

# Metodologia per prove estensimetriche su veicoli funiviari

THOMAS BORTOLAMEDI<sup>1</sup>, FABIO DEGASPERI<sup>1</sup>, AGOSTINO DALLAGO<sup>2</sup>

## Introduzione

E' cosa nota a tutti i tecnici del settore funiviario l'importanza degli effetti dinamici su strutture fisse e mobili, in special modo in presenza di basse temperature.

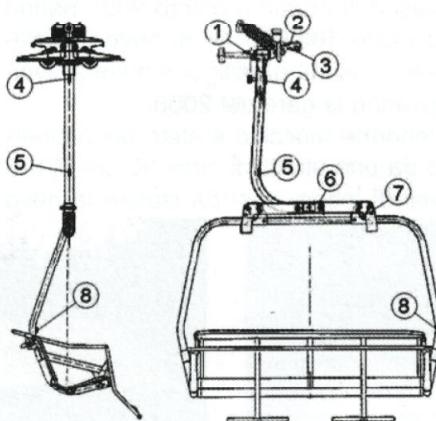
Ciò è ancora più importante per il veicolo, dove le esigenze di contenimento, di dimensione e pesi, si accompagnano con effetti dinamici e statici molto variabili, in funzione di:

- variazione delle situazioni di carico
- caratteristiche dell'andamento della linea funiviaria
- configurazioni assunte dal veicolo per effetto del vento
- inerzie dovute ad accelerazioni e decelerazioni.

L'avvento degli impianti ad aggancio automatico ha permesso, rispetto agli agganciamenti fissi, di aumentare le velocità dei veicoli in linea (6 m/sec) e quindi di avere delle portate passeggeri/ora (2400 p/h per seggiola quadriposta) nettamente superiori rispetto al passato, con un più agevole accesso del passeggero nella fase di imbarco-sbarco.

L'aumento di velocità ha però incrementato le sollecitazioni di carattere dinamico che si generano quando il veicolo entra ed esce dalle stazioni oppure passa sui sostegni di linea.

Oggi giorno si rende necessario valutare per via sperimentale l'entità di queste sollecitazioni sia per validare i calcoli teorici del progettista, e quindi i limiti d'impiego del veicolo, che per valutare utilizzando le normative vigenti la



durata a fatica del veicolo e di tutti i componenti che lo compongono. Anche se i costruttori tendono a standardizzare per tipologia la maggior parte dei componenti che costituiscono l'impianto a fune, si può affermare che un impianto non è mai identico ad un altro, basti pensare al profilo di linea ed alla morfologia dell'area su cui è costruito.

## Predisposizione della prova

Le prove estensimetriche oltre a validare i calcoli teorici servono come strumento di messa a punto per verificare se il veicolo nel suo complesso si accoppia in modo sicuro all'impianto in fase di costruzione dello stesso. Errori di montaggio o di allineamento di rulliere e di componenti situati nei giostazioni generano sul veicolo valori di sollecitazioni che superano quelli stabiliti dalle norme funiviarie espressi come grado di sicurezza; effettuando una prova estensimetrica si è in grado di evidenziare in che punto della linea

si genera questa sovrassollecitazione e di agire di conseguenza.

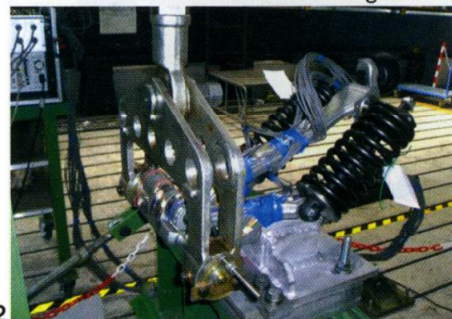
La valutazione di come si comporta un veicolo nei vari tratti della linea viene fatta misurando le deformazioni nelle sezioni più critiche dei componenti della morsa, sospensione, telaio e cabina o seggiola.

L'individuazione dei punti di misura e l'orientamento degli estensimetri (ER) derivano da indicazioni ricavabili da una preliminare analisi teorica o numerica delle sollecitazioni, oppure, in assenza di tale analisi, da misurazioni estensimetriche effettuate in laboratorio. Gli ER applicati in questi punti permettono di identificare gli ingressi e le uscite dalle stazioni, il passaggio sui sostegni e l'apertura-chiusura della morsa.

Nel caso in cui le condizioni di prova risultino critiche ai fini del corretto funzionamento degli ER, il numero dei punti di misura viene aumentato per sopperire all'eventuale anomalo funzionamento o rottura di alcuni di essi.

## Qualificazione del personale

Il controllo tramite estensimetri elettrici a resistenza deve essere effettuato da personale altamente qualificato che dimostri di avere padronanza della tecnica e del settore in cui viene impiegata. Oggigiorno le misure estensimetriche assieme ad altre tipologie di prove (ultrasuoni, correnti indotte, radioscopiche, liquidi penetranti) sono entrate a pieno titolo tra i controlli non distruttivi, e seguono particolari normative euro-

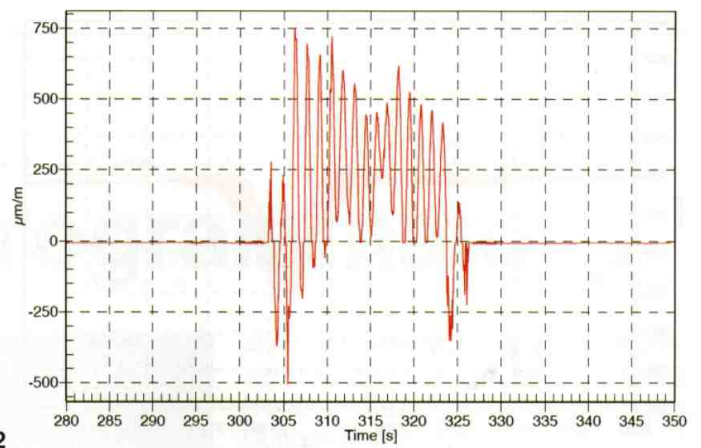
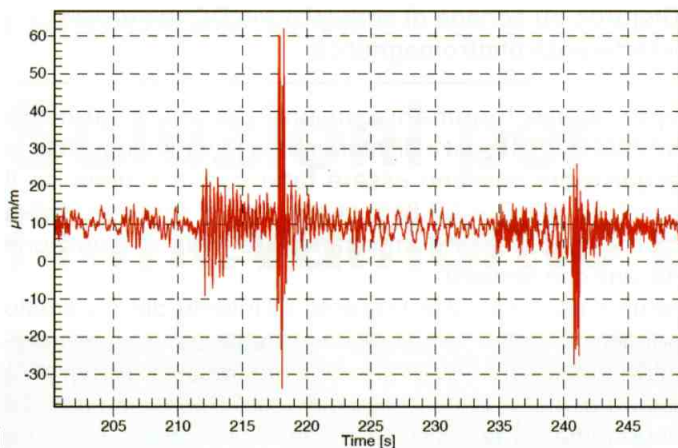


1. Punti estensimetrici su seggiola  
2. Misure estensimetriche in laboratorio  
3. Veicolo a pieno carico



<sup>1</sup>Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune, Provincia Autonoma di Trento  
<sup>2</sup>Servizio Impianti a Fune, Provincia Autonoma di Trento





1  
 pee (ISO 9712:2005) atte a certificare il personale che esegue questo tipo di controlli.

### Procedura di prova

Il veicolo viene sottoposto a prove statiche preliminari, sia per rilevare i valori statici, che per verificare il corretto comportamento dell'apparecchiatura e dei punti di misura. Allo stesso modo si esegue una manovra di apertura e chiusura della morsa sulla fune. Per le prove statiche, l'azzeramento è fatto con veicolo vuoto sospeso; si procede quindi al carico progressivo.

Considerando che a veicolo vuoto le strutture sono sollecitate dal peso proprio degli elementi sottostanti la sezione considerata, per poter valutare la corrispondente sollecitazione si deve sempre aggiungere una zavorra supplementare pari almeno al peso proprio del veicolo stesso. Si effettuano inoltre prove con carichi parziali squilibrati sistemati sui sedili o sulla metà della superficie della cabina.

Per le prove dinamiche vengono effettuati giri completi, transito sui sostegni. - ingressi e uscite alle stazioni, alla normale velocità di regime con varie condizioni di carico e precisamente:

- veicolo con carico completo ed equilibrato
- veicolo vuoto
- veicolo con carico parziale sbilanciato come nelle precedenti prove statiche.

Prima di avviare l'acquisizione viene eseguito il bilanciamento dei ponti estensimetrici.

### Scelta ed installazione degli estensimetri

Gli ER utilizzati sono HBM LY-11-3/120 e LY-11-6/120 per le strutture in acciaio

1. Passaggio veicolo su rulliera a doppio-effetto e di ritenuta
2. Ingresso veicolo in stazione
3. Passaggio vettura sotto elettrodotti

e LY-13-6/120 per le strutture in alluminio della cabina o per particolari sospensioni di funivie. Quelli con griglia da 3 mm vengono impiegati in zone dove i gradienti di sollecitazione sono elevati o in spazi relativamente ristretti, ad esempio sul corpo della morsa.

Oggigiorno tutti gli elementi funiviari per essere protetti da fenomeni corrosivi vengono zincati a caldo, questo processo viene fatto per immersione del componente in un bagno caldo di zinco con aggiunta di altri elementi.

Prima di incollare l'ER è fondamentale rimuovere completamente dalla zona di installazione lo strato di zinco depositato, la sua non rimozione porta a delle misure non attendibili.

L'applicazione dell'estensimetro sul componente è fatta utilizzando la colla mono-componente HBM Z70 assieme all'attivatore BCY 01, indispensabile quando si lavora a temperature inferiori ai 15°C.

Le prove dinamiche effettuate all'aperto presentano molti aspetti critici dovuti a variazioni ambientali di temperatura e di umidità che possono influire sui risultati della prova.

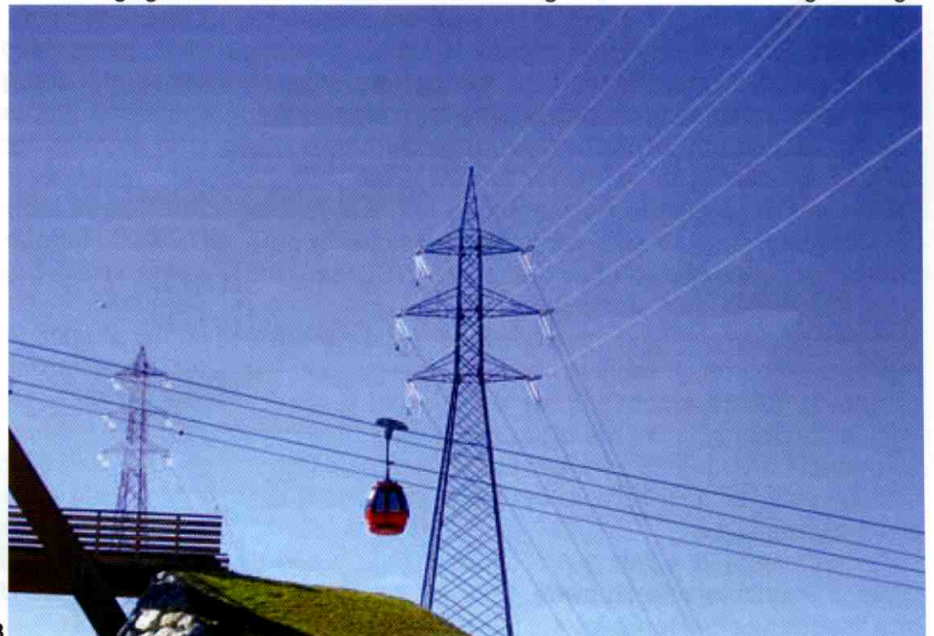
Per evitare che l'umidità si insinu sotto la griglia estensimetrica viene

applicato un coprente gomma nitrile HBM NG 150 a rapida asciugatura. In applicazioni sul campo è fondamentale misurare la resistenza di isolamento tra ER e substrato; tramite il megaohmetro HBM TO 3 si può determinare se l'isolamento è superiore a 2000 MΩ come stabilito da normativa, altrimenti bisogna rifare completamente l'installazione.

Durante le prove dinamiche la cabina viene fatta girare da valle a monte in condizioni di esercizio e capita che la stessa passi da zone in ombra ad altre in pieno sole, quindi, anche se gli estensimetri sono auto-compensati per il materiale su cui vengono applicati, per minimizzare ulteriormente gli errori dovuti a variazioni di temperatura si utilizzano degli ER di compensazione installati su un prisma di acciaio o alluminio integrato nel cavo. In questo caso il collegamento dell'ER è a 1/2 di ponte con fattore di ponte uguale a 1.

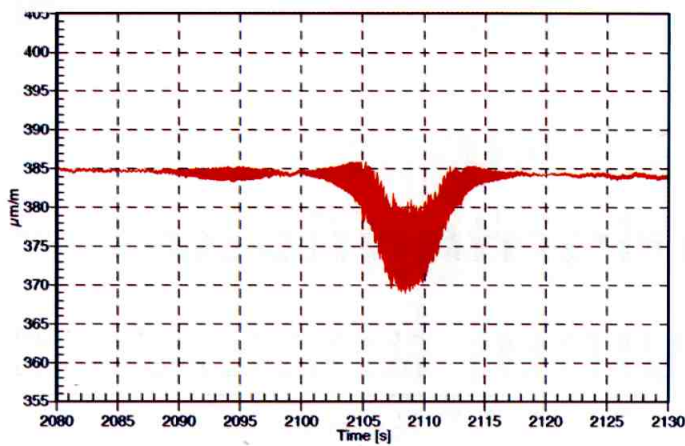
### Strumentazione ed acquisizione

Nelle prove dinamiche il veicolo estensimetrato e collegato all'unità di acquisizione (HBM MGC Plus) viene fatto girare a velocità di regime regi-





## Disturbo su scheda di acquisizione DC dovuto ad interferenza elettromagnetica



strandendo i valori di deformazione.

La possibilità di immagazzinare notevoli quantità di dati sull'hardisk dello strumento (capacità fino ad 1 Gb) permette di acquisire con frequenze di campionamento elevate e su impianti che si sviluppano su linee molto lunghe. Per evitare fenomeni di aliasing il campionamento viene fatto 10 volte maggiore della frequenza del segnale e si utilizza un filtro passa-basso con frequenza di taglio che è circa un 10% di quella di campionamento.

I ponti estensimetrici possono essere alimentati sia in corrente continua sia in corrente alternata. Entrambi i tipi di alimentazione vengono utilizzati per la misurazione in campo, ogni sistema ha però dei limiti di impiego e delle controindicazioni che vanno valutate in base alla misura che si vuole effettuare.

I sistemi in corrente continua sono i più semplici. Tali sistemi sono più sensibili ai disturbi elettromagnetici e risentono delle tensioni di tipo termoelettrico e galvanico.

I sistemi in corrente continua sono insensibili alla capacità dei cavi e hanno un'ampia risposta in frequenza; essi pertanto diventano una scelta obbligata nel caso di sollecitazioni dinamiche di elevata frequenza. In breve si può dire che i sistemi in corrente continua sono adatti per misure statiche e dinamiche.

Un sistema in corrente alternata può misurare deformazioni dinamiche aventi frequenze inferiori ad un quarto della frequenza di alimentazione. I sistemi in corrente alternata sono insensibili alle tensioni di tipo termoelettrico e galvanico e sono meno sensibili ai disturbi di tipo elettromagnetico RFI/EMI. In breve si può dire che i sistemi in alternata a bassa frequenza (200-600 Hz) sono adatti a misure statiche o lentamente variabili, mentre quelli a media frequenza (5 kHz) sono adatti anche per misure dinamiche. Per contro, all'aumentare della frequenza aumenta l'influenza della capacità dei cavi.

Molto spesso capita che in montagna la linea dell'impianto passi sotto una linea di alta tensione oppure che ci siano dei ripetitori per il segnale WCDMA/GSM o dei ponti radio nelle stazioni.

Tutti questi disturbi vengono evidenziati dalla misura e molte volte coprono il segnale che si vuole misurare. Per ovviare a questo inconveniente ed effettuare misure immuni da disturbi, conviene utilizzare schede a frequenza portante e visto il numero elevato di punti estensimetrici (es. prova su funivia, funicolare) è indispensabile che siano multicanale.

La scheda ML 455 + l'AP 455 è adatta a questo tipo di impiego in quanto oltre ad avere 4 canali per scheda ha una frequenza portante di 4.8 kHz che permette di

apprezzare fenomeni con una dinamica inferiore ai 1200 Hz. In assenza di interferenze elettromagnetiche le acquisizioni possono essere fatte con la scheda da 8 canali ML 801B + AP 810; questo tipo di scheda si rivela molto semplice nelle impostazioni e nella elaborazione dei dati che fornisce.

Strumento molto utile presente all'interno del pacchetto software Catman® è il Dataview che permette di visualizzare rapidamente lo spettro di carico acquisito tramite la lettura di un file di misura compresso. Sul campo è molto importante, al termine dell'acquisizione, poter verificare che la misura sia stata eseguita senza errori analizzando in prima battuta l'andamento e i valori delle deformazioni nei punti critici della linea.

### Conclusioni

Si può affermare che il controllo mediante estensimetri elettrici è uno strumento concreto e versatile che fornisce le necessarie informazioni per determinare lo stato di sollecitazione in zone critiche di elementi strutturali sottoposti ai carichi statici/dinamici previsti dalle condizioni di progetto e di prova.

Soprattutto nelle misure effettuate sul campo in difficili condizioni ambientali, la tecnica estensimetrica per il rilievo delle sollecitazioni ha confermato la sua validità in termini di affidabilità di risposta, fedeltà alla riproduzione del fenomeno d'urto e praticità d'utilizzo.

Il poter disporre di rapide e complete informazioni sullo stato di sollecitazione reale permette:

- al progettista, di operare la migliore scelta sia delle sezioni resistenti che delle soluzioni tecniche dei collegamenti ed articolazioni dei vari elementi, nonché di dimostrare che le sollecitazioni delle parti del veicolo sono sul singolo impianto uguali o inferiori a quelle calcolate nelle sezioni più critiche;
- al costruttore e montatore, di definire ed adottare regolazioni ottimali delle strutture di stazione e di linea che vengono a contatto del veicolo;
- di aumentare la sicurezza in quanto il passeggero è sicuro di viaggiare su un veicolo che è stato controllato e dove sono stati verificati sull'impianto i suoi limiti di impiego.

Il tipo di problemi affrontati e risolti in campo funiviario indicano come l'applicazione della tecnica estensimetrica possa ritenersi generalizzabile a numerosi settori delle costruzioni meccaniche che fino ad oggi non ne hanno previsto l'impiego generalizzato.

### Riferimenti bibliografici e norme

- [1] Karl Hoffmann "An introduction to measurements using strain gages" Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt
- [2] F.P. Branca "Teoria ed impiego degli estensimetri elettrici a resistenza" Edizioni Scientifiche Associate
- [3] UNI 10478 Prove non distruttive - Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza
- [4] UNI 10659 Prove non distruttive - Controllo mediante estensimetri elettrici a resistenza degli apparecchi a pressione e di sollevamento - generalità
- [5] "Estensimetri elettrici a resistenza - Manuale per l'impiego e l'analisi dei risultati" C.N.R. - Bollettino ufficiale A. XXIII - n°131