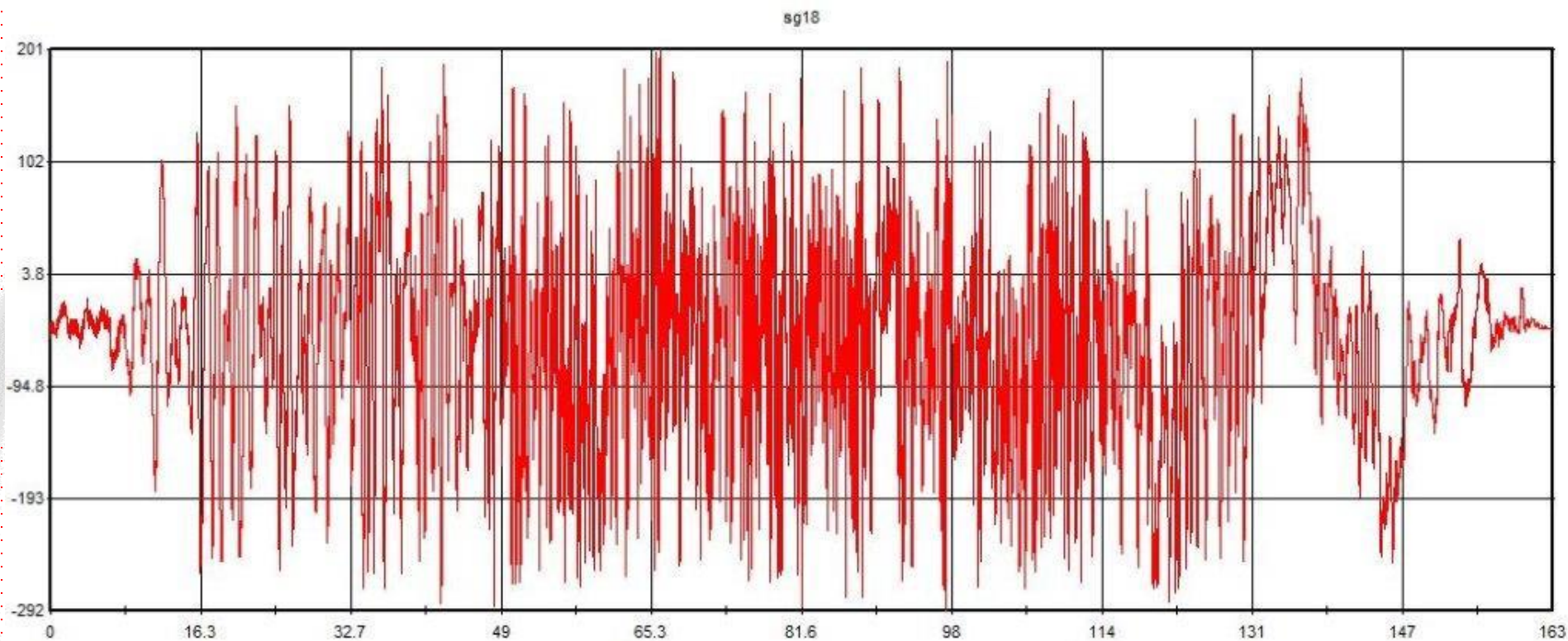
- . Motrice E454
- . VLC Lille
- . Metro Roma
- . Metro Napoli
- . Muni S.Francisco
- . LRV Boston
- . ETR 500 '91
- . TAF
- . LHGVC Eurotunnell
- . Sirio Atene
- . DMU IC4 Danimarca
- . Metro Madrid
- . TAF Marocco
- . Tram Oslo
- . Tram Sirio Gotheborg
- . Circumvesuviana

BREDA

Acquisizione di Accelerazioni



Acquisizione di Estensimetri



Verifica e Sperimentazione

L'attività di verifica e sperimentale diventa così parte integrante del progetto.

Il reparto rende disponibile all'azienda una quantità di dati sperimentali indispensabili per chi progetta e disegna strutture.

Concetti come spettri di carico, conteggio cicli, regola di Miner, danneggiamento cumulativo e tutto ciò che è inerente alla fatica, diventano concetti base per il miglioramento delle strutture.

Le normative stesse, che spesso risultano incomplete se non fuorvianti, vengono superate al fine di generare efficienza strutturale, sicurezza e risparmio economico.

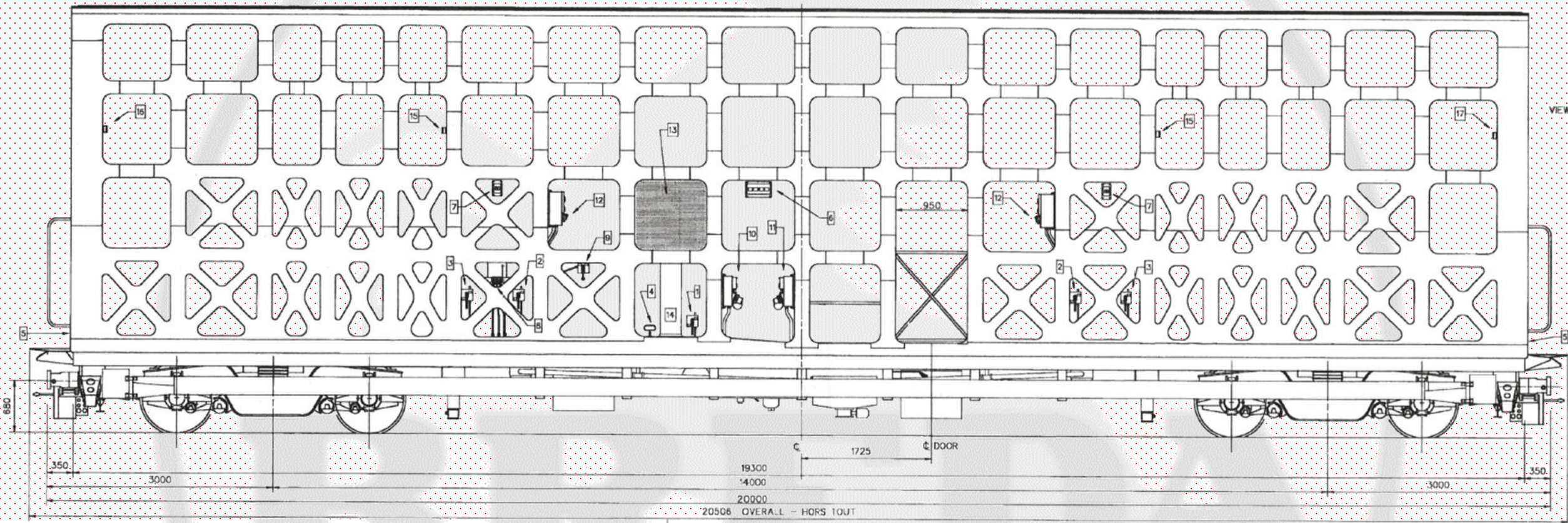
Anche la produzione, su input dei progettisti, si dimostra più attenta alle tecnologie di produzione, migliorandole e rendendole più vicine all'idea progettistica.

Il Reparto Sperimentale infine, oltre ad essere riferimento per l'Ingegneria, riceve la stima dei Clienti, riconoscimento di efficienza e professionalità.

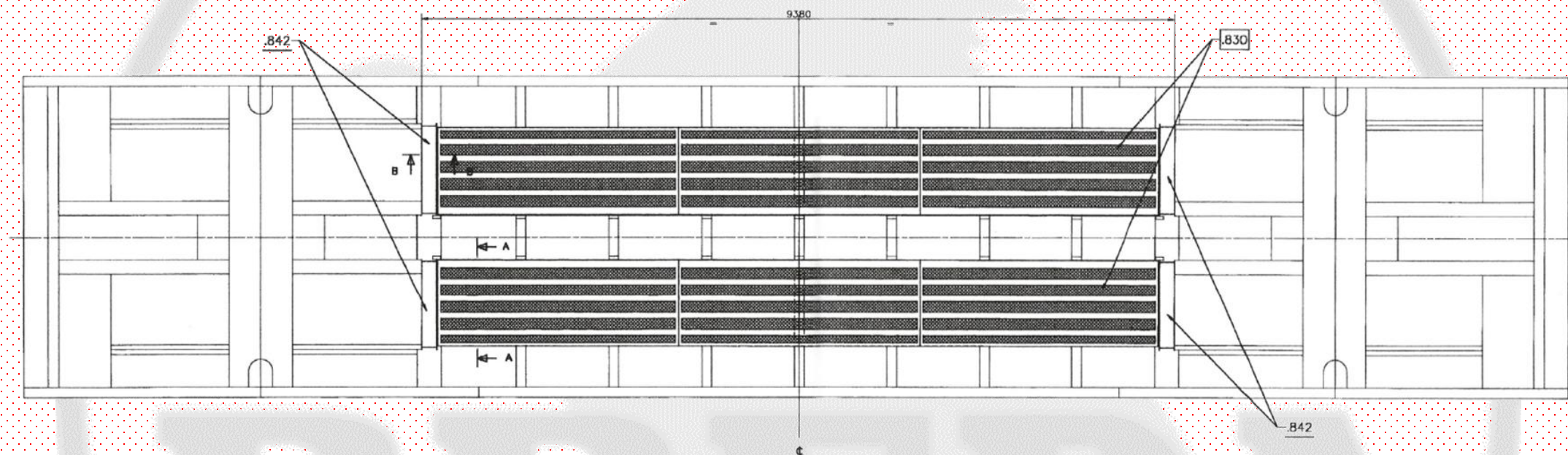
Il problema dei pavimenti dei carri EUROTUNNEL



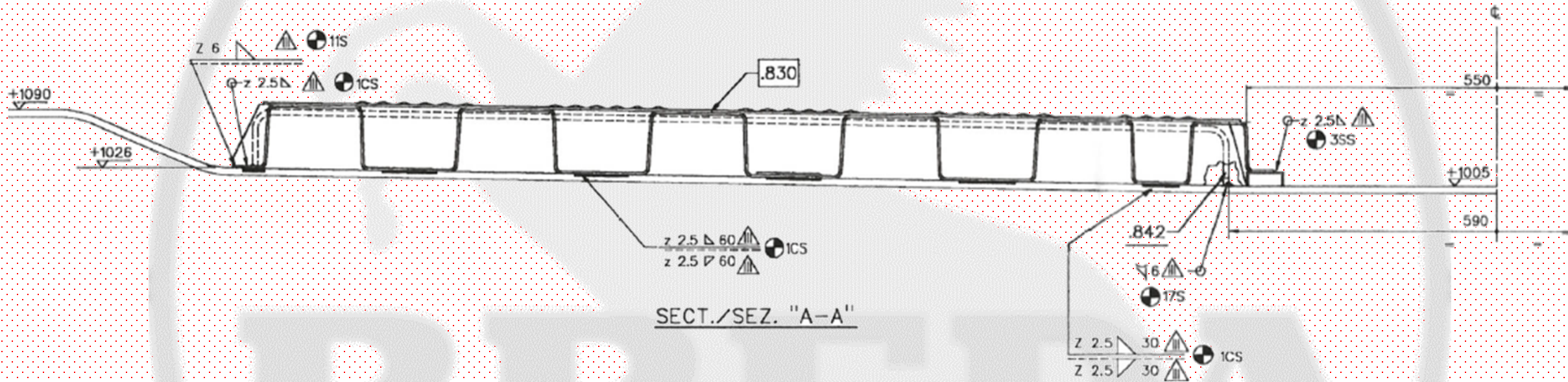
Vista Carro TML

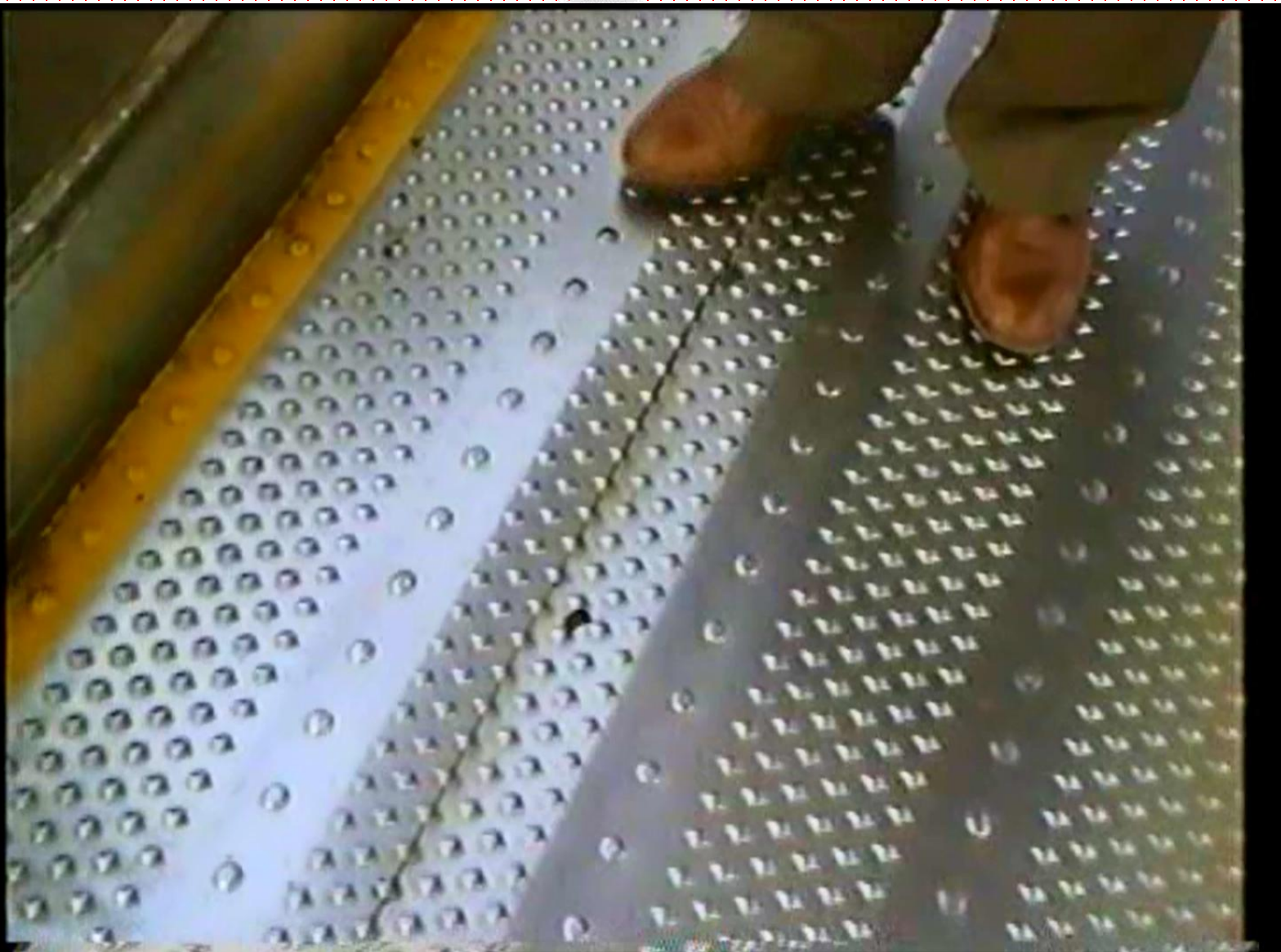


Pianta Pavimento



Sezione Pavimento Centrale (Grecata)





Cricche longitudinali sulla grecata



Riparazioni provvisorie mediante saldatura

Il Sistema di Pesatura degli Autotreni

Dopo pochi mesi di servizio il pavimento centrale (grecata) cominciò a rompersi.

Era inevitabile la sostituzione del pavimento (sia centrale che di estremità che, nel frattempo, subì le stesse rotture); il costo prevedibile era molto alto.

Venne chiesto al reparto sperimentale se c'era la possibilità di ideare un sistema di pesatura degli autotreni che transitavano sui carri; lo scopo era di verificare la presenza di eventuali TIR sovraccarico, per evidenziare possibili responsabilità di Eurotunnel.

Dopo attenta riflessione si optò per un sistema da posizionare direttamente sul veicolo.

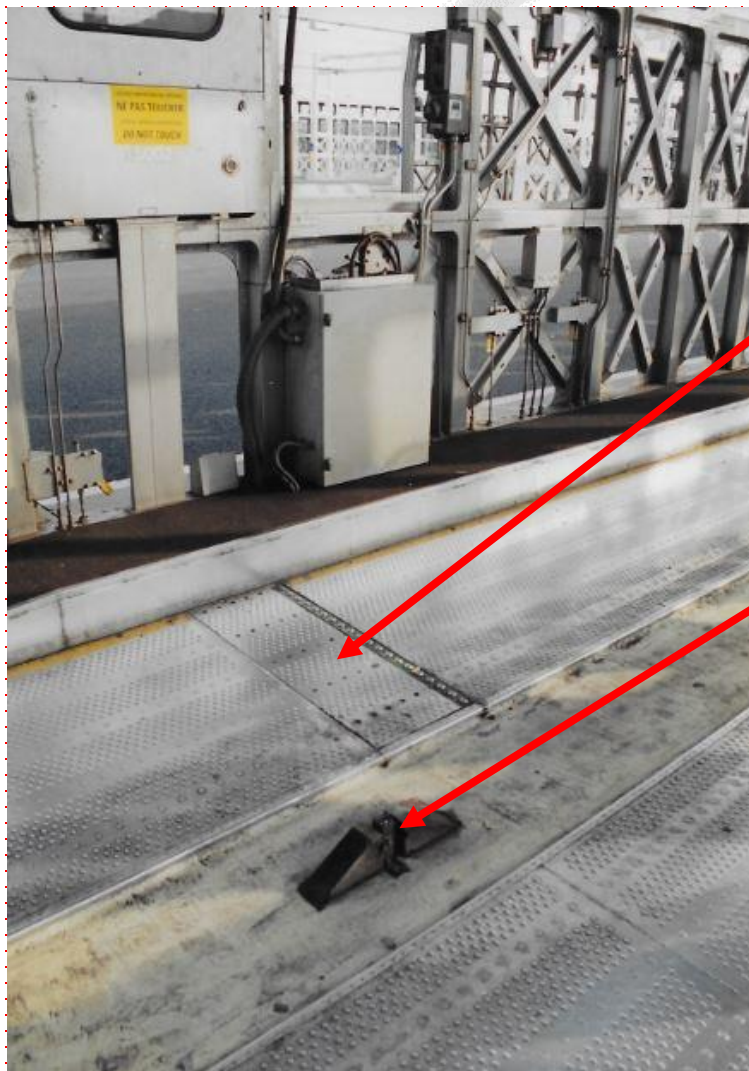
Tutte le attività di progettazione concettuale del sistema venne eseguita dal reparto; la parte realizzativa venne affidata allo studio AIP (Varese), studio che si dimostrò di grande affidabilità e competenza e che aveva già collaborato con noi per la fornitura di sistemi di controllo attuatori per fatica e alcuni martinetti idraulici.

Il Sistema di Pesatura degli Autotreni

Il sistema di pesatura era composto essenzialmente da:

- Una bilancia inserita a filo pavimento, equipaggiata da 4 celle di carico, in grado di pesare ogni asse di un camion in transito su di essa;
- Un sistema di fotocellule in grado di identificare il camion in transito e attivare il sistema di acquisizione;
- Una centralina elettronica capace di registrare il peso massimo di ogni asse in corsa, identificare il TIR in transito, chiudere la registrazione a passaggio completato (fotocellule), acquisire e memorizzare i pesi di ogni singolo asse e fornire il peso totale del camion attuale; tutta la sequenza si ripete al passaggio del camion successivo;
- Le fotocellule di identificazione del passaggio di un camion servono anche a calcolare e acquisire la velocità media di transito del camion;
- La bilancia è in grado anche di identificare ruote singole e gemellari;
- Una telecamera, sincronizzata con la centralina di controllo, registra ogni camion in transito; ogni camion registrato è quindi identificabile;
- Tutto il sistema fu calibrato ufficialmente alla presenza di Eurotunnel, sia in fase iniziale, sia durante le acquisizioni; si identificò un errore nella pesatura dei camion di circa l'1%.

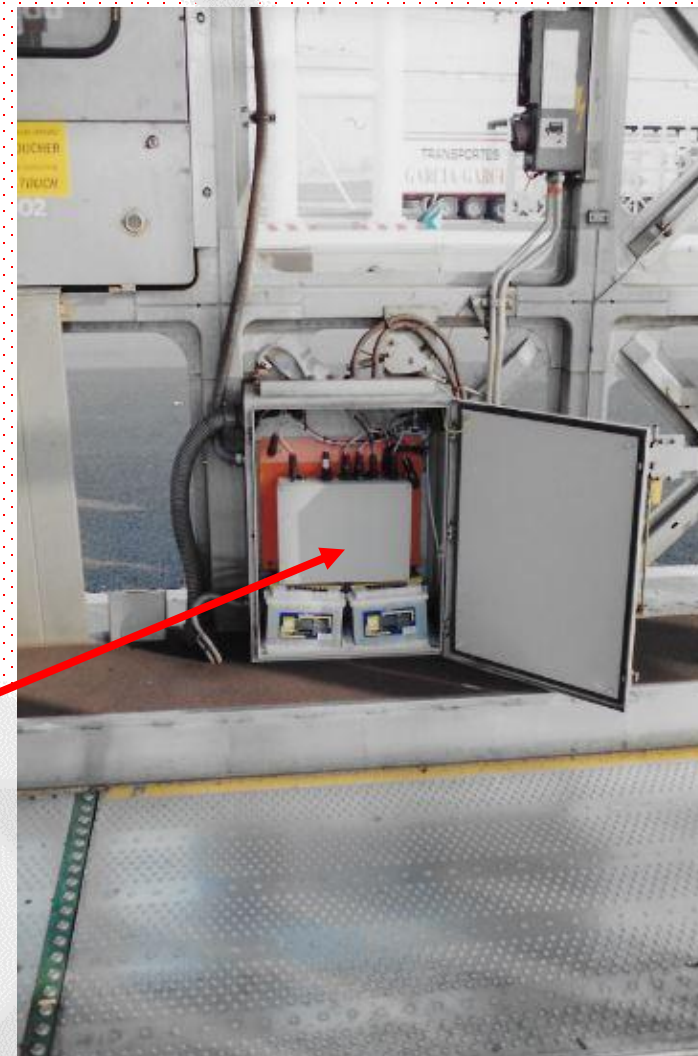
Posizionamento Bilancia su Pavimento Centrale



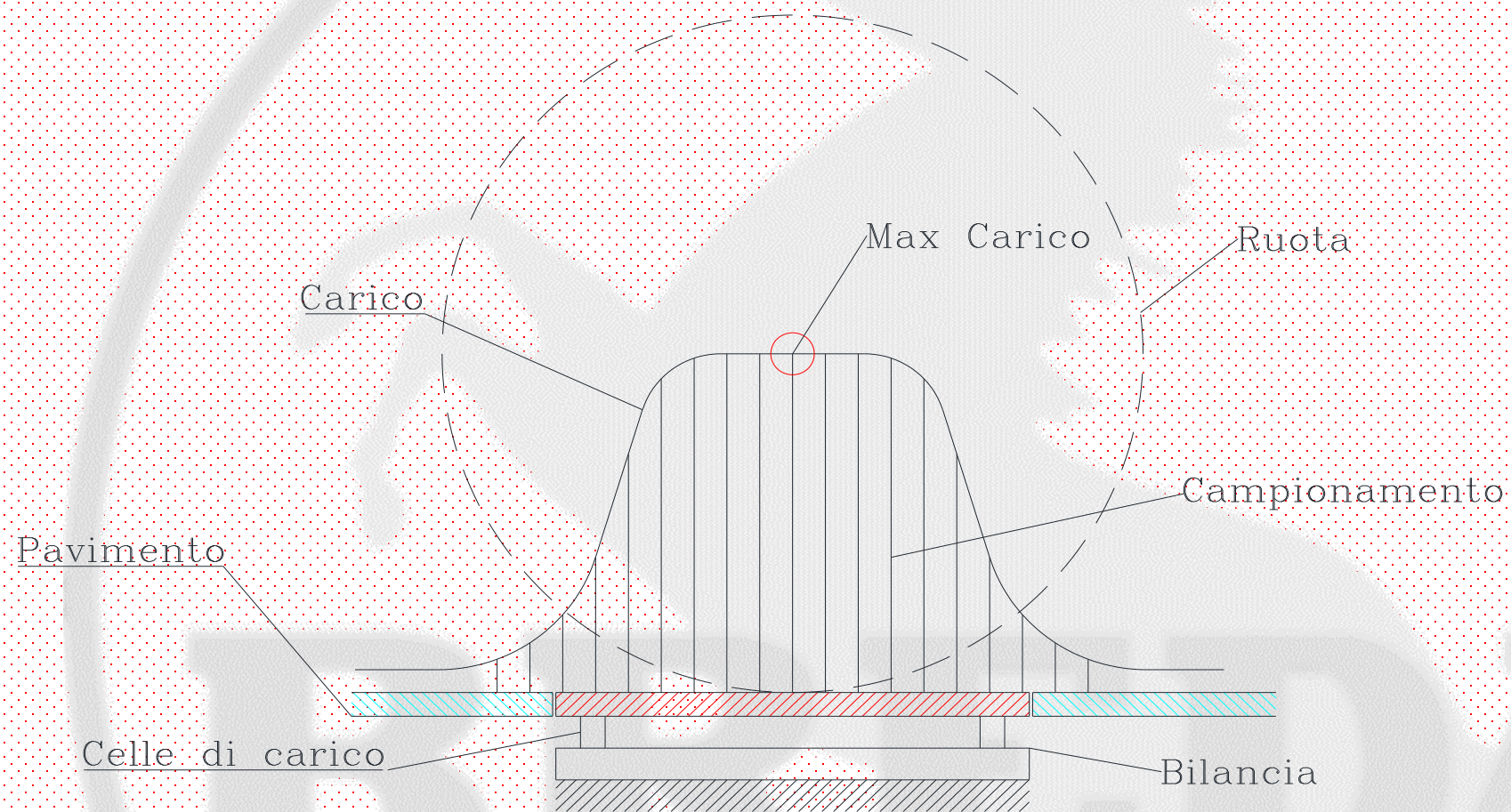
Bilancia

Una fotocellula

Centralina



Modalità di Pesatura



Operazioni di Carico e Pesatura Autotreni



Risultati Pesatura Camion Eurotunnel

Il sistema di pesatura restò in funzione per circa tre mesi, con brevi pause logistiche.

I risultati salienti dell'acquisizione furono i seguenti:

- Autotreni pesati ~ 2000
- Assi pesati ~ 10000
- Autotreni sovraccarichi ~ 2 %
- Max peso autotreno ~ 56 t (Belgio)
- Max peso asse ~ 16 t

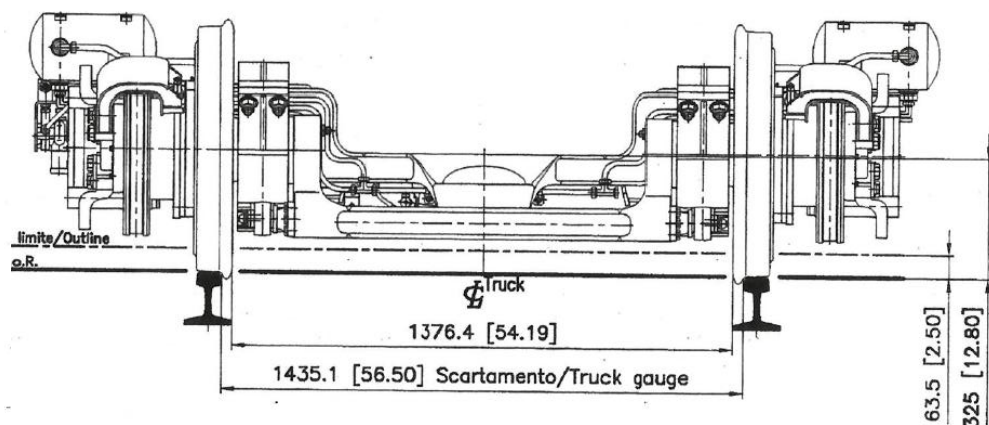
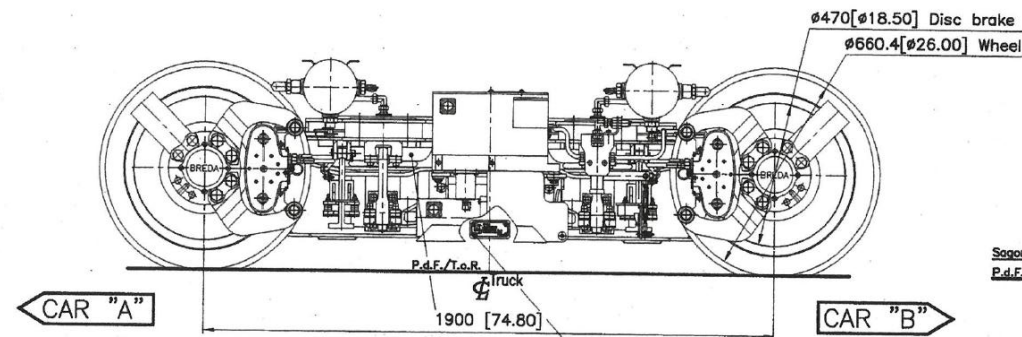
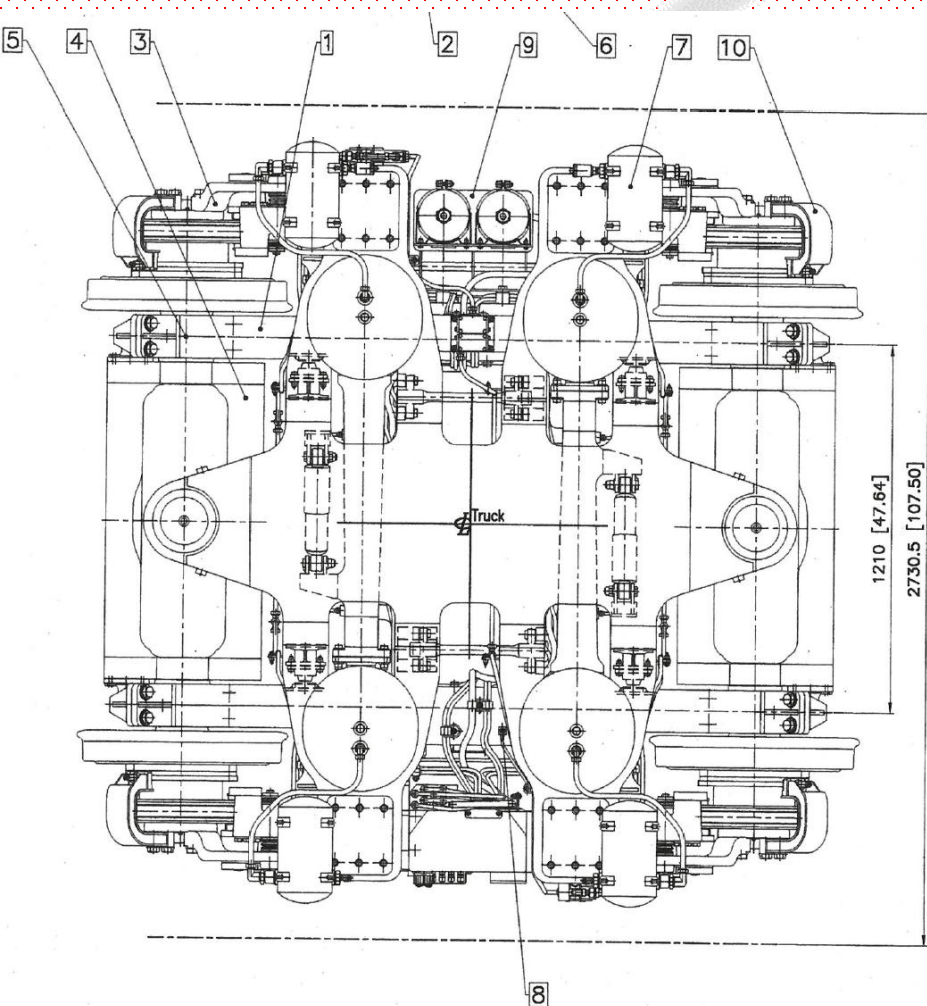
Nonostante la bassa percentuale di autotreni eccedenti il limite (44 t), l'azienda riuscì ad ottenere un concorso di responsabilità di Eurotunnel nei riguardi dei danneggiamenti evidenziati e la compartecipazione alle spese per le modifiche necessarie (diversi miliardi – lire).

Tutti i pavimenti furono sostituiti con strutture più robuste (centrali e di estremità); prove di validazione a fatica degli stessi vennero effettuate in reparto prima della modifica.

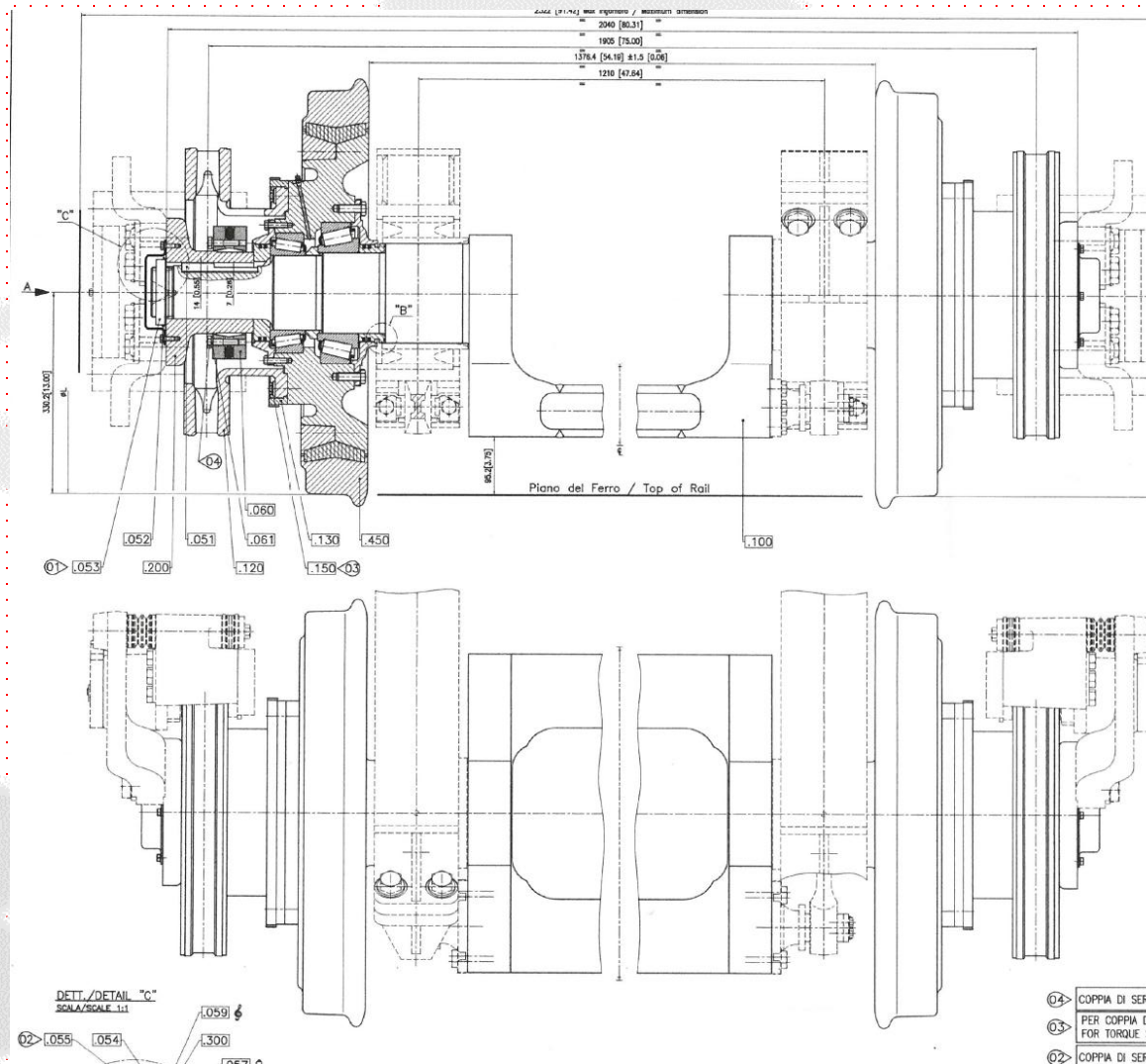


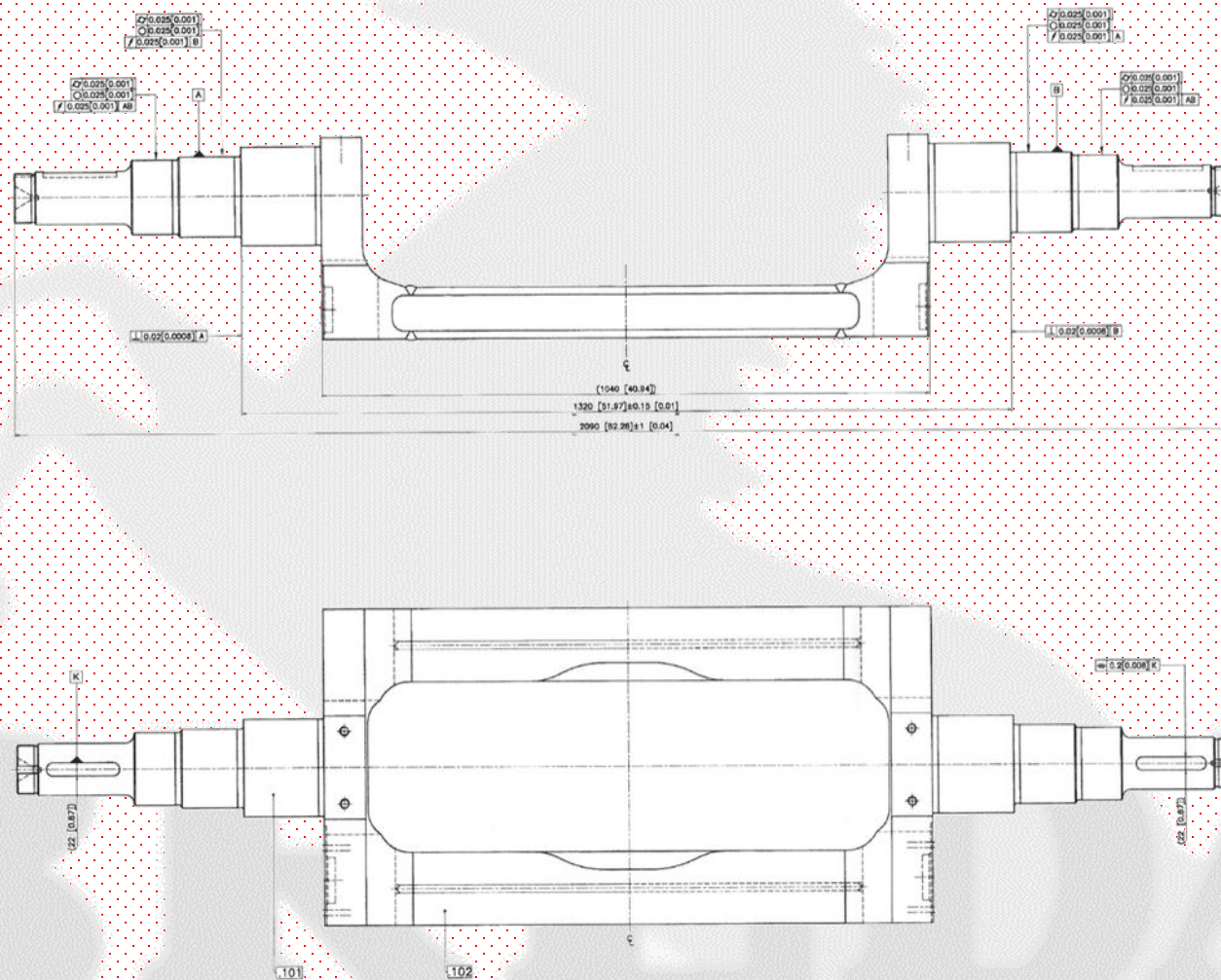
Il Problema di Boston

Carrello portante Boston a ruote indipendenti



Asse Boston Portante





Il Problema di Boston

Poco tempo dopo l'entrata in servizio del veicolo, si verificano degli svii/deragliamenti del carrello portante; il Cliente è molto preoccupato e l'Azienda altrettanto.

Si iniziò subito una campagna di prove, essenzialmente accelerometriche, per capire l'origine del problema. Venne coinvolto anche il Politecnico di Milano.

Queste prove, benché avessero evidenziato, in maniera chiara, che il problema risiedeva in gran parte nelle condizioni disastrose della linea, non risultarono conclusive.

Si decise allora di esplorare la possibilità di strumentare un assile, in maniera tale da poter acquisire direttamente i carichi (verticali e laterali) agenti su ogni singola ruota dell'asse, per poter valutare i valori di Y/Q su tutta la linea e, soprattutto, nelle aree in cui si erano verificati gli svii.

Il lavoro fu lungo e davvero complesso ma portò a risultati eccellenti.

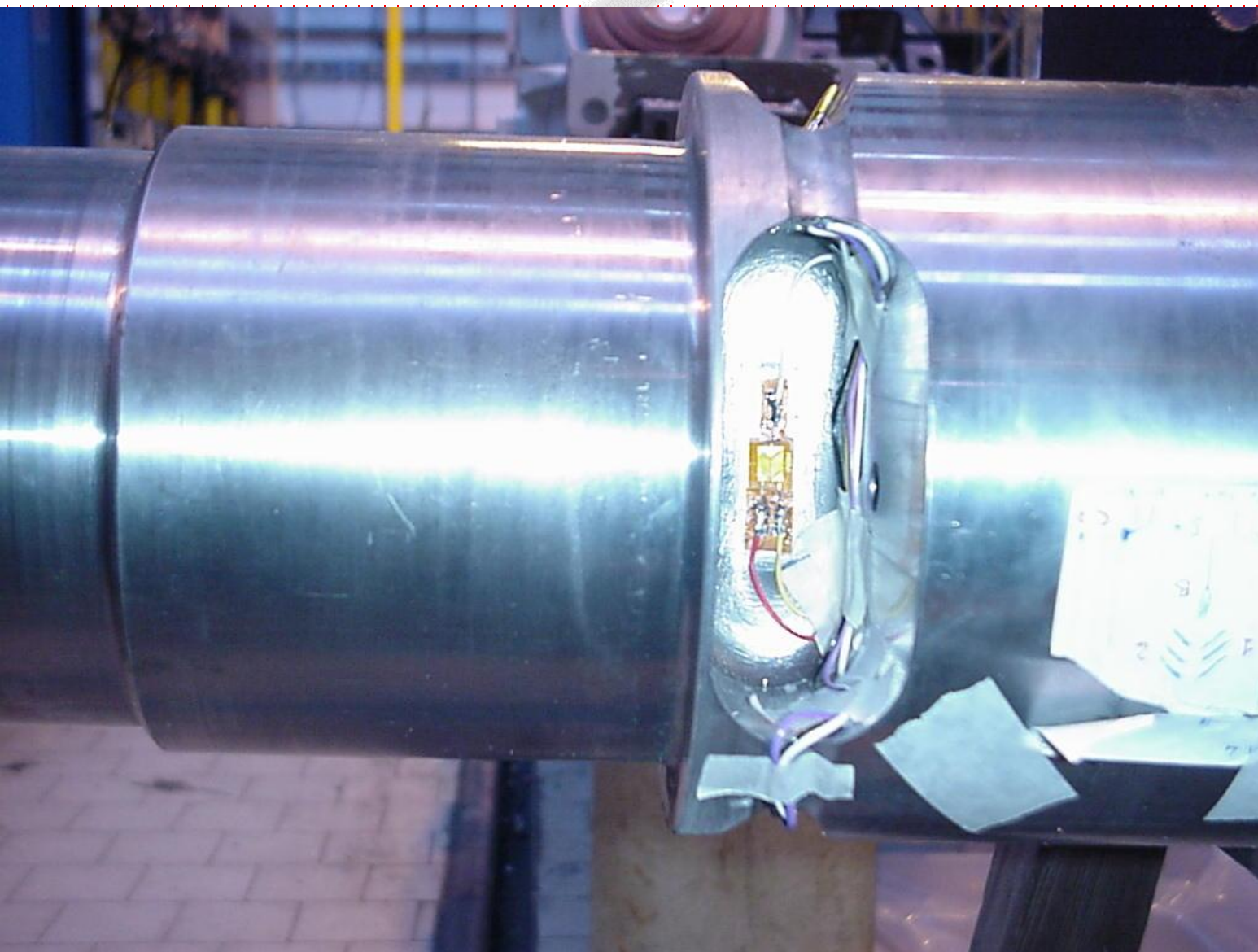
Lo studio di come strumentare l'asse fu condotto dal reparto con la collaborazione preziosa dell'ufficio calcoli.

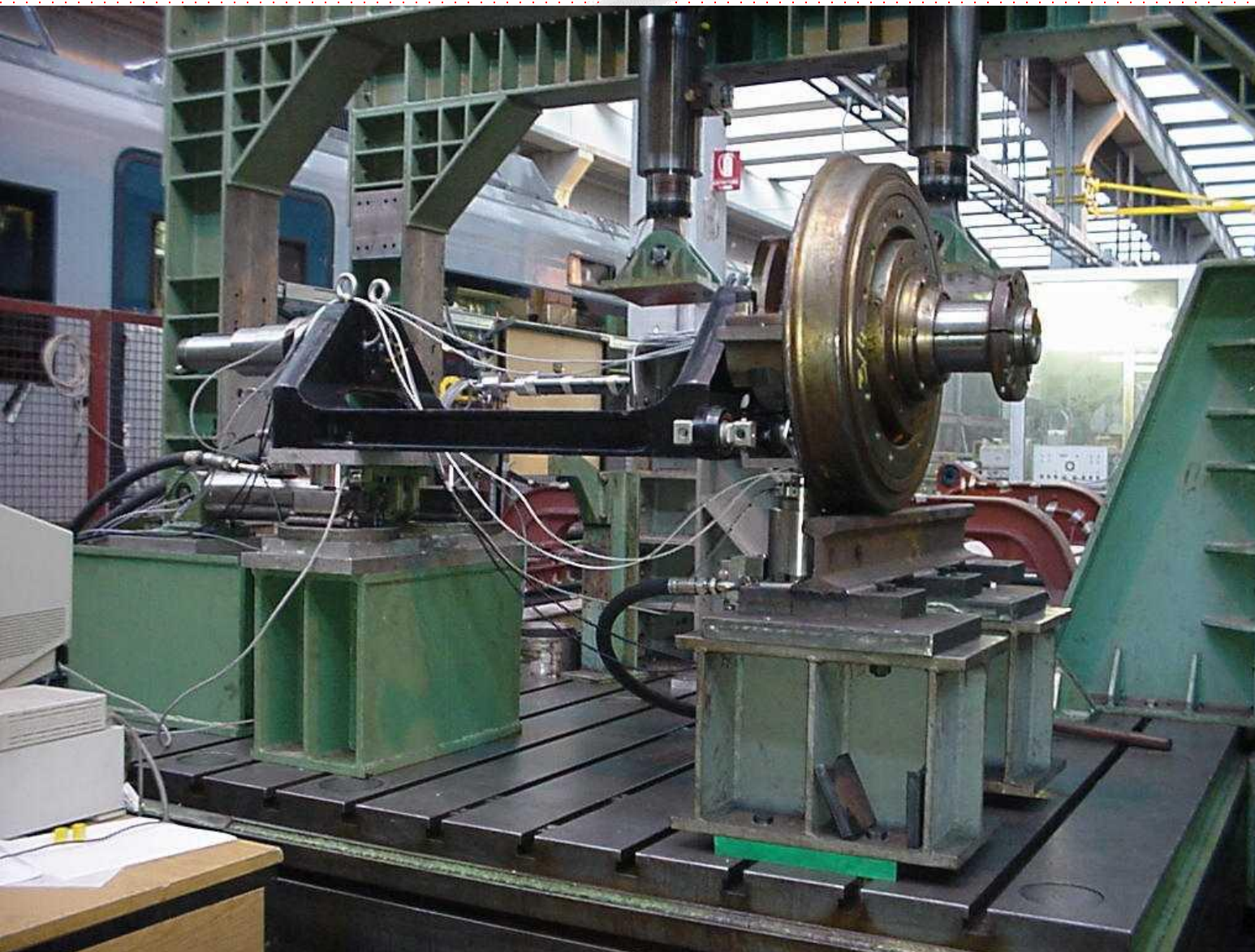
La strumentazione effettiva e le calibrazioni relative furono condotte completamente dal reparto sperimentale, utilizzando uno dei due assi che aveva subito le prove di fatica del carrello portante.



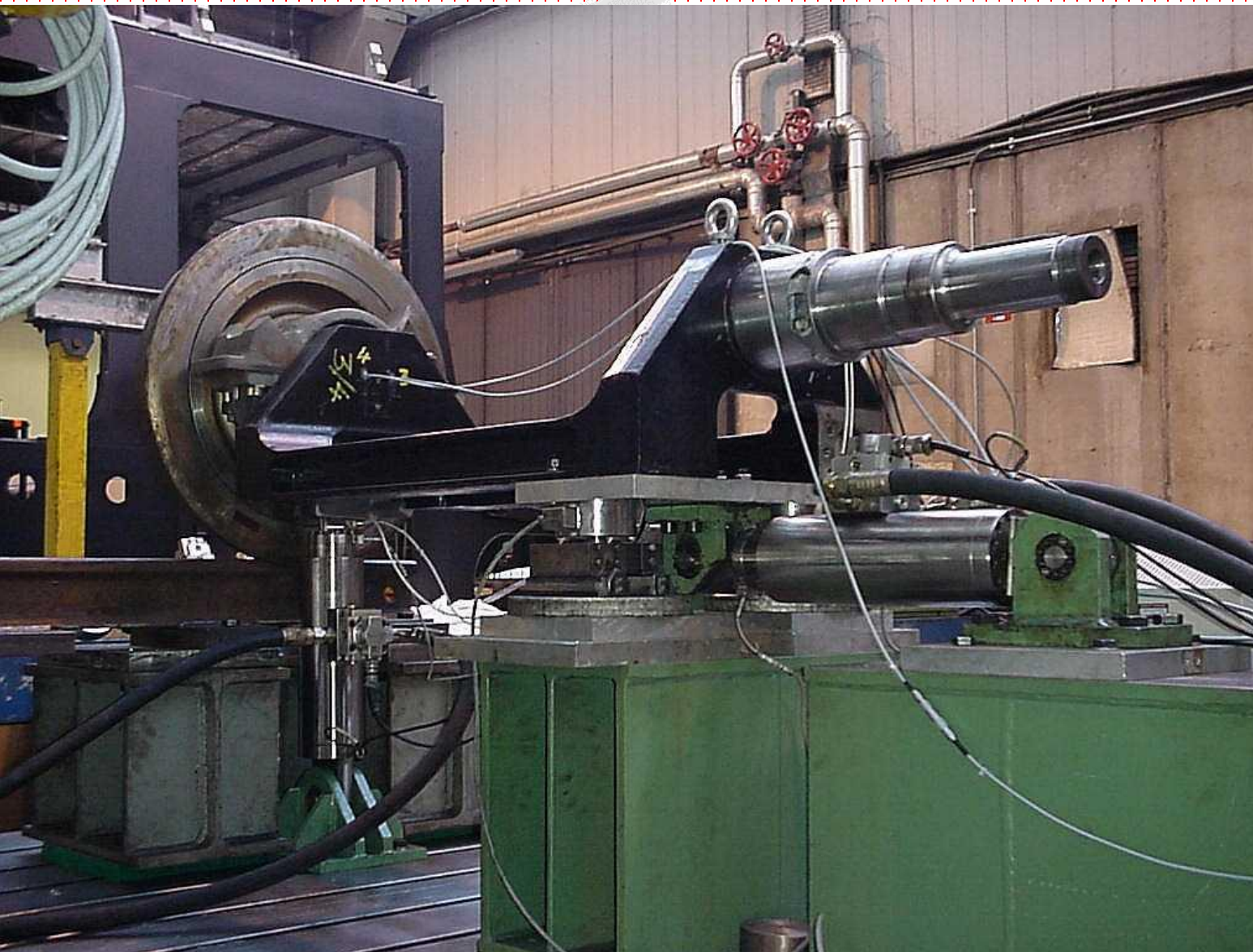
Lavorazione e strumentazione dell'asse

Estensimetri sull'asse

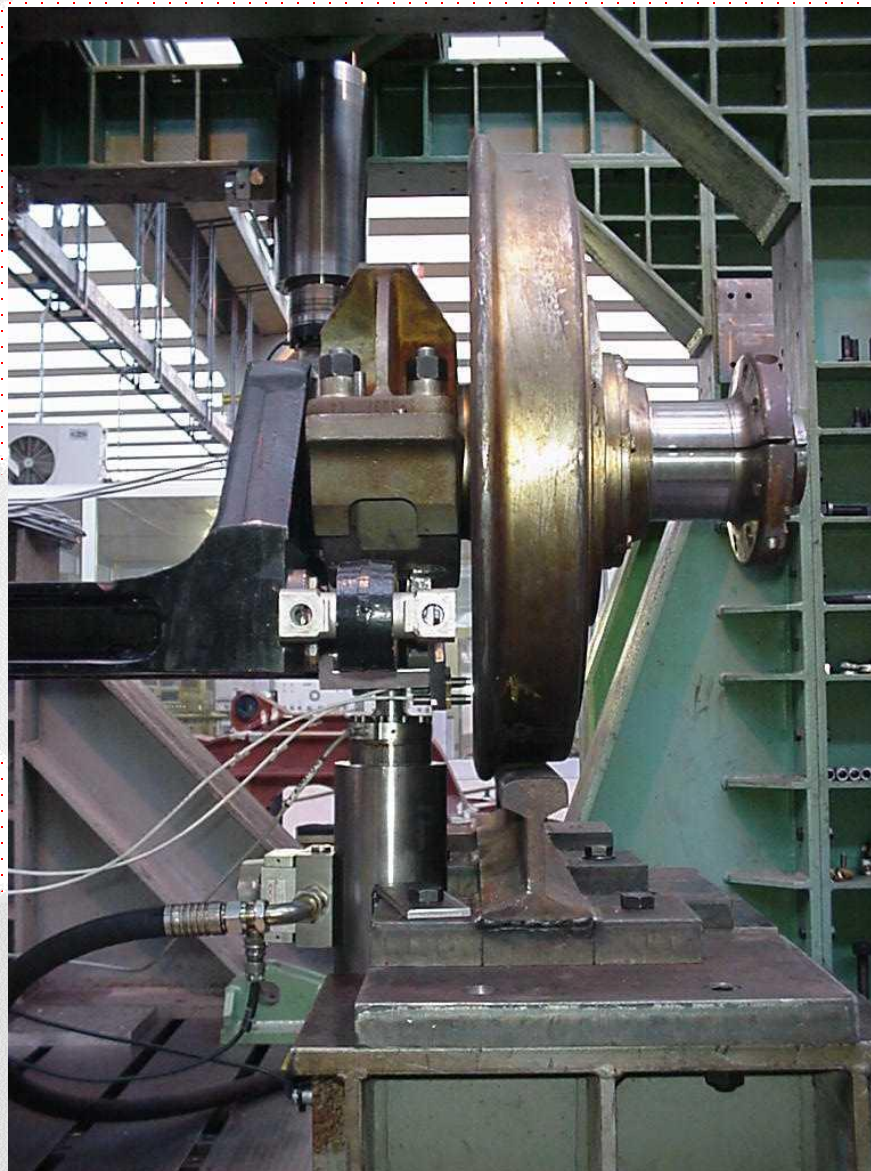




Fasi della calibrazione in laboratorio



Fasi della calibrazione in laboratorio



Applicazione del carico verticale e contatto ruota rotaia

L'asse fu strumentato in una unica sezione per ogni fusello; ogni sezione strumentata conteneva due ponti interi di Wheatstone. Il primo (a taglio) sensibile praticamente ai soli carichi verticali agenti sulla ruota; il secondo (a momento) sensibile invece alle flessioni derivanti sia dal carico verticale che laterale.

I due ponti, per ogni fusello, sono ovviamente necessari in quanto le incognite sono due (Y e Q) e quindi sono necessarie due equazioni, il più possibile indipendenti fra di loro, per risolvere il problema.

La calibrazione relativa, statica e dinamica, aveva come obiettivo di identificare univocamente, e per ogni combinazione di carico, il valore istantaneo di carico laterale (Y) e verticale (Q) agente nel contatto ruota rotaia.

La matrice di calibrazione ottenuta risultò ben condizionata e dimostrò che il sistema era in grado di fornire le grandezze richieste con precisione accettabile.

La calibrazione venne eseguita sull'asse singolo, con l'ausilio di opportuna attrezzatura.

L'asse strumentato fu spedito a Boston e posizionato sotto un treno per iniziare le prove.

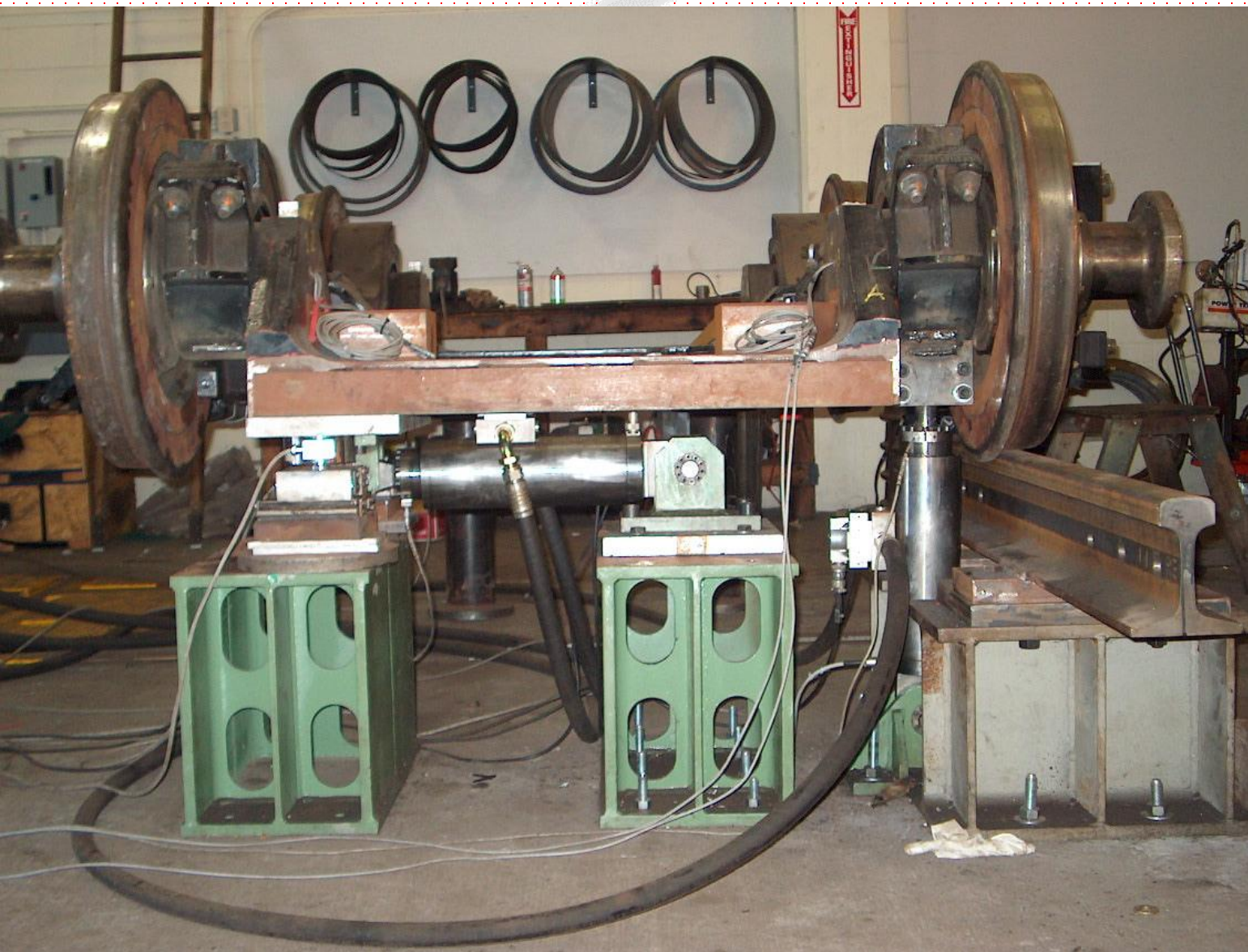
Già dalle prime acquisizioni apparve chiaro che qualcosa però non andava; benché tutto il set-up elettronico fosse in ordine, i risultati che si ottenevano, anche statici, erano affetti da errori...

...qualcosa non andava!

La probabile ragione del non corretto funzionamento era da ricercare nelle condizioni della calibrazione effettuata; l'asse, inserito nel carrello reale, era soggetto a condizioni di trasferimento carichi (interfacce di contatto, rigidzze del telaio, momenti effettivi...) diverse da quelle sperimentate durante la calibrazione ad asse sciolto effettuata in reparto.

Si decise di ripetere la calibrazione con asse inserito nel carrello completo, eliminando quindi qualunque interferenza di attrezzature ad hoc, riproducendo la situazione reale di funzionamento.

La calibrazione fu eseguita direttamente a Boston (attrezzatura necessaria inviata dall'Italia e, in parte, reperita in loco).



Calibrazione asse inserito nel carrello a Boston



Calibrazione asse inserito nel carrello a Boston

Il carrello, con la nuova calibrazione dell'asse, venne riposizionato sotto il treno...

...funziona!

I risultati forniti dall'asse vennero validati con successo su un binario di prova disponibile a Riverside, strumentato da TTCI (consulente tecnico del cliente); i valori di Y/Q erano in perfetto accordo con i valori rilevati dalla strumentazione del binario e con i valori di calcolo che TTCI aveva elaborato per quel tratto di binario (di cui era nota la geometria, difetti, etc...).

Il carrello così equipaggiato venne utilizzato per percorrere l'intera linea più volte e identificare le aree critiche in cui il valore del rapporto Y/Q superava una certa soglia ritenuta di sicurezza.

Il carrello quindi divenne uno strumento di controllo delle condizioni della linea, a disposizione del cliente ai fini manutentivi.

Si giunse quindi ad un accordo: Boston intervenne pesantemente sulla manutenzione della linea e Breda implementò una relativamente leggera modifica nel sistema di trascinamento del carrello, introducendo un bilanciere sulle barre di trazione per facilitare la rotazione del carrello stesso.

Condizioni della linea di Boston





Condizioni della linea di Boston



Condizioni della linea di Boston

Linea di Boston



Conclusioni

La sperimentazione motore e parte indispensabile della progettazione e dell'ingegneria.

La grande forza del lavoro di gruppo e della collaborazione, che generano crescita ed efficienza.

Una esperienza professionale intensa, il piacere delle idee e della loro realizzazione pratica.

Impegno sempre rivolto all'Azienda, per il benessere di tutte le persone che ci lavorano e che, dall'Azienda, traggono il loro sostentamento e la loro realizzazione professionale.

BREDA

Ringraziamenti

Grazie alle persone che hanno lavorato al Reparto Sperimentale o che hanno collaborato con esso:

- Angelo Pini
- Giuliano Grassi
- Riccardo Benigni
- Daniele Lupori
- Adriano Breschi
- Stefano Sibaldi
- Fabrizio Bocchini
- Marco Sacchi
- Massimo Paccagnini
- Fabrizio Butelli
- Brunaldo Bonelli
- Francesco Urbani
- Roberto Cimellaro
- Carlo Cerrone
- Pierluigi Petri
- Aldo Frediani (UNIPi)
- Mauro Romagnoli (UNIPi)



Grazie a tutti per l'attenzione

Fiorenzo Vitali

BREDA