

CLUSTERING APPLICATO A MISURE DI CORRENTE RELATIVE A SISTEMI PANTOGRAFO – CATENARIA COME STRUMENTO DI MANUTENZIONE PREVENTIVA

*Sami Barmada, Emanuele Crisostomi, Antonino Musolino,
Marco Raugi, Rocco Rizzo, Mauro Tucci*

Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni
(DESTEC)

Largo Lazzarino, 56122 Pisa, sami.barmada@ing.unipi.it

Parole chiave: *Analisi di Segnali, Test non Distruttivi, Sistemi Ferroviari*

L'analisi del sistema pantografo/catenaria è oggetto di ricerca da anni, in quanto il suo malfunzionamento (o in casi estremi la rottura) costituisce un potenziale danno economico per l'azienda che gestisce il materiale rotabile.

In condizioni ottimali il sistema garantisce un contatto strisciante continuo fra pantografo e catenaria, mentre contatti “non perfetti” producono archi elettrici (visibili ad occhio nudo solo se di notevole entità) che a loro volta possono causare danni (ad esempio microfusioni).

Alcune tecniche di indagine prevedono l'analisi meccanica (attraverso la rilevazione di vibrazioni) del sistema con dispositivi montati a bordo o lungo la linea. Altre tecniche sperimentali prevedono l'installazione a bordo del locomotore di dispositivi fotosensibili (fototubi o fotodiodi) capaci di rilevare la presenza di archi elettrici al di sopra di una certa soglia. In entrambi questi casi è necessario equipaggiare il treno (o la linea) con dispositivi esterni non sempre economici.

Altri approcci prevedono l'analisi della corrente e/o della tensione mediante l'utilizzo della Fourier Transform, che non consente di localizzare nel tempo il fenomeno arco.

Proseguendo una ricerca già attiva da anni presso questa unità si è deciso di utilizzare tecniche di clustering, in particolare la Fuzzy – C Means (FCM). I dati misurati nel tempo vengono trasformati nel dominio della frequenza utilizzando il Periodogramma Logaritmico, e lo spettro viene troncato per diminuire la dimensionalità del problema.

$$\left\{ \begin{array}{l} X_i(q\Delta f) = \sum_{k=0}^{m-1} x_i(k\Delta t) e^{-j2\pi qk\Delta f\Delta t} \\ \Delta f = \frac{1}{m\Delta t} \text{ Hz}, q = 0 \dots m-1, i = 1 \dots n \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} S_i(q\Delta f) = |X_i(q\Delta f)|^2 \\ q = 0 \dots m-1, i = 1 \dots n \end{array}$$
$$dbS_i^{tr}(q\Delta f) = 20 \log_{10}(S_i^{tr}(q\Delta f))$$
$$q = 0 \dots m^{tr}, i = 1 \dots n$$

La funzione obiettivo è la seguente, in cui x_j, v_i sono rispettivamente gli spettri in frequenza ed i centroidi, μ_{ij} è la costante di appartenenza fuzzy, m è la costante di fuzzificazione e c è il numero di clusters.

$$J_m = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (\mu_{ij})^m \|x_j, v_i\|^2$$

La risoluzione del problema porta alla suddivisione dei dati in un certo numero di clusters

associati alla presenza ed alla entità degli archi elettrici verificatisi durante una corsa.

In Figura 1 è mostrato l'andamento tipico della corrente captata dal pantografo ed il profilo di velocità di una corsa prova del treno ad alta velocità (ETR500) utilizzato per le misure. Le Figure 2 e 3 mostrano invece il risultato della procedura di clustering relative a due corse prova: in particolare in ogni figura sono presenti i seguenti grafici:

- Periodogramma logaritmico.
- Clusters.
- Ampiezza degli archi come misurati da un dispositivo fotosensibile (informazione utilizzata come validazione).
- Velocità del treno.
- Presenza di archi di durata $> 5\text{ms}$.

La Figura 4 invece mostra i centroidi dei 4 clusters relativi alle 6 corse prova a disposizione. Analizzando le figure è evidente come la procedura riesca a suddividere l'andamento temporale della corrente (unico dato analizzato) in quattro clusters, caratterizzati dalla presenza di archi di ampiezza diversa (i primi due) o dalla loro assenza (gli ultimi due). Inoltre è possibile notare come gli archi di ampiezza $> 5\text{ms}$ sono in gran parte raggruppati nei primi due clusters.

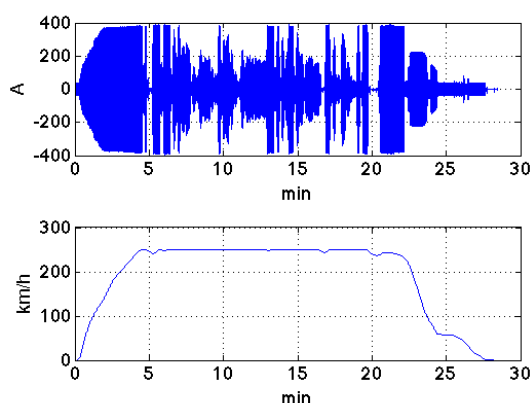


Figura 1. Andamento corsa prova

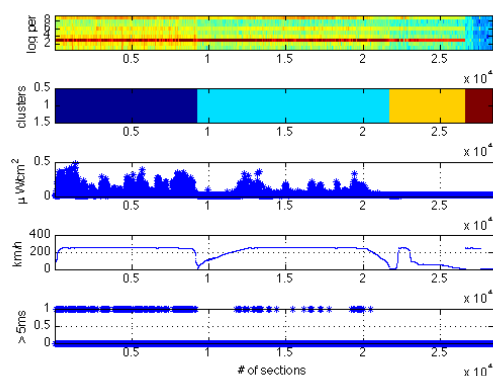


Figura 2. Risultati relativi alla corsa #1

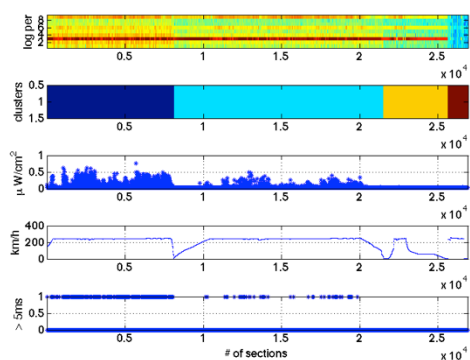


Figura 3. Risultati relativi alla corsa #3

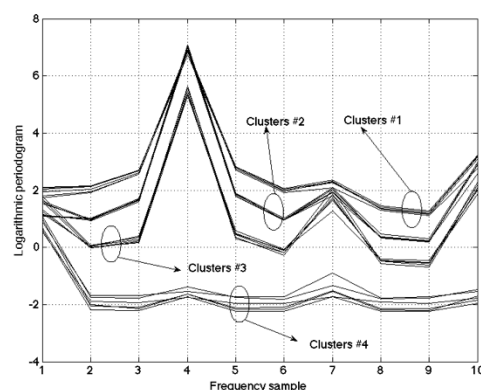


Figura 4. Clusters delle 6 corse

D'altronde la Figura 4 mostra come i quattro centroidi possano essere utilizzati come caratteristica propria del periodogramma logaritmico al fine di poter individuare quali sono gli intervalli temporali in cui è presente un certo tipo di arco elettrico. Questa informazione può essere pertanto usata come informazione per manutenzione preventiva.