

Esami magneto-induttivi sulle funi: frontiere.  
Magneto-inductive examinations on ropes: new frontiers.

*Original*

Esami magneto-induttivi sulle funi: frontiere.

Magneto-inductive examinations on ropes: new frontiers / Calcagno, G., Dalla Chiara, B.. - In: QUOTA NEVE. - STAMPA. - 235:(2026), pp. 27-29.

*Availability:*

This version is available at: 11583/3012475 since: 2026-06-29T07:50:37Z

*Publisher:*

quota neve

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

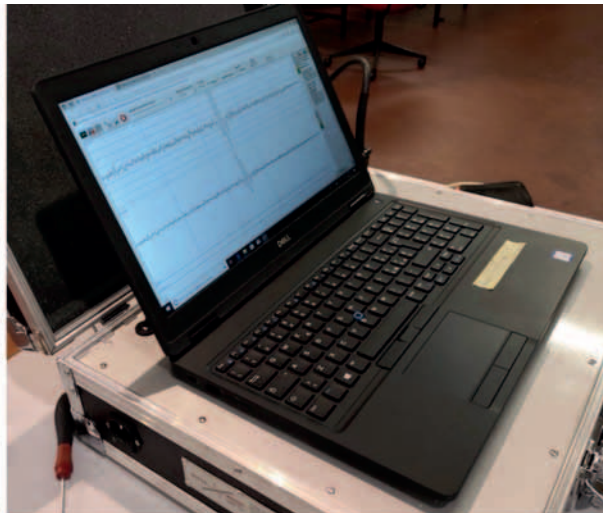
(Article begins on next page)

# Esami magneto-induttivi sulle funi: frontiere

Dott. Ing. Giuseppe CALCAGNO, Politecnico di Torino, Dip. DIATI – Trasporti

Prof. Ing. Bruno DALLA CHIARA, Politecnico di Torino, Dip. DIATI – Trasporti

L'evoluzione dei controlli non distruttivi sulle funi: dall'esame con metodo magneto-induttivo e visivo agli ausili dei sistemi esperti; ruolo dell'I.A.



Come ben noto, la sicurezza degli impianti a fune dipende in modo diretto dallo stato di conservazione delle funi metalliche. Negli impianti a fune ed in quelli di sollevamento, la fune non è un semplice componente meccanico bensì l'elemento strutturale principale che supporta e trasferisce carichi, garantisce movimento all'intero impianto, ne condiziona appieno l'affidabilità. Da tale affermazione scaturisce l'importanza cruciale e la delicatezza insita nel controllo periodico dello stato della fune, comprensivo di usura, ossidazione e corrosione, anche negli attacchi di estremità per quanto possibile ed efficace. Per almeno sessanta anni il riferimento tecnico principale ed incontrastato è stato e rimane il metodo magneto-induttivo [1]: nuove tecnologie stanno però spostando da qualche tempo la frontiera verso sistemi

integrati, nei quali il segnale magnetico, l'ispezione assistita da strumenti automatizzati per visione artificiale, sistemi esperti fino alla proposta dell'uso dell'intelligenza artificiale (I.A.) concorrono alla costruzione di un quadro diagnostico più rapido, documentabile e ripetibile, che merita una riflessione sul ruolo dell'esperto umano e dei sistemi automatici: questi possono imitare sì l'esperienza ma senza responsabilizzarsi né prendere iniziative; possono tuttavia fornire un ausilio supplementare a chi esamina la fune.

*In primis*, si ritiene d'obbligo affermare con forza che il tema non è quindi la sostituzione dell'ingegnere o del tecnico esperto, ma il potenziamento della sua capacità di analisi: le nuove tecnologie possono ridurre i tempi di

esame, aumentare la tracciabilità dei risultati, concentrare l'attenzione dell'operatore sulle anomalie più significative, non sono però di per sé "intelligenti": semplicemente sono anche molto rapide nell'elaborare dati e nel correlare anche numerosissime variabili, nel caso in cui serva.

Il metodo magneto-induttivo (figura 1) si basa come noto sulle proprietà ferromagnetiche dell'acciaio: la fune viene saturata magneticamente per la sua intera estensione mediante uno strumento dotato di potenti magneti, oggi da 2000 Gauss, forse eccessivi, un tempo 500: eventuali discontinuità, rotture di fili, corrosioni, ossidazioni significative o riduzioni di sezione alterano il campo magnetico indotto; tali variazioni vengono rilevate da sensori dedicati che generano segnali visibili ed analizzabili.

Occorre ricordare che tale metodo, per sua natura intrinseca, non può rientrare appieno tra le metodologie quantitative, seppure sia affidabile, ma deve pur sempre essere considerato qualitativo; rimane compito dell'occhio esperto dell'operatore il decidere, in base alla lettura consapevole del tracciato, se procedere con un controllo visivo, l'eventuale apertura della fune (Figura 2) o con ulteriori analisi mediante strumenti in grado di approfondire in modo più puntuale e quantitativo il presunto problema rilevato.

La lettura dei tracciati resta e deve rimanere un'attività specialistica: il

1. Un detector per controllo magneto-induttivo su una fune chiusa, in laboratorio, con relativo registratore digitale
2. Esempio di apertura di due differenti funi traenti



segnale non è mai soltanto un numero, richiede conoscenza della fune, della sua tipologia, del suo passato d'impiego e manutentivo, delle condizioni di esercizio e delle soglie di accettabilità applicabili in base alle norme. Questo ribadisce la centralità del ruolo del tecnico qualificato del quale la tecnologia non riduce l'importanza bensì l'aumenta.

Accanto al controllo magneto-induttivo rimane fondamentale anche il controllo visivo poiché consente d'individuare difetti superficiali, corrosione evidente, deformazioni dei trefoli, schiacciamenti, abrasioni, lubrificazione anomala o contaminazioni esterne. Il limite del controllo visivo tradizionale è però altrettanto evidente: dipende dall'esperienza dell'operatore, dalle condizioni ambientali, dall'illuminazione, dalla velocità di osservazione, dal tempo a disposizione e dalla fatica umana. Proprio su questo punto si apre la nuova frontiera, tramite la visione artificiale (*computer vision*) possiamo pensare di trasformare l'ispezione visiva in un dato più oggettivo, registrabile ed analizzabile con strumenti.

Una fune in movimento può già oggi essere ripresa mediante telecamere ad alta risoluzione per un elevatissimo numero di frame/secondo, i sistemi di illuminazione controllata possono evidenziare difetti superficiali e inclusioni. I fotogrammi possono poi essere analizzati da algoritmi capaci di rilevare eventuali danni superficiali come variazioni geometriche, cromatiche e fili rotti esterni.

L'obiettivo non è produrre semplici fotografie, ma costruire una "mappa visiva" della fune. Ogni immagine può essere collegata a una progressiva metrica e al corrispondente segnale magneto-induttivo. La vera innovazione non consiste nel sostituire il tracciato magneto-induttivo con l'immagine, ma nel collegare i due mondi.

Questo passaggio è decisivo: la diagnostica non si basa più su un solo canale informativo, ma su una lettura integrata con cognizione di causa.

La visione di tale mole di dati è implicitamente ancora più faticosa e poco realizzabile da un operatore umano rispetto a quanto già non lo fosse l'i-

spezione visiva in sé; in quest'ottica i modelli di *Machine Learning* possono essere addestrati a riconoscere pattern ricorrenti: fili rotti, corrosione, usura localizzata, variazioni del passo dei trefoli sulla fune, schiacciamenti, anomalie cromatiche, accumuli di materiale estraneo o alterazioni della superficie.

I sistemi esperti, che nella loro evoluzione oggi assurgono alla denominazione di I.A. applicata alla visione artificiale, possono eseguire quattro funzioni principali [2].

a. Rilevamento: individuare il punto in cui compare una possibile anomalia.

b. Classificazione: distinguere tra corrosione, rottura, deformazione o intrusione.

c. Livello di attenzione: assegnare una priorità di analisi al difetto rilevato.

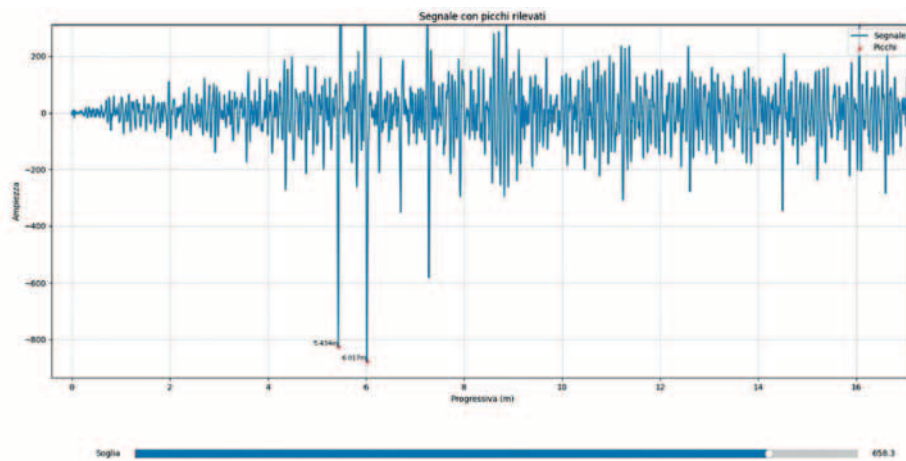
d. Report integrato: elenco delle anomalie con immagini associate, relative progressive metriche, confronto con esami precedenti e suggerimento delle aree da sottoporre a verifica umana.

In questo modo, il report non sarà più soltanto una sequenza di segnali ma un documento diagnostico multilivello, dove il tecnico potrà osservare il picco nel tracciato, verificare l'immagine della fune nello stesso punto e decidere se l'anomalia sia coerente con una rottura, una corrosione, un disturbo o un elemento di rilievo noto. Questa integrazione può risultare particolarmente interessante nei casi in cui il solo segnale magnetico risulti ambiguo. Una variazione locale può derivare da un filo rotto, da una discontinuità superficiale, da un effetto di contatto, da una variazione costruttiva o da un disturbo operativo. L'immagine associata può in effetti aiutare a ridurre l'incertezza [3].

Una delle frontiere più concrete e immediatamente applicabili agli esami magneto-induttivi di tipo LF ed eventualmente LMA [4] riguarda l'analisi numerica dei tracciati tramite l'uso di strumenti software dedicati. I segnali prodotti da un sistema MRT (*Magnetic Rope Test*) possono essere considerati come una serie di dati misurabili, filtrabili, confrontabili e

classificabili e in questo ambito, ambienti di calcolo come ad esempio Python, insieme a librerie quali NumPy, SciPy, Pandas e Matplotlib, permettono di trasformare il tracciato magneto-induttivo in un oggetto analitico più ricco. Il segnale può essere importato, normalizzato, filtrato, segmentato per progressiva e confrontato con soglie di riferimento. Il fine ultimo è passare da una lettura puramente visiva a una lettura numerica controllata [5]. Un aspetto particolarmente importante è l'uso corretto dei fili di test come riferimento di taratura. Nei tracciati di prova, i fili di diametro noto, applicati in una zona definita, generano picchi di ampiezza misurabile e ben distinta dal rumore di fondo. Questi picchi possono costituire una soglia pratica per comparare e poi valutare la significatività delle anomalie successive. L'algoritmo può calcolare automaticamente l'ampiezza dei picchi dati dai fili test e le anomalie successive vengono quindi evidenziate solo quando presentino ampiezza uguale o superiore alla soglia derivata dai fili di test. Questo approccio è particolarmente utile perché rende la valutazione più coerente tra esami diversi e riduce il rischio di interpretazioni soggettive, aumentando la ripetibilità e il confronto dello storico dei tracciati. Il risultato può essere rappresentato in forma tabellare o grafica, evidenziando le zone della fune che presentano una concentrazione di eventi degni di nota. In questo modo il tecnico può disporre di una lista ordinata dei tratti più critici, con progressiva, ampiezza e rapporto rispetto alla soglia di riferimento. Per quanto accennato, è utile sottolineare come un vantaggio innegabile degli strumenti numerici sia la possibilità di confrontare agevolmente tracciati acquisiti in momenti diversi in quanto l'esame deve essere considerato a tutti gli effetti un elemento decisionale per la manutenzione predittiva in quanto non conta soltanto sapere se un'anomalia esiste, ma capire se sta crescendo e con quale velocità, al fine di mettere in atto le dovute contromisure. Una singola anomalia può non essere critica se stabile ma può divenire tale se

quota neve n. 235 maggio - giugno 2026

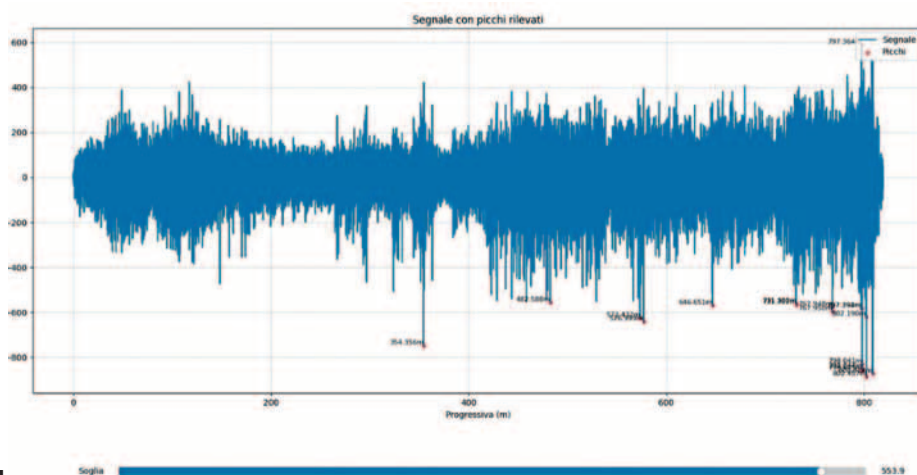


3 cresce rapidamente: il valore del sistema integrato risiede proprio nella capacità di seguire più facilmente l'evoluzione della fune lungo il suo ciclo di vita.

Nonostante i progressi, l'uso di sistemi esperti, oggi della cosiddetta I.A., applicato alle funi metalliche presenta ancora limiti attuativi significativi. Il primo limite riguarda i dataset in quanto per addestrare un modello affidabile servono immagini e segnali di difetti reali, classificati da esperti, acquisiti in condizioni diverse e rappresentativi di molte tipologie di funi. Un modello addestrato su pochi casi rischia di riconoscere bene solo le anomalie già viste e di fallire su difetti meno frequenti. Il secondo limite riguarda la causalità: in ambito ispettivo non basta che un algoritmo

### 3. Esempio di analisi con Python dei fili test e rilevazione dei relativi picchi (Politecnico di Torino)

### 4. Esempio di analisi con Python di una fune in linea con evidenziati i picchi di ampiezza nell'intorno dei fili test



4 quota neve n. 235 maggio - giugno 2026

segnali un'anomalia, occorre capire perché l'ha segnalata, con quale confidenza e su quali elementi si basa. Il terzo limite è la validazione tecnica: prima di essere utilizzato come supporto decisionale in un contesto di sicurezza, un sistema di I.A. deve essere testato, confrontato con metodi consolidati e sottoposto a procedure di verifica ripetibili. Per queste ragioni, l'approccio – se si fa ricorso all'I.A. – deve rimanere quello ibrido: l'I.A. non decide autonomamente lo stato della fune né è in grado di darsi un obiettivo in autonomia, ma affianca il tecnico nell'individuare più rapidamente le zone critiche.

La frontiera degli esami magneto-induttivi sulle funi non è rappresentata da una singola tecnologia, ma dalla convergenza di più strumenti: MRT "classico" per l'analisi qualitativa iniziale, il controllo visivo per la verifica superficiale o interna mediante apertura della fune, la *computer vision* per rendere più completa ed oggettiva nonché documentabile l'ispezione visiva perlomeno esterna, il machine learning per classificare segnali e immagini, i database storici

per confrontare l'evoluzione dei difetti nel tempo.

L' esame magneto-induttivo resta ad oggi lo strumento principe per il controllo non distruttivo delle funi metalliche e la sua forza è la capacità di segnalare difetti interni e perdite di sezione visibili dall'esterno ma la nuova frontiera riguarda appunto l'integrazione tra tracciato, immagine, I.A. nel caso, insieme con la competenza umana. Il futuro più credibile è un modello di controllo aumentato, nel quale il tecnico dispone di strumenti più potenti, report più ricchi e dati meglio organizzati in cui il ruolo dell'I.A. può accelerare la ricerca delle anomalie, ridurre la soggettività del controllo e costruire archivi confrontabili nel tempo.

La decisione finale, però, non può che rimanere affidata a personale qualificato, capace di interpretare il dato alla luce dell'esperienza, della normativa e delle condizioni reali di funzionamento dell'impianto, aiutato dall'osservazione nel caso (vibrazioni anomale, rumori, fermi impianto frequenti più o meno spiegabili).

La frontiera, quindi, non è una fune controllata da una macchina al posto dell'uomo ma una fune osservata da più sensi amplificati e oggettivizzati dalla tecnologia con il tecnico specializzato che rimane al centro del processo decisionale.

### Riferimenti bibliografici

- [1]. Dalla Chiara B., Alberto D., Zannotti G. (2023), Impianti a fune per trasporto persone e materiali - Evoluzione, elementi costitutivi, progettazione ed esercizio, II edizione, EGAF, Feb. 2023, pp 432
- [2]. Kim J.-W., Park S. (2018). Magnetic Flux Leakage Sensing and Artificial Neural Network Pattern Recognition-Based Automated Damage Detection and Quantification for Wire Rope Non-Destructive Evaluation. *Sensors*, 18(1), 109. <https://doi.org/10.3390/s18010109>
- [3]. Bonetti C., Passato e Futuro dei controlli sulle funi: Ispezione magnetica, misurazione 3D, analisi visiva digitale (2023), VisionTek Engineering, Bekaert, 7° Convegno "I controlli non distruttivi delle funi metalliche", 04/05.05.2023, Cortina D'Ampezzo (BL)
- [4]. Canova A., Dalla Chiara B., Vallan A., Vusini B. (2007), Prestazioni e caratteristiche della nuova attrezzatura LMA per il controllo delle funi in esercizio, Quota Neve, n. 142, nov.-dic. 2007, pagg. 44-48
- [5]. Dalla Chiara B., Vallan A. (2004), *Signal acquisition and analysis of ropes in service / Acquisizione del segnale ed analisi delle funi in esercizio*, Elevatori, European Elevator Magazine, pp 24-35, Vol. 33, n. 4, Lug.-Ag. 2004.