

Materiali per striscianti di pantografi

La trazione elettrica nel trasporto ferroviario è effettuata per mezzo di contatti striscianti posti sugli archetti del pantografo, come richiamato in figura 1. Questa modalità di trasferimento dell'energia elettrica necessaria alla trazione diviene però sempre più difficoltosa all'aumentare della velocità del convoglio, tanto da costituire uno dei fattori limitanti all'esercizio dell'alta velocità in campo ferroviario. I componenti a contatto, ossia lo strisciante e il filo di contatto, sono sottoposti a una sollecitazione di tipo meccanico, termico e a usura molto impegnativa, che mette a dura prova i materiali sia dello strisciante, sia del filo di contatto. A titolo di esempio si riporta in figura 2 lo stato degli elementi a contatto già solo dopo un limitato periodo di esercizio. L'utilizzo, per quanto riguarda gli striscianti, di materiali in grado di garantire allo stesso tempo la necessaria conducibilità, la resistenza meccanica, la tenuta termica e un basso tasso di usura è quindi di grande importanza per quanto riguarda non solo le prestazioni, ma anche i costi di esercizio e di manutenzione. Lo sviluppo di tali materiali richiede un'intensa attività di tipo sperimentale, inizialmente in laboratorio, volta a valutarne le prestazioni in rapporto alle attese, e successivamente in linea. Allo stato attuale le prove sono o di tipo statico, con applicazione allo strisciante della massima



1. La captazione di corrente elettrica a mezzo dei contatti striscianti del pantografo in contatto con la linea aerea (catenaria.)

corrente da fermo, oppure di tipo dinamico, ossia considerando la velocità di strisciamento, ma con un provino di dimensioni limitate, senza considerazione della dinamica del contatto e degli scambi termici che vi avvengono. La possibilità di effettuare prove di tipo dinamico in laboratorio consente di accorciare notevolmente i tempi e i costi di sperimentazione in linea, contribuendo a una selezione più significativa dei materiali.

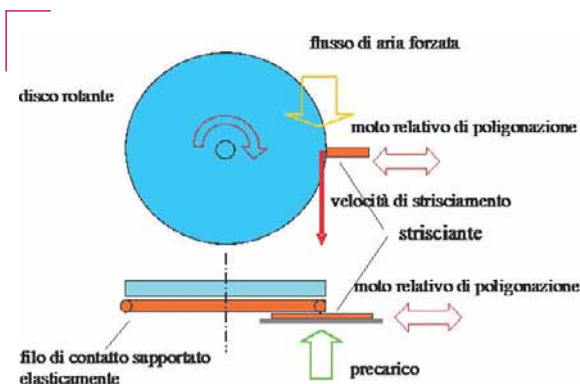
2. Aspetto della superficie del filo di contatto (in alto) e dello strisciante in rame (in basso) in conseguenza delle condizioni di esercizio.



La sperimentazione in laboratorio condotta con un banco prova si è dimostrata uno strumento efficace per orientare la selezione di materiali appropriati per la captazione di corrente in ambito ferroviario. Il banco si presta anche all'utilizzo ai fini di ricerca nel campo delle elevate velocità di strisciamento con elevati valori di corrente in transito

Queste considerazioni, unitamente alla necessità da parte delle ferrovie italiane di indagare in tempi brevi sulle possibilità di convertire la rete 3 kV in c.c. dagli striscianti in rame attualmente in uso, particolarmente aggressivi sul filo di contatto, a striscianti in grafite o misto grafite-rame, hanno portato alla progettazione, da parte di un gruppo di ricerca del Politecnico di Milano di cui gli autori sono componenti, e alla successiva realizzazione, di un banco prova per lo studio della captazione, finalizzato a ricerche di tipo tribologico considerando le interazioni degli aspetti meccanici ed elettrici che hanno sede nel contatto strisciante attraversato da corrente. Il banco realizzato presenta diverse caratteristiche innovative sia dal punto di vista elettrico sia dal punto di vista meccanico, rispetto ai (peraltro pochissimi, solo due) banchi di tipo dinamico esistenti al mondo e per tale ragione è stato brevettato, a cura del TTO (Technology Transfer Office) del Politecnico di Milano (brevetto ME.05.020.A).

La macchina di prova ha come scopo l'esecuzione di test tribologici su striscianti per pantografo, in condizioni il più possibile simili all'effettiva condizione di contatto tra il

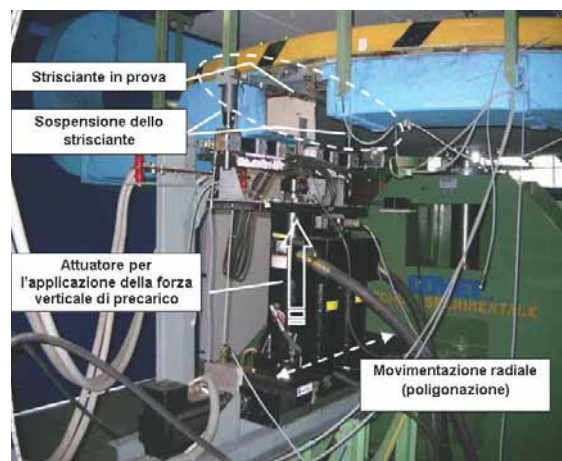


4. Schema di principio della macchina di prova captazione.

5. Vista della zona del contatto. Si evidenziano: la slitta per la movimentazione in direzione radiale, per il moto di poligonazione, l'attuatore idraulico per l'applicazione del precarico, la posizione dello strisciante in prova.

Funzionamento della macchina di prova

La figura 3 mostra un'immagine della macchina di prova installata presso il laboratorio C4 del Dipartimento di Meccanica, mentre la figura 4 richiama lo schema di principio della macchina. Essa consiste in un disco in vetroresina rotante attorno a un asse verticale, movimentato da un motore elettrico da 90 kW azio-

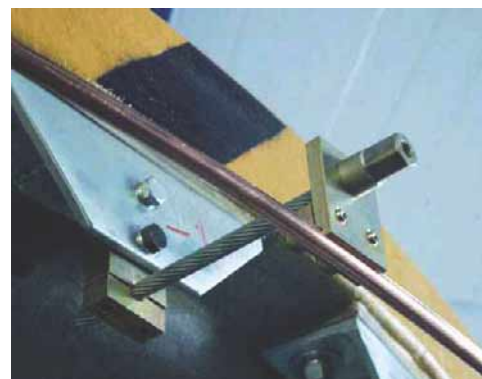


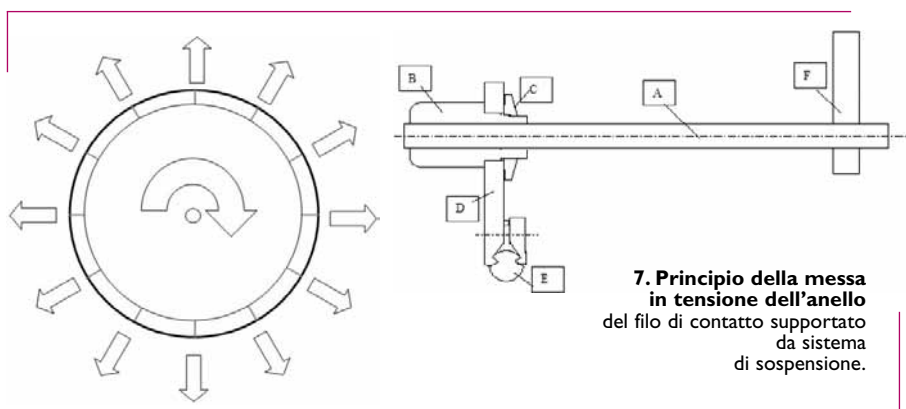
3. Immagine della macchina di prova captazione e striscianti, installata presso il laboratorio C4 del Dipartimento di Meccanica.

nato a inverter tramite una trasmissione a cinghia. Il disco reca all'estremità un anello costituito da un filo di contatto, che simula la catenaria della linea aerea di alimentazione. L'anello costituito dal filo di contatto è connesso al disco mediante un sistema di sospensione, che costituisce una delle parti più significative dell'innovazione dal punto di vista della parte meccanica. Lo strisciante, po-

pantografo del treno e la linea di alimentazione elettrica aerea (catenaria). La macchina è stata progettata per sviluppare velocità di strisciamento, corrente addotta e temperatura tipiche delle condizioni di treni ad alta velocità nelle reti europee.

6. Vista del sistema di sospensione elastico dell'anello costituito dal filo di contatto (a sinistra) e del sistema di movimentazione e precarico (a destra).





7. Principio della messa in tensione dell'anello del filo di contatto supportato da sistema di sospensione.

sto su un proprio sistema di sospensione, è tenuto premuto contro il filo di contatto mediante un attuttore idraulico controllato, posto a sua volta su una tavola mobile che riproduce il moto di poligonazione relativo tra filo di contatto e strisciante (figura 5). La zona del contatto è investita da un flusso d'aria soffiata alla medesima velocità periferica del filo di contatto, al fine di riprodurre la condizione di funzionamento anche dal punto di vista degli scambi termici.

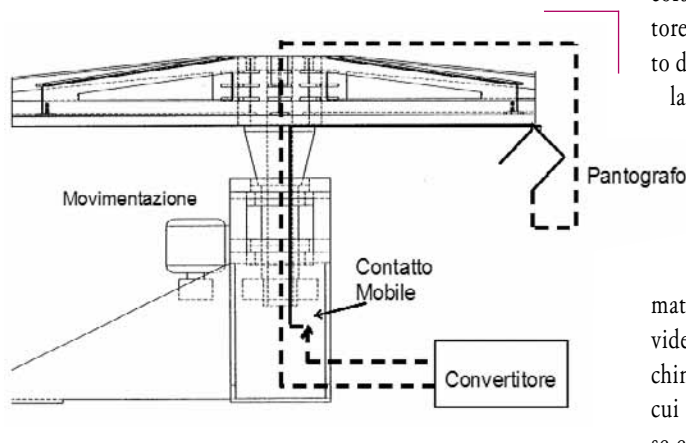
Aspetti meccanici

La sospensione dell'anello formato dal filo di contatto (figura 6) costituisce il collegamento sia meccanico sia elettrico tra disco rotante e anello del filo di contatto, ed è realizzata con un sistema elastico costituito da un tratto di cavo metallico di formazione opportuna. Nell'insieme (figura 7) l'anello costituito dal filo di contatto risulta quindi elasticamente sospeso rispetto al disco rotante. La particolare conformazione di ciascuna sospensione consente alle azioni di inerzia agenti sull'anello di distenderlo applicando un tiro in direzione circonferenziale, assimilando così la condizione di prova a quella effettiva della linea aerea, dove i conduttori sono tesi, e consente nel contempo la deformazione nella direzione verticale, contribuendo a un effetto di interazione dinamica tra filo di contatto e strisciante in prova, che non sarebbe possibile in caso di collegamento rigido. Ta-

le disposizione ha consentito di effettuare le prove fino a 210 km/h, con correnti addotte fino 1000 A in c.c.

Aspetti elettrici

Poiché la macchina di prova si presta potenzialmente anche ad effettuare misure di e-



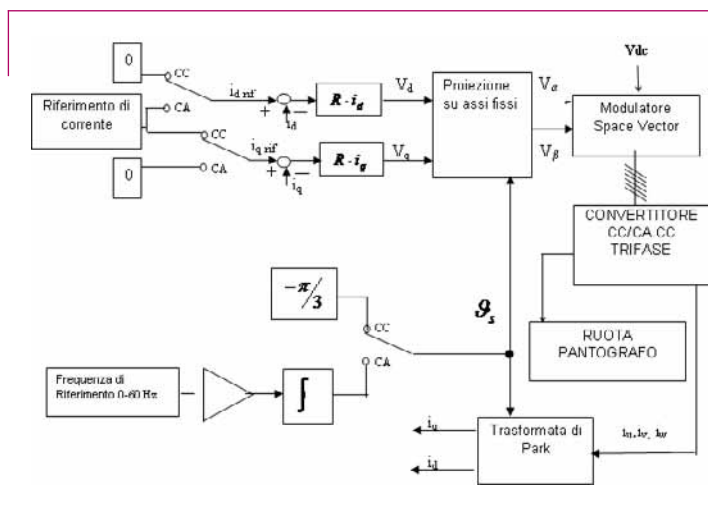
8. Percorso dei conduttori all'interno dell'albero cavo

missioni elettromagnetiche associate ai distacchi ed allo scintillio, particolare cura è stata posta nella progettazione della parte elettrica. Da questa esigenza è nata la forma percorso assegnato alla corrente elettrica in modo da abbracciare la minor porzione possibile di macchina (figura 8).

A partire dal convertitore, tramite un contatto mobile (spazzola su collettore ad anello) opportunamente schermato, la corrente è addotta, mediante un conduttore che corre all'interno dell'albero cavo verticale, sulla superficie inferiore della ruota. Da questa posizione viene distribuita radialmente in modo da pervenire al pantografo e da questo viene immediatamente restituita al convertitore, tramite un secondo contatto mobile, mediante un secondo conduttore che corre all'interno dell'albero cavo. La disposizione dei cavi rende minima l'area della spira percorsa dalla corrente all'esterno del convertitore e quindi minimizza il disturbo generato dal campo elettromagnetico generato dalla corrente del pantografo (affetta da un sensibile contenuto armonico essendo generata da un convertitore c.c./c.a.).

Il dispositivo di generazione della corrente di pantografo è indicato schematicamente in figura 9, in cui si mette in evidenza la peculiare alimentazione della macchina: il convertitore c.c./c.a. è un inverter il cui carico è costituito da un induttore trifase ed il contatto tra pantografo (o strisciante) e catenaria (a bassa impedenza) è inserito in serie ad una delle tre fasi dell'indutto-

to.



9. Schema di principio dell'applicazione di un riferimento in corrente continua e alternata, con il medesimo apparato.

re. In questo modo è possibile sintetizzare, tramite l'inverter, correnti di ampiezza e frequenza regolabili a piacere senza che vi sia bisogno dei filtri accordati che sarebbero stati indispensabili se il contatto del pantografo fosse stato posto all'uscita dell'inverter come carico monofase.

Nel caso di corrente al pantografo costante l'inverter viene fatto funzionare come chopper con uscita induttiva realizzata collegando in serie il pantografo, oppure ad un induttore monofa-



10. Fermo immagine durante la ripresa di una prova con strisciante in rame a 165 km/h e 500 A.

to un arco elettrico consistente, accompagnato da un rilascio di materiale dalla zona del contatto, testimoniato dalla scia luminosa visibile nel fotogramma. La valutazione dello stato dello strisciante a fine prova viene fatto in termini di usura e di stato superficiale del componente. Ad esempio, in figura 11 si riporta il caso di uno strisciante in rame, attualmente utilizzato per locomotive per treni IC, e di uno strisciante in matrice di grafite ed involucro di rame (tipo kasperowksi), che sarà utilizzato dalle FS in sostituzione del primo. La conformazione della superficie indica nel primo caso un'usura mista di tipo adesivo ed abrasivo, associato quest'ultimo alle particelle distaccate dallo

11. Esempi di striscianti a termine prova. Strisciante in rame (a sinistra), strisciante tipo kasperowksi (grafite e rame, a destra).

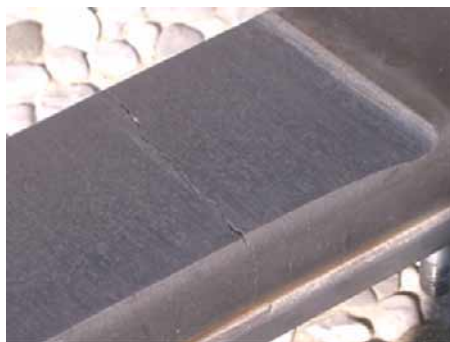


se di tipo ferroviario con adeguata corrente nominale.

Con tali accorgimenti è possibile, con un singolo apparato, riprodurre le tre alimentazioni ferroviarie: in corrente continua fino a 1200 A, in corrente alternata fino a 350 A e 50 Hz e fino a 500 A a 16 Hz 2/3.

Esempi di risultati di test effettuati con la macchina

La macchina è stata inizialmente utilizzata per una survey sui materiali utilizzati da FS e potenzialmente utilizzabili nell'immediato futuro, ed è attualmente parte della rete di laboratori dell'ente Italcertiferr, di cui il Politecnico di Milano è socio, per attività di certificazione e ricerca in ambito ferroviario. La figura 10 mostra un fermo immagine durante la ripresa di una prova a 165 km/h, corrente di 500 A e strisciante in rame. L'immagine riguarda l'istante in cui si è verifica-



12. Esempi di striscianti a termine prova. Strisciante grafite (sopra), strisciante tipo kasperowksi (grafite e rame, sotto). In questo caso si evidenziano rotture e fessurazioni che interessano l'intera matrice di grafite.

strisciante e dal filo di contatto. Nel caso dello strisciante tipo kasperowksi invece si rileva un'usura di tipo uniforme nella matrice di grafite, con tracce di rame rifuso sul bordo di uscita.

In altri casi invece l'esito della prova non è stato positivo, come evidenziato nella successiva figura 12, in cui si evidenziano fessurazioni anche di entità tale da interessare l'intera matrice, dovute agli effetti termici indotti dal passaggio delle elevate correnti. In tal caso i materiali in prova hanno mostrato importanti limiti di tipo termico. Tali situazioni possono portare alla perdita completa della parte di grafite, con ovvie conseguenze negative

*G. Diana, R. Manigrasso, B. Pizzigoni, F. Mapelli, A. Collina
Politecnico di Milano, Dipartimento di Meccanica.*