

# OPEN MAGNETO-INDUCTIVE DETECTORS FOR THE METALLIC ROPES: NUMERICAL ANALYSIS AND EXPERIMENTAL TEST

Authors:

Aldo Canova<sup>1</sup>, Regina Lamedica<sup>2</sup>, Ezio Santini<sup>2</sup>, Andrea Cernigoi, Boris Sosic<sup>3</sup>  
Ettore Pedrotti<sup>4</sup>

## Abstract

This paper presents the results of a research activity in the field of detection of metal lacks in the cross-sections of track ropes, with the aim of evaluating the performances of an “open” instrument, i.e. an instrument that does not surround the rope both in magnetization and in magnetic flux leakage detection.

The use of closed system is very difficult for track ropes due to the presence of pylon, which imposes their opening of the instrument during the passage on them. This operation is very difficult to be done on service and produces a lot of problems on the signal detection.

“Open” magnetizer and sensors have developed by several manufactures and adopted by several service companies. Even if such new devices guarantees the requirements of the certification process (according to the EN12927-8 standard), a more detailed study has to be done in order to guarantee the quality of the signal when the fault is in the worst position for open device, which is in this case the rope sector closer to the open part of the detector. The proposed study is based on numerical and experimental tests.

The mathematical model will be shown, in terms of (i) Maxwell equations and (ii) of lumped parameters equivalent magnetic circuits. Relevant geometries will be defined and analyzed, simulating lack of iron material magnetic (geometries have been prepared also to meet the current standards for detecting instruments). 2D and 3D finite element analyses will be performed, in order to evaluate the possibility of detection of the magnetic lacks with open detector. The results of at least two different 3D software will be obtained and discussed, in order to verify with different approaches the accuracy that can be obtained by the detector.

At least two or three open devices will be considered for experimental tests. These latter will be performed by means of rope samples produced specifically for such experimental campaign. The results of the tests will be compared with the results of numerical calculation, allowing to evaluate the reliability and the accuracy of the proposed open topology.

---

*1 Dipartimento di Energia, Politecnico di Torino, Turin, Italy*

*2 DIAEE, SAPIENZA Università di Roma, Rome, Italy*

*3 Laboratorio c.n.d. “Di Santolo” Dipartimento di Ingegneria e Architettura, Università degli Studi di Trieste, Trieste, Italy*

*4 La.T.I.F. – Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune, Servizio impianti a fune e piste da sci, Provincia Autonoma di Trento, Trento, Italy*

## 1. Introduzione

Le apparecchiature magneto – induttive di tipo aperto sono state concepite alla fine degli anni '80, grazie anche alla disponibilità in commercio di magneti permanenti ad alta energia, e sono state realizzate per superare le limitazioni tipiche delle apparecchiature di tipo “chiuso” che, come è noto, non permettono un'ispezione tecnicamente attendibile dei tratti delle funi in prossimità delle scarpe di appoggio dei sostegni e dei cavallotti di linea e richiedono inoltre alcune operazioni tecniche complesse (quali lo scorrimento), secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Pertanto, tenuto conto dei vantaggi che possono essere conseguiti con l'utilizzo delle apparecchiature aperte, sintetizzabili in: passaggio dei sostegni di linea e cavallotti in massima sicurezza per gli operatori, con riduzione al minimo delle possibili collisioni dannose per gli organi dell'impianto, possibilità di effettuare una lettura attendibile dei tratti di fune immediatamente adiacenti alle scarpe di appoggio/cavallotti, se non addirittura in corrispondenza degli stessi, registrazioni continue per tutta la lunghezza della fune ispezionata, la Commissione F.A.T. ha affidato ad un Gruppo di Lavoro il compito di verificare che:

1. tali apparecchiature rilevino difetti, ovunque questi siano posizionati nella fune
2. siano idonee all'uso secondo quanto previsto dalla normativa vigente.

Poiché le apparecchiature di tipo aperto nascono per il controllo delle funi portanti, lo studio è stato circoscritto all'analisi della loro idoneità al rilievo di difetti in funi di tipo chiuso. Da un esame approfondito della Norma EN 12927 – 8 febbraio 2005 – Requisiti di sicurezza per gli impianti a fune progettati per il trasporto delle persone – Funi, che specifica i requisiti minimi di un'apparecchiatura magneto-induttiva e definisce le procedure per il loro utilizzo nell'esame delle funi d'acciaio, è emerso che, nel capitolo relativo alla Prova delle Prestazioni, viene fatto esclusivo riferimento, per le funi di tipo chiuso, a difetti posizionati nel filo centrale.

Al fine di conseguire gli obiettivi prefissati, è stato verificato preliminarmente se tale condizione risulti essere effettivamente la più critica da rilevare per un'apparecchiatura di tipo aperto e, a tale scopo, ha eseguito uno studio teorico tramite l'utilizzo di modelli agli elementi finiti.

Verificata la condizione più critica nel rilievo del difetto, sono stati eseguiti alcuni rilievi sperimentali su funi test sia presso il laboratorio Prove non Distruttive Impianti a Fune “Domenico Di Santolo” dell'Università degli Studi di Trieste sia presso il La.T.I.F. della Provincia autonoma di Trento. La scelta dei campioni è stata fatta a seguito di un'indagine condotta su impianti esistenti e si è scelta la tipologia di fune che rappresentasse la condizione più cautelativa ai fini della sicurezza, quella cioè relativa a funi con fili esterni sagomati di sezione più piccola.

Il presente articolo riporta, nella Sezione 2 i risultati teorici conseguiti con due diversi modelli numerici realizzati presso il Politecnico di Torino e presso la Sapienza - Università di Roma; nella Sezione 3 sono illustrati i risultati sperimentali conseguiti presso il La.T.I.F. di Trento e l'Università di Trieste; nella Sezione 4 sono presentate alcune preliminari riflessioni su alcune carenze riscontrate nella Norma relativamente alla possibilità di utilizzo di strumenti di tipo “aperto” e le conclusioni cui si è giunti.

### 1.1 Definizione di detector aperto

Si intende per detector la parte della strumentazione atta a un duplice scopo:

- la creazione di un adeguato campo magnetico all'interno della fune, (tale parte è detta in seguito *magnetizzatore*);
- uno o più elementi sensibili al flusso disperso o alle sue variazioni, (in seguito *sensori*).

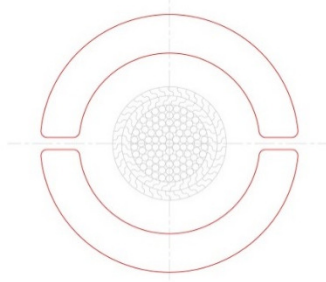
Un apparecchio è definito chiuso quando i sensori, comunque realizzati, avvolgono completamente la fune.

Per quanto riguarda la configurazione del magnetizzatore la richiesta normativa prevede la saturazione magnetica, comunque realizzata, di tutta la sezione della fune.

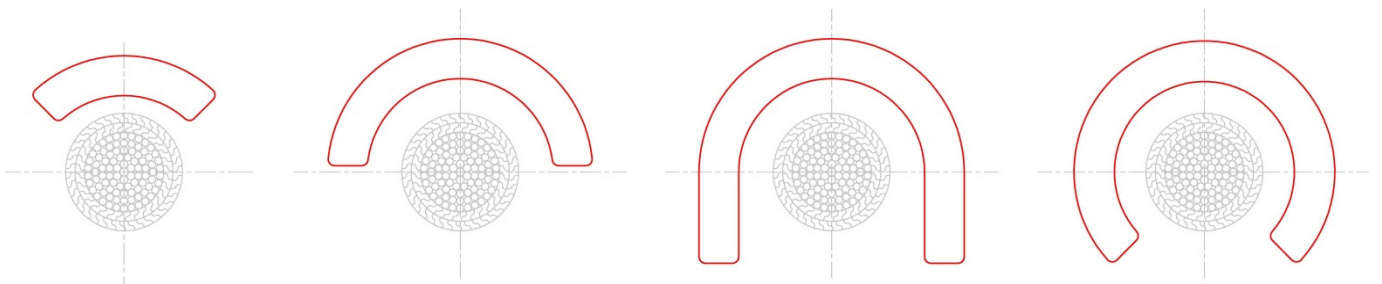
I test effettuati confermano che tale saturazione può essere ottenuta anche con un sistema asimmetrico del magnetizzatore.

Con tale premessa un detector è definibile aperto quando gli elementi sensibili non avvolgono completamente la fune, ovvero in misura inferiore al 75% della circonferenza.

A titolo di esempio si riportano le seguenti figure:



*Figura 1 : Disposizione dei sensori per detector di tipo "chiuso"*



*Figura 2: Disposizione dei sensori per detector di tipo "aperto"*

## 2. Simulazione del funzionamento di uno strumento magneto-induttivo di tipo aperto

### 2.1 Modello FEM

Per modellare la geometria è stato impiegato il programma di CAD 3D Solidworks, mentre per l'analisi agli elementi finiti (FEM) è stato utilizzato il programma COMSOL Multiphysics.

Il problema fondamentale riscontrato in Comsol è stata l'impossibilità di settare una superficie tale per cui il flusso magnetico fosse diretto normalmente ad essa: per ovviare a tale problema è stata realizzata una struttura toroidale con due dei quattro lati sufficientemente lunghi da consentire l'analisi. Attorno al tratto "funne", nel quale è stato opportunamente applicato il difetto, vengono avvolte due bobine ai due lati, nelle quali è iniettata una corrente così da ottenere un campo magnetico all'interno del toro (fig.3).

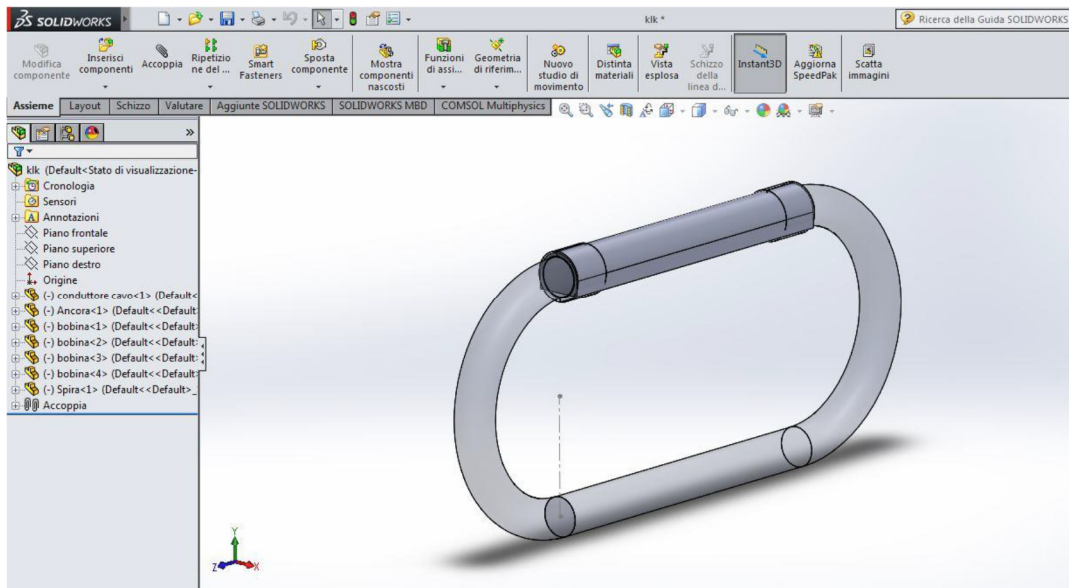


Figura 3: Modello numerico del tratto di fune metallica

La caratteristica magnetica non lineare della fune metallica è riportata in fig. 4.

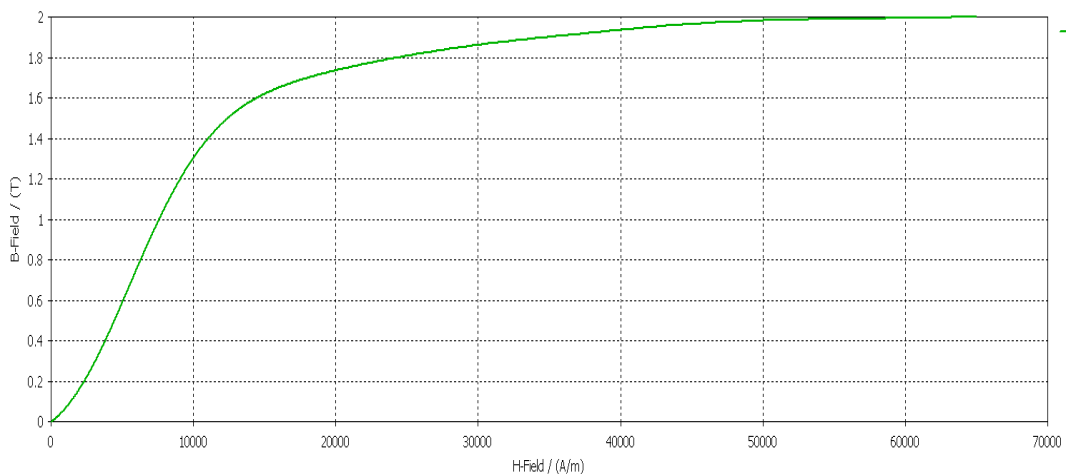


Figura 4: Caratteristica magnetica B-H non lineare del materiale costituente la fune metallica

Le correnti di eccitazione poste nelle bobine che generano il campo magnetico è tale da portare la fune metallica a lavorare in condizioni di saturazione magnetica (circa 2T) come riportati in Fig.5. A questi valori, in base alle curve BH, corrisponde una permeabilità relativa della fune circa  $\mu=30$  (vedi Fig. 6), che verrà impiegata nel programma FEM nei calcoli successivi.

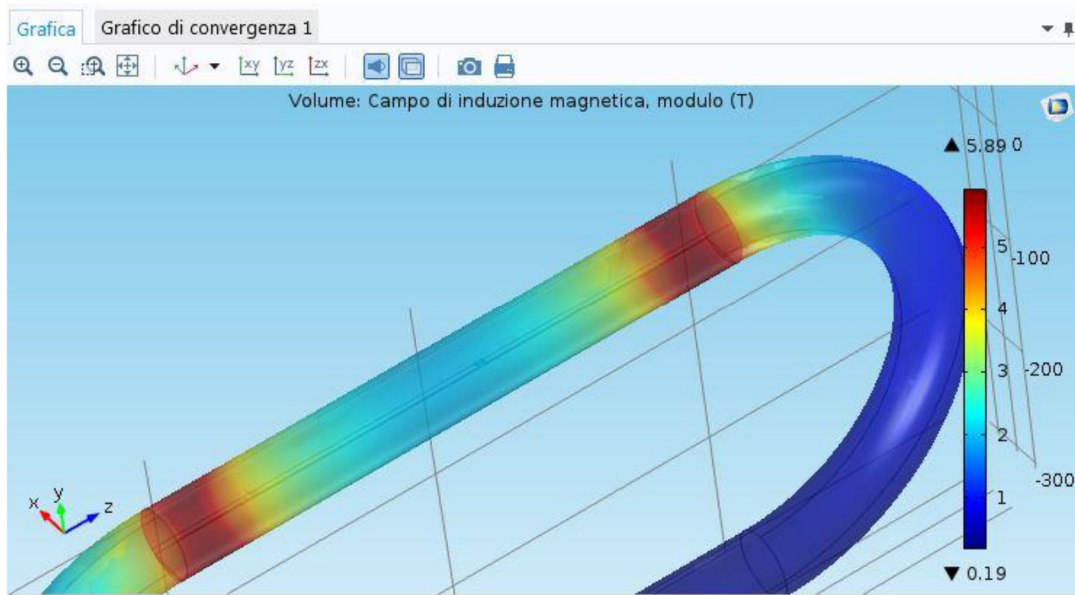


Figura 5: Mappa cromatica dei livelli di induzione magnetica all'interno della fune metallica

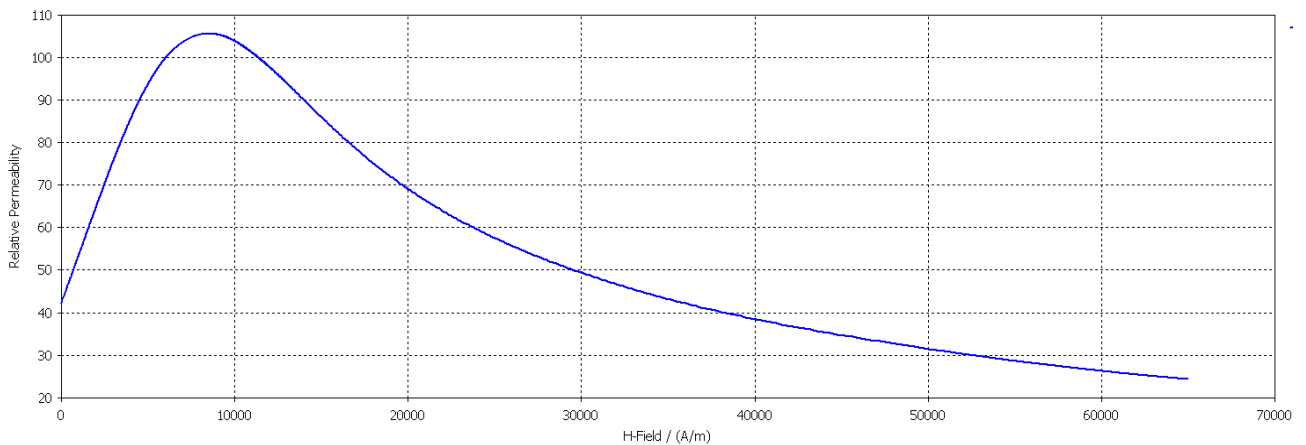


Figura 6: Permeabilità relativa non lineare del materiale costituente la fune metallica

## 2.2 Modello dell'elemento rilevatore del difetto

Il dispositivo di rilevazione del difetto è rappresentato da una bobina superiore e da una laterale, secondo quanto riportato in Figura 7.

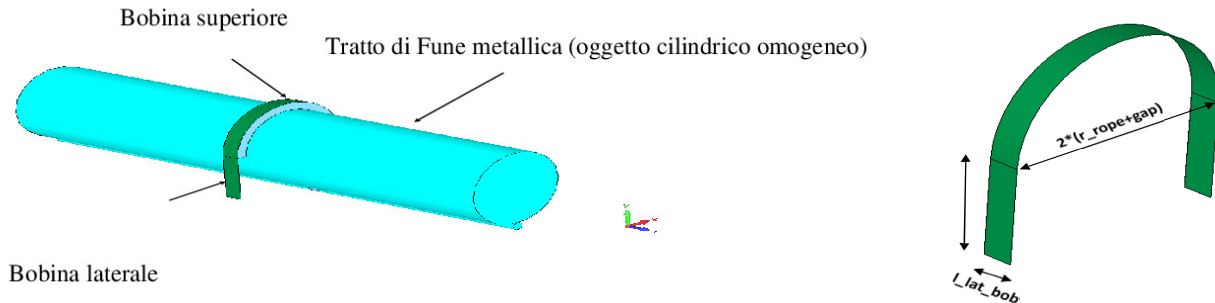


Figura 7: Modello adottato per l'elemento sensore

L'analisi è stata condotta su una fune avente un raggio di 25 mm. Il dispositivo di rilievo della forza elettro motrice (f.e.m.) ha le seguenti caratteristiche:

- Distanza radiale tra bobina superiore e la fune:  $gap = 5 \text{ mm}$
- Altezza della bobina laterale:  $h_{lat\_bob} = 20 \text{ mm}$
- Larghezza assiale della bobina:  $l_{lat\_bob} = 8 \text{ mm}$

Per modellare il difetto (rottura di un filo della fune) si è fatto riferimento alla “mancanza di materiale” nell'elemento di forma cilindrica, pertanto il difetto è aria e le sue dimensioni sono:

- Lunghezza difetto:  $L_{fault} = 5 \text{ mm}$
- Raggio difetto  $r_{fault} = 2.5 \text{ mm}$

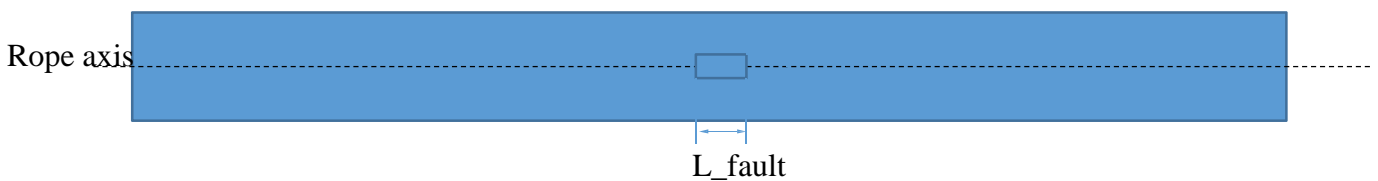


Figura 8 : Modello adottato per il difetto

La posizione del difetto lungo il raggio può essere variata impostando il parametro  $r_{pos}$  che indica la distanza tra l'asse della fune e l'asse del difetto. Nel seguito i grafici dei risultati che verranno riportati fanno riferimento alle seguenti tre conduzioni:

- Difetto centrale:  $r_{pos} = 0 \text{ mm}$
- Difetto decentrato:  $r_{pos}$  compreso tra (0) e  $(r_{rope} - r_{fault})$
- Difetto periferico:  $r_{pos} = (r_{rope} - r_{fault})$

Le simulazioni effettuate fanno riferimento a differenti posizioni del difetto facendolo muovere assialmente rispetto alla posizione delle bobine di un intervallo significativo (es. -20 mm to +20 mm). Per ogni posizione viene calcolato il flusso concatenato con la bobina: parte superiore e parte laterale. Il campionamento spaziale adottato è di 2 mm.

Per una stima di massima dell'ordine di grandezza del flusso contenuto all'interno della bobina è sufficiente calcolarlo mediante la nota equazione:

$$\Phi=BS \quad (1)$$

In base alle considerazioni precedenti ed alla geometria della fune si può stimare il flusso contenuto all'interno di quest'ultima, circa pari a 0.00393 Wb.

Per la f.e.m. indotta sulla bobina invece si ricorre alla nota equazione:

$$E=Blv \quad (2)$$

Note le grandezze di massima del problema si può passare al calcolo agli elementi finiti.

Calcolati i campioni di flusso concatenato per ogni bobina si può determinare la f.e.m. riferita all'unità di velocità e relativa ad una spira.

Nel seguito viene riportato il valore di f.e.m. associato ad un avvolgimento con 2000 spire, al fine di rendere tale valore dell'ordine di grandezza dei valori misurati nella pratica.

La velocità è stata invece considerata unitaria (velocità che in genere si tiene durante i test di trascinamento manuale).

### 2.3 Risultati delle simulazioni

Le figure di seguito mostrano rispettivamente gli andamenti delle fem indotte in presenza delle bobine laterali, della sola bobina superiore e quelli complessivi.

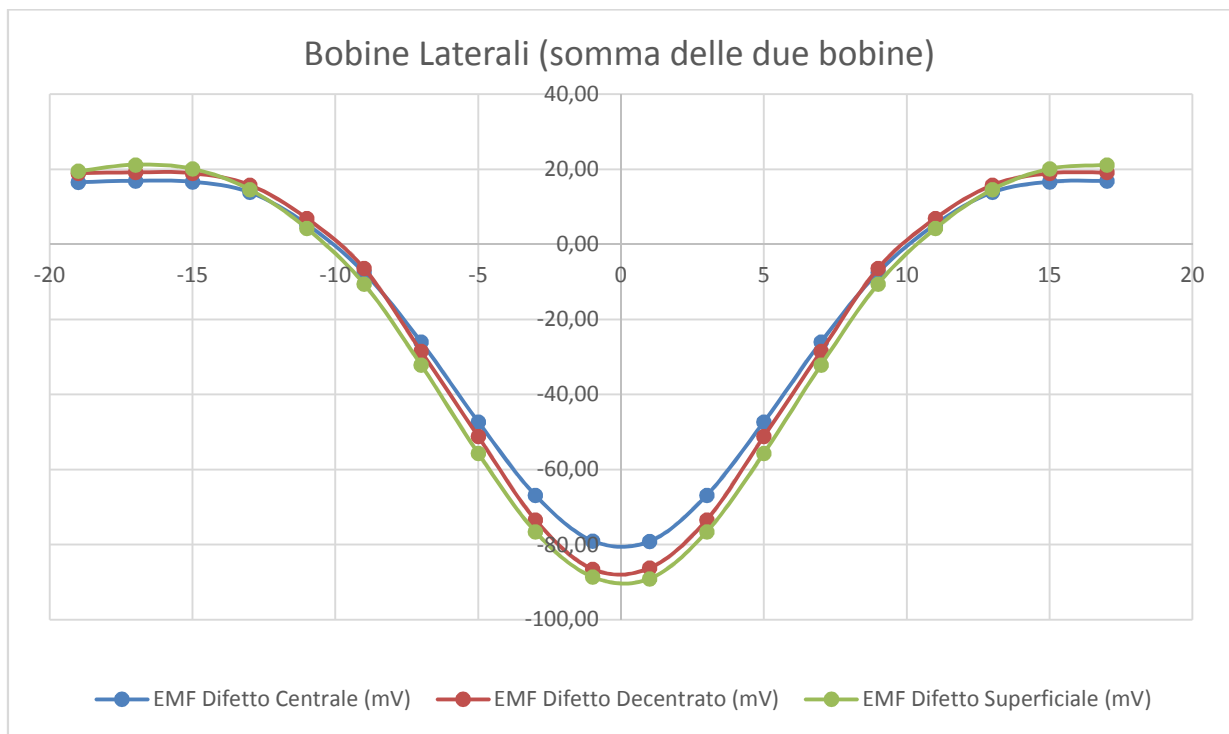
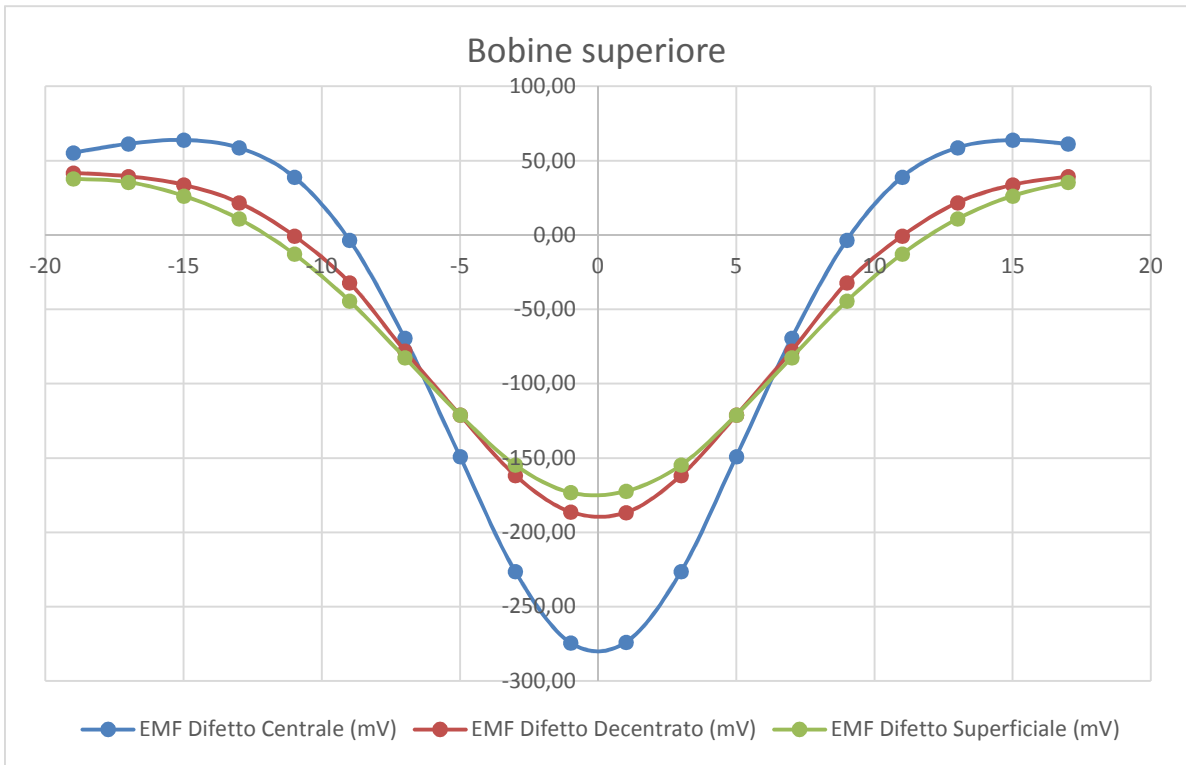


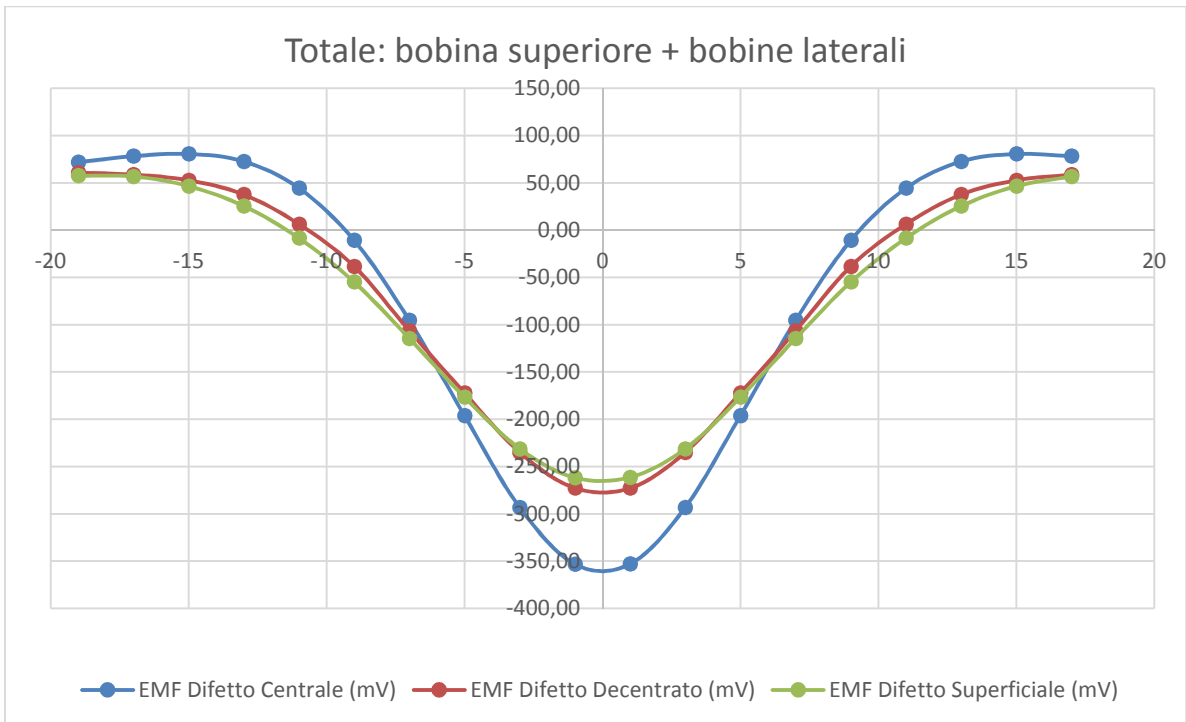
Figura 9 : Andamento della f.e.m. rilevata dalla somma delle due bobine laterali





*Figura 10: Andamento della f.e.m. rilevata dalla bobina superiore*

*Figura*



*Figura 11: Andamento della f.e.m. totale rilevata dalla bobina superiore e le bobine laterali*

Nel caso di presenza delle sole bobine laterali, si osserva che le fem maggiori si hanno nel caso di difetto interno alla fune che via via dal centro si trova verso la periferia (si riduce l'effetto del flux shunting).

In presenza della sola bobina superiore, si osserva che la f.e.m. diminuisce con l'allontanamento del difetto dalla posizione centrale fino a raggiungere il minimo.

Considerando la presenza contemporanea delle bobine laterali e superiore, si può notare che il difetto centrale genera la massima f.e.m. Il difetto posto nella posizione intermedia tra il centro e la superficie della fune genera una fem di valore intermedio.

### 3. Prove preliminari finalizzate alla caratterizzazione delle apparecchiature magneto-induttive per il controllo delle funi metalliche di tipo aperto

Al fine di verificare l'idoneità all'uso delle apparecchiature magneto-induttive di tipo aperto senza bobina inferiore, sono state eseguite numerose prove presso:

1. il Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune di Trento (LA.T.I.F)
2. il Laboratorio P.n.d. Impianti a Fune "Di Santolo" dell'Università di Trieste

I campioni di funi test di tipo "chiuso" sottoposti ai test sono stati opportunamente preparati secondo quanto previsto per il difetto dalla UNI EN 12927-8:2005, posizionato sul manto esterno della fune, condizione risultata più critica dagli studi teorici condotti ai fini del rilievo da parte di un'apparecchiatura di tipo aperto.



Interruzione filo centrale fune chiusa in accordo UNI EN 12927-8:2005

Figura 12: difetto standard secondo UNI 12927-8

Le modalità realizzative del difetto e le particolarità delle funi realizzate fanno parte dello specifico know how dei Laboratori e sono di seguito brevemente descritte.

#### 3.1 Funi disponibili sul mercato italiano

Il dimensionamento del difetto deve prendere atto delle scelte tecniche attuate dal progettista della fune. In particolare è di interesse la dimensione del filo esterno interrotto, oggetto di prova, in rapporto alla sezione complessiva.

Per avere una statistica delle percentuali della sezione del filo esterno, sono state prese in considerazione le funi collaudate presso il Laboratorio 1 negli ultimi anni e quindi attualmente in opera. I risultati sono esposti nella Tabella 1. Analizzando tali dati possiamo vedere che le percentuali del filo esterno variano da un minimo dello 0,5% a un massimo dello 0,9%.

Tabella 1: funi collaudate presso Laboratorio 1

Impianto	Diametro nominale fune [mm]	Report Latif	N. fili	Sezione nominale fune [mm <sup>2</sup> ]	Diametro filo centrale [mm]	Sezione nominale filo centrale [mm <sup>2</sup> ]	Percentuale filo centrale [%]	Sezione nominale filo Z manto esterno [mm <sup>2</sup> ]	Percentuale filo Z manto esterno [%]
Funivia Solda (BZ)	<b>54</b>	03LA00112	180	1988	3,65	10,46	0,5%	13,0	0,7%
Funifor Arabba – Porta Vescovo (BL)	<b>55</b>	02LA00088	214	2009	3,21	8,09	0,4%	10,9	0,5%
Funivia Coston d'Antermoja-Serauta (BL)	<b>55</b>	04LA00029	214	2024	3,23	8,19	0,4%	10,9	0,5%
Funivia Serauta-Punta Rocca (BL)	<b>55</b>	05LA00047	214	2024	3,23	8,19	0,4%	10,9	0,5%
Funivia San Michele – M.Baldo (VR)	<b>56</b>	02LA00008	166	2067	3,64	10,41	0,5%	14,2	0,7%
2S La Villa (BZ)	<b>56</b>	02LA00037	169	2143	3,74	10,99	0,5%	14,2	0,7%
2S La Villa (BZ)	<b>56</b>	10LA00187	169	2145	3,81	11,40	0,5%	14,2	0,7%
Funivia Goraz-Gran Grimon (AO)	<b>60</b>	03LA00081	236	2455	2,89	6,56	0,3%	18,7	0,8%
2S Tonale (BS)	<b>60</b>	04LA00097	208	2431	3,44	9,29	0,4%	14,2	0,6%
Funifor Pianlung-P.Salati (VC)	<b>61</b>	03LA00108	208	2455	3,49	9,57	0,4%	14,2	0,6%
Funivia Col Margherita (TN)	<b>64</b>	11LA00105	157	2673	4,14	13,46	0,5%	24,0	0,9%
2S Seis (BZ)	<b>67</b>	08LA00161	259	2999	3,50	9,62	0,3%	14,2	0,5%
2S Seis (BZ)	<b>67</b>	16LA00070	259	2999	3,57	10,01	0,3%	14,2	0,5%
Funivia Courmayeur (AO)	<b>70</b>	08LA00057	208	3240	4,05	12,88	0,4%	18,7	0,6%
Funivia Courmayeur (AO)	<b>70</b>	08LA00092	236	3230	4,45	15,55	0,5%	19,8	0,6%

Al fine di ricondursi alla situazione più cautelativa, si sono effettuati i test con campioni caratterizzati da fili esterni con sezioni più piccole.

### 3.2 Funi test realizzate presso Laboratorio 1

Sono state realizzati più campioni di diverso diametro con difetto analogo. Le due interruzioni di 3 mm sono state realizzate sullo stesso filo e le due sezioni tagliate sono distanti fra di loro circa 50 mm, come richiesto dalla Norma per funi con diametro superiore a 50 mm. Durante la verifica dello strumento magneto - induttivo, il difetto EN è stato posizionato nella parte inferiore della fune, cioè nel punto più lontano dalle bobine di rilevazione dello strumento. La Tabella 2 riporta le caratteristiche dei campioni esaminati.

Tabella 2 : funi realizzate presso Laboratorio 1

Denominazione	Diametro Fune [mm]	Sezione metallica fune [mm <sup>2</sup> ]	Sezione metallica interruzione (filo Z) [mm <sup>2</sup> ]	Percentuale filo esterno [%]
17LA00009	51	1724	10,15	0,6
17LA00010	63	2635	14,20	0,5
17LA00011	64	2673	24,00	0,9

### 3.3 Funi test realizzate presso Laboratorio 2

Sono stati realizzati due campioni partendo dalla stessa fune, di cui uno secondo UNI 12927-8 (difetto su filo centrale) e uno con due serie di difetti esterni di diversa percentuale di sezione metallica mancante.

Le prove sono state eseguite su due campioni ricavati da una fune portante in servizio su una funivia bifune a va e vieni. I campioni sono sicuramente significativi in quanto rappresentativi delle tipologie di fune comunemente impiegate in campo funiviario. La Tabella 3 riporta le caratteristiche principali dei campioni.

Il campione 1\_64\_UNI è realizzato secondo la UNI EN 12927/8: 2005 e presenta il filo centrale d'anima con doppia interruzione da 3 mm distanziate 50 mm.

Secondo l'attuale assetto normativo tale difetto è considerato come il più severo da individuare da parte delle apparecchiature diffusamente impiegate di tipo "chiuso".

Il campione 2\_64\_EST si ispira alla sopraccitata norma e presenta i difetti in posizione periferica, con doppia coppia di difetti realizzati mediante fresatura dei fili sagomati esterni della fune, prendendo come riferimento la geometria indicata dalla UNI EN 12927/8. L'asportazione del materiale è stata eseguita in modo da garantire una buona accuratezza delle dimensioni ed evitando il surriscaldamento dei fili. La coppia di intagli A1-A2 è riconducibile ad una interruzione completa del filo esterno, mentre le incisioni B1-B2 sono rappresentative di una diminuzione di sezione analoga al difetto interno.

Tabella 3: funi realizzate presso Laboratorio 2

Denominazione	Diametro Fune [mm]	Sezione metallica fune [mm <sup>2</sup> ]	Sezione metallica interruzione [mm <sup>2</sup> ]	Percentuale rispetto la sezione della fune [%]
1_64_UNI	64	2650	13.51	0.5
2_64_EST_A	64	2650	18.80	0.75
2_64_EST_B	64	2650	12.40	0.5



Figura 13: fune realizzata presso Laboratorio 2, difetti esterni

### 3.4 Prove eseguite e risultati ottenuti

#### 3.4.1 Risultati ottenuti presso Laboratorio 1

##### Strumentazione utilizzata

Le prove sono state eseguite con il detector MTD70U s/n 01 dell'ing. Renato Toros (Figura 14) abbinato a un sistema di acquisizione digitale mod. MTR s/n. 03.

Questo strumento di nuova concezione è stato costruito in modo da superare i cavallotti e sostegni di linea senza interferire con le parti fisse dell'impianto. Questa particolarità costruttiva permette all'operatore di eseguire un esame magneto-induttivo senza interruzioni per tutta la lunghezza della fune, fornendo un diagramma continuo e con una prova eseguita a velocità costante.

Nel corso degli anni si è passati dagli apparecchi di tipo chiuso, con circuito magnetico e bobine di rilevazione che avvolgevano completamente la fune, che venivano smontati ad ogni sostegno o cavallotto di linea, con continue interruzioni della registrazione, a più pratici apparecchi ad U rovesciata con bobina inferiore mobile, (che veniva aperta), per arrivare ad apparecchi senza bobina inferiore che superano gli ostacoli, senza cambio di assetto.



Figura 14: detector MTD70U-01

##### Risultati delle prove

Sono stati eseguiti due test per ogni fune campione realizzata. I risultati sono descritti nelle tabelle di seguito.

Tabella 4: Fune chiusa  $\varnothing$  51 mm Pordoi con filo sagomato esterno = 0,6%

	Altezza involuppo: Mf [mm]	Altezza segnale: Mp [mm]	Rapporto Mp/Mf [ $n^\circ$ ]	Segnali separati
Prova 1 del 19/01/17	10	32	$\geq 2$	SI
Prova 1.1 del 26/01/17	11	38	$\geq 2$	SI

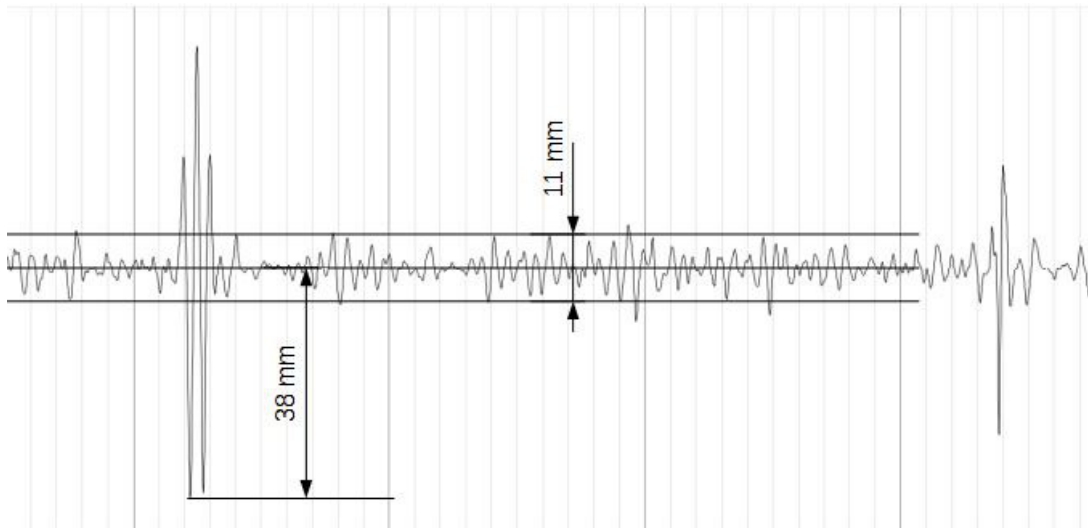


Tabella 5: Fune chiusa  $\varnothing$  63 mm con filo sagomato esterno = 0,5%

	Altezza involuppo: Mf [mm]	Altezza segnale: Mp [mm]	Rapporto Mp/Mf [ $n^\circ$ ]	Segnali separati
Prova 2 del 19/01/17	9	18	$\geq 2$	SI
Prova 2.1 del 26/01/17	13	27	$\geq 2$	SI

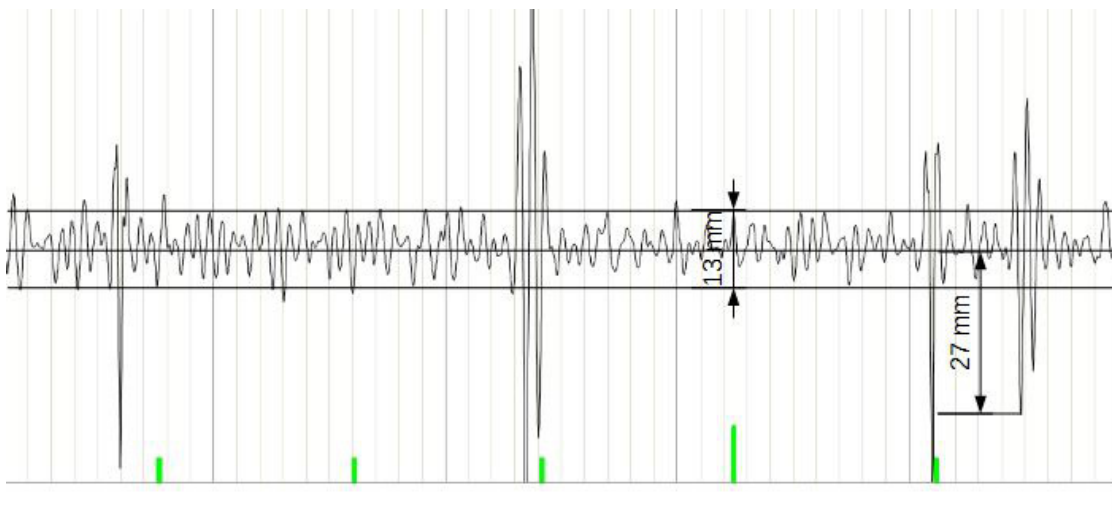
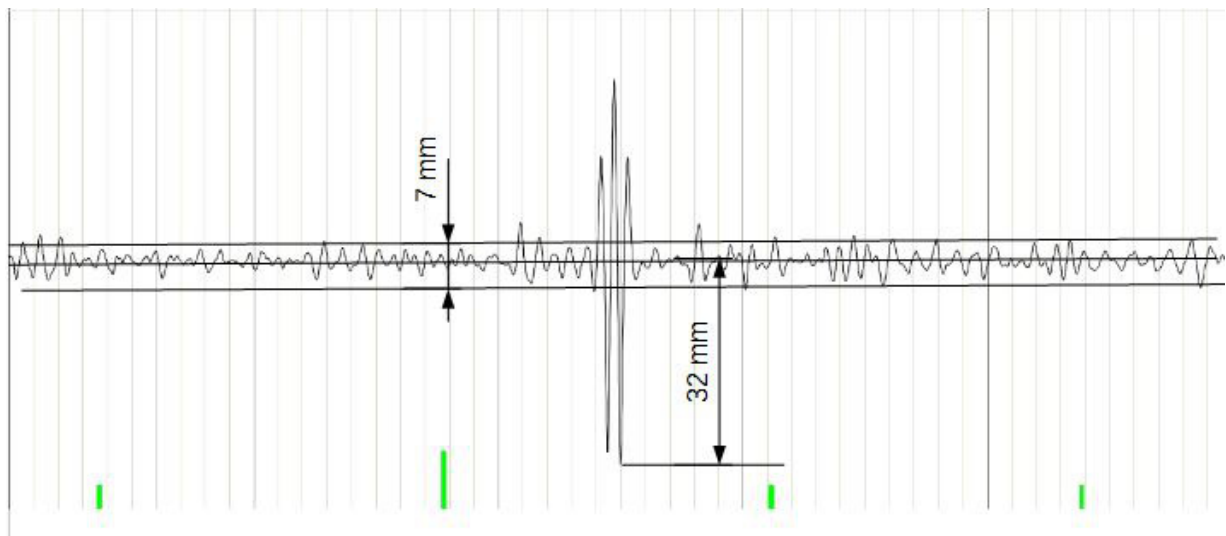


Tabella 6: Fune chiusa Ø 64 mm S. Pellegrino con filo sagomato = 0,9%

	Altezza involuppo: Mf [mm]	Altezza segnale: Mp [mm]	Rapporto Mp/Mf [n°]	Segnali separati
Prova 3 del 19/01/17	10	50	$\geq 2$	SI
Prova 3.1 del 26/01/17	7	32	$\geq 2$	SI



### Conclusioni test Laboratorio 1

I test hanno evidenziato un rapporto segnale/disturbo sempre  $\geq 2$ , quindi conforme a quanto richiesto dalla UNI EN 12927-8.2005 per analogo difetto sul filo centrale delle fune chiuse, nonostante la presenza di alcune criticità presentate dalla fune Ø 63 mm dovute a spostamento dei fili dei manti sottostanti e concretizzatesi con un aumento anomalo del rumore di fondo.

### **3.4.2 Risultati ottenuti presso Laboratorio 2**

#### **Strumentazione utilizzata**

Nella sperimentazione si è voluto confrontare le performances di un tipico detector aperto e di un detector chiuso nell'affrontare il difetto europeo standard ed il difetto esterno analogo situato nella posizione individuata dagli studi teorici come individuabile con maggior difficoltà.

Di conseguenza si sono scelti due detector, uno di tipo “aperto” (di seguito detector 1) e uno di tipo “chiuso” (di seguito detector 2). Per motivi deontologici si è scelto di non presentare ulteriori riferimenti.

I due detector sono stati confrontati sulle due tipologie di difetto, centrale e periferico e i risultati sono riportati nelle tabelle seguenti.



Tabella 7: Fune chiusa Ø 64 mm 1\_64\_UNI (test "europeo")

	Altezza involuppo: Mf [mV]	Altezza segnale: Mp [mV]	Rapporto Mp/Mf	Segnali separati
Detector 1 (aperto)	6.8	34	$\geq 2$	SI
Detector 2 (chiuso)	11	71	$\geq 2$	SI

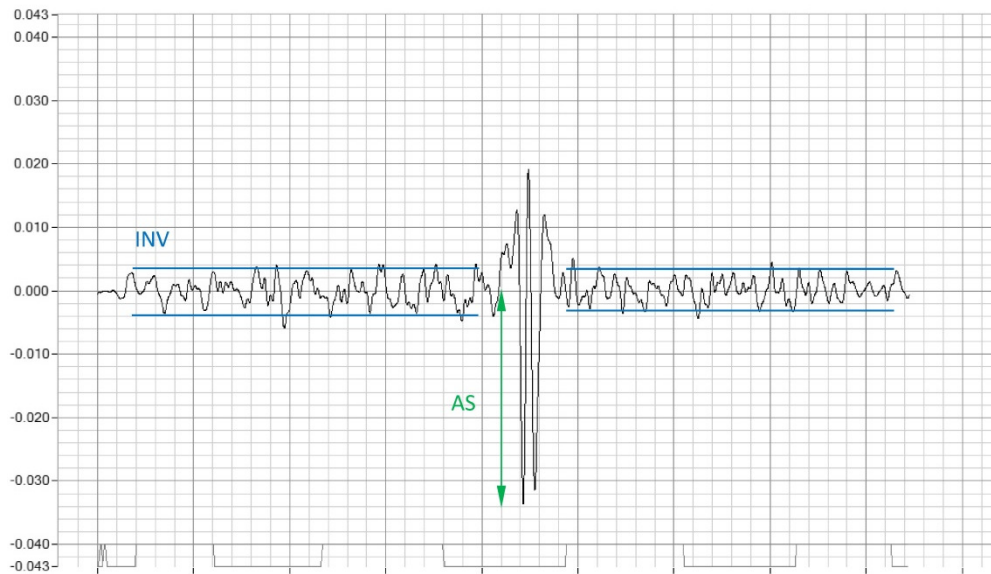


Figura 15: difetto centrale, detector 1 (aperto)

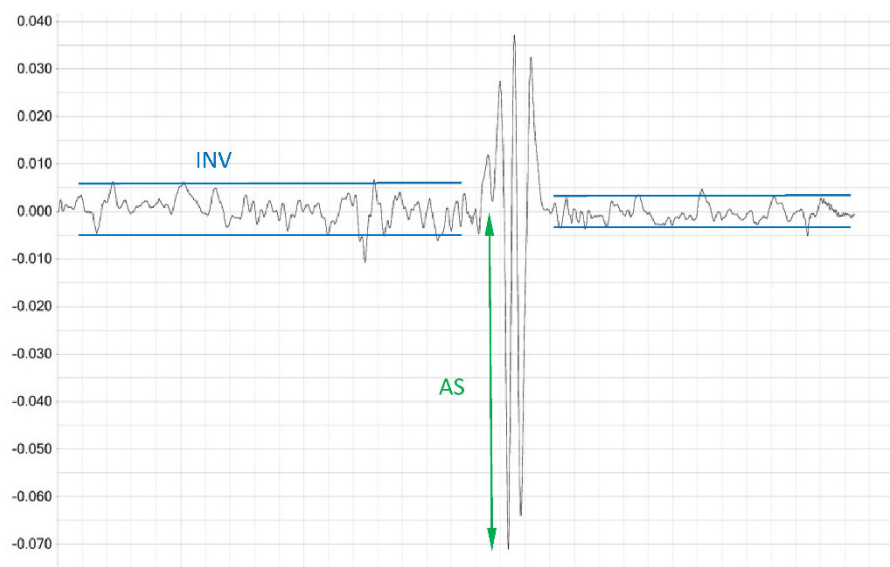


Figura 16: difetto centrale, detector 2 (chiuso)

Tabella 8: Fune chiusa Ø 64 mm 2\_64\_A (test esterno 0.75%)

	Altezza inviluppo: Mf [mV]	Altezza segnale: Mp [mV]	Rapporto Mp/Mf	Segnali separati
Detector 1 (aperto)	6.0	23.0	$\geq 2$	SI
Detector 2 (chiuso)	14.0	130.0	$\geq 2$	SI

Tabella 9: Fune chiusa Ø 64 mm 2\_64\_B (test esterno 0.5%)

	Altezza inviluppo: Mf [mV]	Altezza segnale: Mp [mV]	Rapporto Mp/Mf	Segnali separati
Detector 1 (aperto)	6.0	9.8	$\leq 2$	SI
Detector 2 (chiuso)	14.0	78.0	$\geq 2$	SI

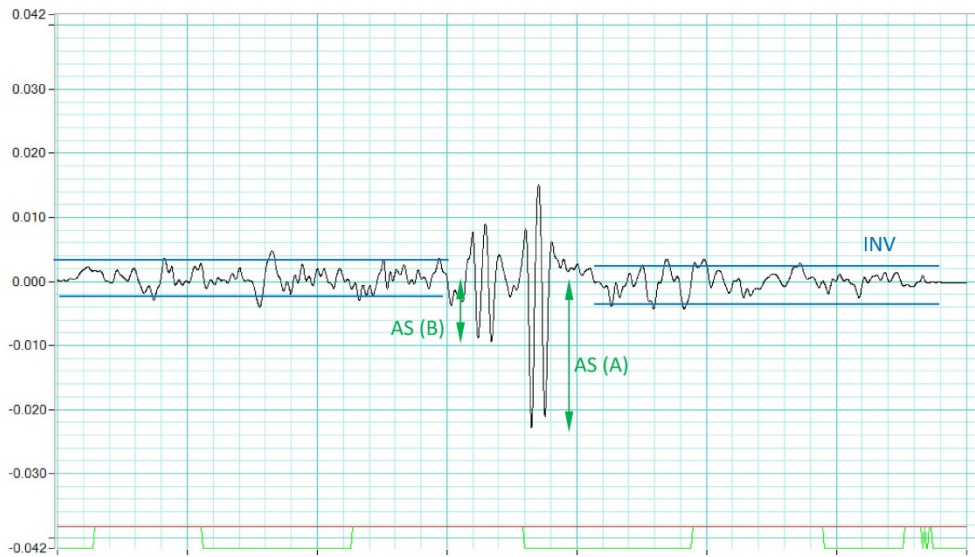


Figura 17: difetti esterni, detector 1 (aperto)

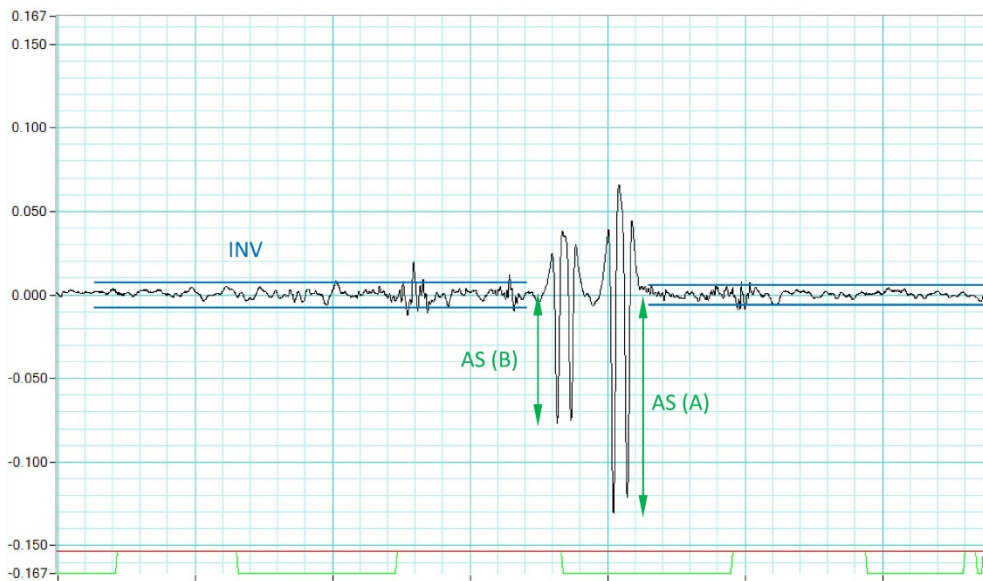


Figura 18: difetti esterni, detector 2 (chiuso)

## **Conclusioni test Laboratorio 2**

In seguito alle prove eseguite:

1) le due apparecchiature testate, indipendentemente dalla geometria del sensore, sono al limite o superano il test definito in base ai criteri UNI EN 12927/8: 2005 nelle configurazioni prese in considerazione:

sul difetto centrale;

sul difetto esterno 0.75%;

sul difetto esterno 0.5%.

2) Il rapporto segnale/rumore nel caso del difetto esterno è, come ci si aspettava, migliore per l'apparecchio chiuso; in ogni caso l'apparecchiatura aperta ha dimostrato una sufficiente sensibilità nei confronti del difetto esterno disposto nella posizione più sfavorevole.

Alla luce di quanto sopra risulta evidente che i difetti esterni rappresentano un valido ausilio per la validazione delle apparecchiature di tipo aperto.

A completamento dei test eseguiti con gli intagli sono state effettuate delle prove utilizzando anche fili test con analoga geometria, che hanno fornito risultati analoghi non qui presentati per brevità. L'utilizzo dei fili test, peraltro previsti dalla normativa e normalmente impiegati nei controlli delle funi in opera, è sicuramente suscettibile di ulteriori approfondimenti.

## **4 Conclusioni**

Lo studio illustrato nel presente lavoro, riporta i risultati che sono stati conseguiti a seguito di indagini teoriche e sperimentali mirate a verificare l'idoneità all'uso di apparecchiature di tipo aperto magneto-induttive destinate al controllo dell'integrità di funi portanti di tipo chiuso.

L'analisi teorica ha evidenziato che la condizione più critica per il rilievo del difetto si presenta quando quest'ultimo coinvolge il manto esterno della fune e, in particolare, quando è localizzato in posizione diametralmente opposta a quella dei sensori

I test eseguiti in maniera totalmente indipendente dai due Laboratori hanno dimostrato di convergere su risultati analoghi, pur adottando criteri realizzativi diversi nei confronti dei campioni.

Appare pertanto evidente che la Norma EN 12927/8: 2005, attualmente in vigore, necessita di una revisione in quanto non prevede una chiara classificazione degli apparecchi e quindi permette implicitamente l'utilizzo di ogni tipo di apparecchiatura, per qualsiasi tipo di fune ed inoltre fa esclusivo riferimento, per le funi chiuse, a difetti localizzati nel filo centrale che non appaiono indicativi della situazione più critica. A parere degli Autori, dovrebbero essere introdotti riferimenti a: applicazioni specifiche delle due tipologie di strumenti, posizione del difetto anche sul manto esterno della fune, definizione dei test per il rilievo dei difetti sul filo superficiale.