

# CONTROLLO NON DISTRUTTIVO, DENOMINATO MAGNETO-INDUTTIVO, DELLE FUNI METALLICHE

Aldo Canova  
Dipartimento di Energia  
Politecnico di Torino



Presidente Consiglio  
Scientifico AIPnD



# **Temi della presentazione**

1. Introduzione ai CnD
2. Certificazione del personale
3. Il controllo Magneto-Induttivo
4. Aspetti teorici che coinvolgono la tecnica magneto-induttiva
5. Strumentazione
6. Alcune applicazioni
7. Certificazione della strumentazione

# Introduzione ai CnD



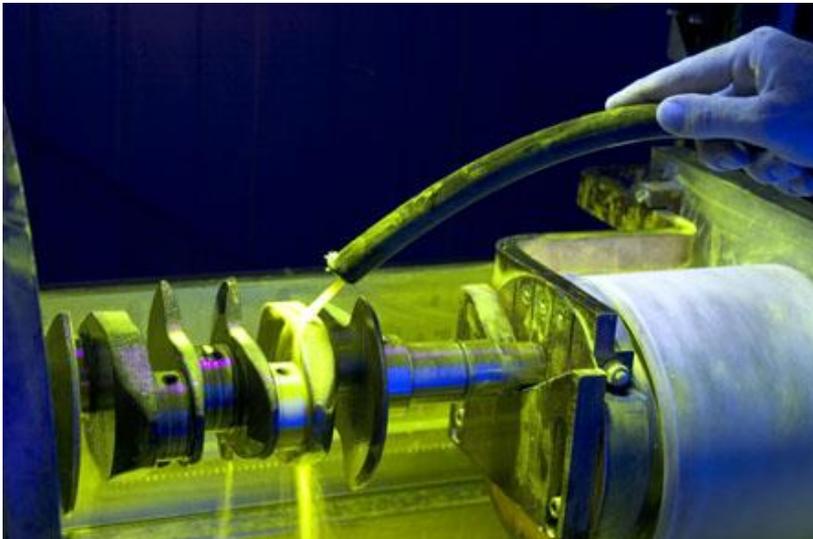
# Bibliografia

- <http://www.ndt-ed.org>
- <http://www.asnt.org/ndt/> (American Society for Non Destructive Testing)
- [www.aipnd.it](http://www.aipnd.it) (Quaderni dell'associazione)
- [www.ndt.net](http://www.ndt.net)
- CD-ROM interattivi su CND (Simula)
- Dispense "Cenni sui controlli non distruttivi" (M. Pau)
- Norme ISO,UNI

# Scopo dei CnD

I Controlli Non Distruttivi (CnD, PnD, NDT, NDE) sono tecniche sperimentali non-invasive impiegate al fine di valutare:

- l'integrità di un materiale, un componente, una struttura complessa
- alcune caratteristiche fisiche e/o geometriche (es. spessore, conducibilità, etc.)



# ...definizione

## **Definizione secondo ASNT**

Il Controllo Non Distruttivo è la **determinazione delle condizioni fisiche** di un oggetto realizzata in modo tale da non compromettere le funzionalità per le quali l'oggetto stesso è stato costruito

## **Definizione secondo McGonnagle**

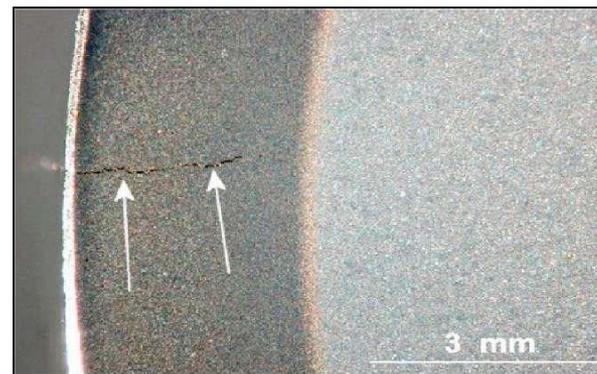
"Applicazione di principi fisici per la **rivelazione della presenza di disomogeneità** nei materiali senza che ne sia compromesso l'utilizzo"

## **Il punto di vista dell'industria**

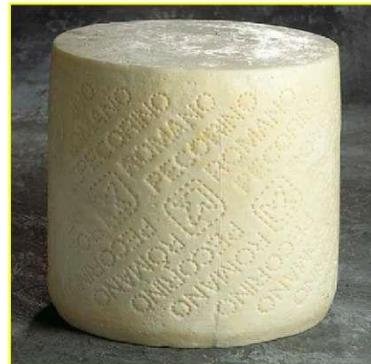
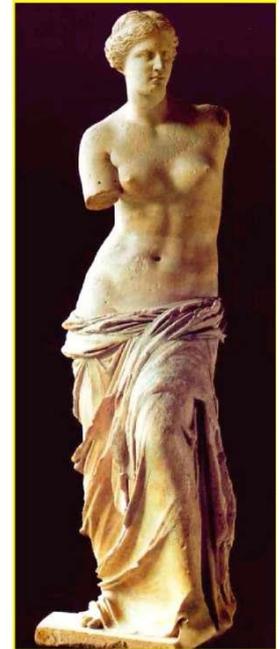
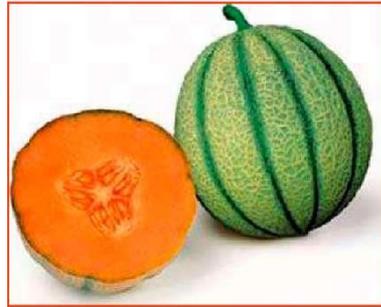
Lo scopo dei controlli non distruttivi è quello di emettere un **giudizio di accettazione/rifiuto** di un materiale o di un componente

# Esempio di difetto

- La cricca può essere definita come una discontinuità originatasi per distacco inter o transcristallino in un materiale metallico originariamente continuo e sano.
- È un difetto che viene indicato come bidimensionale poiché solitamente si presenta più o meno lungo e profondo con andamento frastagliato mentre i suoi lembi sono piuttosto ravvicinati.
- Se le cricche hanno dimensioni molto ridotte (inferiori ad 1 mm), vengono definite microcricche.



# Campi di applicazione



# Impieghi dei CnD

In fase di accettazione delle materie prime (semilavorati).



# Impieghi dei CnD

Dopo la realizzazione di processi tecnologici

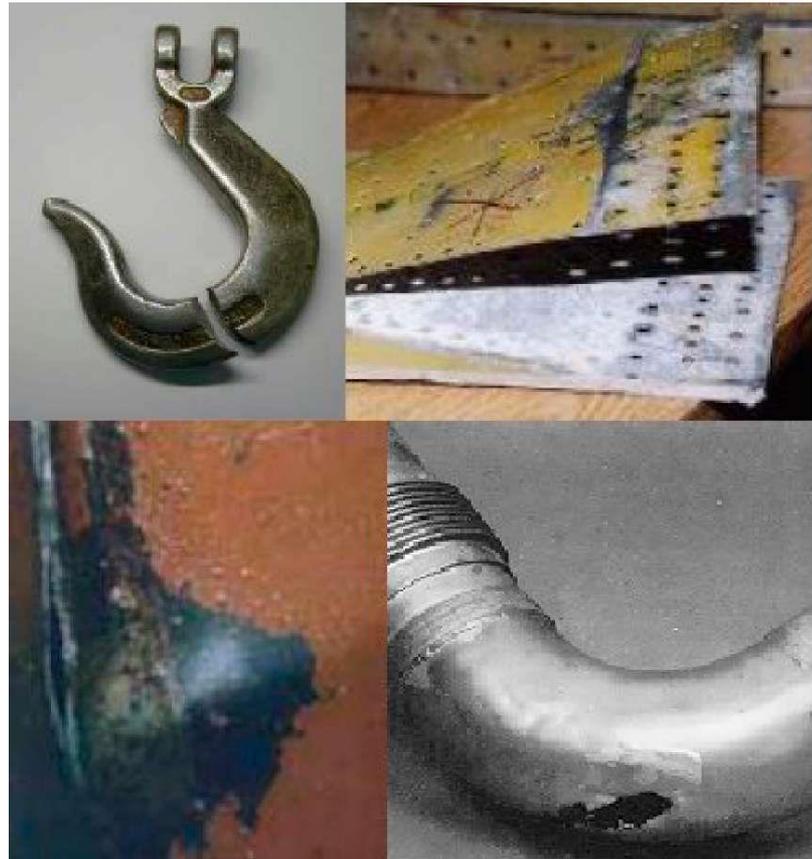
- Saldature
- Lavorazioni meccaniche
- Trattamenti termici
- Trattamenti superficiali
- etc.



# Impieghi dei CnD

In esercizio/manutenzione per la valutazione di:

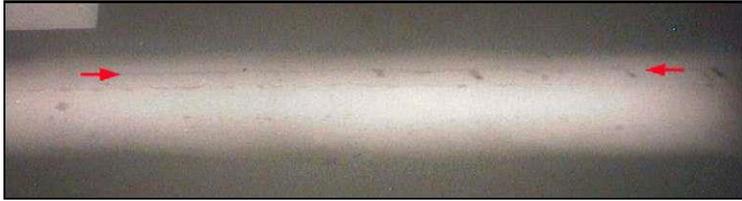
- Corrosione
- Erosione
- Usura
- Rotture incipienti
- Danni termici



# In sintesi a cosa servono i CnD

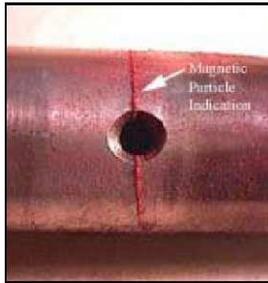
- Per assicurare **l'integrità e l'affidabilità dei prodotti** (vita utile del manufatto più lunga, minore probabilità di guasti e/o interruzioni di esercizio)
- Per **prevenire incidenti** e preservare vite umane (componenti particolarmente critici di sistemi intrinsecamente pericolosi)
- Per assicurare la **soddisfazione del cliente**
- Per migliorare il **processo di progettazione** (guasti e/o rotture che si presentano sistematicamente su particolari regioni)
- Per controllare il **processo di produzione** e mantenere uno standard qualitativo uniforme ed elevato
- Per **ridurre i costi di produzione** (es. controllo dei semilavorati prima che da essi vengano realizzati i prodotti finiti)

# I principali CnD



## Radiografia (RT)

Impiego di radiazioni X o gamma. Risultato visibile su una pellicola



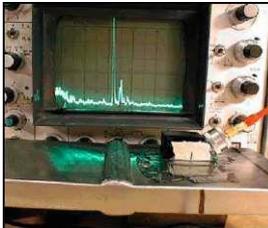
## Magnetoscopia (MPI, MT)

Applicazione di un campo magnetico su materiali ferromagnetici. I difetti introducono variazioni delle linee di flusso del campo visualizzabili con speciali polveri



## Liquidi penetranti (LPI, PT)

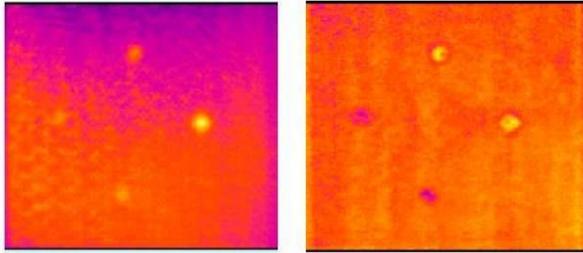
Applicazione di un liquido che penetra nei difetti per capillarità. Esaltazione della visibilità del difetto mediante contrasto cromatico



## Ultrasuoni (UT)

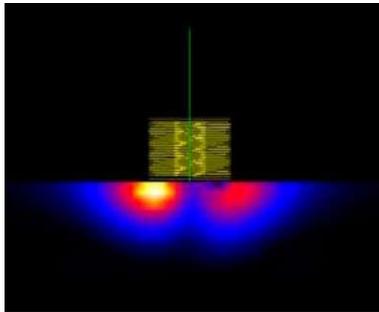
Analisi delle onde ultrasoniche riflesse o trasmesse all'interno del componente

# ...i principali CnD



## **Termografia infrarossa (IT)**

Analisi dell'emissione termica nella banda dell'infrarosso da parte di un corpo. Il difetto genera un'alterazione del campo termico.



## **Correnti indotte (ET)**

Analisi delle correnti indotte in un un corpo (conduttore) a seguito dell'accostamento di una sonda che genera un campo magnetico alternato. Il difetto è visto come "disturbo" nella propagazione delle correnti indotte.



## **Esame visivo (VT)**

Analisi condotta ad occhio nudo da un operatore esperto nella difettologia del componente esaminato

# Certificazione del personale



## Normativa per la certificazione degli operatori controlli non distruttivi

Il personale addetto all'esecuzione dei Controlli non Distruttivi deve essere opportunamente addestrato e qualificato.

Negli USA, la normativa [ASME](#) (The American Society of Mechanical Engineers) prevede che gli operatori siano qualificati in accordo alla Raccomandazione SNT-TC-1A emessa dall'[ASNT](#) (The American Society for Non Destructive Testing).

In Europa è stata emessa inizialmente la norma EN 473 adottata da tutti i Paesi dell'Unione che dal luglio 2012 è stata sostituita con la ISO 9712.

In Italia, le qualifiche del personale in accordo alla ISO 9712 sono gestite dal [CICPnD](#) (Comitato Italiano di Coordinamento per le Prove non Distruttive), dal R.I.Na. (Registro Italiano Navale), dall'[Istituto Italiano della Saldatura \(IIS\)](#) ed altri, nella figura di Enti Autorizzati.

## **LIVELLI DI QUALIFICA**

La qualifica del personale addetto ai “CnD” è stata regolamentata mediante la suddivisione in tre diversi livelli, in base alle conoscenze, alle esperienze e alle mansioni.

### **Livello I:**

Devono avere la competenza necessaria ad eseguire i controlli in base ad istruzioni scritte o sotto la supervisione di personale di livello II o III, in particolare devono essere in grado di:

- regolare l'apparecchiatura
- eseguire le prove
- registrare e classificare i risultati delle prove in relazione a criteri scritti
- stendere un resoconto dei risultati

**Egli non deve essere responsabile della scelta del metodo o della tecnica di prova da utilizzare, né della valutazione dei risultati della prova.**

## Livello II:

Devono possedere la competenza necessaria ad eseguire i controlli richiesti, in conformità alle procedure stabilite o riconosciute, devono essere in grado di:

- selezionare la tecnica CnD per il metodo di prova da utilizzare
- definire i limiti di applicazione del metodo di prova
- tradurre le norme e le specifiche in istruzioni
- verificare le regolazioni dell'apparecchiatura
- eseguire e sovrintendere a prove
- interpretare e valutare i risultati in conformità alle norme, ai codici o alle specifiche applicabili
- eseguire e sovrintendere a tutti gli incarichi propri di un livello I
- fornire assistenza al personale di livello II o minore
- organizzare e redigere i rapporti CnD

## **Livello III:**

Dimostrare la competenza necessaria ad eseguire e dirigere attività CnD per il quale è certificato, egli deve essere in grado di:

- assumersi la piena **responsabilità di un laboratorio di prova**, di un centro d'esame e del relativo personale
- stabilire e convalidare **istruzioni e procedure** CnD
- interpretare norme, codici, specifiche e procedure
- stabilire i particolari metodi di prova, le procedure e le istruzioni CnD da utilizzare
- eseguire e **sovrintendere** a tutti gli incarichi propri di un livello I e II
- valutare ed interpretare i risultati in relazione alle norme, ai codici e alle specifiche esistenti
- una sufficiente conoscenza pratica dei materiali, delle tecnologie di fabbricazione e produzione
- una conoscenza generale degli altri metodi CnD
- la capacità di guidare personale di livello inferiore al III

**Il personale di livello III, se autorizzato dall'Organismo di certificazione, potrà dirigere e sovrintendere agli esami per conto di quest'ultimo.**

## **ESAMI DI QUALIFICA**

Per essere idoneo alla certificazione, il personale addetto ai Controlli non Distruttivi dovrà essere in possesso dei requisiti di addestramento, esperienza industriale nei CnD e di acutezza visiva, come previsto dalla Norma di riferimento. Inoltre dovrà sostenere un esame di qualifica per ogni metodo di controllo al quale intende qualificarsi.

### **Livelli I e II**

L'esame sarà composto da tre diverse fasi: esame **generale, specifico e pratico**

L'esame di carattere generale e quello specifico consisteranno in un numero definito di domande a risposta multipla, formulate sulla base del metodo di controllo scelto.

L'esame pratico consisterà invece nella realizzazione della prova su campioni d'esame con difetti predefiniti, nella registrazione, interpretazione e verbalizzazione dei risultati ottenuti.

Per la qualifica al livello II in accordo alla ISO 9712, sarà necessario compilare le istruzioni di lavoro per il livello I.

## Livello III

L'esame sarà composto da due diverse fasi:

- Esame di base
- Esame di metodo

**L'esame di base** sarà composto da domande riguardanti i materiali, la difettologia, le lavorazioni, la normativa e i metodi CnD in generale.

**L'esame di metodo** sarà composto da domande specifiche al metodo di qualifica e dalla stesura di una o più procedure di controllo.

In accordo alla ISO 9712 solamente l'**Organismo di Qualificazione Autorizzato**, mediante una **commissione di livelli III**, ha l'autorizzazione e la responsabilità di certificare presso i **Centri d'esame** i candidati operatori CnD ai livelli I, II e III.

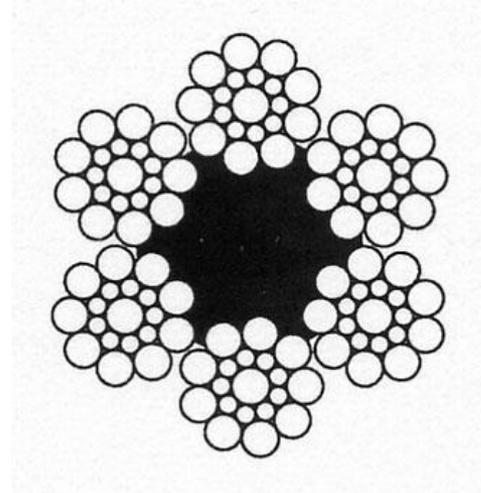
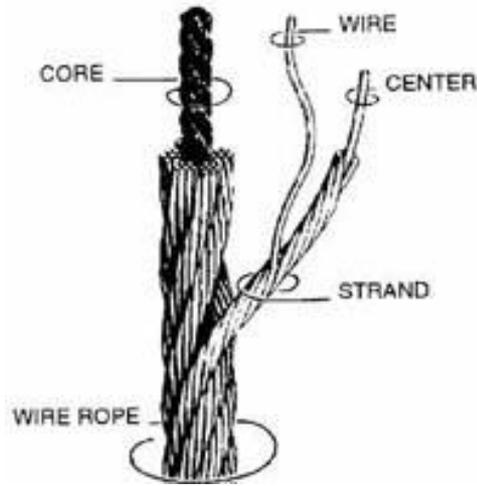
In accordo alla SNT-TC-1A, la responsabilità della certificazione di operatori al livello I e II spetta ad un livello III incaricato dal datore di lavoro.

Un livello III ASNT può qualificare per esame un altro livello III, sempre in accordo alla SNT-TC-1A.

# Il controllo magneto induttivo



# Possibili anomalie delle funi metalliche



Abrasion



Lightning



Fatigue broken wire



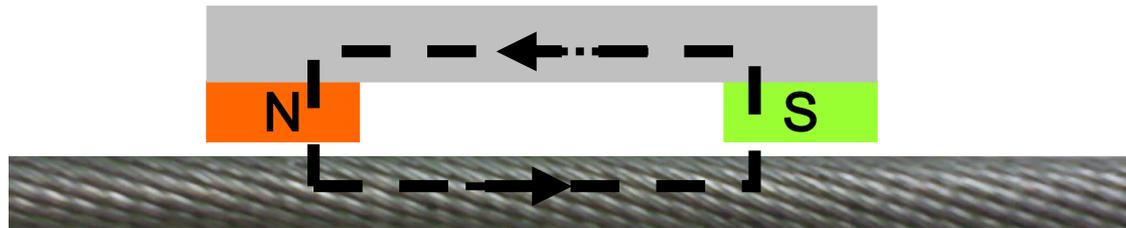
Internal corrosion

# Tecnica CnD utilizzata

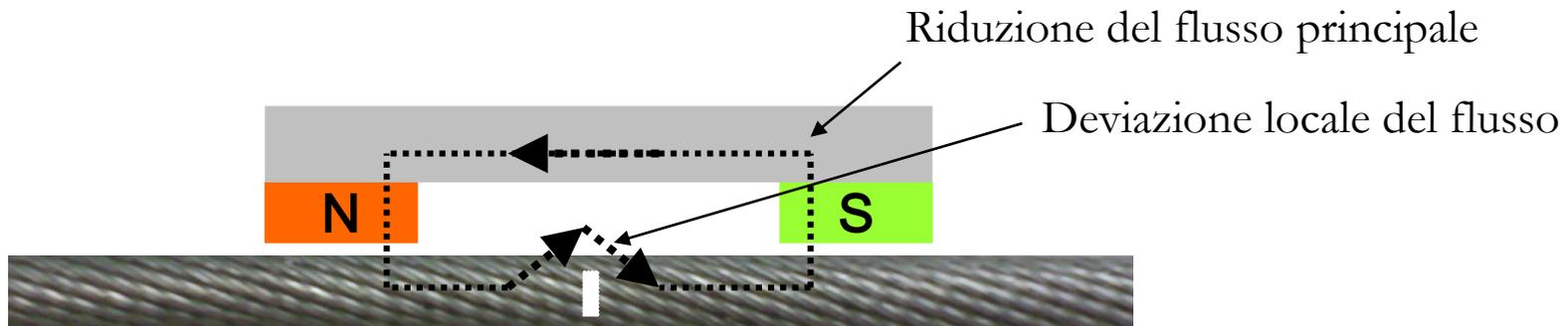
- Per rilevare anomalie in elementi metallici di tipo ferromagnetico sia di tipo superficiale che interno si adotta una tecnica chiamata Magnetic Flux Leakage (MFL).
- Tale tecnica si basa sul far attraversare l'elemento in prova (che essendo ferromagnetico è quindi un "buon conduttore" dal punto di vista magnetico) da un campo magnetico più o meno intenso e rilevare eventuali dispersioni/distorsioni del campo magnetico attraverso opportuni sensori.
- I campi magnetici utilizzati sono a bassissima frequenza (in genere un campo statico) al fine di ridurre il più possibile l'effetto pelle che si opporrebbe alla penetrazione del capo magnetico all'interno dell'oggetto sotto esame.
- La tecnica MFL applicata al settore delle funi metalliche ha tradizionalmente il nome di tecnica Magneto-Induttiva (M-I).

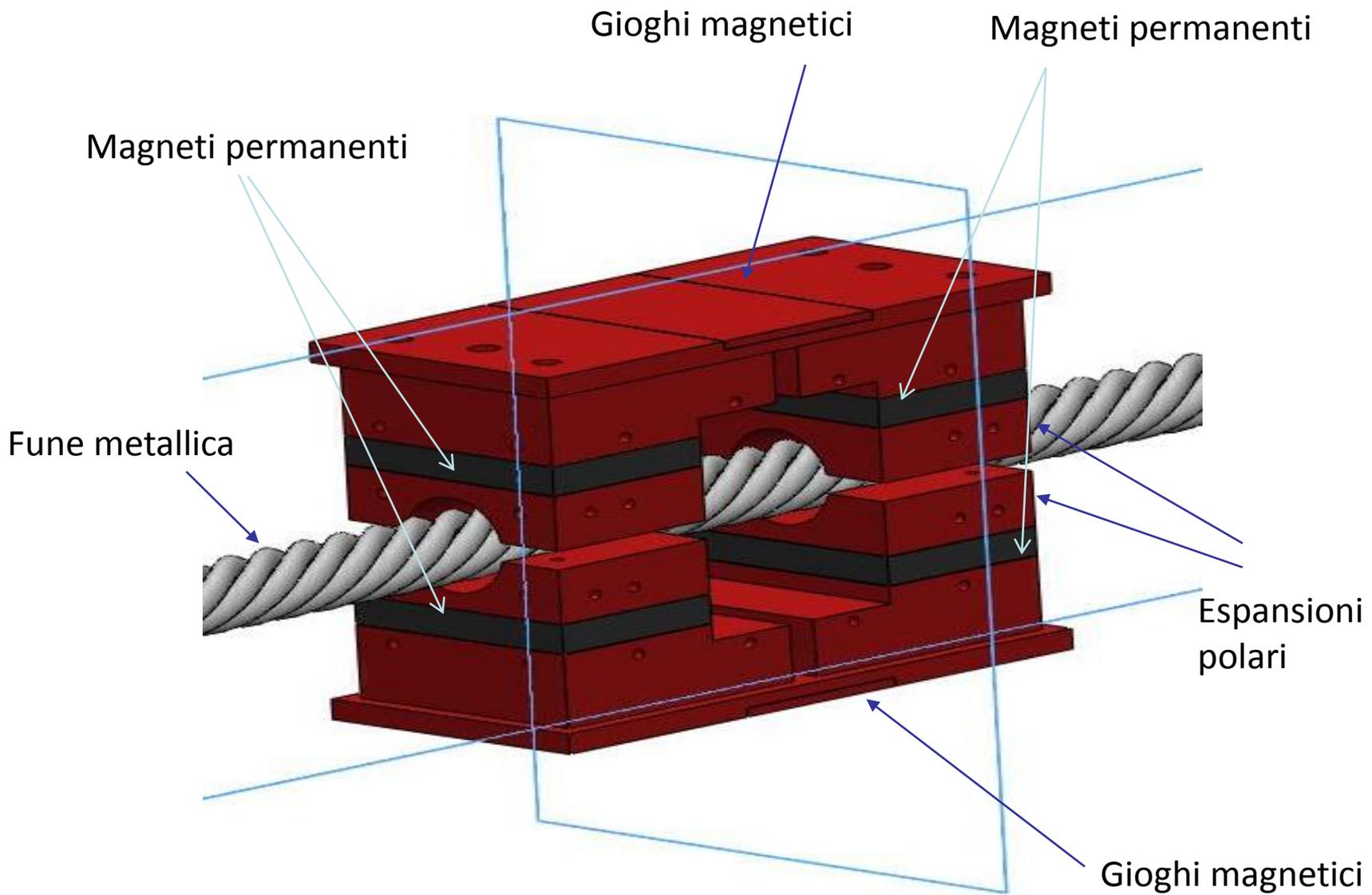
# M-I principio di funzionamento

- Un intenso campo magnetico statico viene fatto passare all'interno della fune

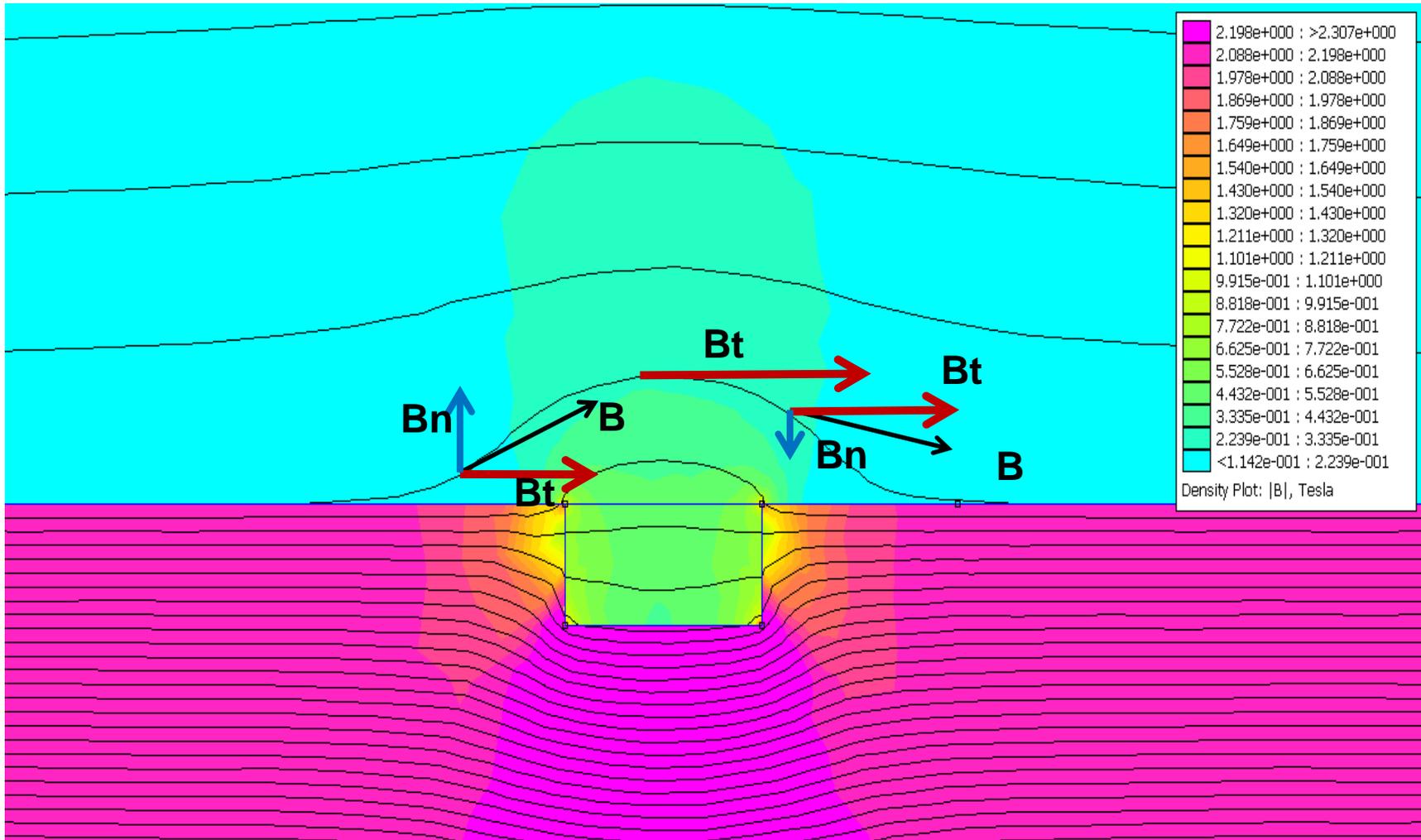


- I difetti all'interno della fune modificano il campo magnetico in valore e forma e ciò viene rilevato mediante dei sensori.





# Segnale LF (Localised Fault) o LD (Local Discontinuity)



# Aspetti teorici che coinvolgono la tecnica magneto-induttiva

Concetto di campo

Campo magnetico

- Campo magnetico naturale

- Campo magnetico e linee di forza

- Linee di forza

- Esempi di campo magnetico generati da correnti e da magneti permanenti

- Flusso magnetico

Legge di Faraday

I campi magnetici nei materiali

- La permeabilità magnetica

- Materiali diamagnetici

- Materiali paramagnetici

- Materiali ferromagnetici

Materiali ferromagnetici

- Fenomeno di magnetizzazione

- Curva di prima magnetizzazione

- Permeabilità iniziale

- Ciclo di isteresi

## Elementi ferromagnetici

Ferro

Nichel

Cobalto

Materiali ferromagnetici dolci e duri

Comportamento magnetico delle funi metalliche

Magneti permanenti

Materiali per magneti permanenti

Circuito magnetico di un detector

# Il concetto di campo

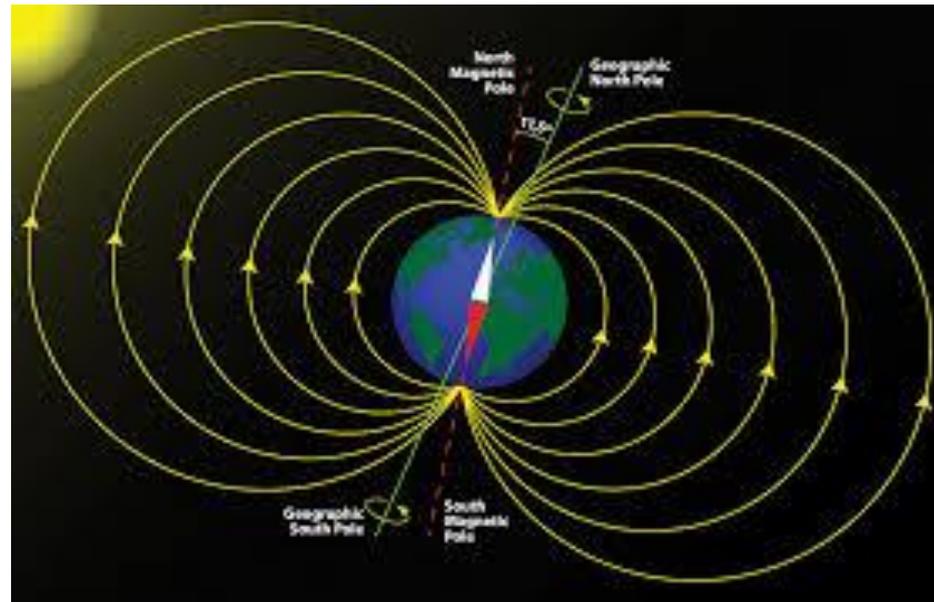
1. Il campo rappresenta una regione dello spazio in cui una certa grandezza interagisce su certi soggetti (es. forza gravitazionale e massa).
2. I campi possono essere:
  - costanti nel tempo (stazionari) o variabili nel tempo (lentamente e rapidamente variabili)
  - scalari o vettoriali (es. il campo termico è scalare, il campo gravitazionale è vettoriale)

# Il Campo magnetico

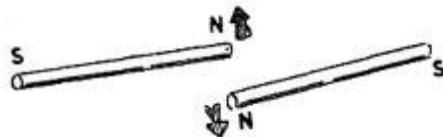
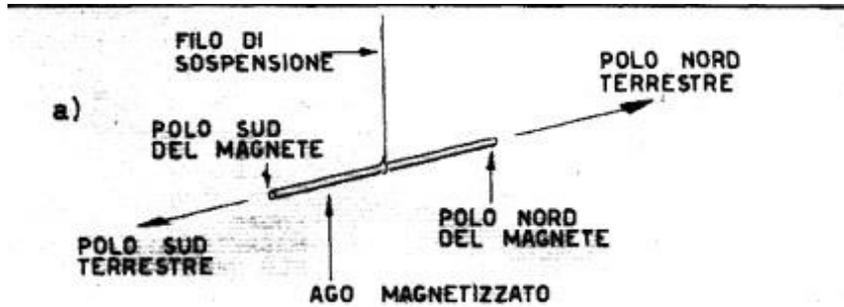
Il campo magnetico è una regione di spazio in cui certe particelle denominate **dipoli magnetici** (es. ago della bussola) sono sottoposte a coppie di forze che tendono a farle ruotare

Il campo magnetico è a sua volta generato dalla presenza di dipoli magnetici (magneti permanenti) o da **correnti elettriche**

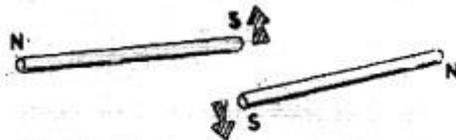
# Campo magnetico Terrestre



# Campo magnetico naturale



I POLI VICINI SI RESPINGONO



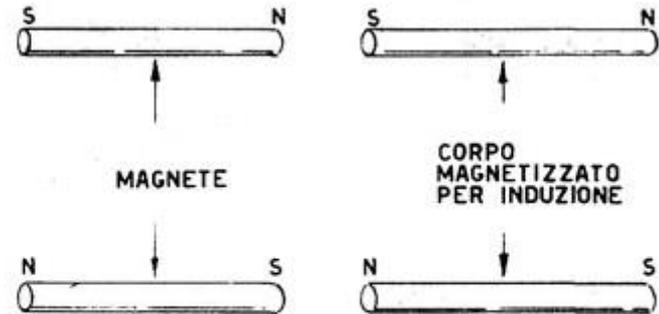
I POLI VICINI SI RESPINGONO

b)

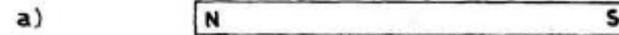


I POLI VICINI SI ATTRAGGONO

POLI MAGNETICI ED AZIONI ESERCITANTISI TRA ESSI

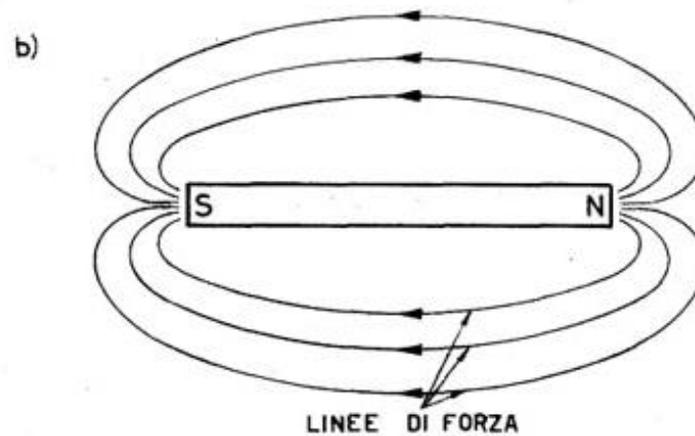
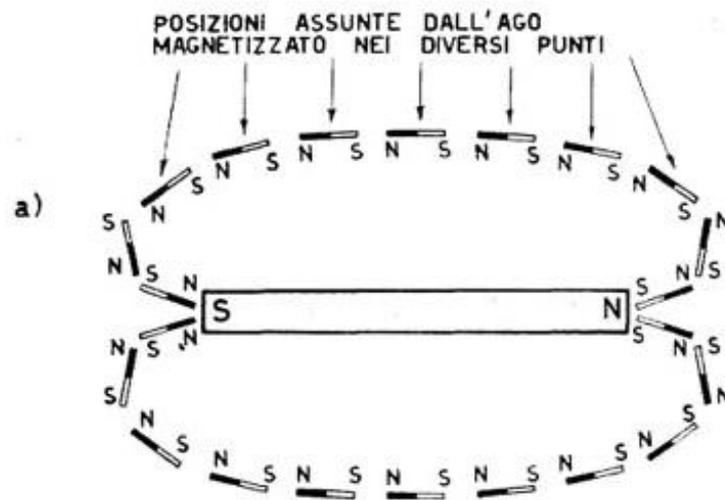


MAGNETIZZAZIONE PER INDUZIONE

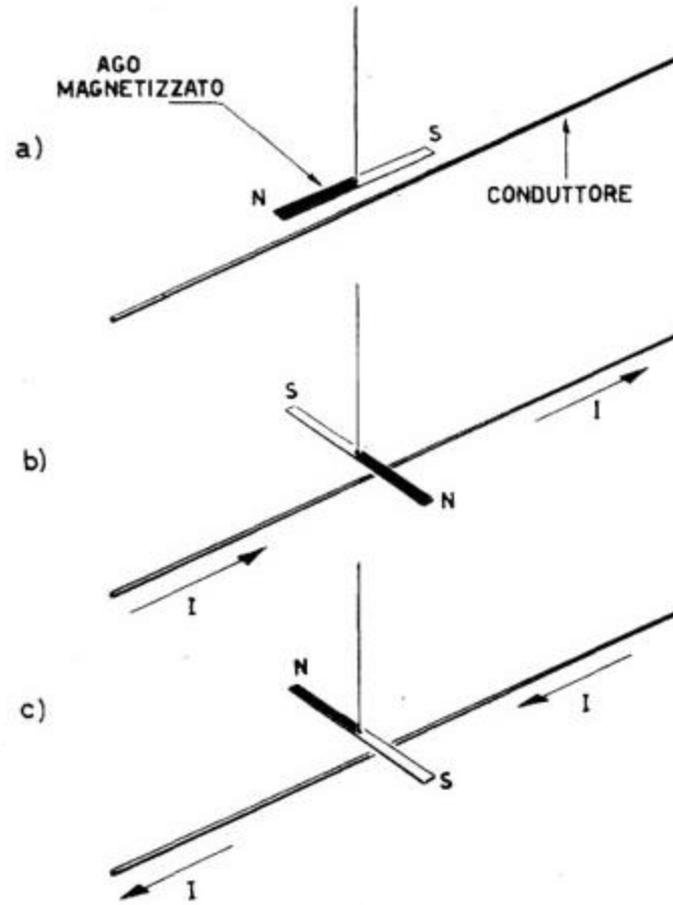


COMPARSA DI NUOVI POLI NELLA SUDDIVISIONE DI UN MAGNETE

# Linee di forza



# Esempio di Campo Magnetico: Conduttore rettilineo indefinito

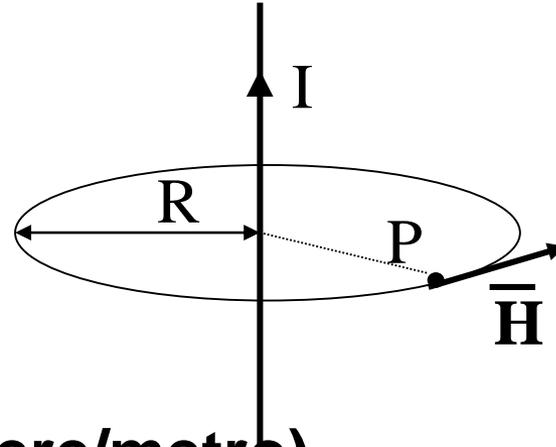


EFFETTO MAGNETICO DELLA CORRENTE ELETTRICA

# Campo magnetico e Induzione magnetica

Il campo magnetico  $\mathbf{H}$  in un punto  $P$  prodotto da conduttore filiforme (es. conduttore di una linea aerea od in cavo) percorso da una corrente pari ad  $I$  è dato dalla relazione:

$$H = \frac{I}{2\pi R}$$



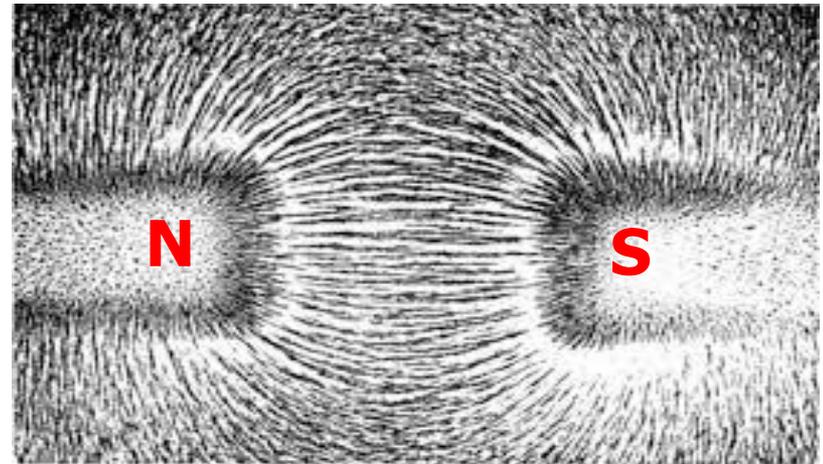
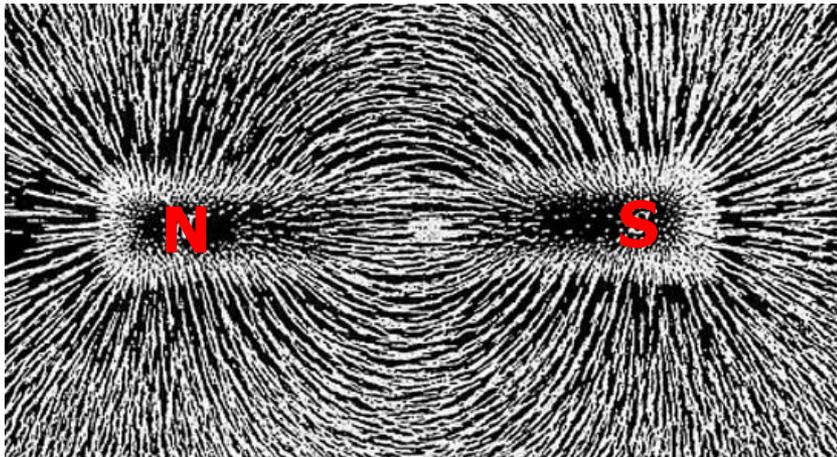
L'unità di misura è **A/m (Ampere/metro)**

Al campo magnetico è associata una grandezza, detta induzione magnetica **B (Tesla)**, che dipende dal materiale in cui il campo è presente.

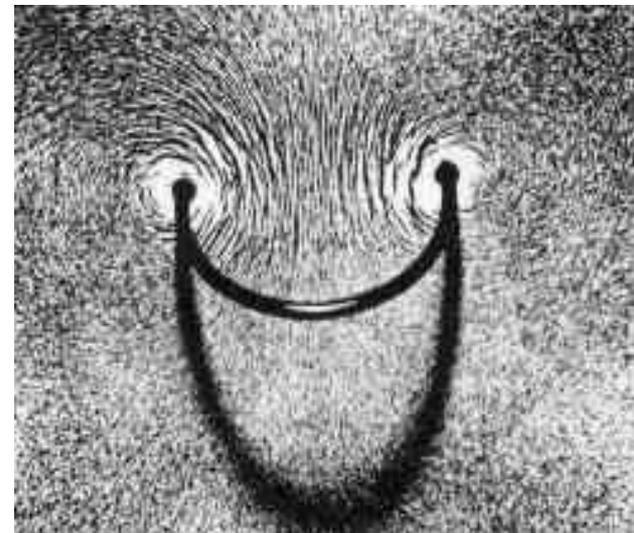
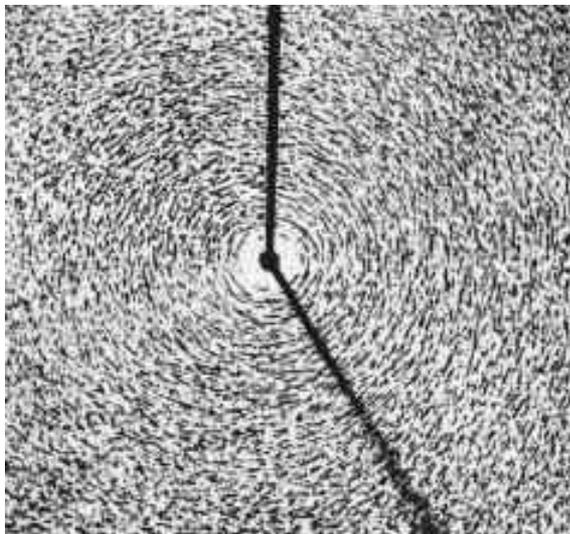
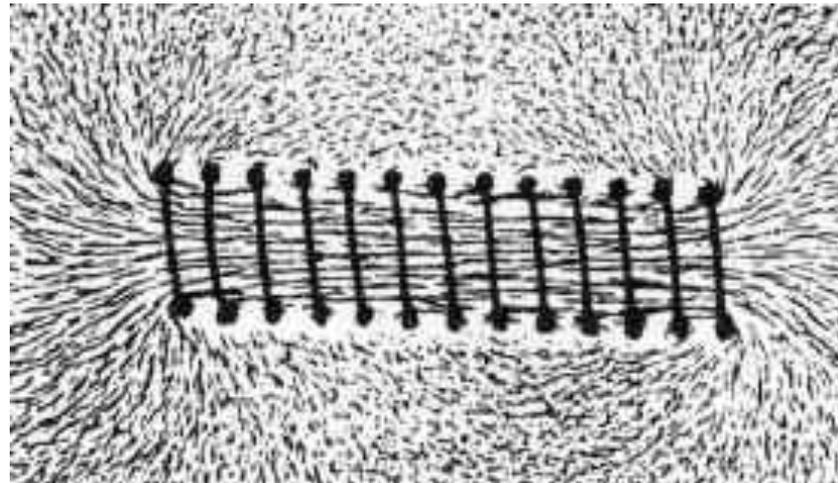
$$B = \mu H$$

$\mu$  permeabilità magnetica

# Campo magnetico generato da magneti permanenti



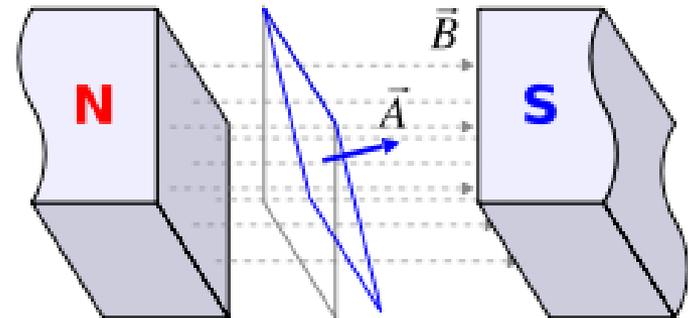
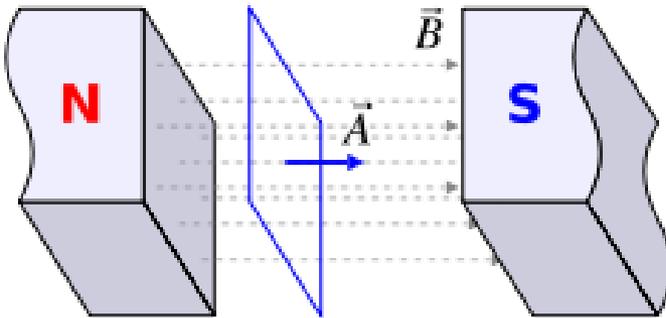
# Campo magnetico generato da correnti elettriche



# Flusso magnetico

Il flusso magnetico dipende da:

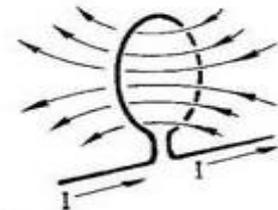
- a) sezione spira
- b) intensità del campo
- c) orientazione spira-campo



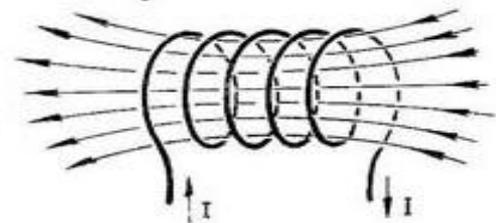
Flusso magnetico concatenato:

**Flusso\*n.SPIRE**

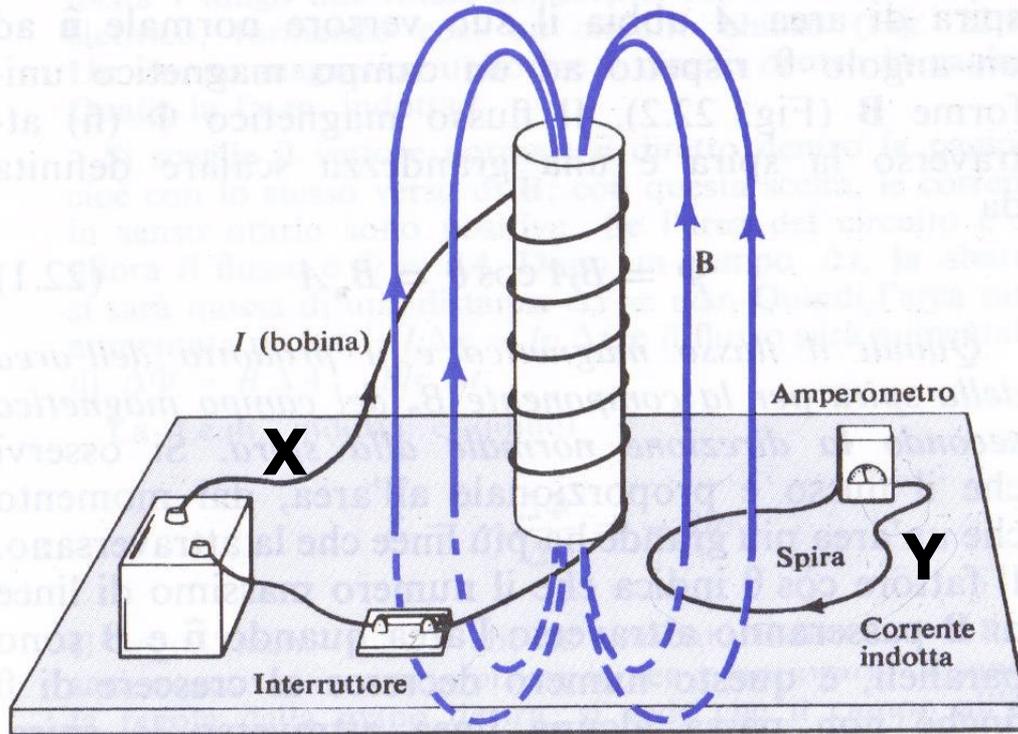
1 SPIRA



5 SPIRE



# ESPERIMENTO DI FARADAY



Quando il circuito X viene chiuso si genera una corrente in Y

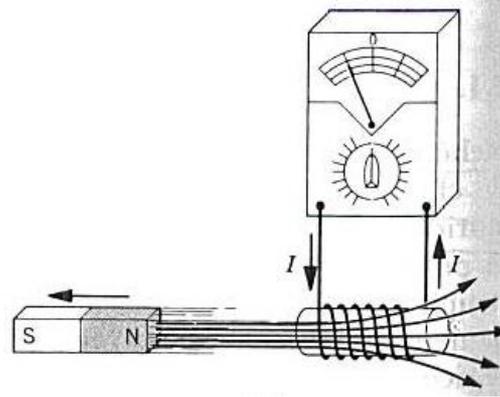
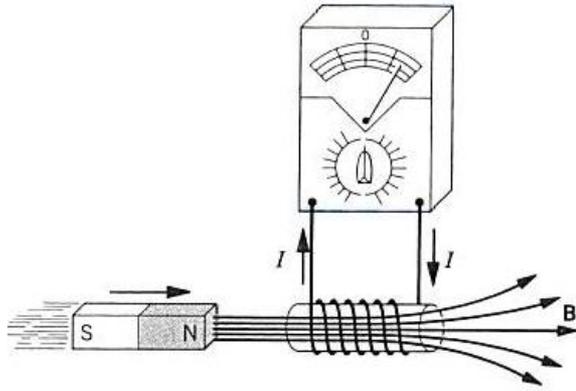
Quando il circuito X viene riaperto si genera una corrente in Y ma in verso opposto al precedente

Una corrente stazionaria anche intensa in X non genera alcuna corrente in Y

**Una variazione di campo magnetico induce una forza elettromotrice  $\varepsilon$  ( o  $\Delta V$ ).**

**La forza elettromotrice indotta è tanto maggiore quanto più rapida è la variazione del campo B**

# ESPERIMENTO DI FARADAY

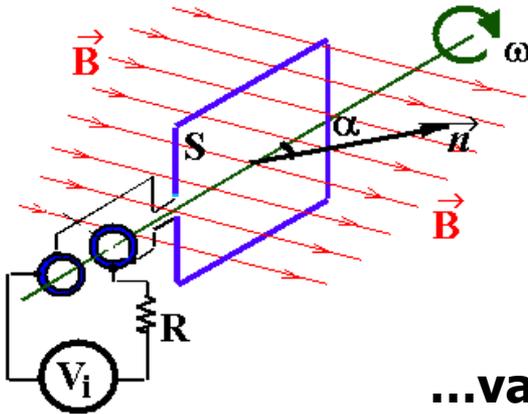


Se la calamita viene mossa rispetto alla bobina in quest'ultima passa corrente

**...varia B**

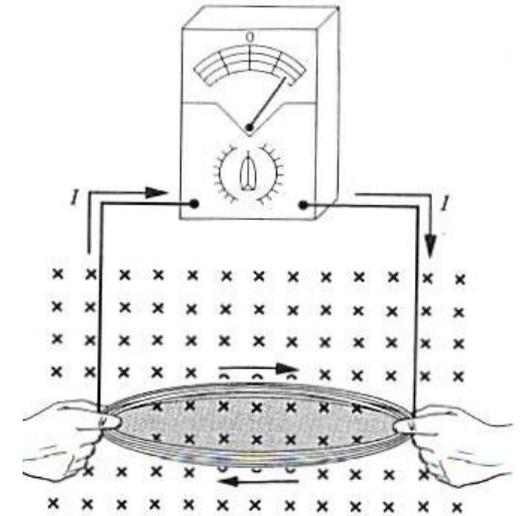
Se l'area di una spira immersa in un campo magnetico viene modificata compare una corrente

**...varia A**



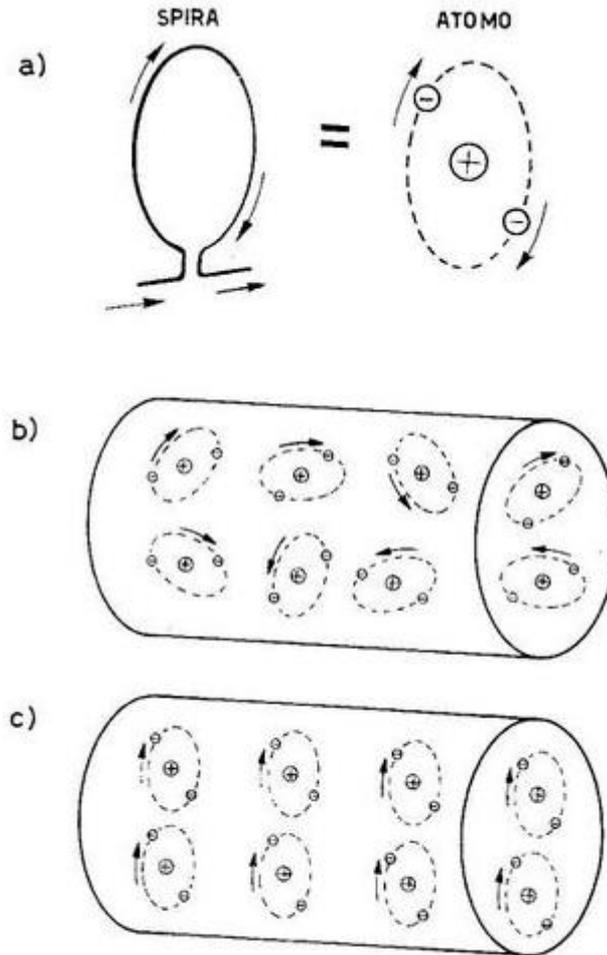
Se una spira viene fatta ruotare in un campo magnetico compare una corrente

**...varia  $\theta$**



Questo fenomeno prende il nome di **induzione elettromagnetica**

# I campi magnetici nei materiali



NATURA DEI MAGNETINI ELEMENTARI

# I campi magnetici nei materiali

**RICORDIAMO CHE SE SI PONE:**

**$B$  = VETTORE INDUZIONE MAGNETICA**

**$H$  = VETTORE INTENSITÀ DEL CAMPO  
MAGNETICO**

**NEL VUOTO POSSIAMO PORRE:**

$$**$B = \mu_0 H$**$$

**LA COSTANTE  $\mu_0$  SI CHIAMA  
PERMEABILITÀ MAGNETICA DEL  
VUOTO E NEL SISTEMA DI  
MISURA SI ABBIAMO:**

$$\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} \text{ H/m}$$

**in pratica approssimato a:**

$$\mu_0 = 1,26 10^{-6} \text{ H/m}$$

**IN PRESENZA DI UN QUALUNQUE  
MATERIALE SI PUÒ PORRE:**

$$B = \mu_r \mu_0 H$$

**DOVE SI HA:**

**$\mu_r$  = PERMEABILITÀ RELATIVA DEL  
MATERIALE.**

**SI HA:**

**$\mu_r < 1$ , per materiali diamagnetici.**

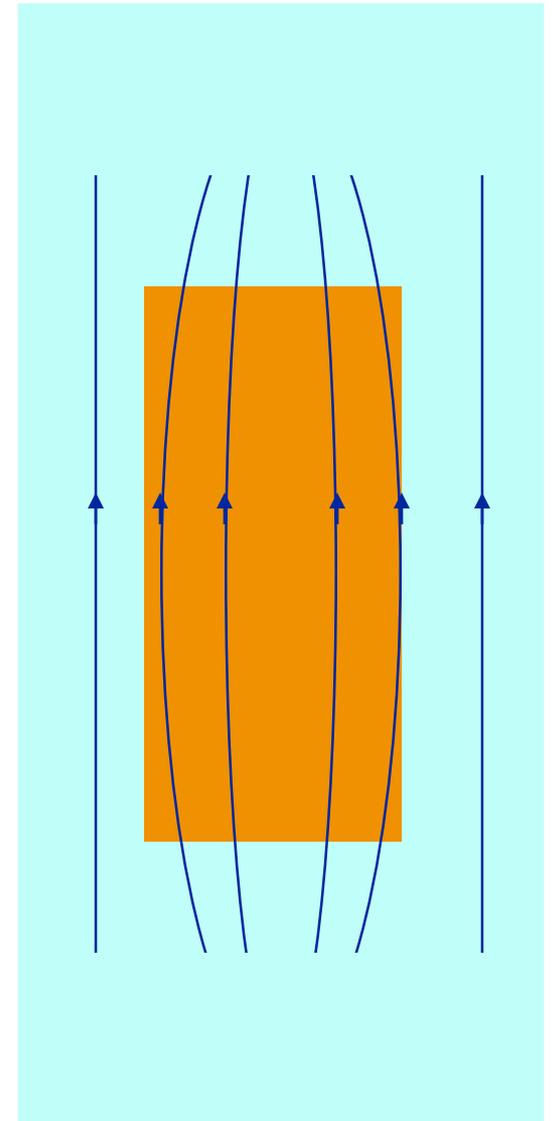
**$\mu_r > 1$ , per materiali paramagnetici.**

**$\mu_r \gg 1$ , per materiali ferromagnetici**

**TENENDO CONTO CHE, SALVO CHE PER  
I MATERIALI FERROMAGNETICI  $\mu_r$  È  
SEMPRE MOLTO PROSSIMA AD 1.**

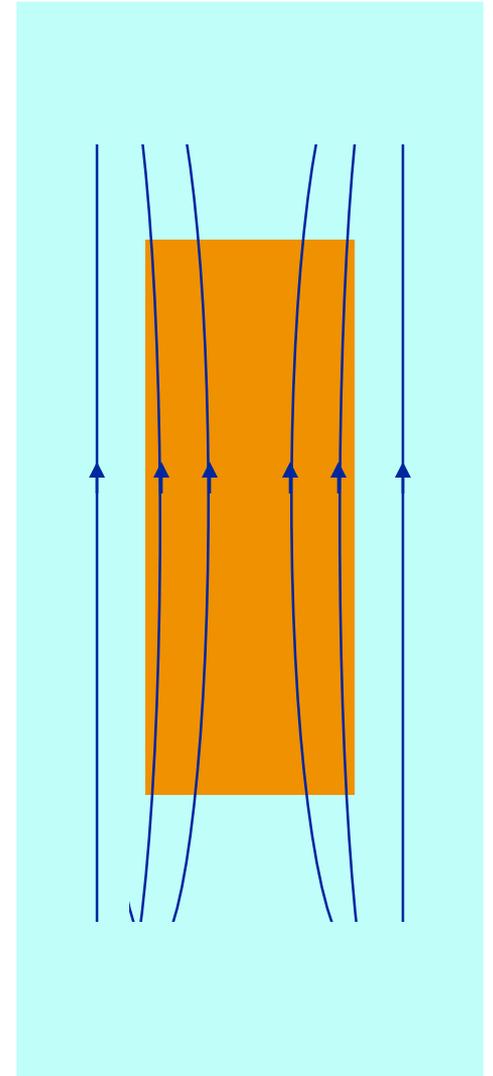
# MATERIALI DIAMAGNETICI

**IL CAMPO MAGNETICO VIENE INDEBOLITO ALL'INTERNO DEL MATERIALE. SONO DIAMAGNETICHE TUTTE LE SOSTANZE. L'EFFETTO È MOLTO DEBOLE ( $\mu_r$  circa 1,  $\chi$  circa  $10^{-6}$ ), È MASCHERATO DAL PARAMAGNETISMO E DAL FERROMAGNETISMO.**



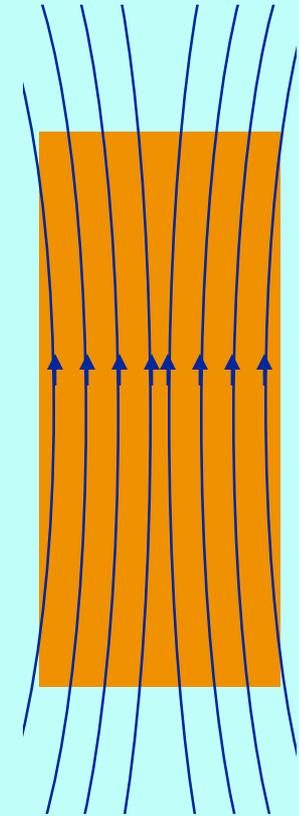
# MATERIALI PARAMAGNETICI

**IL CAMPO MAGNETICO VIENE RAFFORZATO ALL'INTERNO DEL MATERIALE. L'EFFETTO È PIUTTOSTO DEBOLE ( $\mu_r$  circa 1,  $\chi = 10^{-6} - 10^{-2}$ ) ANCHE SE TALE DA MASCHERARE IL COMPORTAMENTO DIAMAGNETICO.**



# MATERIALI FERROMAGNETICI

**SI HA UN EFFETTO  
SIMILE A QUELLO DEI  
MATERIALI  
PARAMAGNETICI MA  
MOLTO RAFFORZATO ( $\mu_r$   
dell'ordine di alcune  
migliaia o decine di  
migliaia).**



# MATERIALI CON DIVERSO COMPORAMENTO MAGNETICO

DIAMAGNETICI: bismuto, rame,  
argento, stagno, zinco.

PARAMAGNETICI: alluminio, calcio,  
ossigeno, platino.

FERROMAGNETICI: ferro, cobalto,  
nichel.

# PROPRIETÀ DEI MATERIALI FERROMAGNETICI

LE PROPRIETÀ DI INTERESSE APPLICATIVO SONO:

- a) L'INDUZIONE DI SATURAZIONE  $B$
- b) IL CAMPO DI SATURAZIONE  $H_s$
- c) LA PERMEABILITÀ MASSIMA  $\mu_{\max}$
- d) LA PERMEABILITÀ INIZIALE  $\mu_i$

DI PARTICOLARE INTERESSE PER I MAGNETI PERMANENTI:

- a) L'INDUZIONE RESIDUA  $B_r$
- b) LA FORZA COERCITIVA  $H_c$

**NEI MATERIALI FERROMAGNETICI  
SONO PRESENTI DIPOLI PERMANENTI  
RIGIDAMENTE PARALLELI.**

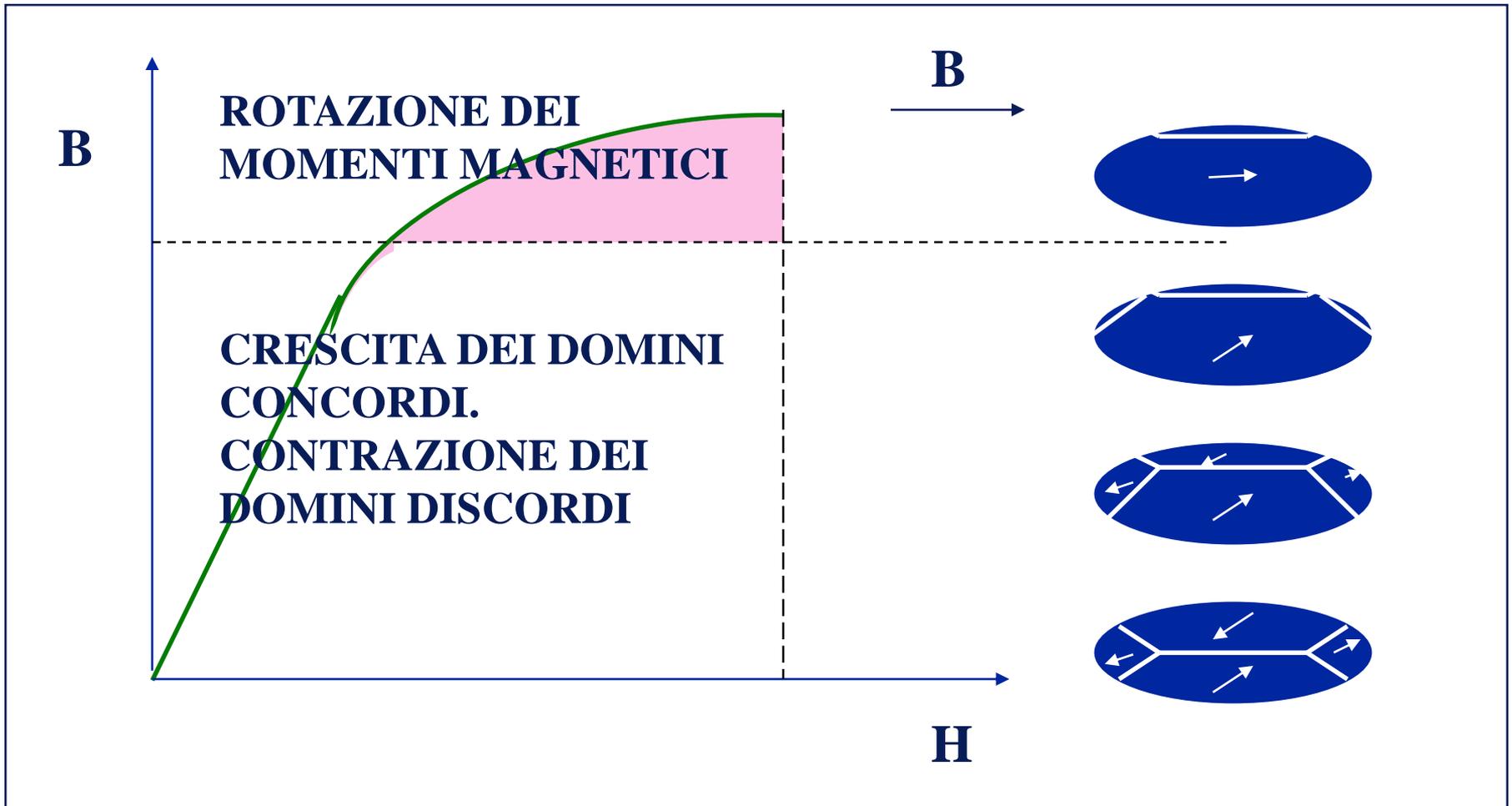
**TALE SITUAZIONE PERMANE AL  
DISOTTO DELLA TEMPERATURA DI  
CURIE (768 °C PER IL FERRO).**

**AL DISOPRA DELLA TEMPERATURA DI  
CURIE I MATERIALI FERROMAGNETICI  
DIVENTANO PARAMAGNETICI.**

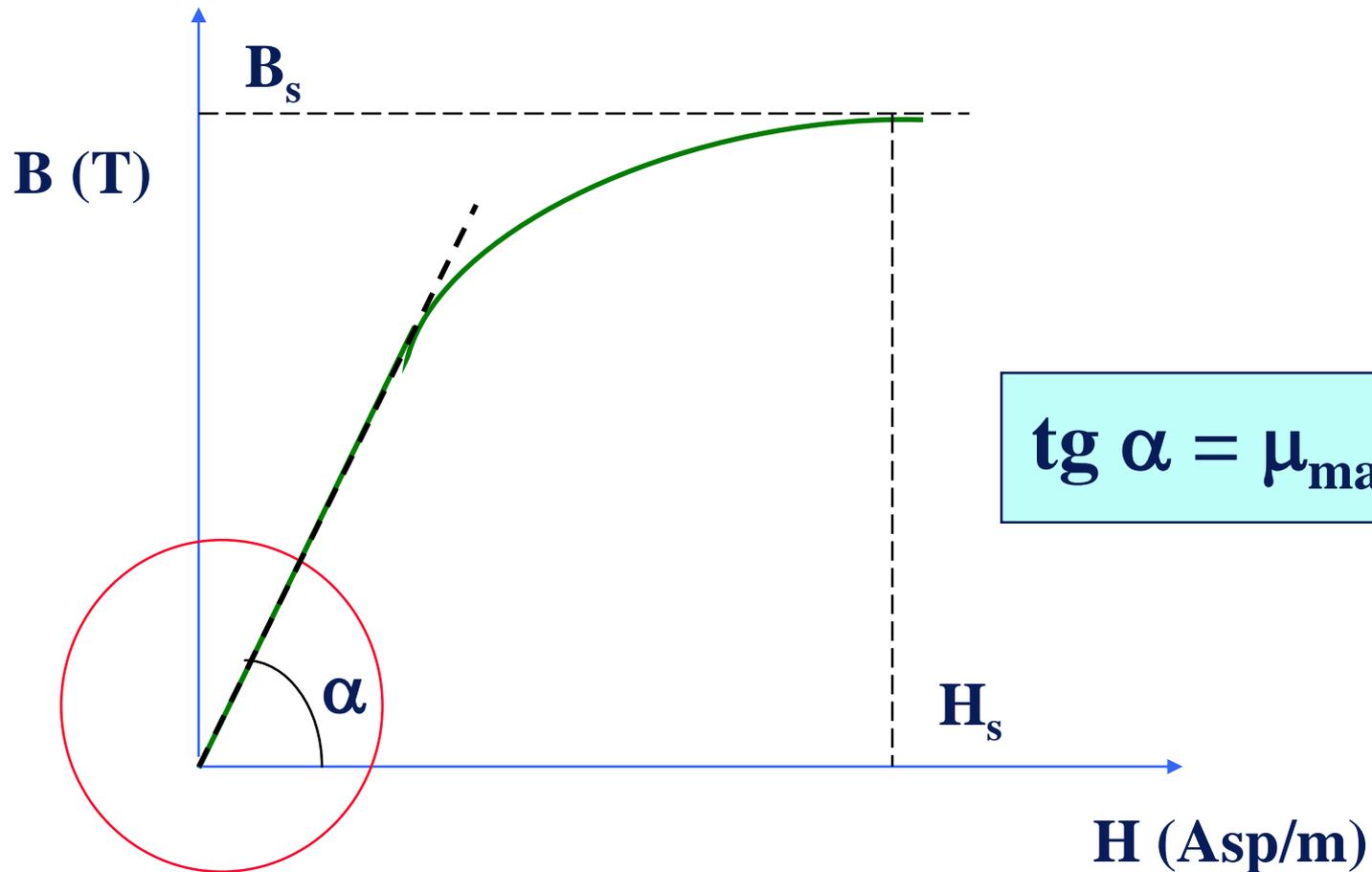
**I DIPOLI PERMANENTI SONO RAGGRUPPATI IN DOMINI (DI WEISS) I CUI MOMENTI MAGNETICI NON SONO CONCORDI FRA LORO PER VALORI NULLI O MOLTO BASSI DI  $B$ .**

**SE  $B$  CRESCE AUMENTANO LE DIMENSIONI DEI DOMINI CONCORDI CON IL CAMPO E SI HA ROTAZIONE RIGIDA DI ALTRI DOMINI.**

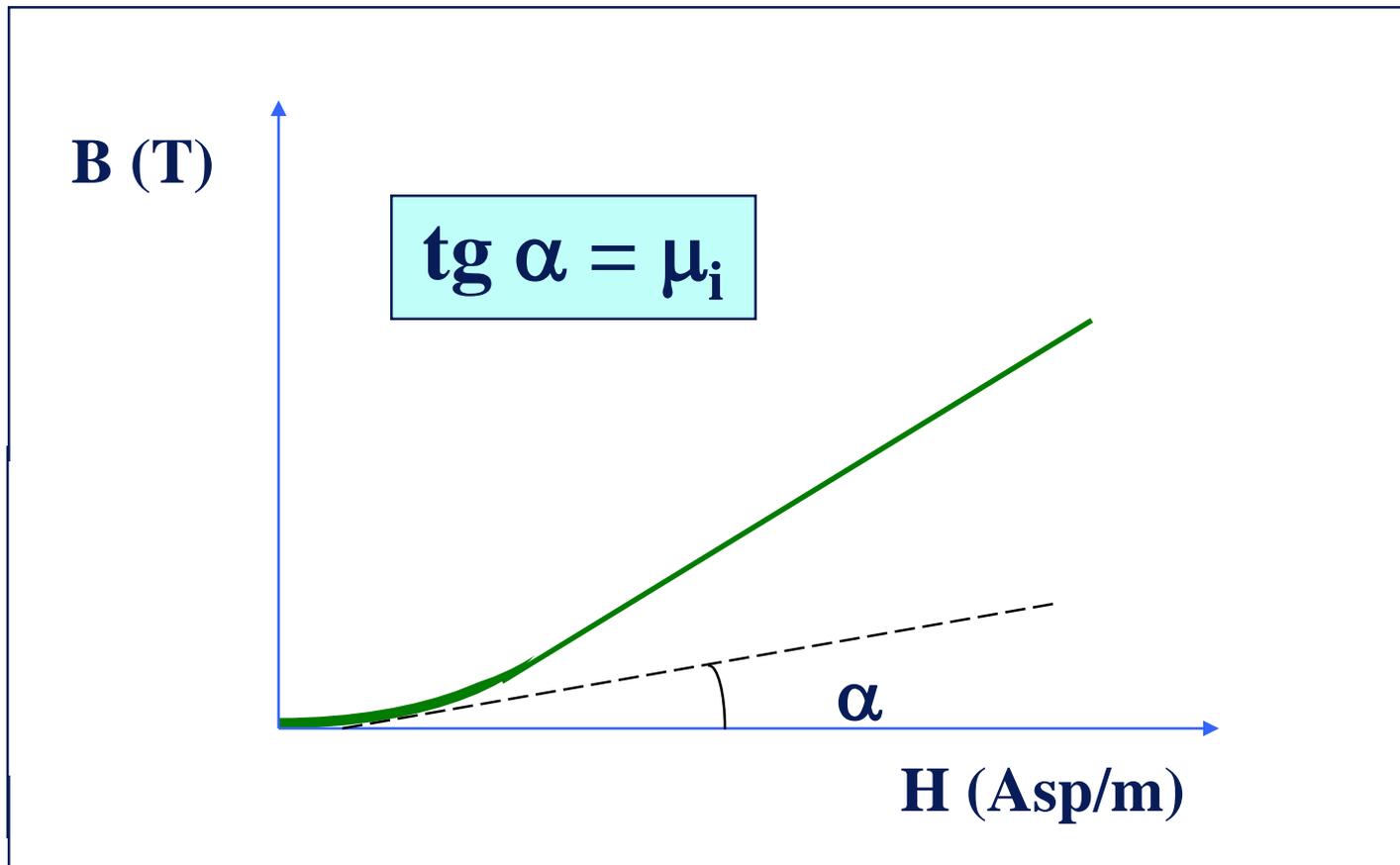
# Fenomeno di magnetizzazione



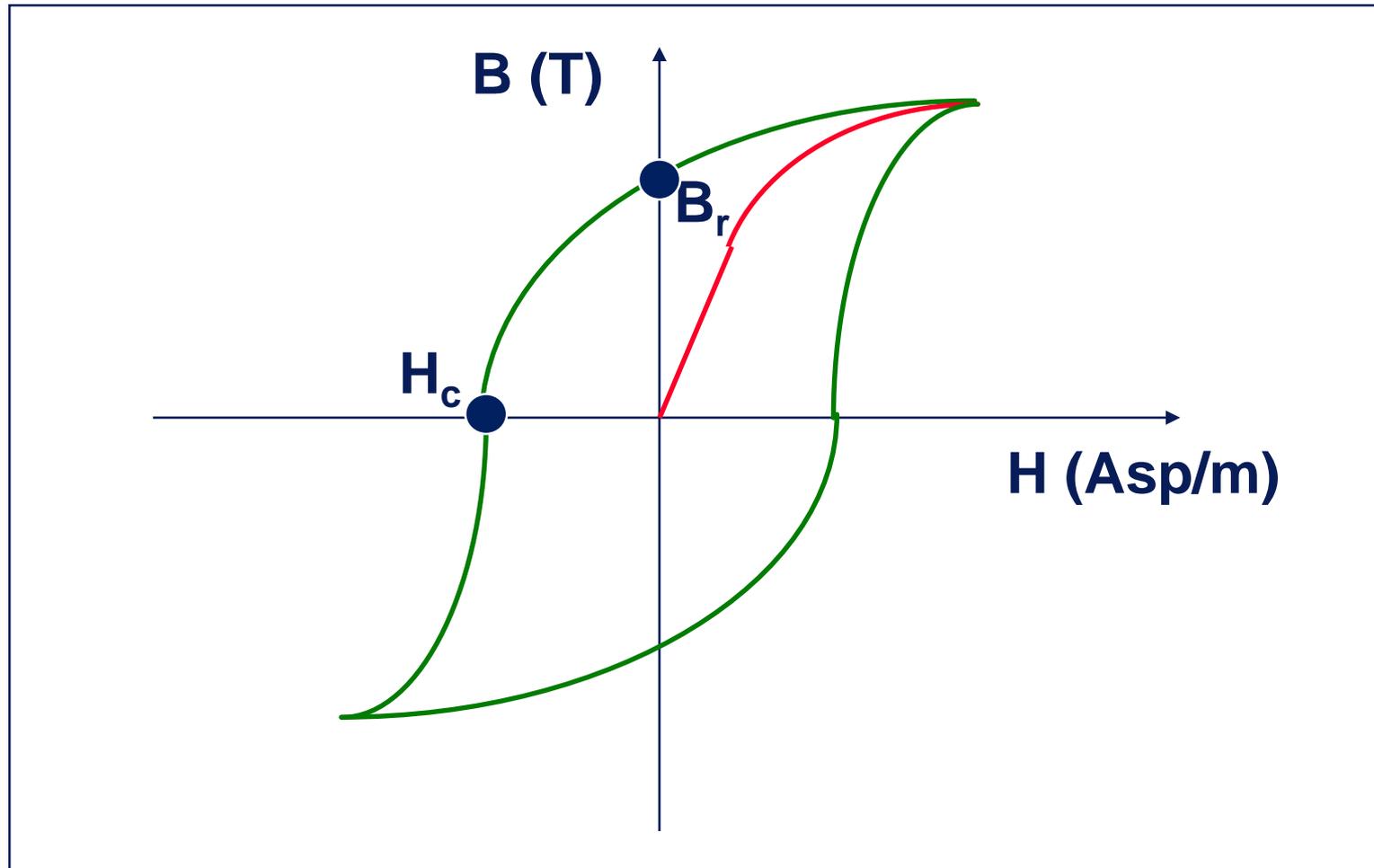
# CURVA DI PRIMA MAGNETIZZAZIONE DI UN MATERIALE FERROMAGNETICO



# TRATTO INIZIALE DELLA CURVA DI PRIMA MAGNETIZZAZIONE



# CICLO DI ISTERESI DI UN MATERIALE FERROMAGNETICO



# ELEMENTI FERROMAGNETICI

**GLI ELEMENTI**

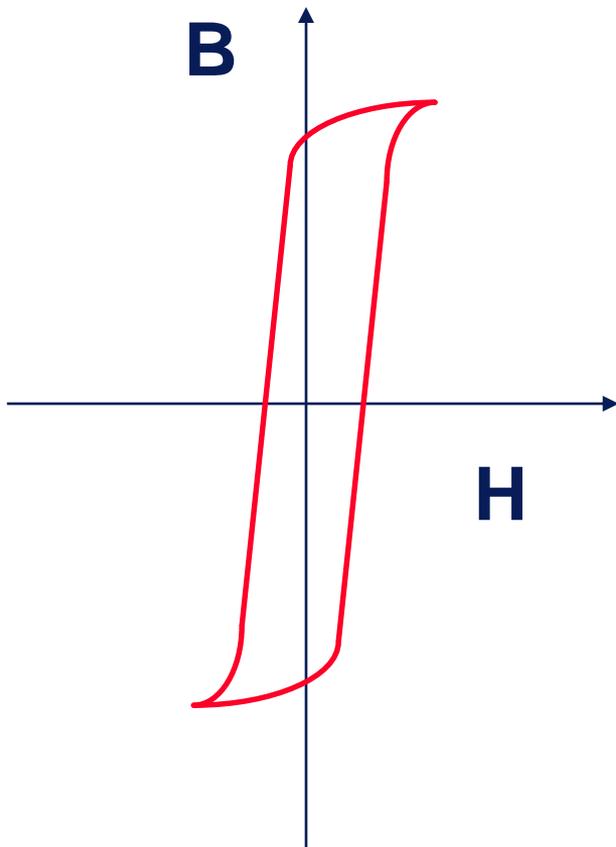
**FERROMAGNETICI SONO:**

**FERRO**

**COBALTO**

**NICKEL**

# MATERIALI FERROMAGNETICI DOLCI



SONO CARATTERIZZATI  
DA:

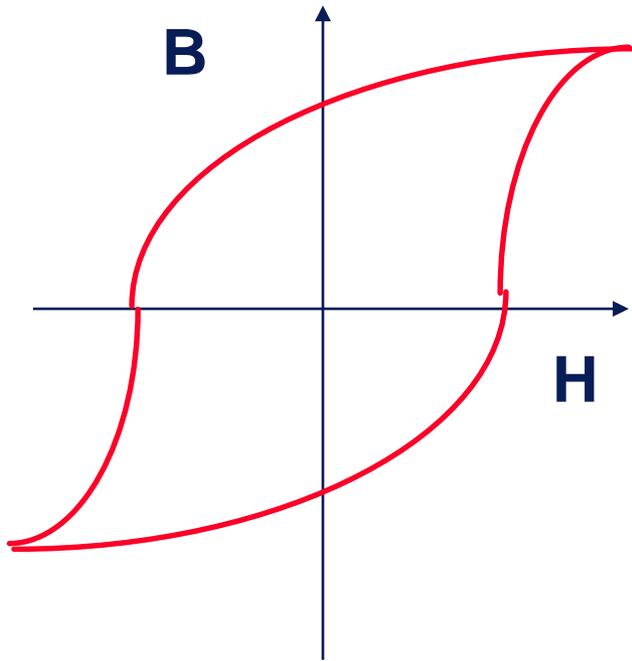
ELEVATA  $\mu_{max}$

ELEVATA  $B_r$

BASSO  $H_c$

PICCOLA AREA DEL CICLO

# MATERIALI FERROMAGNETICI DURI



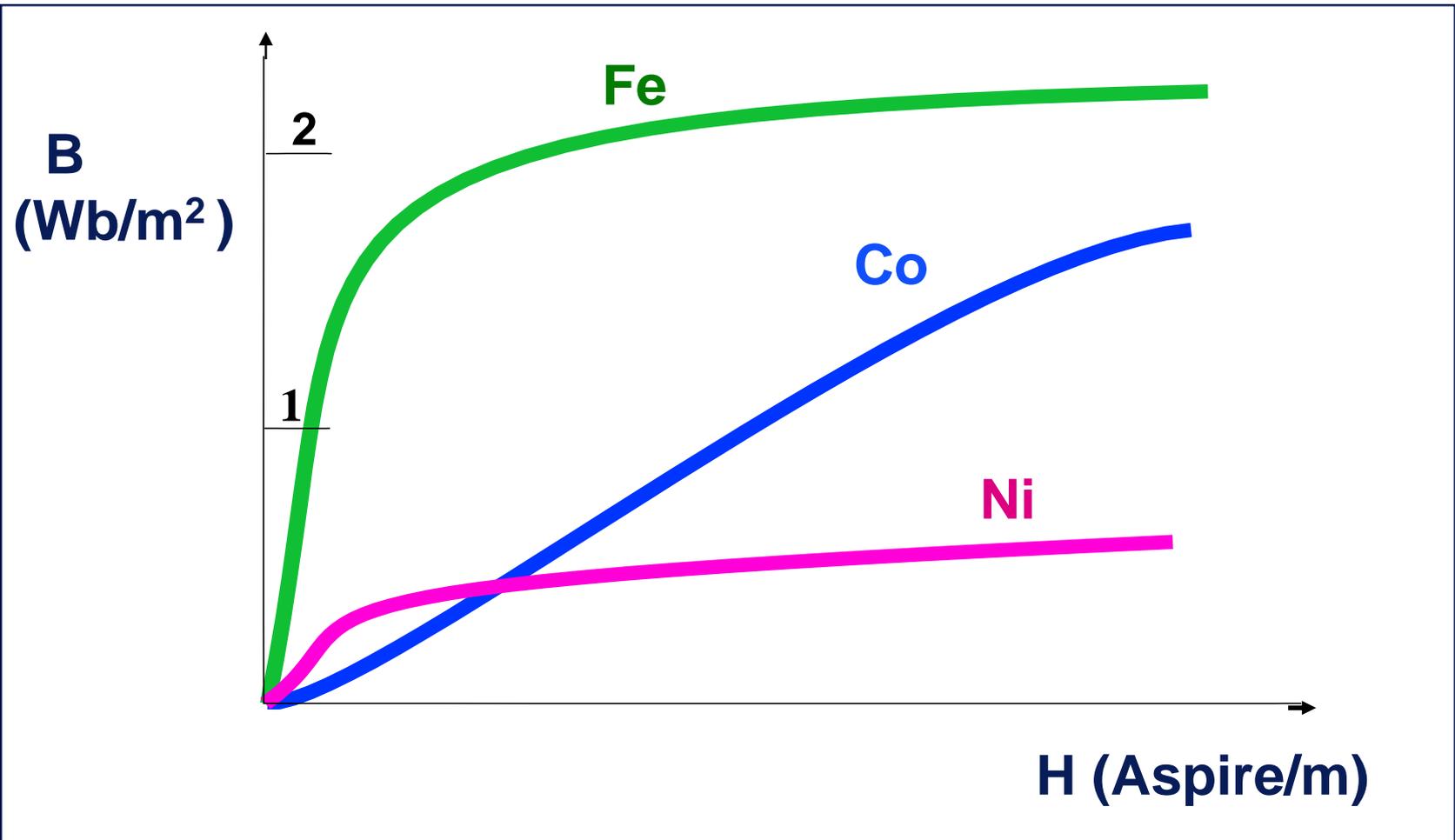
**SONO CARATTERIZZATI  
DA:**

**BASSA  $\mu_{\max}$**

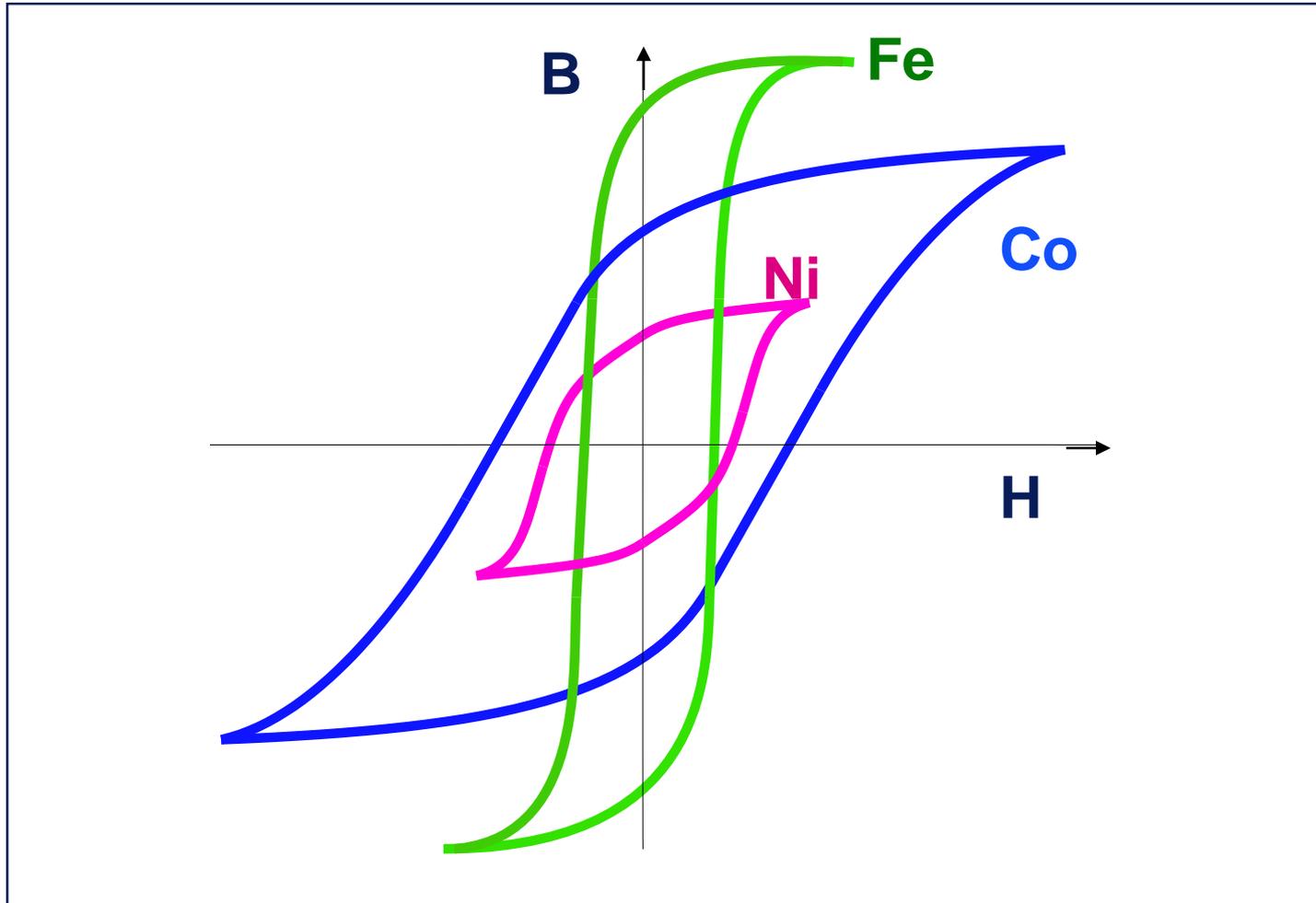
**ELEVATA  $H_c$**

**GRANDE AREA DEL CICLO**

# CURVE DI PRIMA MAGNETIZZAZIONE DI FERRO, NICHEL, COBALTO.



# CICLI DI ISTERESI DI FERRO, NICHEL, COBALTO.



**PER I NUCLEI MASSICCI SI USANO:**

**FERRO LAVORATO**

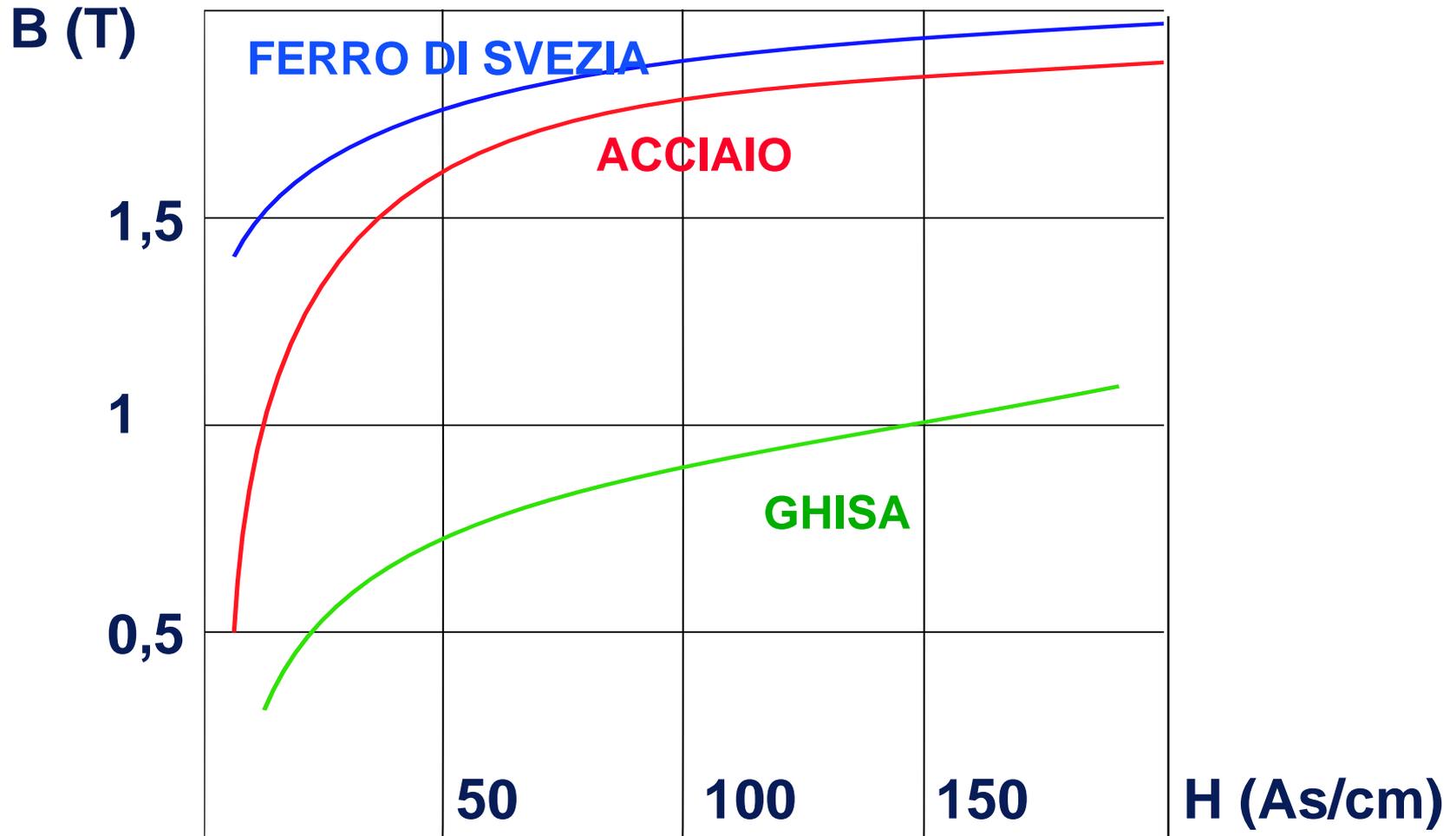
**ACCIAIO AL CARBONIO (0,1 - 1% C):**

- FUSO**
- FUCINATO**
- IN LAMIERE SPESSO**

**GHISA (2 - 4,6% C):**

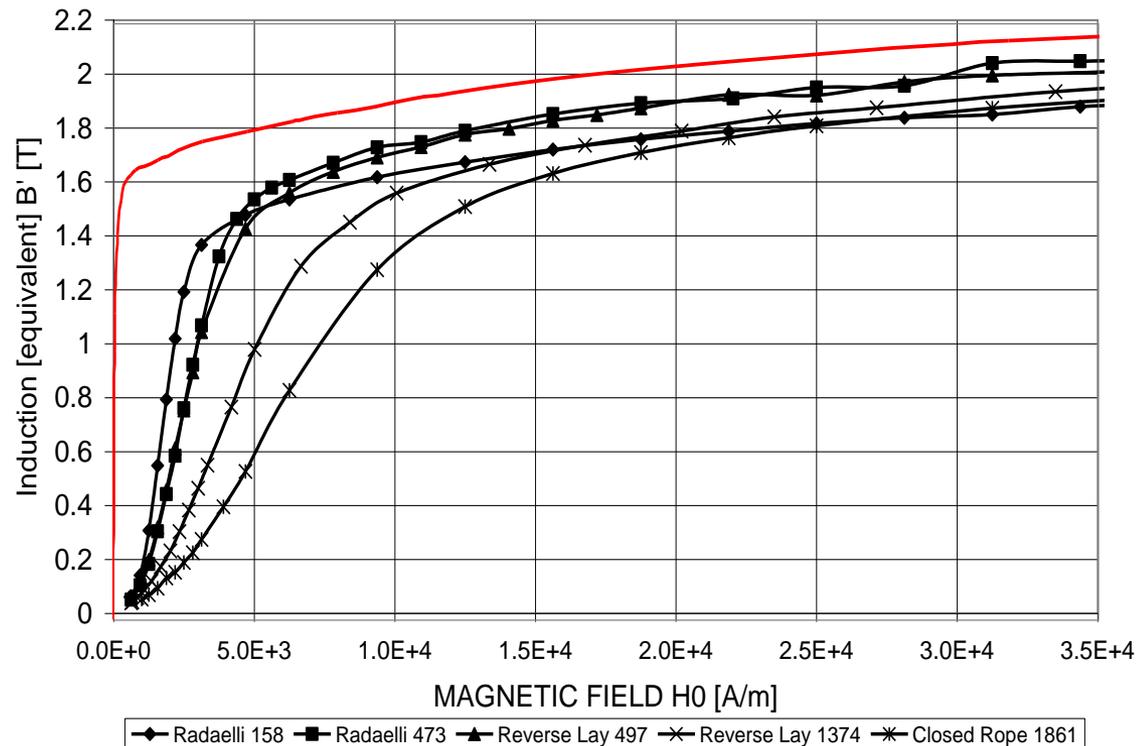
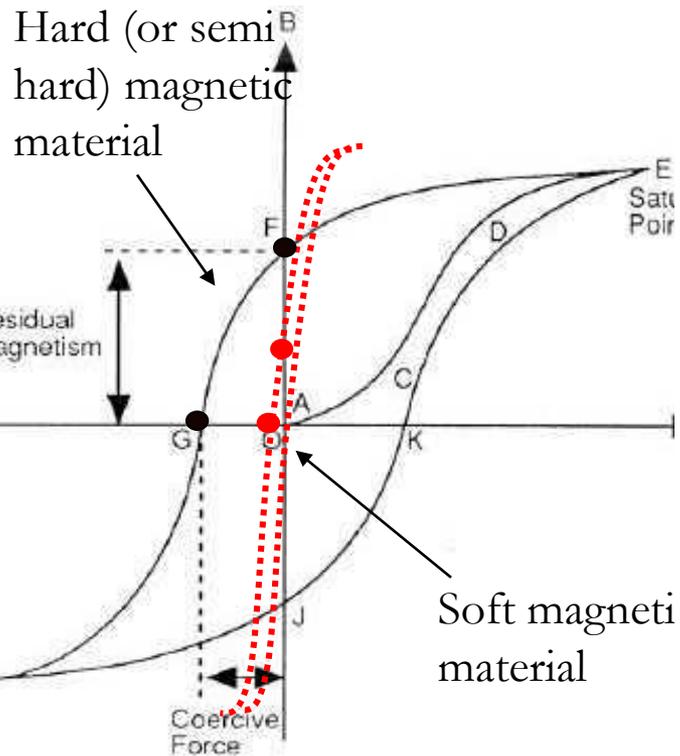
- GRIGIA**
- MALLEABILE**
- DUTTILE**

# CURVE DI MAGNETIZZAZIONE DI FERRO, ACCIAIO E GHISA



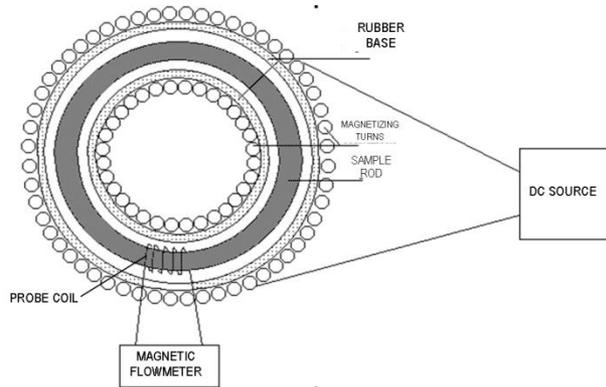
# Magnetic rope characterisation

- The M-I test is significantly influenced by the magnetic behaviour of the metallic rope
- The magnetic behaviour of a metallic rope depends from its magnetic characteristic (B-H plane) and its hysteresis loops

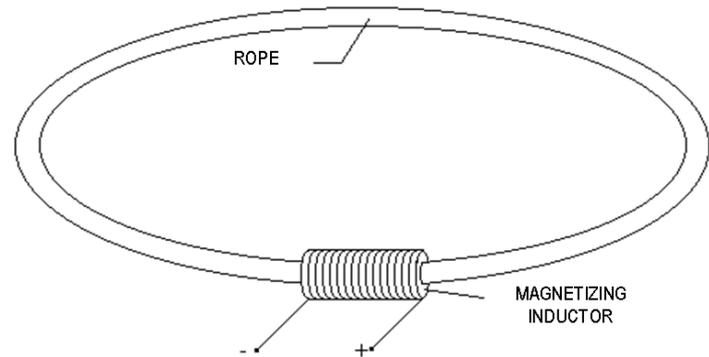


# Magnetic rope characterisation

- The measurement of the B-H characteristic of a magnetic material has been obtained as interpolation of the vertexes of several symmetric hysteresis cycles. The measurement has been done establishing a magnetic field H, with a controlled magnitude and direction, in the region where the magnetic material is placed.



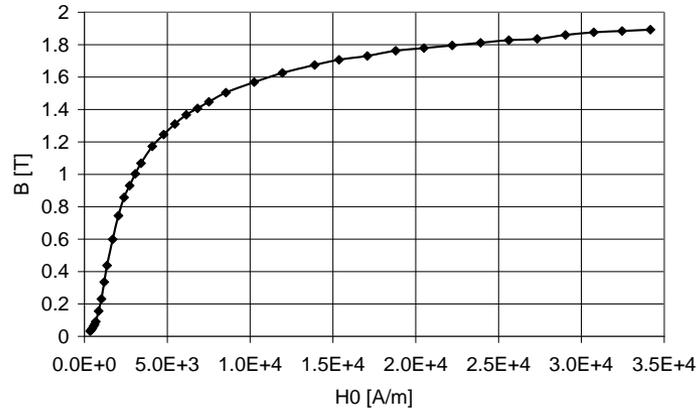
- The wire rod has been bended and welded at the edges, the total length of the ring was 60 cm.
- The toroidal inductor has been built by winding 2050 turns around a rubber tube.



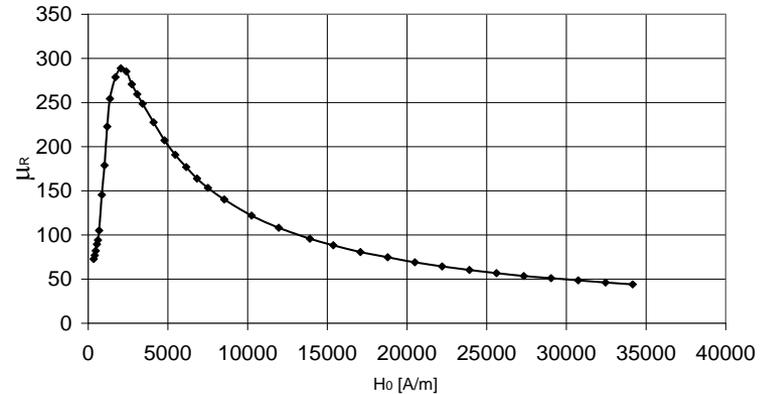
- The magnetizing inductor is made by 4 separate coils, 1000 turns, 16 cm length each with a diameter of 6 cm (ratio between the length and the diameter is around 10).
- The field magnitude in the centre of the system is about equal to 6250 turns/meter, when the inductor is empty.

# Magnetic rope characterisation

B-H characteristic



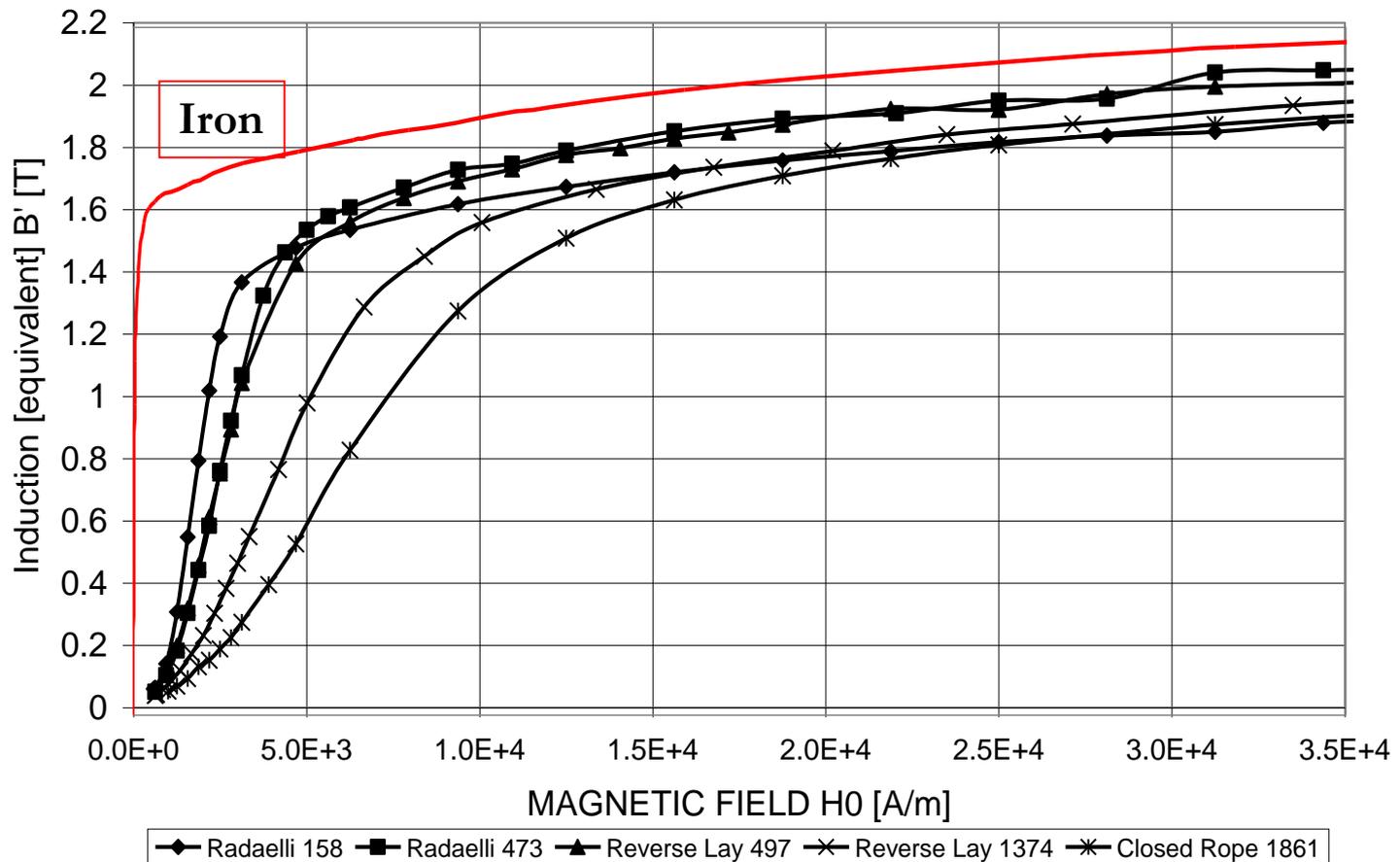
Relative permeability of the sample wire rod



Rope Name	<i>Redaelli</i> 158 mm <sup>2</sup>	<i>Redaelli</i> 473 mm <sup>2</sup>	<i>Ercole</i> [Reverse Lay] 497 mm <sup>2</sup>	<i>Ercole</i> [Reverse Lay] 1374 mm <sup>2</sup>	<i>Chiusa</i> 1861 mm <sup>2</sup>
<b>Rope Type</b>	stranded, core yarn, Seale type	stranded, core yarn,, Warrington-Seale type	metallic core, reverse lay, external stranded	metallic core, reverse lay, external stranded	rifle, double external layer with Z-formed wires
<b>Diameter [mm]</b>	20	34	31	52	53
<b>Construction</b>	6(9+9+1)+PPC	6(12+6/6+1) +PPC	12(6+1)+24 +18+ 12+6+1	12(6+1)+30 +24+18+12+6+1	1+6+12+18 +24+30+32 +37
<b>Number of wires</b>	114	186	145	175	160
<b>Lay</b>	Z/Z	Z/Z	-	Z/S	Z
<b>Metallic cross section [mm<sup>2</sup>]</b>	158	473	497	1374.3	1861

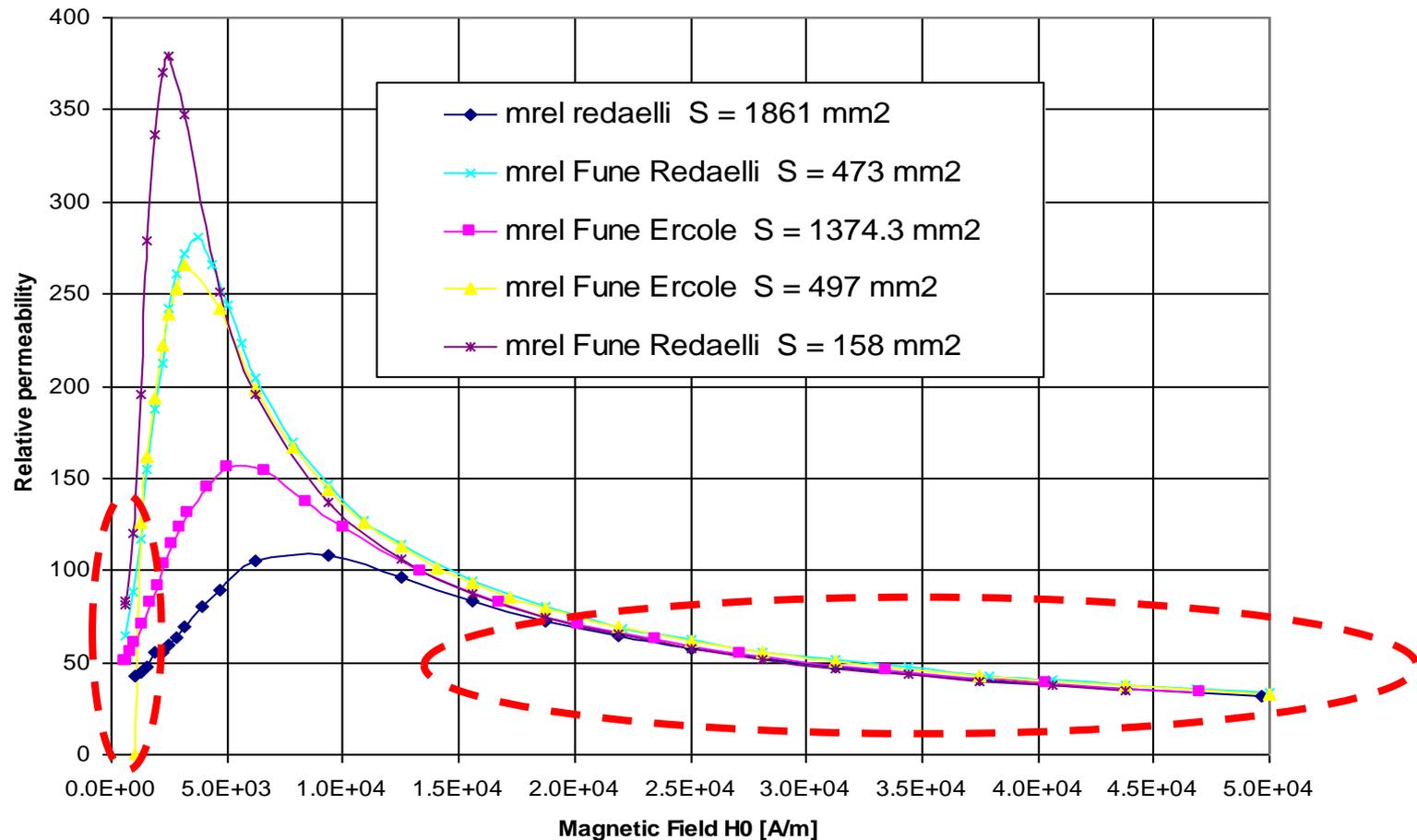
# Magnetic rope characterisation

- *The magnetic behaviour of the metallic rope is far from a “soft material”*



# Magnetic rope characterisation

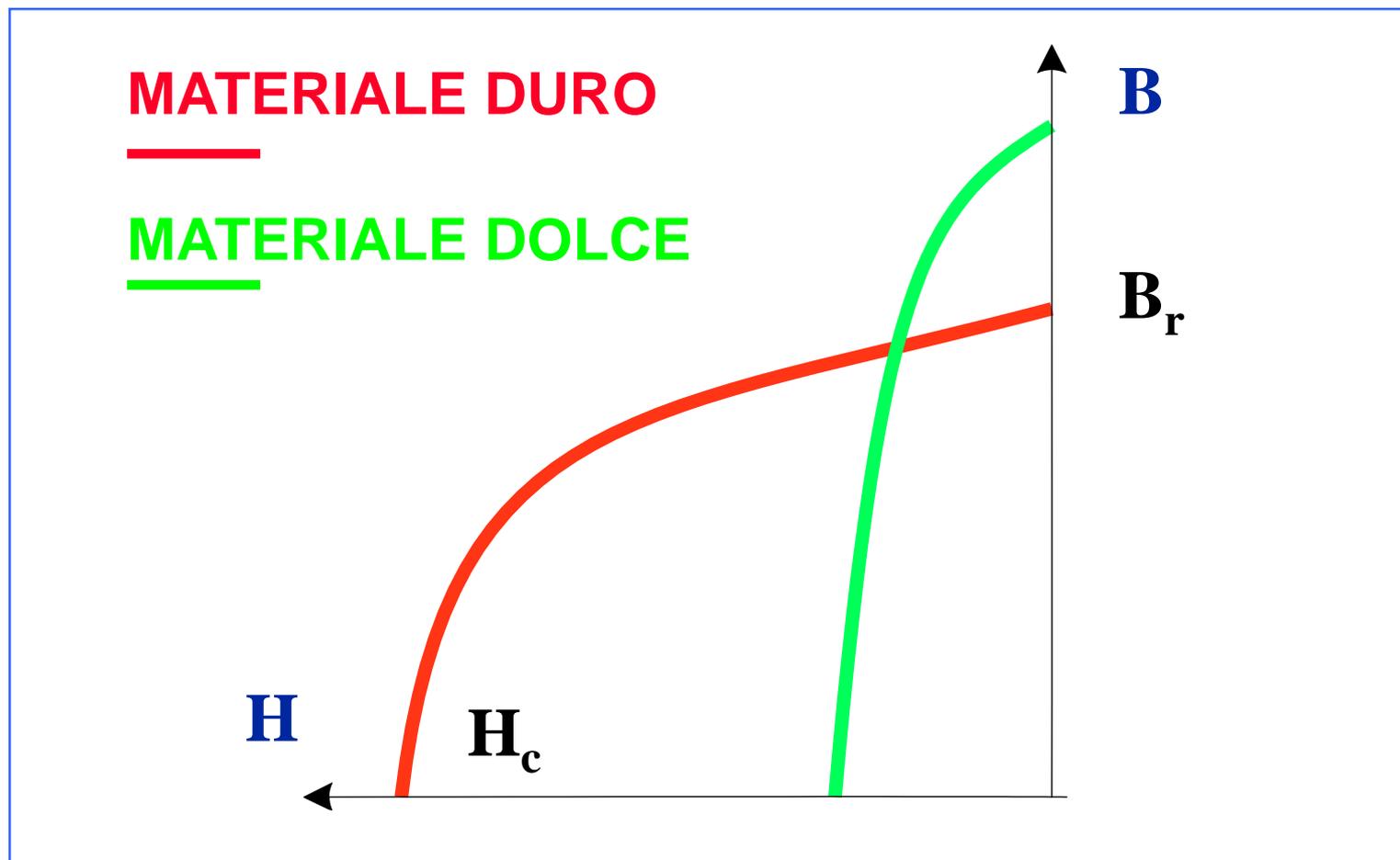
- For the LF signal a low permeability is required



# MAGNETI PERMANENTI

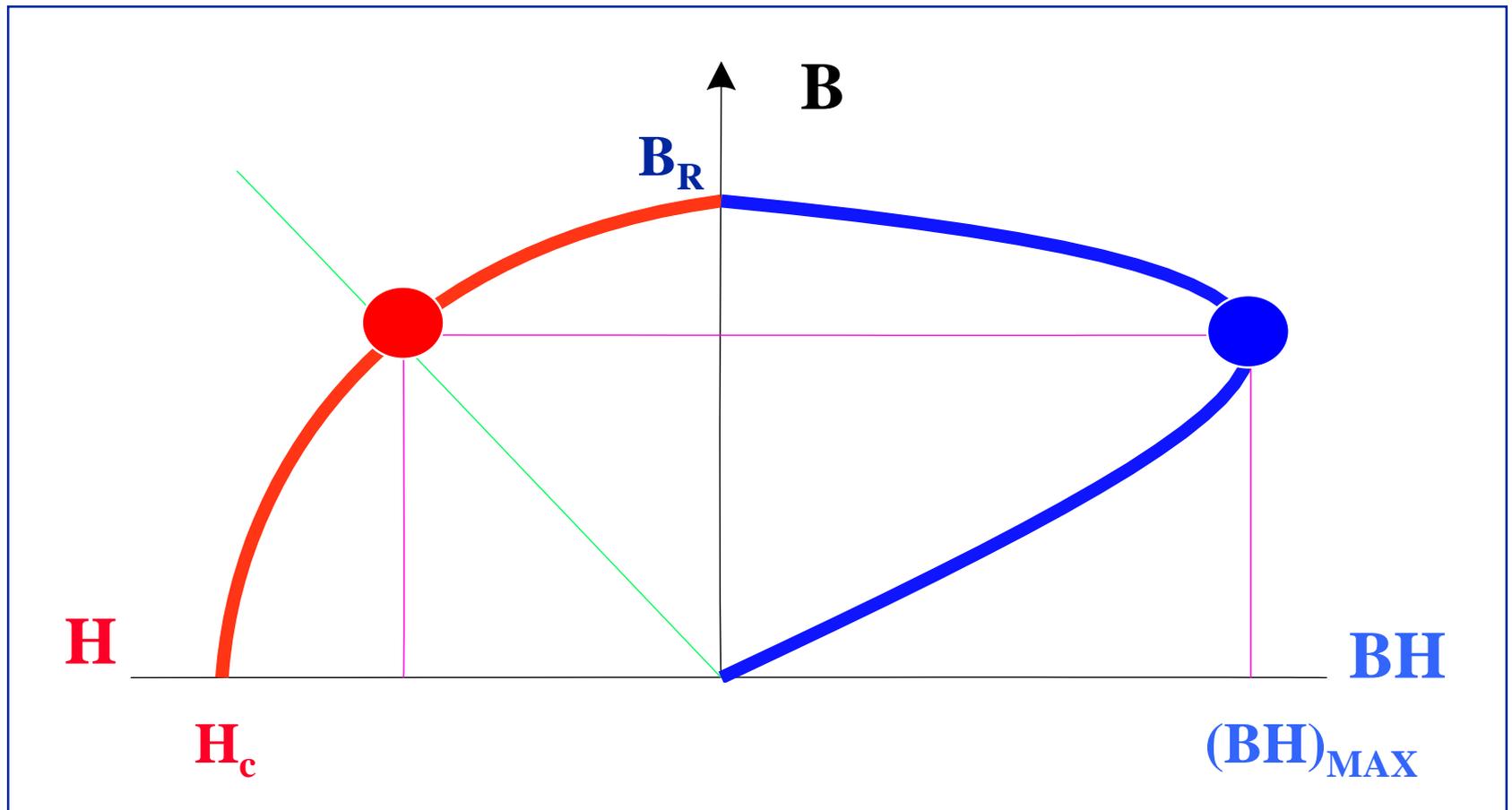
PER COSTRUIRE MAGNETI PERMANENTI È NECESSARIO IMPIEGARE MATERIALI FERROMAGNETICI DURI. E IMPORTANTE INFATTI DISPORRE DI FORZA COERCITIVA  $H_c$  ED INDUZIONE RESIDUA  $B_r$  ELEVATE.

# PARTE DEL CICLO DI ISTERESI INTERESSANTE I MAGNETI PERMANENTI



# PUNTO DI LAVORO E PRODOTTO DI ENERGIA

$$W = 1/2 V_M B_M H_M$$



# **MATERIALI PER MAGNETI** **PERMANENTI**

**I MATERIALI PER MAGNETI  
PERMANENTI POSSONO ESSERE  
OTTENUTI CON LE SEGUENTI  
TECNOLOGIE:**

- a) PER COLATA**
- b) PER SINTERIZZAZIONE**
- c) MATERIALI OTTENUTI DA POLVERI  
FINISSIME**

# **MATERIALI OTTENUTI PER COLATA**

**PER AVERE  $H_c$  ELEVATO BISOGNA OSTACOLARE IL LIBERO MOVIMENTO DEI DOMINI AD ES. CON TRATTAMENTO DI TEMPRA. SONO DISPONIBILI I SEGUENTI MATERIALI:**

- a) ACCIAI MARTENSITICI.**
- b) LEGHE ALNI E ALNICO.**

# CARATTERISTICHE DI MATERIALI PER MAGNETI PERMANENTI OTTENUTI PER COLATA

<b>MATERIALE</b>	<b><math>H_c</math> (As/m)</b>	<b><math>B_s</math> (T)</b>	<b><math>(BH)_{MAX}</math></b>
<b>ACCIAIO 1% C</b>	4.000	0,90	2.000
<b>ACCIAIO AL W</b>	12.000	0,95	5.000
<b>ACCIAIO AL Co</b>	20.000	0,95	7.500
<b>ALNI</b>	42.000	0,58	10.000
<b>ALNICO 2</b>	44.000	0,70	16.000

# MATERIALI OTTENUTI PER SINTERIZZAZIONE

**SONO ANCORA I MATERIALI TIPO ALNI ED  
ALNICO CHE, PER DIMINUIRE I COSTI,  
POSSONO ESSERE OTTENUTI CON  
PROCESSI DI SINTERIZZAZIONE  
PARTENDO DAL MATERIALE IN POLVERE.  
SI HA UN LEGGERO DECADIMENTO  
DELLE CARATTERISTICHE.**

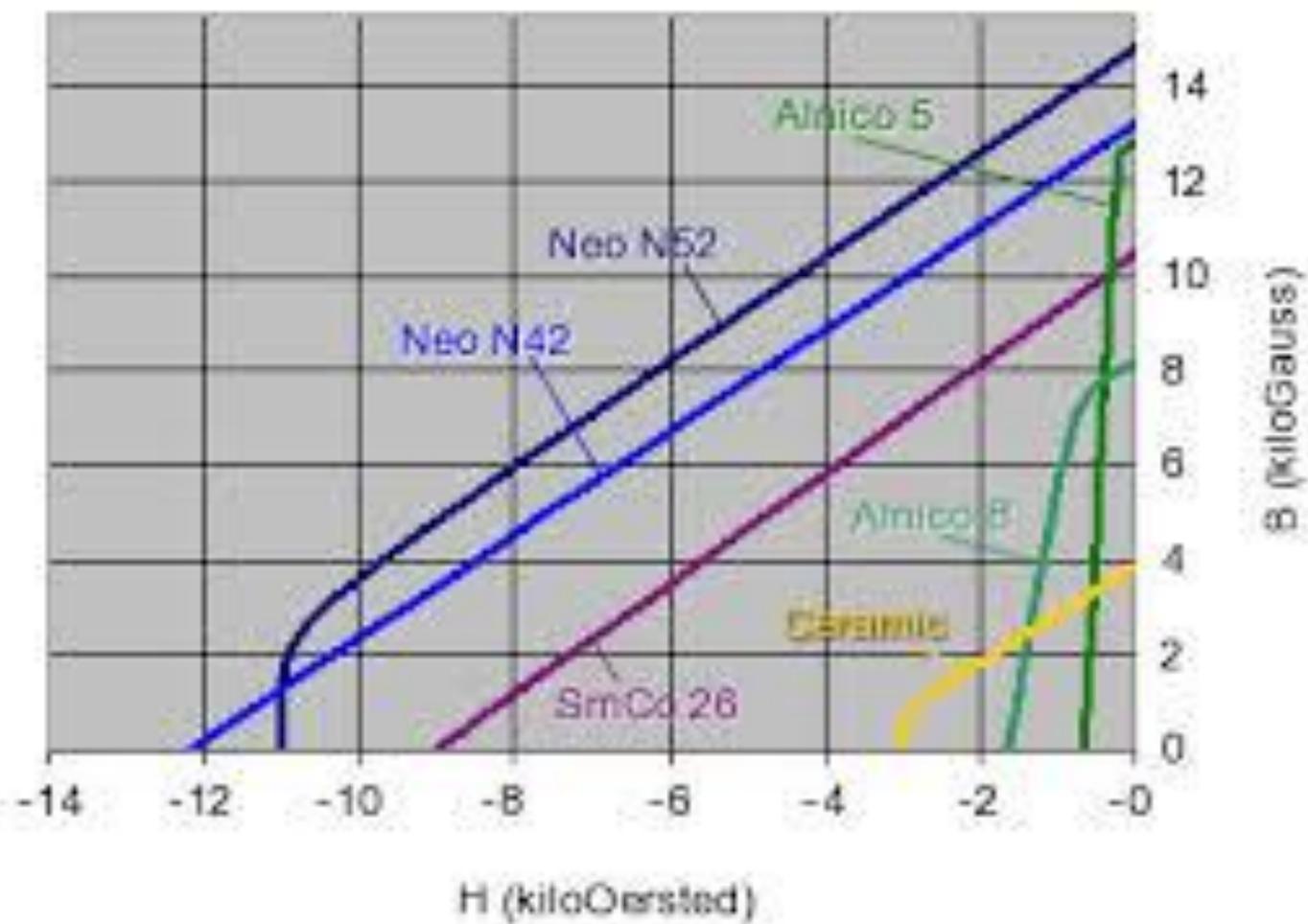
**SI USANO ANCHE CON OTTIMI  
RISULTATI LEGHE SINTERIZZATE DI  
FERRO CON ALTRI ELEMENTI E DI  
COBALTO CON TERRE RARE:**

**a) LEGA AL SAMARIO - COBALTO  
( $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ )**

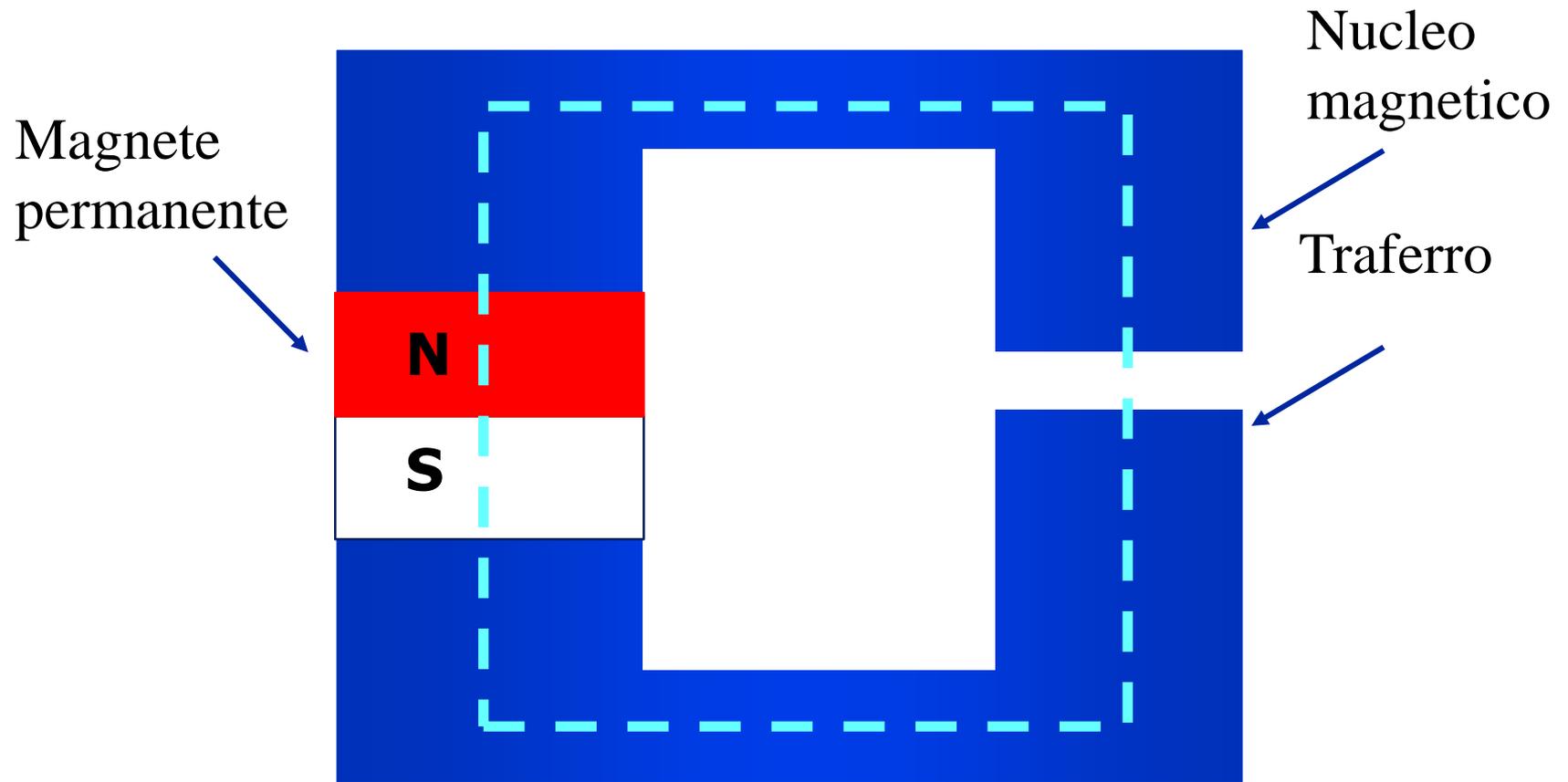
**b) LEGA DI FERRO, NEODIMIO E BORO**

# CARATTERISTICHE DI MATERIALI SINTERIZZATI

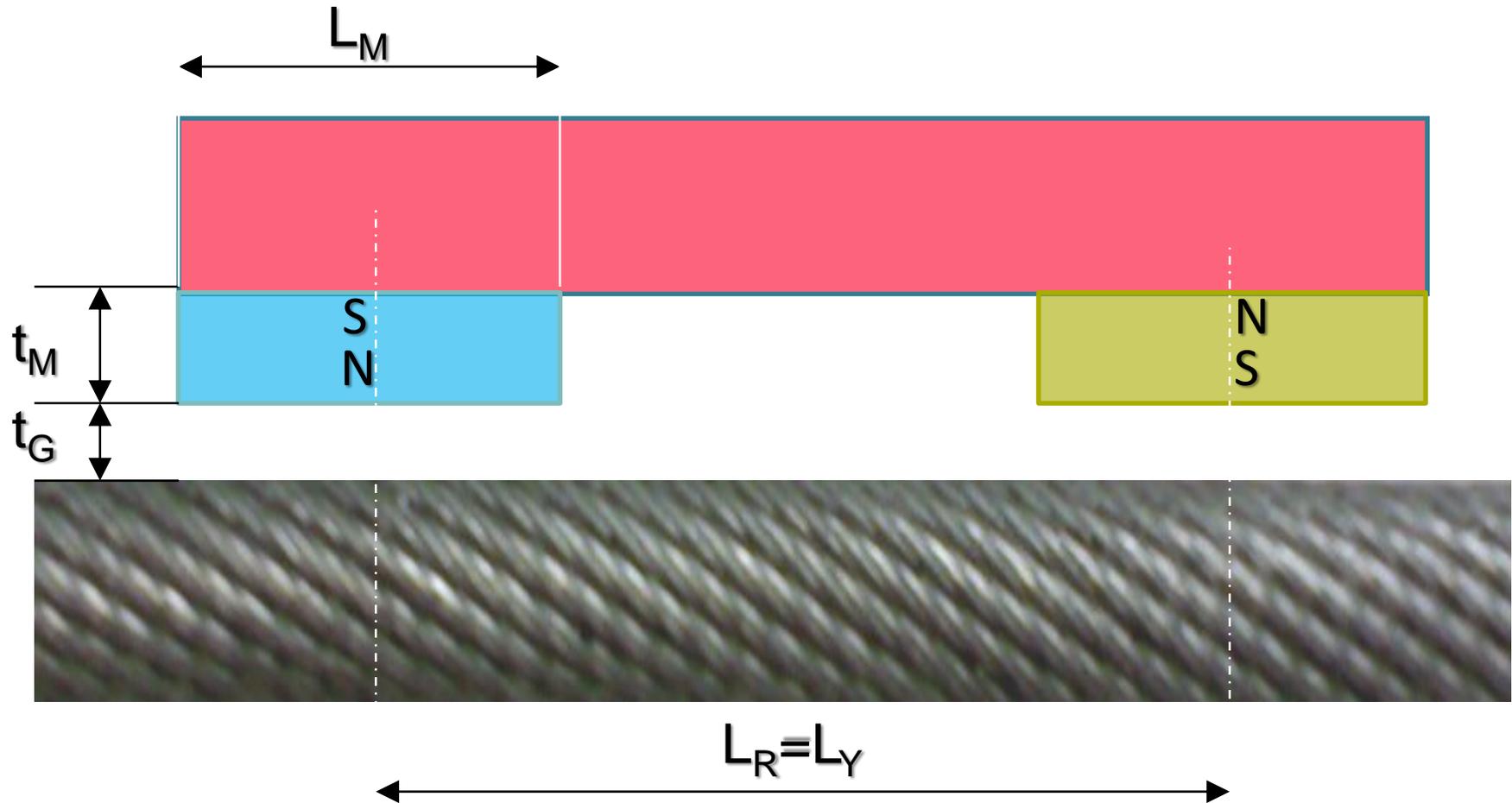
<b>MATERIALE</b>	<b><math>H_c</math> (As/m)</b>	<b><math>B_s</math> (T)</b>	<b><math>(BH)_{MAX}</math></b>
<b>ALNI</b>	40.000	0,58	8.800
<b>ALNICO 2</b>	42.000	0,70	13.500
<b>ALNICO 5 M dir</b>	48.000	1,2	36.000
<b>ALNICO 5 xx or</b>	65.000	1,35	68.000
<b><math>Sm_2 Co_{17}</math></b>	750.000	1,06	230.000
<b>Nd Fe B</b>	840.000	1.12	260.000



# CIRCUITO MAGNETICO DI UN MAGNETE CON TRAFERRO



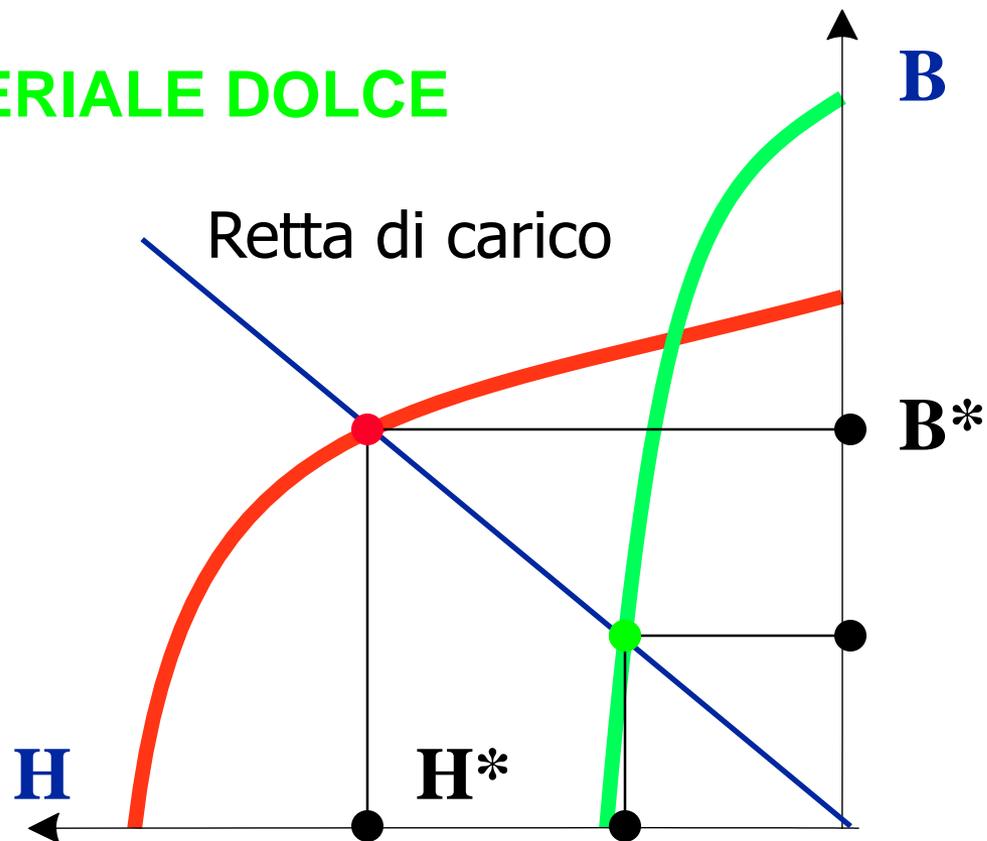
# Circuito magnetico di un detector: vista laterale



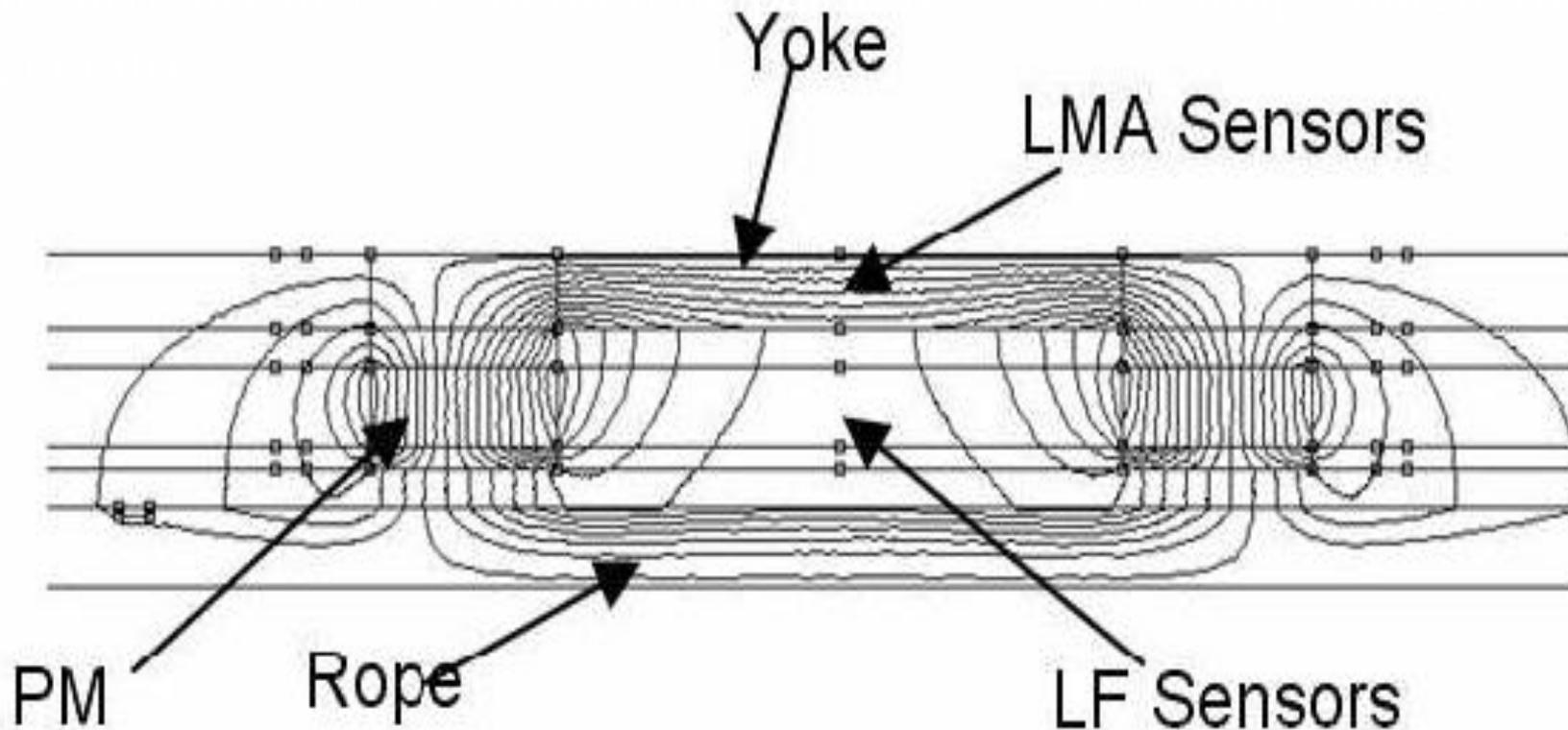
# DETERMINAZIONE DEL PUNTO DI LAVORO DI UN MAGNETE PERMANENTE

**MATERIALE DURO**

**MATERIALE DOLCE**

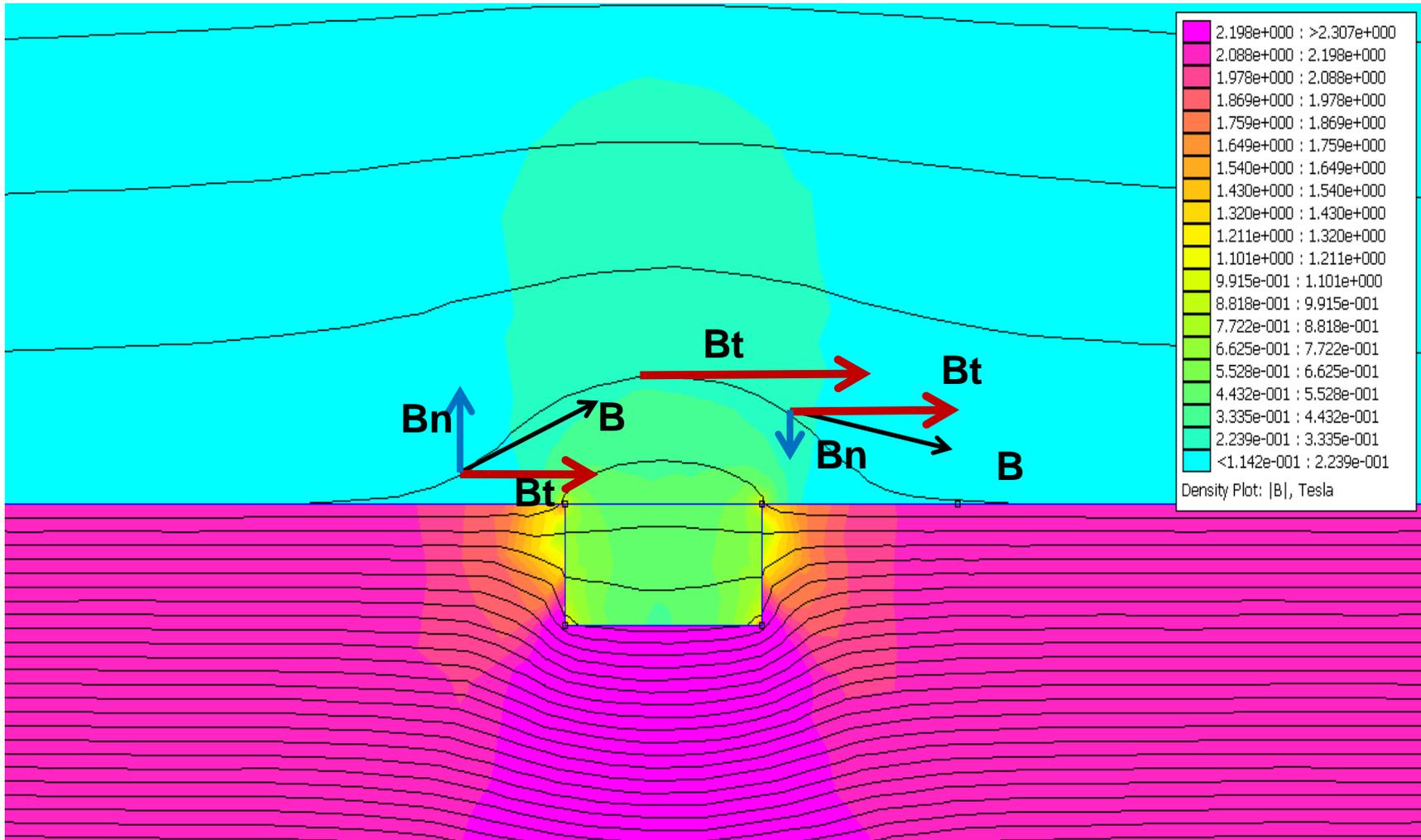


# Dispersion del campo magnetico



***Ora abbiamo tutti i concetti  
per riprendere il controllo  
magneto induttivo***

# Segnale LF (Localised Fault) o LD (Local Discontinuity)

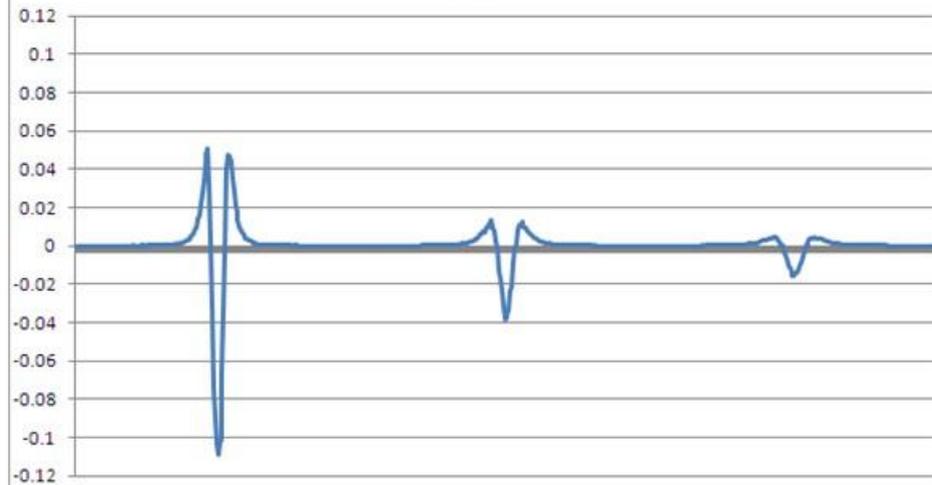


# Segnale LF (Localised Fault) o LD (Local Discontinuity)

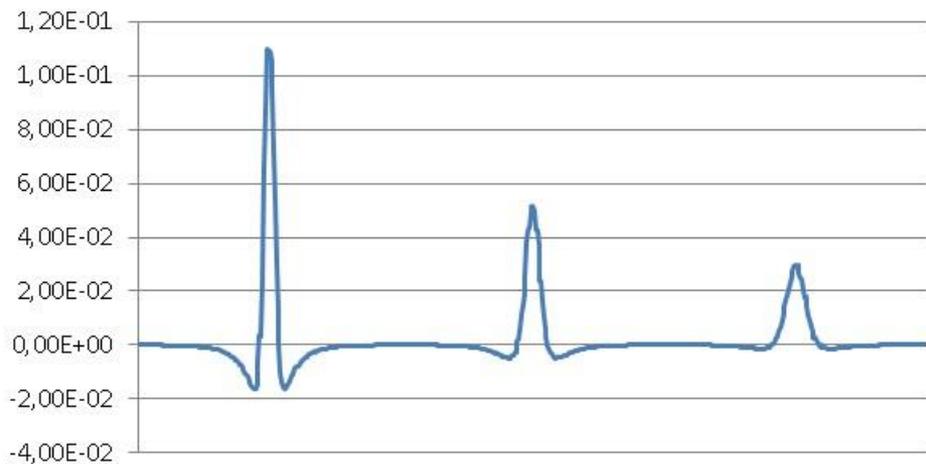
**Bn**



**LF\_Bn**



**Bt**

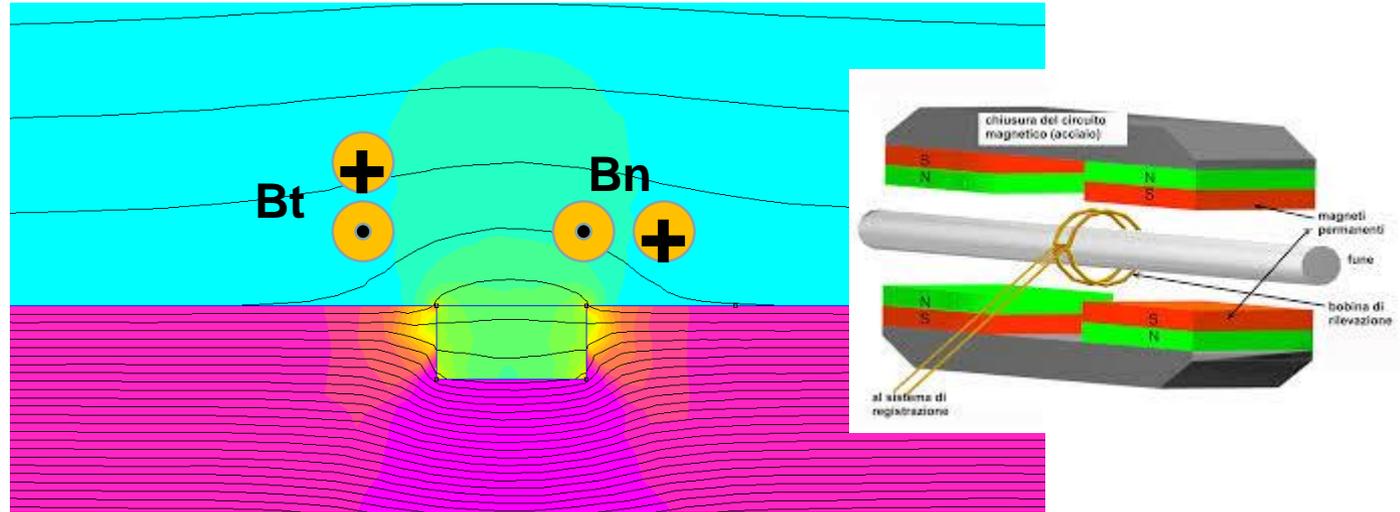


**LF\_Bt**

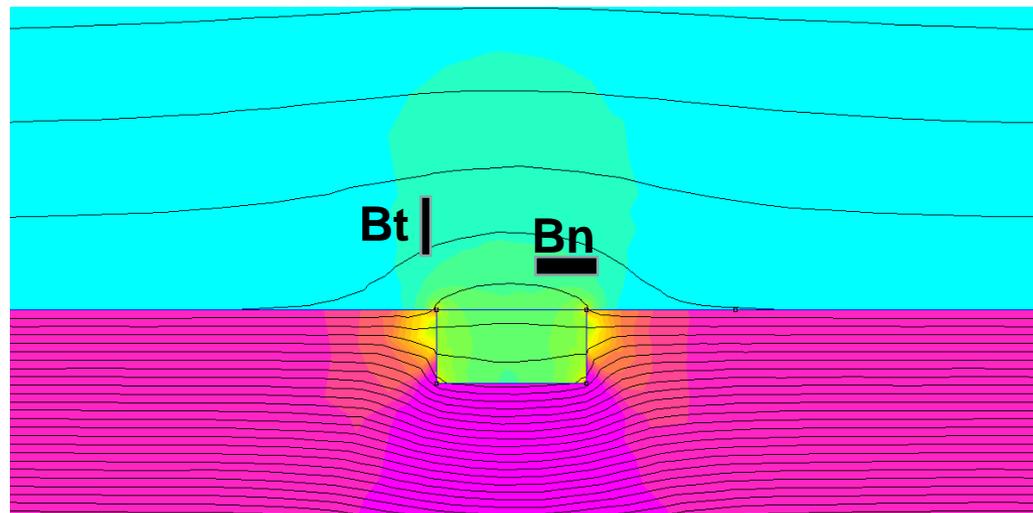


# Misura della componente $B_n$ o $B_t$

Bobine

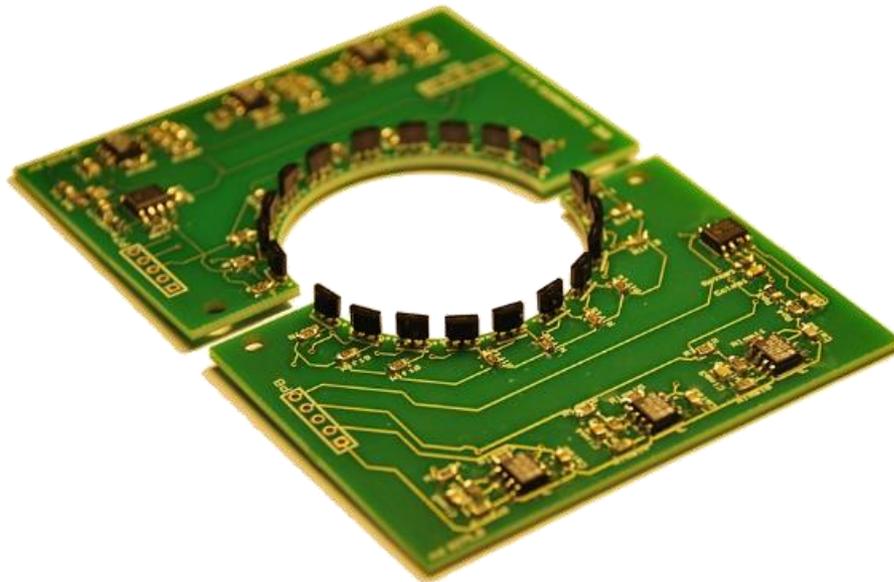


Hall

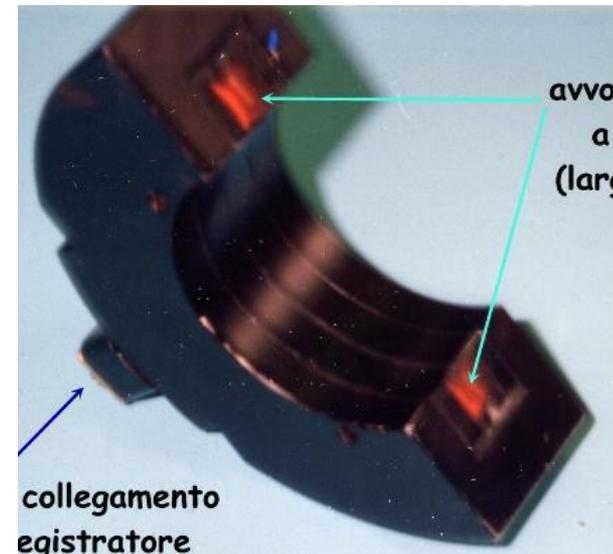


# Esempio di sensori LF (o LD) reali

Corona di sensori ad effetto Hall per la misura della componente normale (o radiale)



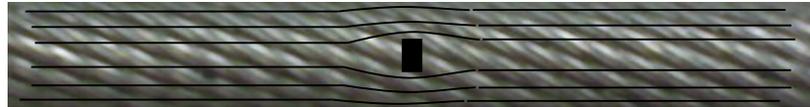
Bobina per la misura della componente normale (o radiale)



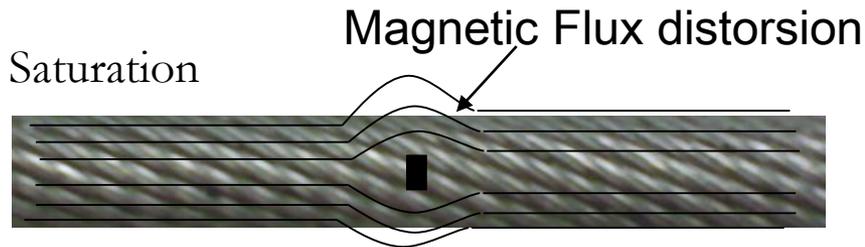
# Segnale LF (Localised Fault) o LD (Local Discontinuity)

- Il difetto della fune provoca una variazione locale del flusso magnetico
- Il flusso magnetico disperso locale ha due componenti: assiale e radiale
- La saturazione magnetica è necessaria per evitare effetti di shunt della parte di fune sana nei casi di difetti interni

No saturation



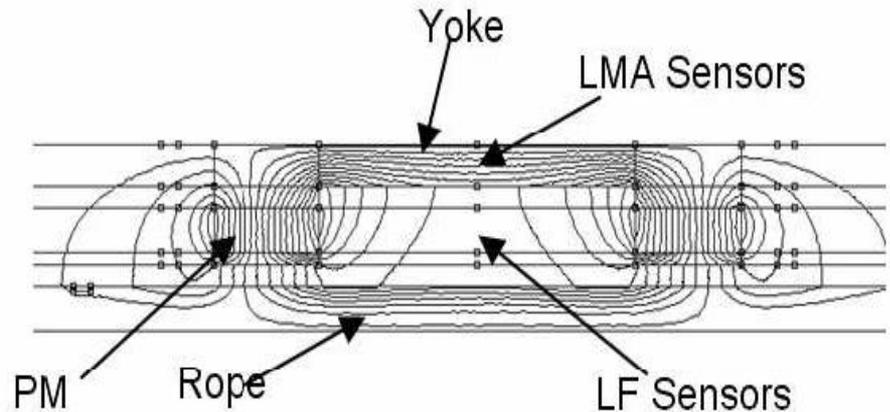
Saturation



- ☺ Elevata sensibilità ai difetti localizzati
- ☺ Elevata indipendenza dai campi magnetici esterni
- ☹ Sensibilità che può variare se il difetto è esterno o interno
- ☹ Evidente sensibilità al variare della distanza tra fune e sensori
- ☹ Indicazione più qualitativa che quantitativa

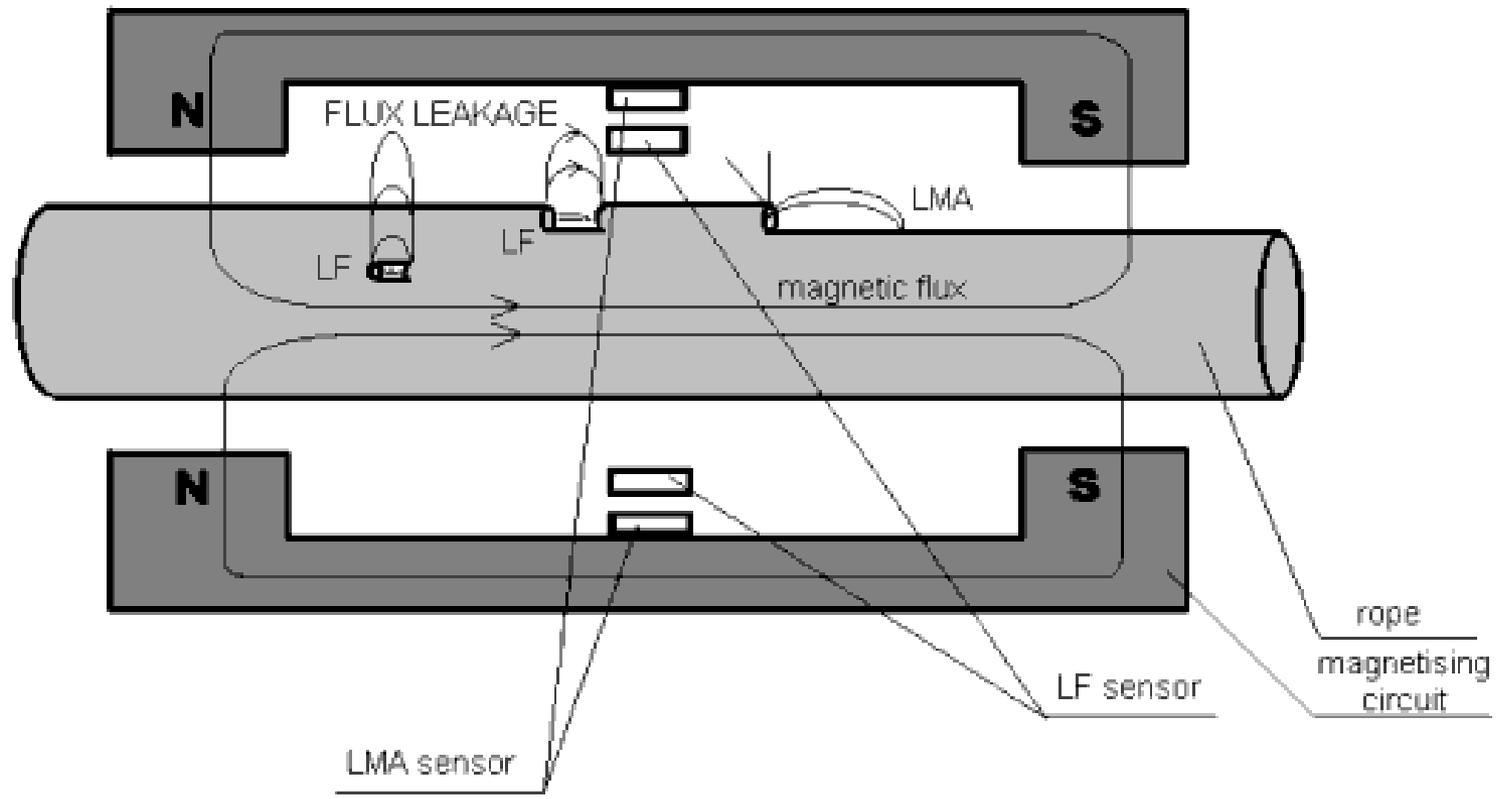
# Segnale LMA

- Il difetto nella fune determina una variazione del volume mancante. Se è nota la lunghezza del difetto è possibile risalire all'area
- Il flusso magnetico principale è proporzionale all'area mancante

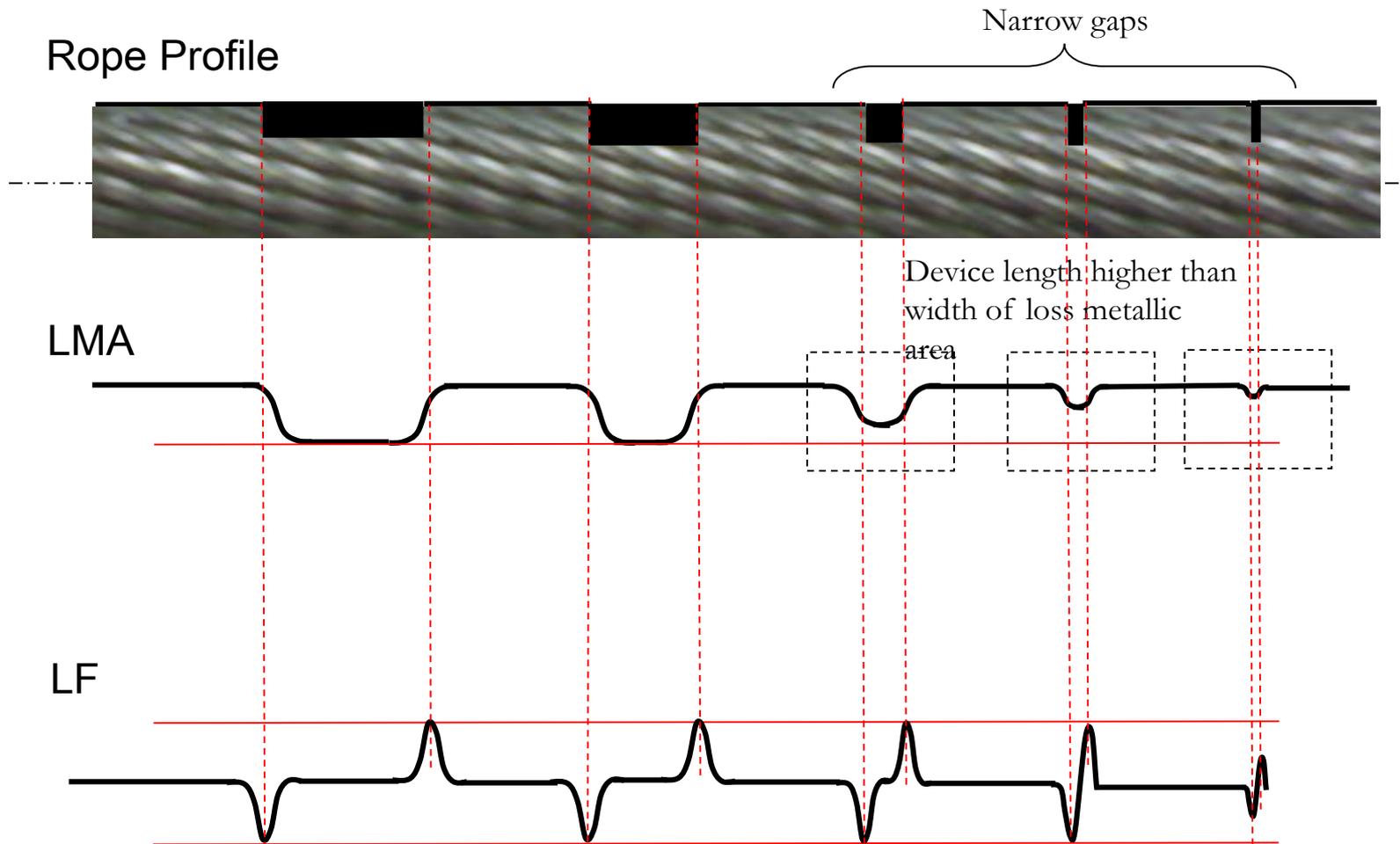


- ☺ Indipendenza dalla posizione dei fili rotti
- ☺ Informazione quantitativa
- ☺ Possibilità di utilizzare strumenti molto “aperti”
- ☺ Adatto per rilevare difetti distribuiti ovvero che variano gradualmente (es. Corrosione, abrasione, etc)
- ☹ Ridotta sensibilità ai fili rotti vicini (narrow gap)
- ☹ Elevata dipendenza dai flussi magnetici dispersi (effetti ai bordi)
- ☹ Sensibili ai disturbi esterni

# LF ed LMA



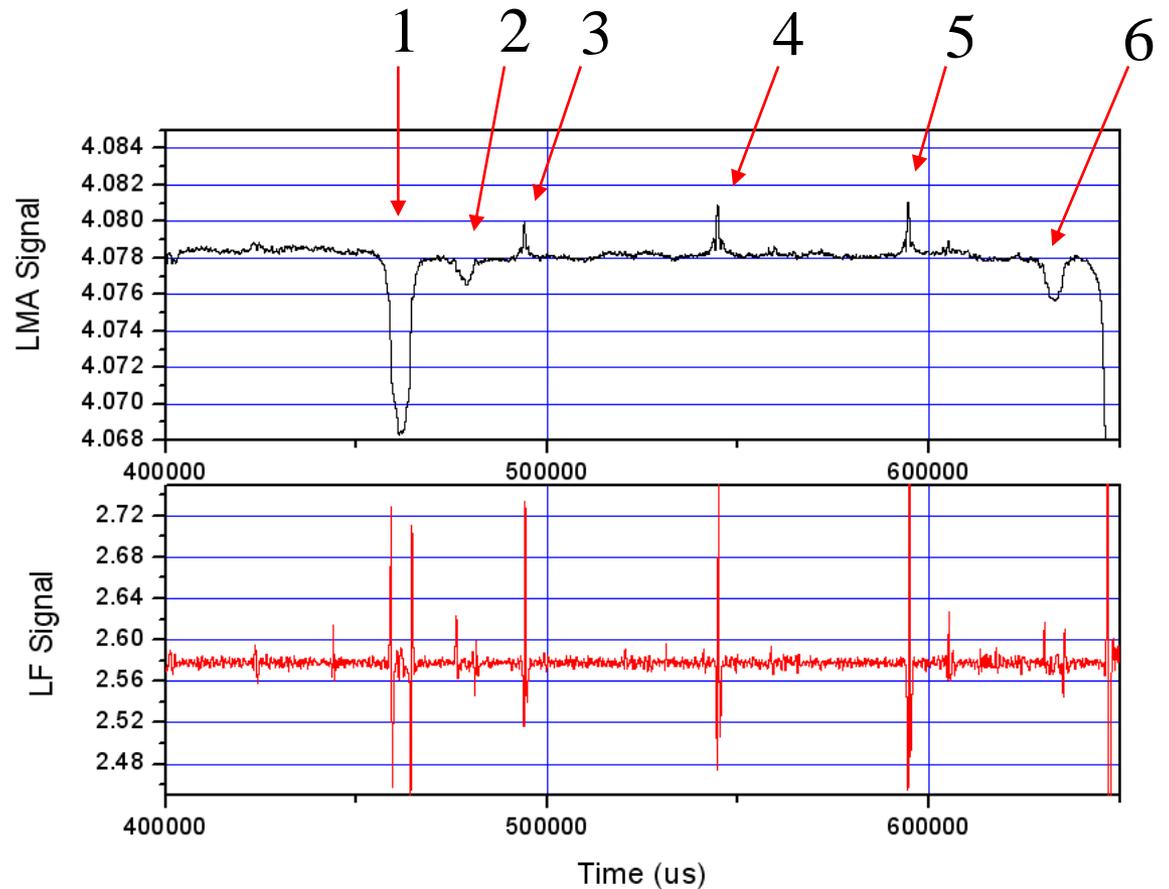
# Tracce teoriche LF ed LMA



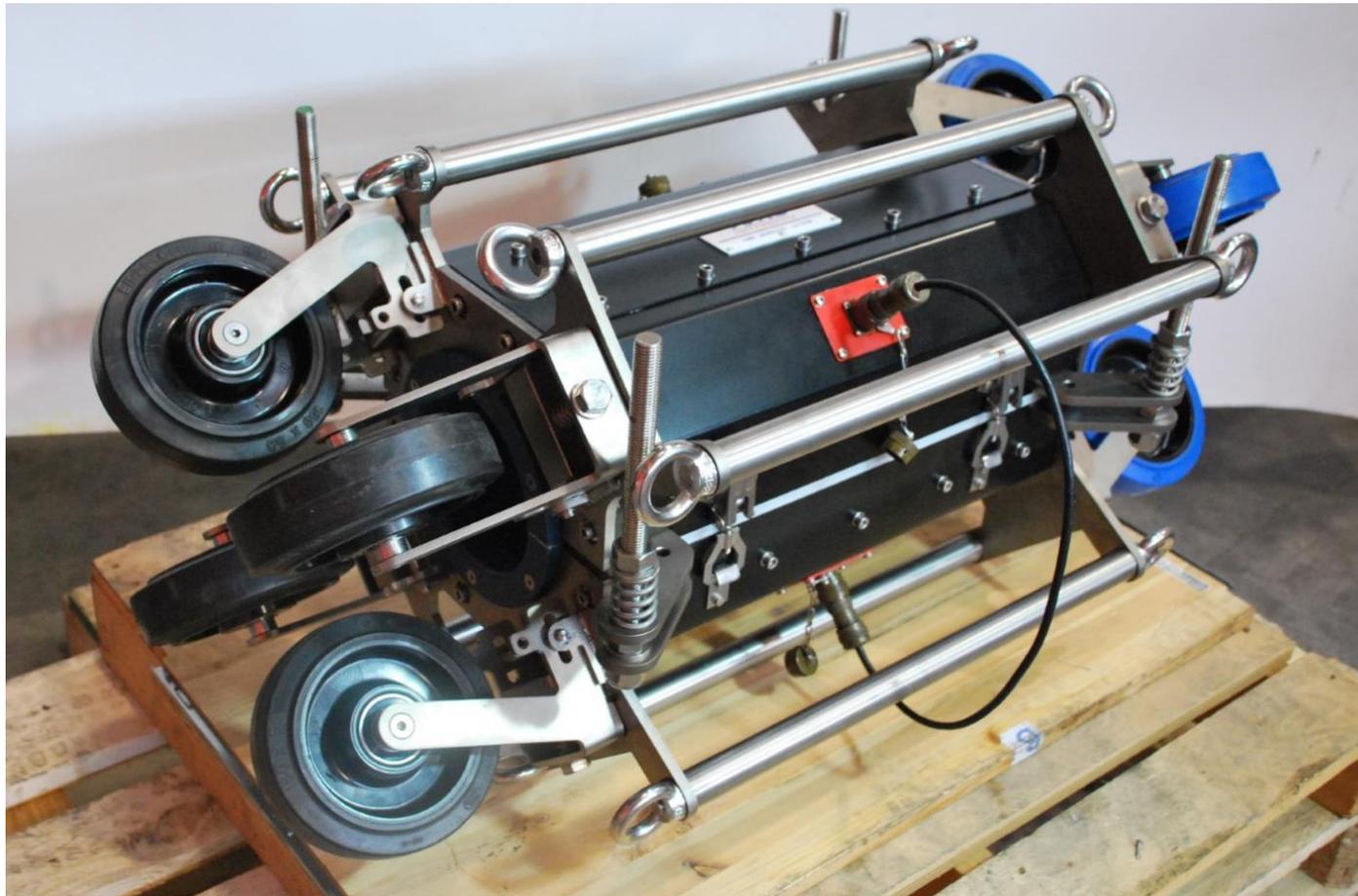
# Tracce sperimentali LF ed LMA

Velocità della fune: 2m/s

- 1: filo di prova aggiunto
- 2: filo di prova aggiunto
- 3-4-5: fili rotti
- 6: filo di prova aggiunto



# Strumentazione



## Dispositivi

Un sistema di misura di tipo magneto induttivo è costituito principalmente da due parti:

- 1) Detector
- 2) Sistema di acquisizione - memorizzazione e visualizzazione

Esistono al mondo circa una ventina di produttori di strumentazione ma solo un decina producono la strumentazione per un uso non interno finalizzato al service.

Di questi 10 produttori solo 3-4 forniscono strumentazione per un'ampia gamma di funi: da pochi mm fino a oltre 160 mm (settore oil & gas).

## Detectors

Esistono numerose varianti caratterizzate sulla base di numerose caratteristiche. Le principali sono:

- 1) Sorgente del campo magnetico
- 2) Topologia
- 3) Posizione e direzione magneti permanenti
- 4) Intensità del campo magnetico
- 5) Sistema di centraggio
- 6) Etc.

## Sorgente del campo magnetico

La generazione del campo magnetico all'interno della fune metallica richiede una sorgente di forza magnetica motrice che può essere generata da:

- 1) Avvolgimento alimentato da corrente continua: era utilizzato nei vecchi strumenti e richiede un pesante ed ingombrante sistema di alimentazione. La potenza Joule dissipata è significativa e possono essere raggiunte elevate temperature. E' complesso e delicato il sistema di contatti per mettere in serie le semispire delle due parti del detector. Tali sistemi potevano essere disalimentati durante la fase di montaggio e smontaggio dalla fune.
- 2) Magnet permanenti: con l'avvento dei magneti ad alta energia (magnet alle terre rare) si è potuto ridurre la dimensione ed il peso ed oggi rappresentano l'unica tecnologia utilizzata.

## Topologia

Le principale differenziazione sulla topologia di un detector magneto-induttivo è:

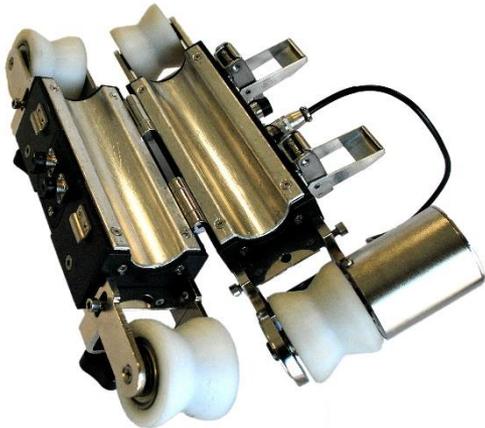
- 1) Detector di tipo chiuso: detector che circonda tutta la fune caratterizzato in genere da due o più settori (in genere due).
- 2) Detector di tipo aperto: detector utilizzato principalmente per il controllo delle funi portanti per permetterne il passaggio in corrispondenza dell'appoggio della fune sui piloni oppure in corrispondenza di ammorsamenti

# Topologia

Detector chiuso



Detector Aperto



## Posizione e direzione magneti permanenti

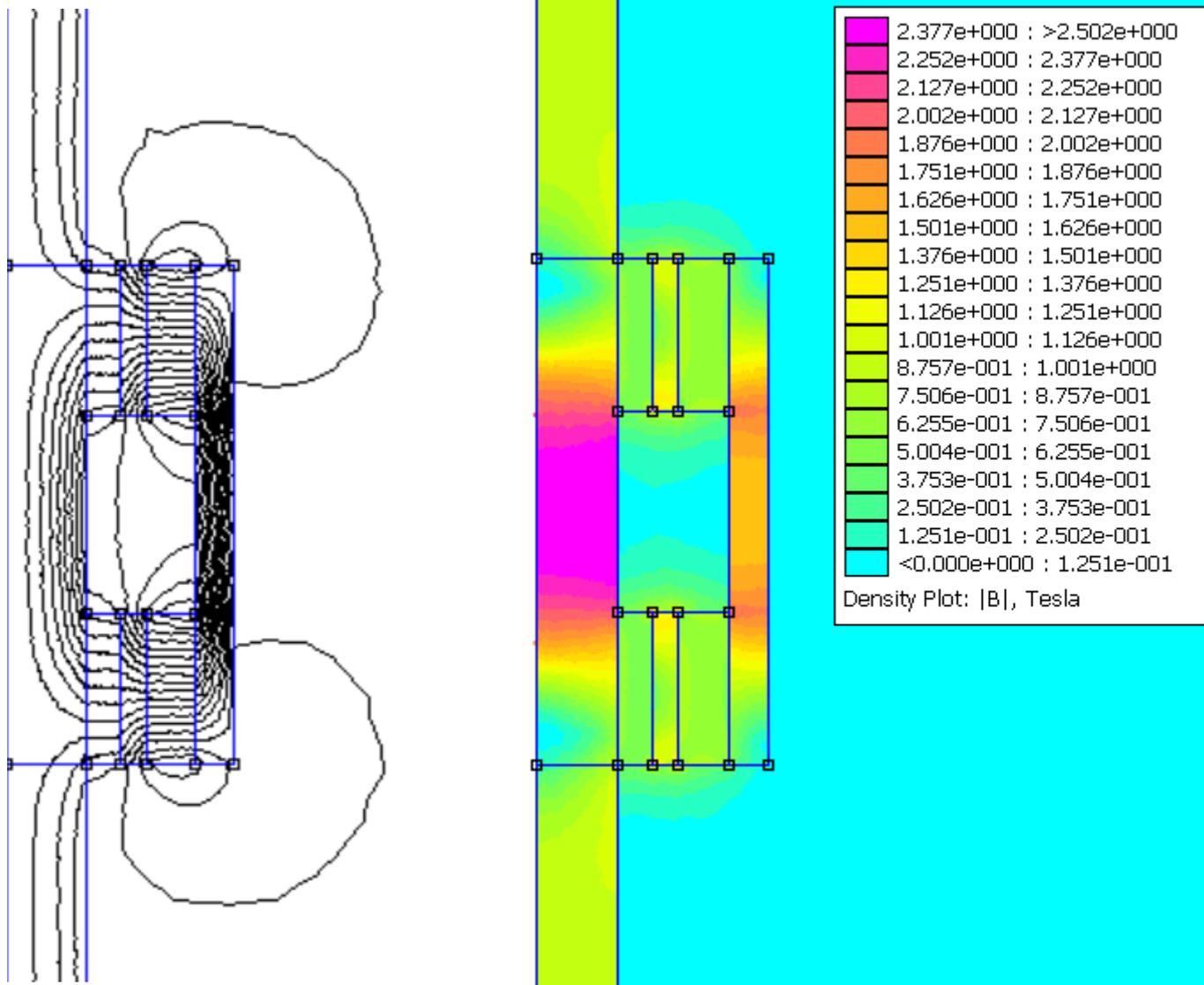
Esistono sostanzialmente due principali varianti in relazione alla direzione del campo magnetico rispetto all'asse della fune:

- 1) Magnetizzazione radiale: i magneti sono posti ortogonali all'asse della fune in prossimità della fune sulle espansioni polari del detector
- 2) Magnetizzazione assiale: i magneti sono posti parallelamente all'asse della fune.

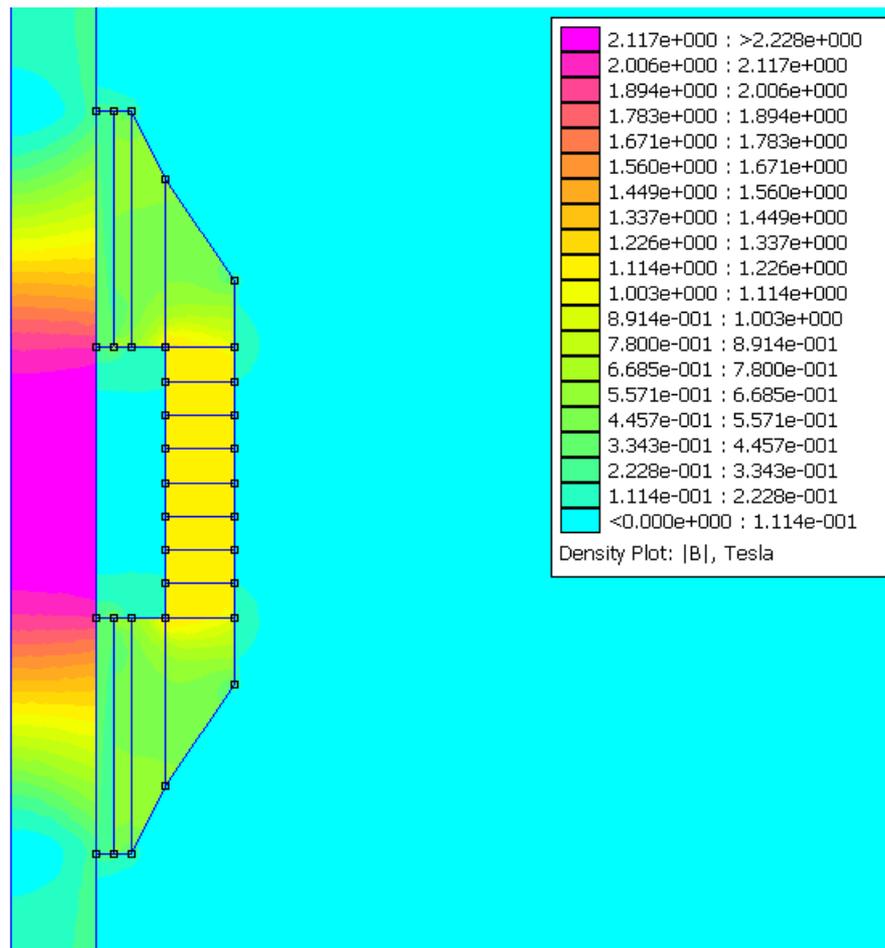
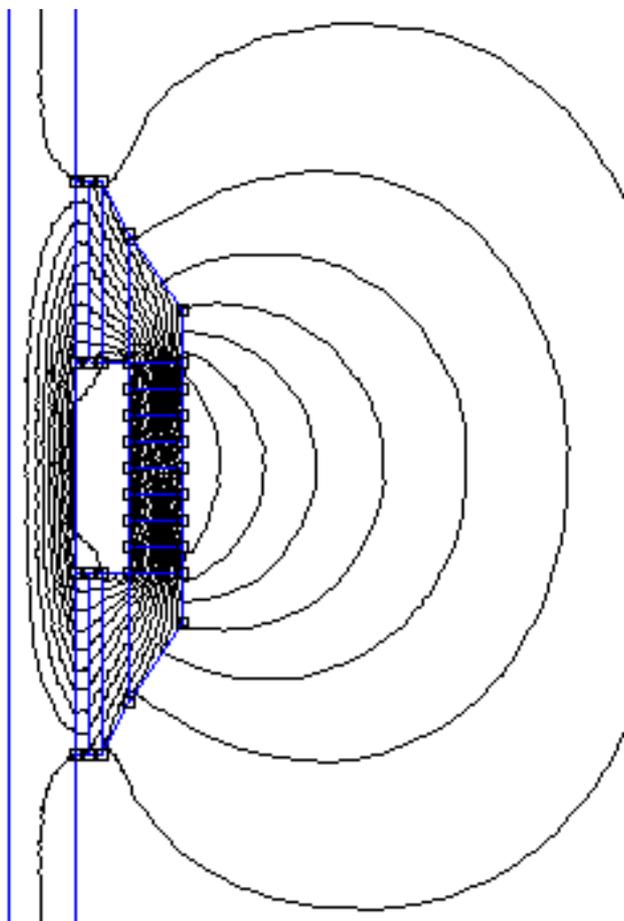
La principale differenza tra i due sistemi è legata all'andamento dei flussi dispersi ed alla omogeneità del campo all'interno dell'area occupata dalla fune.

**In entrambe le configurazioni il campo magnetico all'interno della fune è diretto lungo l'asse della stessa.**

# Posizione e direzione magneti permanenti: detector a magnetizzazione radiale



# Posizione e direzione magneti permanenti: detector a magnetizzazione assiale



## Intensità del campo magnetico

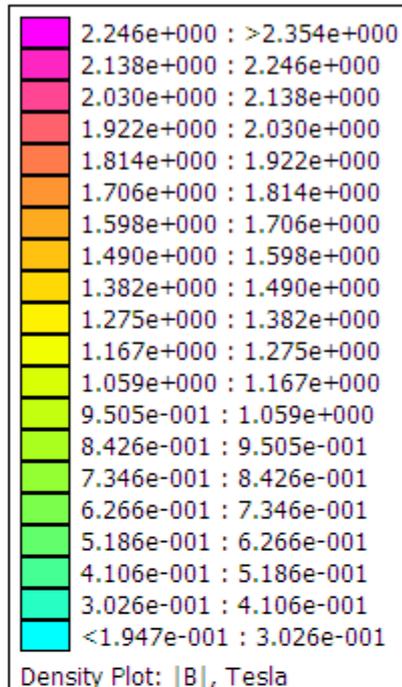
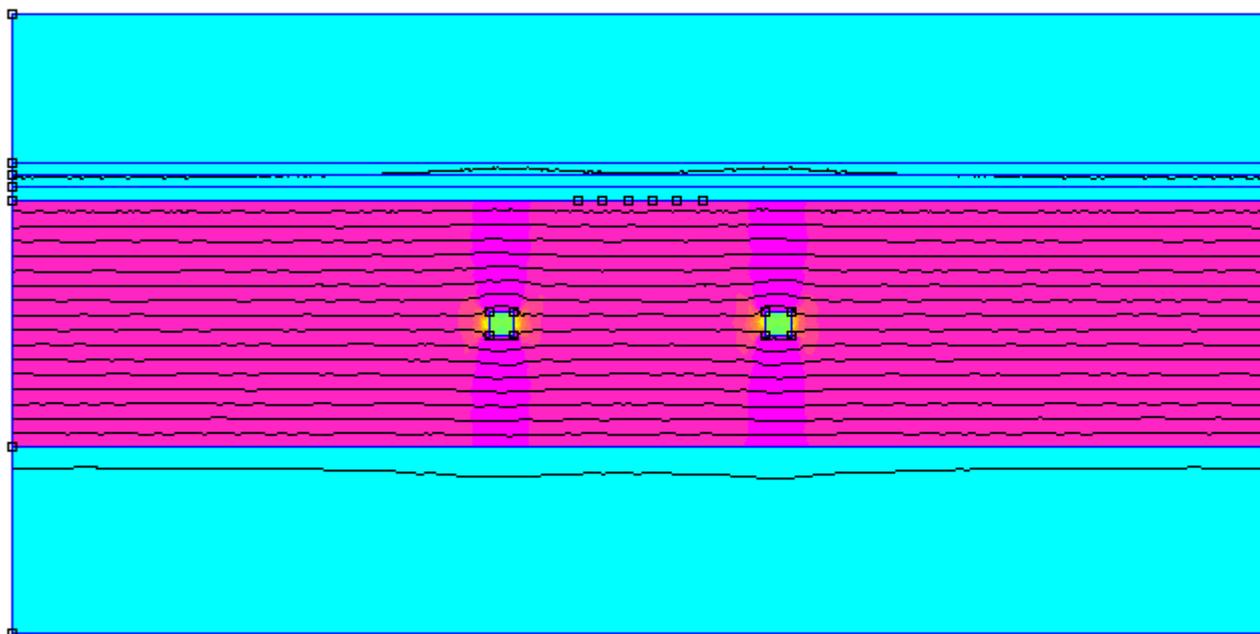
Esistono fondamentalmente due filosofie di funzionamento:

- 1) Strumenti ad elevato campo magnetico (da 1.8 a oltre 2.5 T all'interno della fune): sono strumenti in grado di saturare le funi metalliche e di rilevare anche difetti interni. Tali strumenti sono però caratterizzati da peso e da elevate forze di attrazione e pertanto più soggetti a vibrazioni soprattutto durante le prove su funi a trefoli. Possono quindi risultare meno sensibili in presenza di difetti superficiali quali fili rotti molto vicini.
- 2) Strumenti a basso campo magnetico o basati sulla misura del campo residuo: magnetizzano debolmente la fune e sono in grado di rilevare solo difetti superficiali, per contro sono leggeri e maneggevoli nel montaggio.

**Secondo la procedura indicata dalla norma di certificazione 12927-8 gli strumenti del secondo tipo non sono certificabili**

# Difetto normalizzato (2 difetti 2mm\*2mm distanziati del diametro della fune 20mm)

Fune in saturazione  $B=2T$

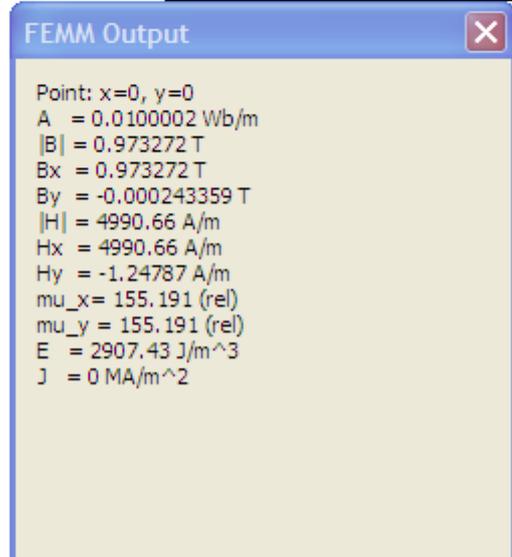
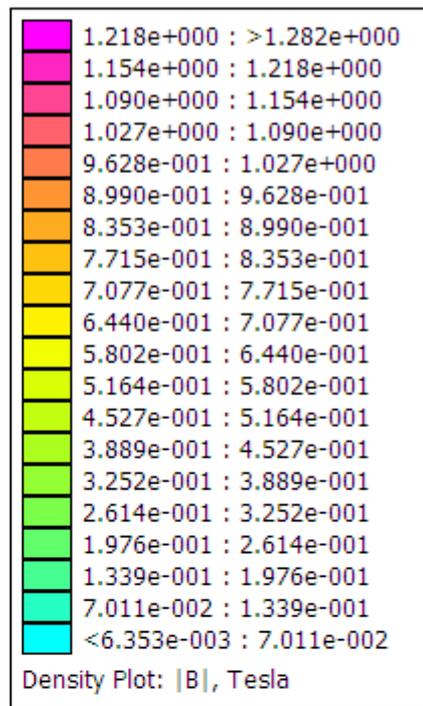
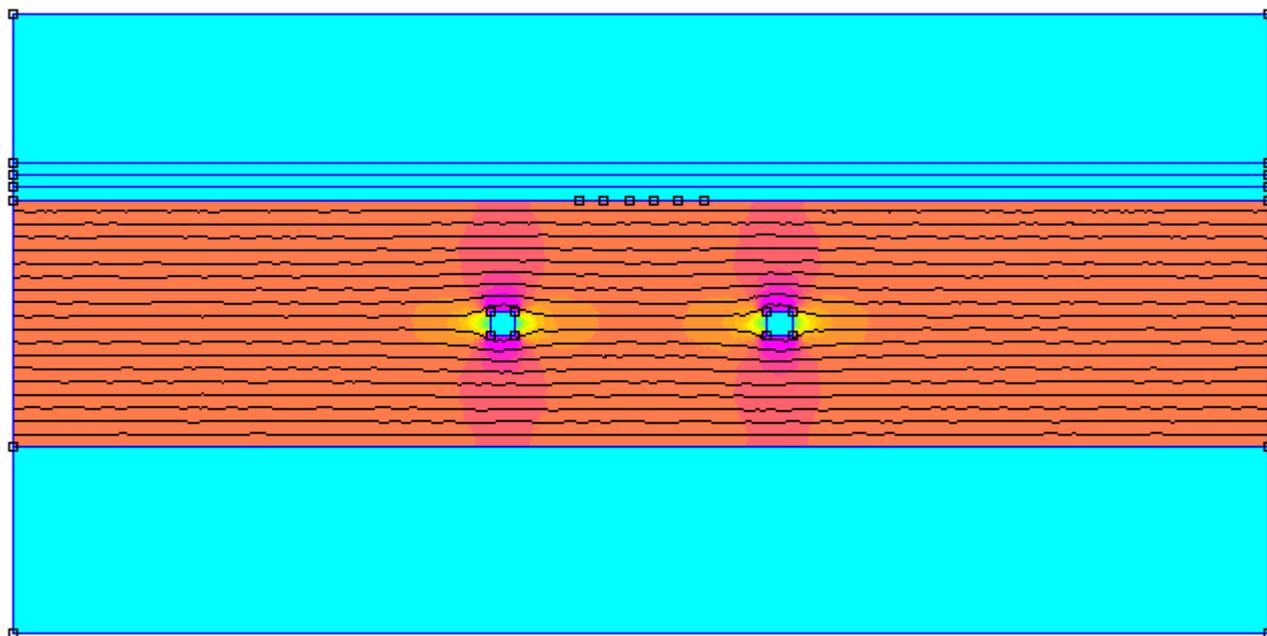


## FEMM Output

Point: x=0, y=0  
A = 0.0250005 Wb/m  
|B| = 2.19429 T  
Bx = 2.19429 T  
By = -0.000116621 T  
|H| = 153992 A/m  
Hx = 153992 A/m  
Hy = -8.18429 A/m  
mu\_x = 11.3393 (rel)  
mu\_y = 11.3393 (rel)  
E = 36666.3 J/m<sup>3</sup>  
J = 0 MA/m<sup>2</sup>

# Difetto normalizzato (2 difetti 2mm\*2mm distanziati del diametro della fune 20mm)

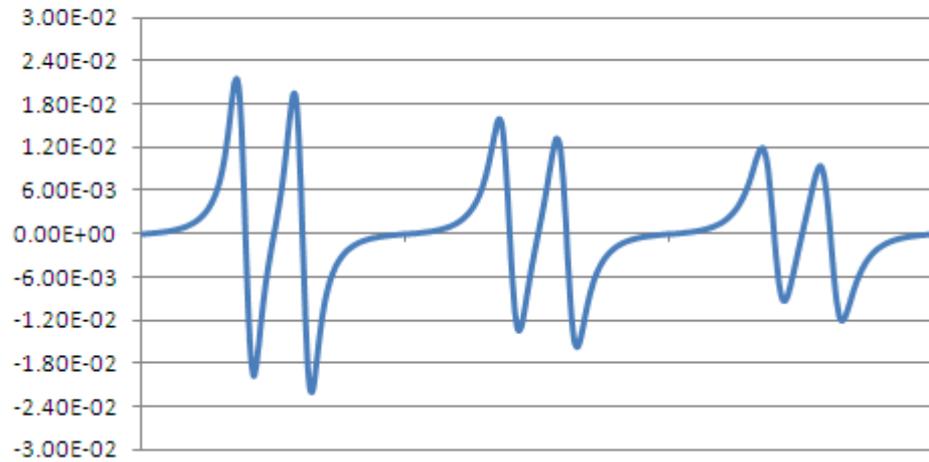
Fune non satura B=1T



**Bn**

**Bfune=2T**

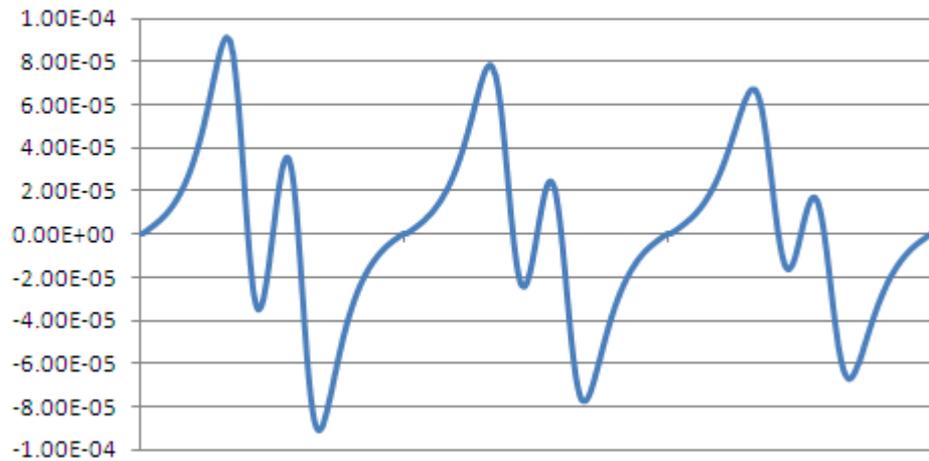
**LF\_Bn**



**Bn**

**Bfune=1T**

**LF\_Bn**



## Sistema di centraggio

Il centraggio svolge diverse funzioni:

- a) Mantenere la fune equidistante dai magneti: al fine di magnetizzare la fune in modo uniforme ed ottenere un segnale LMA affidabile
- b) Mantenere la fune equidistante dai sensori: al fine di ottenere lo stesso segnale indipendentemente dalla posizione circonferenziale del difetto
- c) Evitare l'oscillazione della fune all'interno del detector: al fine di ridurre il rumore sul segnale
- d) Agevolare lo scorrimento della fune durante il movimento relativo: nascono forze d'attrito dovute all'attrazione della fune all'interno del detector, a causa degli inevitabili anche se piccoli disassamenti. Il sistema di centraggio deve svolgere la funzione di ridurre le forze di attrazione e ridurre l'attrito.

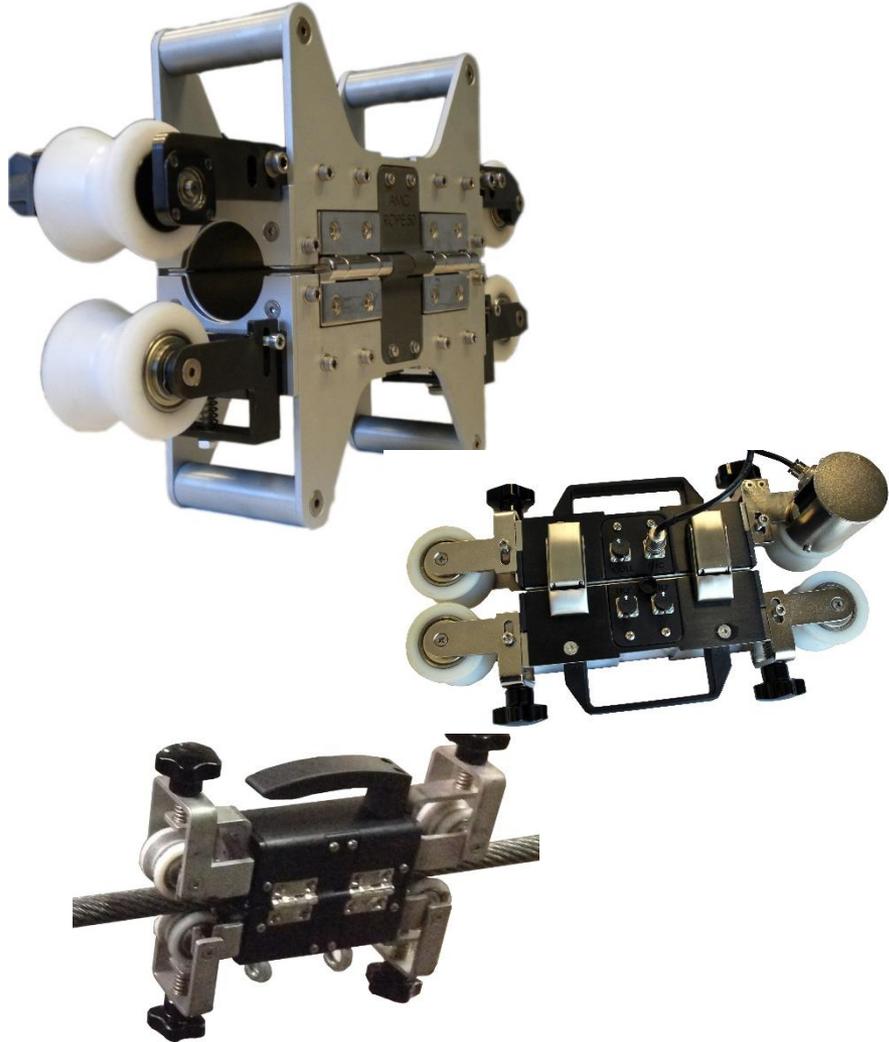
## Sistema di centraggio

Esistono fondamentalmente due tipologie di centraggio:

- 1) Centraggio con ruote: un sistema di ruote in genere sagomate che consentono il centraggio verticale ed orizzontale della fune metallica, in genere tale centraggio risulta regolabile entro un range abbastanza ampio. Nel caso di funi a trefoli se le ruote hanno un ridotto diametro si possono verificare oscillazioni e rumore sul segnale. Il centraggio con ruote agevola fortemente lo scorrimento del detector sulla fune.
- 2) Centraggio con boccole: tale centraggio può permettere un contatto con la fune che riduce le oscillazioni ed il rumore. Il sistema deve essere corredato da un certo numero di boccole in funzione del diametro delle funi da testare. L'uso di boccole adattate al diametro della fune permette di avere il sensore vicino alla fune e quindi aumentare la sensibilità del detector. Le boccole adattate al diametro della fune possono risultare rischiose in presenza di fili rotti coi capi sporgenti o in presenza di ingrossamenti della fune (impalmatura)

# Sistema di centraggio

AMC Instruments



Intron



NDT Technology

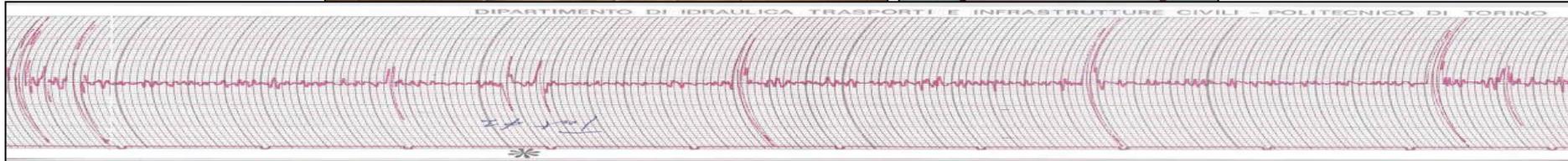
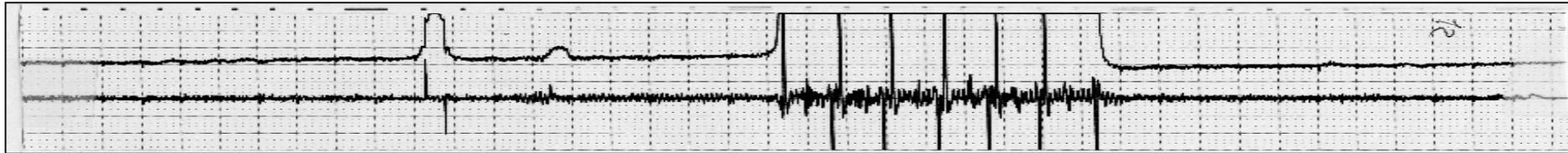


# Sistema di acquisizione - memorizzazione e visualizzazione

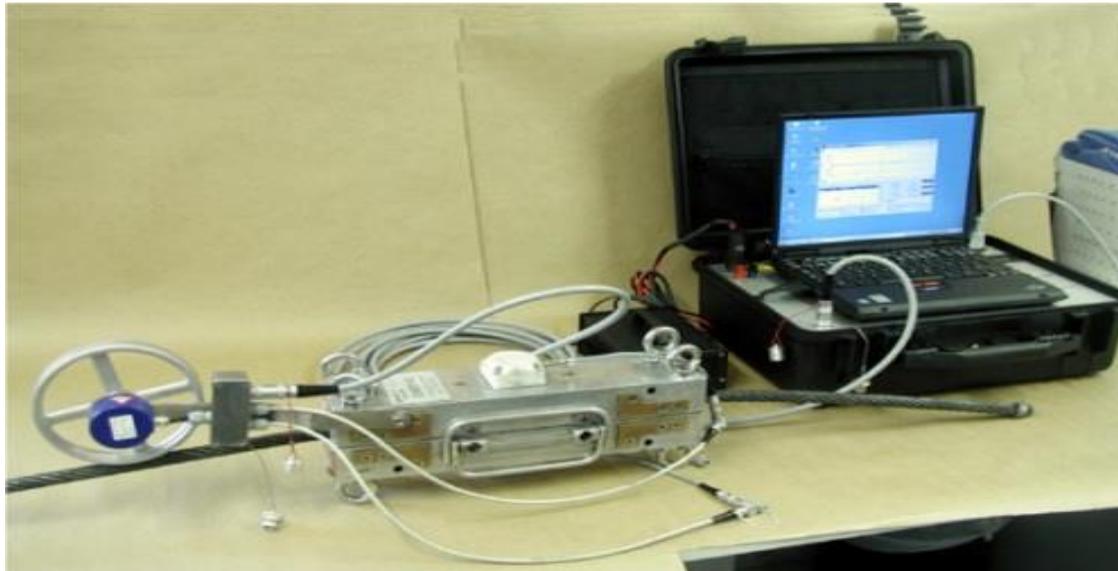
Si dividono in sistemi:

- 1) Acquisizione e visualizzazione in tempo reale: consente di rilevare durante la prova sul campo la traccia della fune. L'operatore (II livello) deve essere in grado di gestire i parametri dell'acquisizione, come i filtri, e deve essere in grado di leggere le tracce evidenziando le anomalie della fune. È importante nel caso di funi di grande lunghezza (es. funi portanti lunghe migliaia di metri). I sistemi possono essere analogici o digitali.
- 2) Acquisizione e successiva visualizzazione ed analisi: viene effettuata in genere con strumenti palmari che non visualizzano la traccia ma effettuano solo la memorizzazione dei segnali. Successivamente il segnale viene letto da un opportuno software che ne consente la visualizzazione e l'analisi. Sono idonei nei casi in cui l'operatore (I livello) abbia la necessità di portare con sé un sistema di acquisizione leggero e maneggevole (es. test su ascensori). I sistemi sono ovviamente di tipo solo digitale.

# Strumentazione analogica

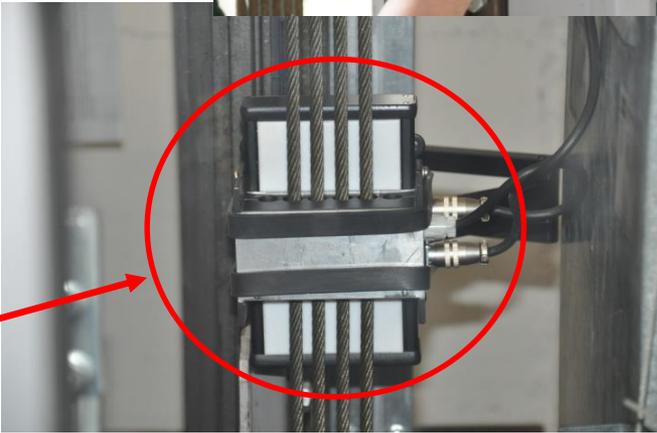


# Strumentazione digitale

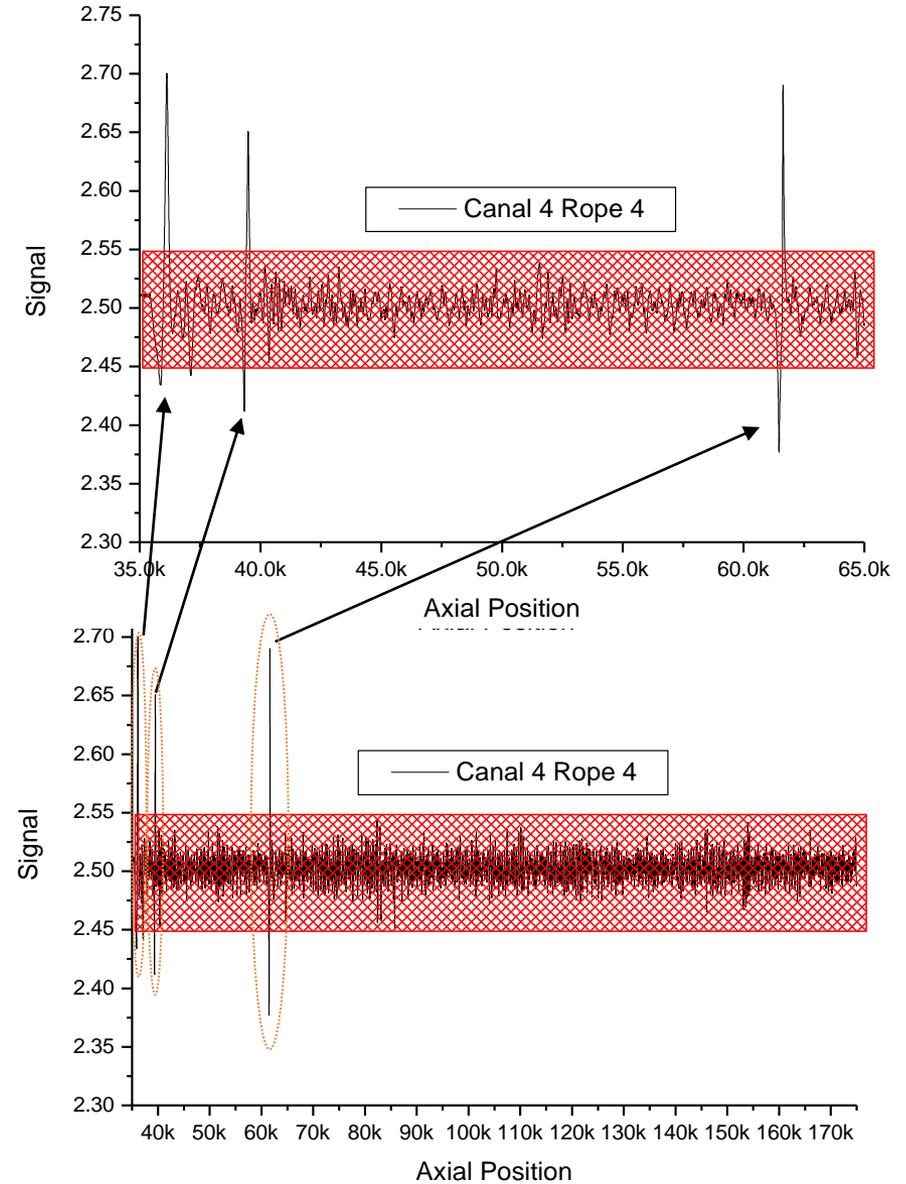
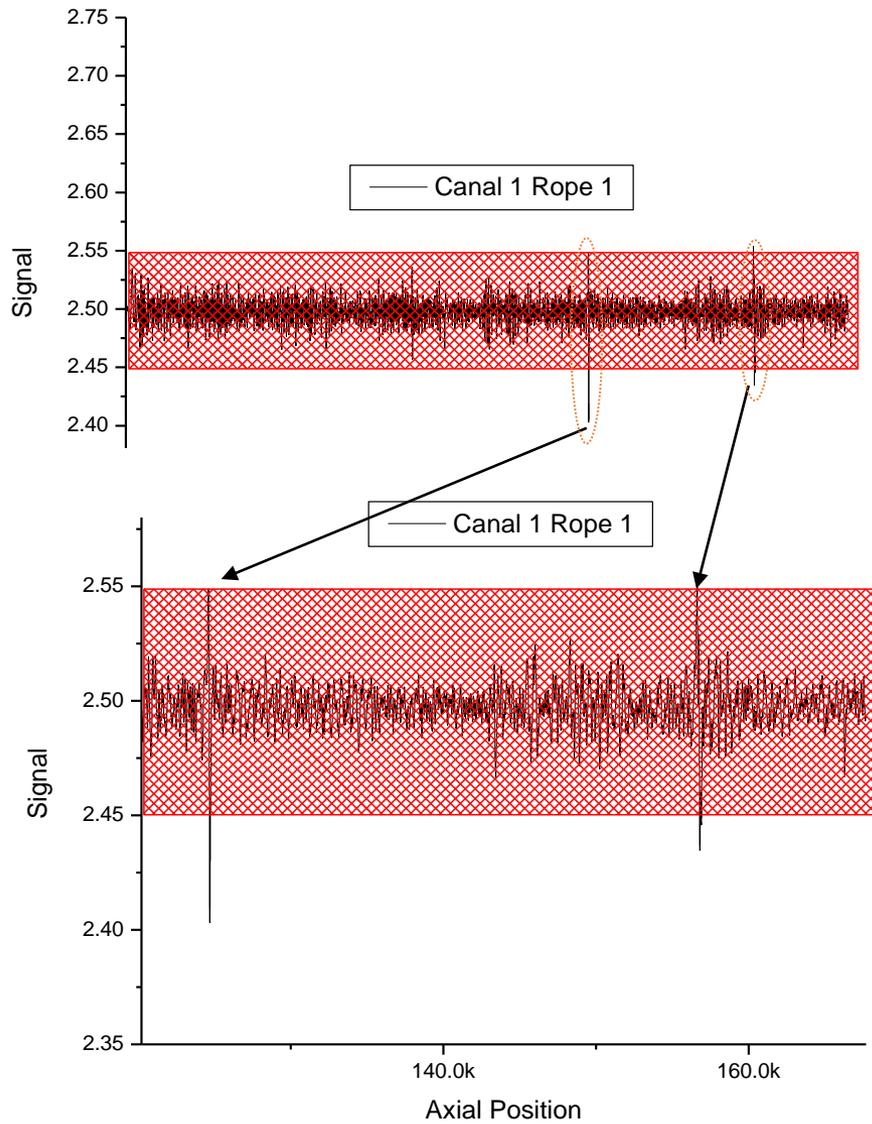


# Applicazioni

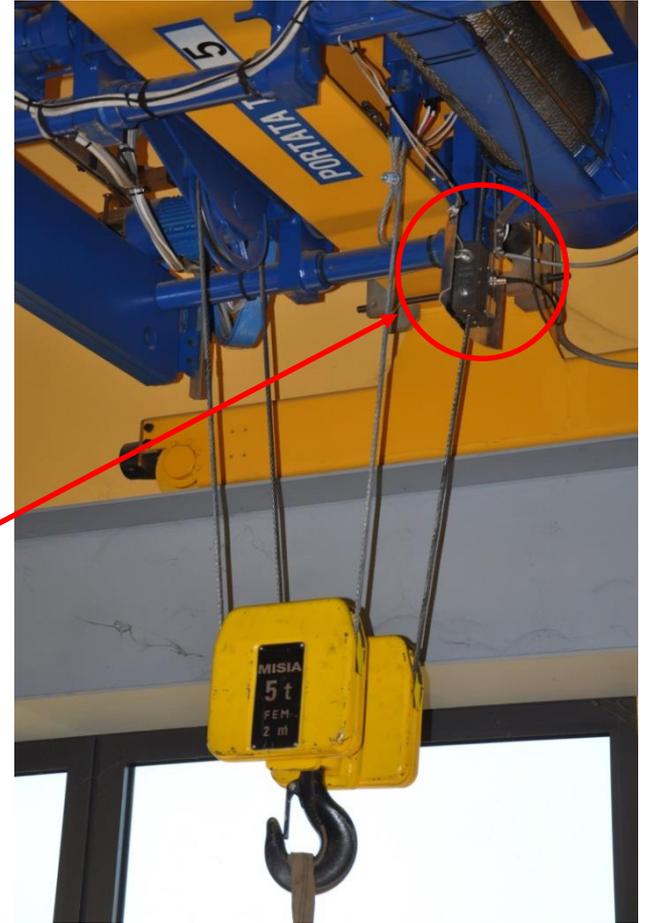
# LIFTS



# ➤ Impianti Elettrico con 4 funi da 10 mm del 1985

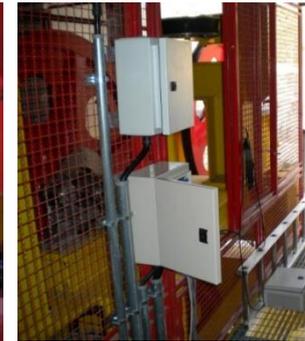


# CRANES



# BLONDIN

Development and manufacture of a PERMANENT device, that detects the actual position of the crane carriage:



**BLONDIN**  
Torre de  
Moncorvo,  
Portogallo



# PEOPLE MOVER

Development and manufacture of a PERMANENT device, that performs the NdT on the metallic rope of a **PEOPLE MOVER**



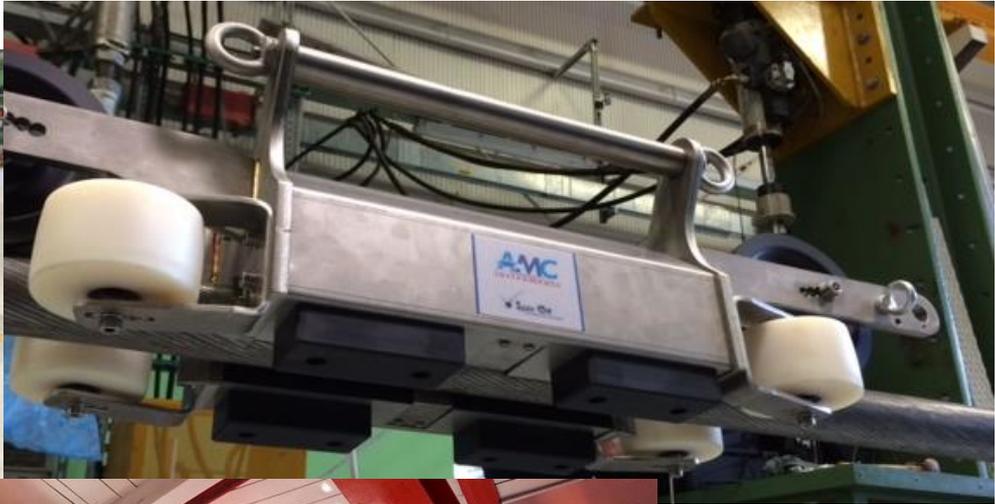
People Mover  
Cascina Gobba  
Osp. S. Raffaele,  
Milano



# Derrick

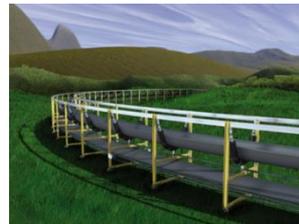


# CABLEWAY



# OPEN SYSTEMS FOR TRANSPORTATION SYSTEMS

Development and manufacture of a MOBILE device that performs the NdT on special cableway application (“Flyingbelt”):



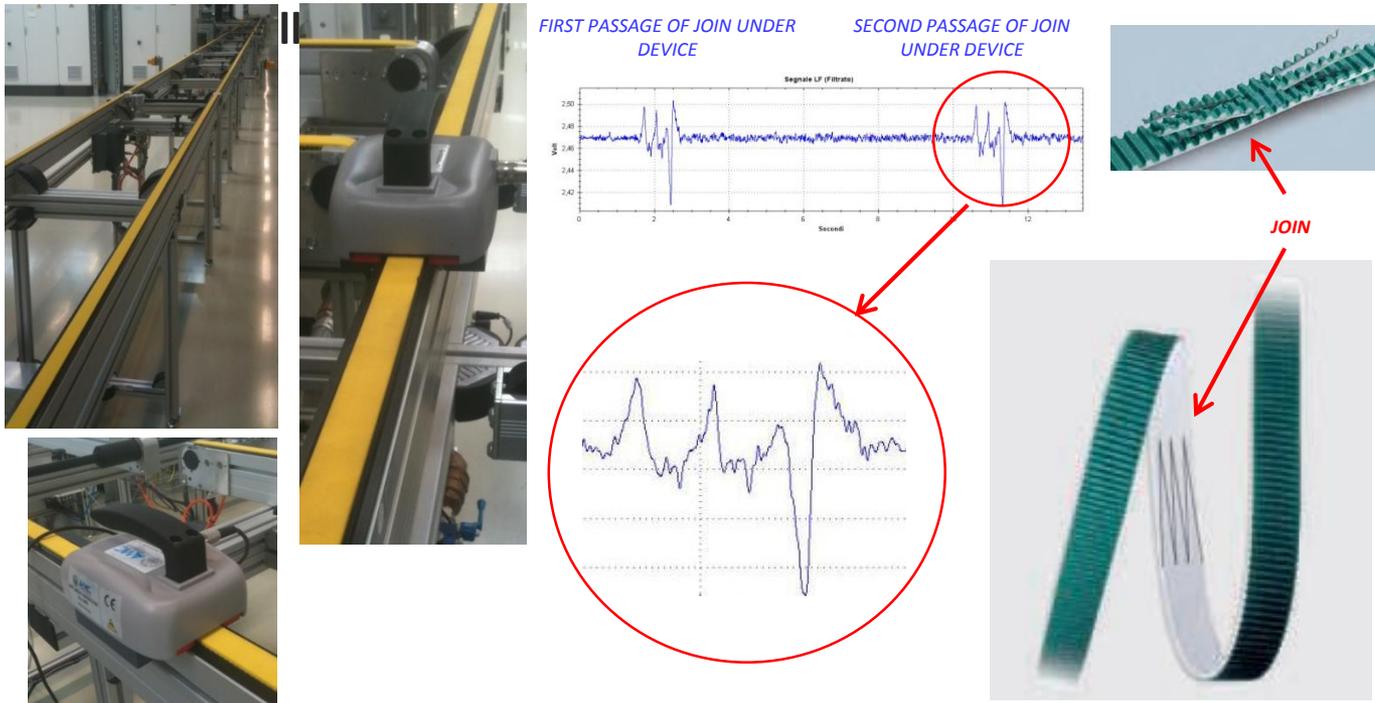
AMC test rig, installed at Politecnico di Torino

AGUDIO plant, Leygue-Gignac (Francia)



# RUBBER BELTS: JOINT CONTROL

Development of a quality control methodology using a MOBILE of PERMANENT device, that performs the NdT on **thermoplastic**



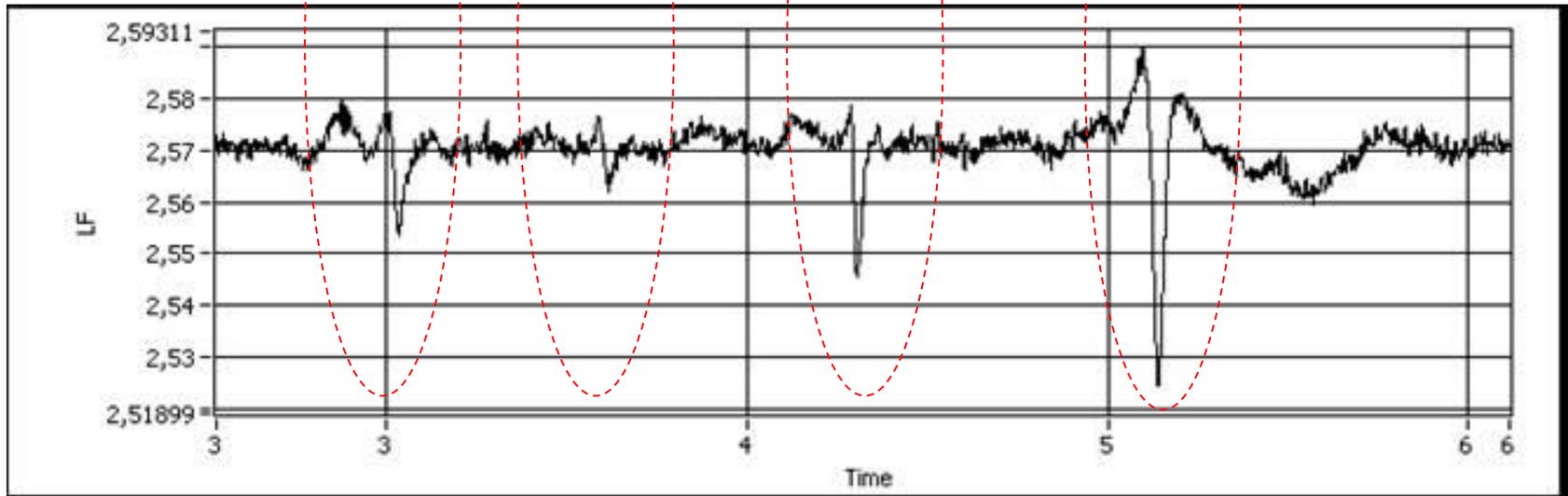
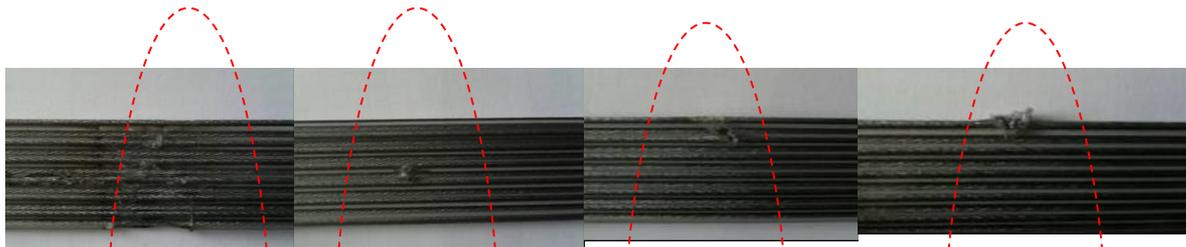
# RUBBER BELTS: BELT CONTROL

Rottura  
distribuita

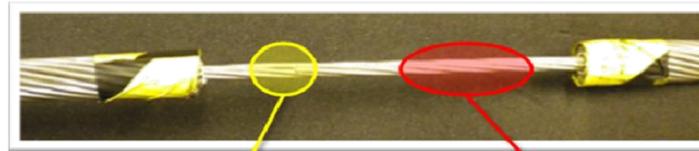
Rottura  
Concentrata  
10%

Rottura  
Concentrata  
30%

Rottura  
Concentrata  
80%

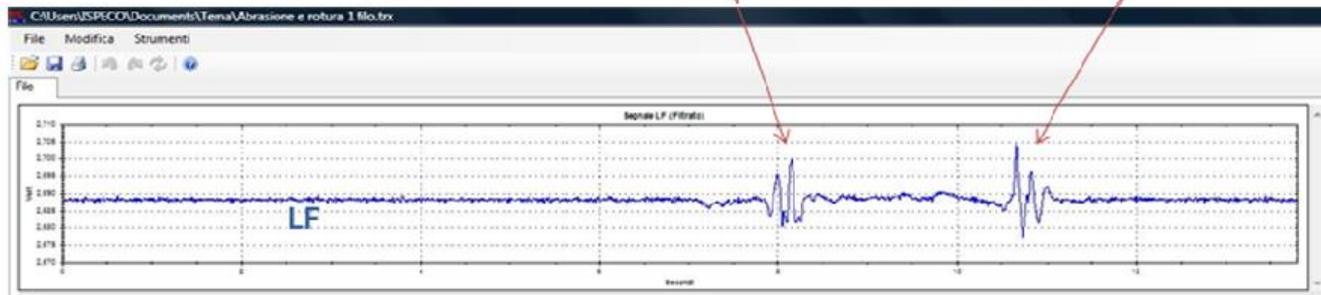


# AERIAL POWER LINES



**1° passaggio: andata**

**2° passaggio: ritorno**



# LAMINATION CONTROL

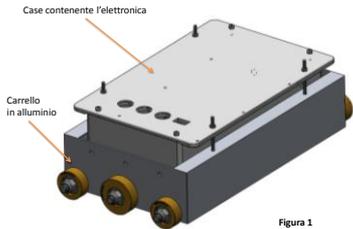
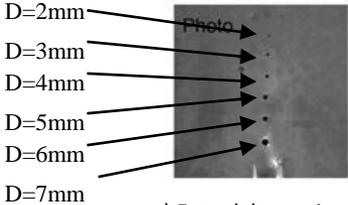
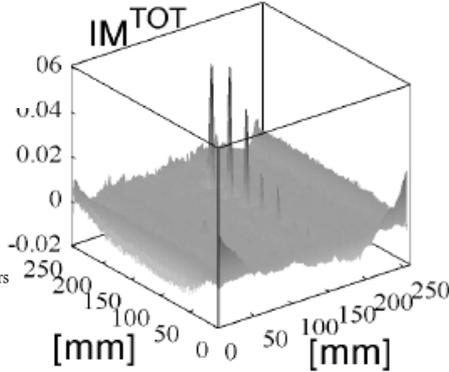
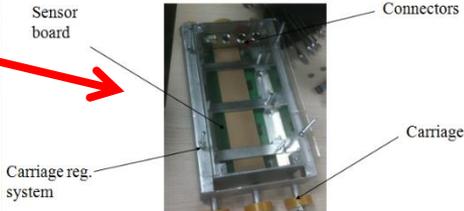
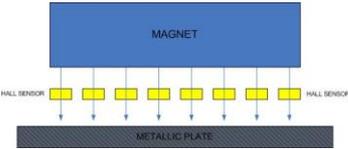


Figura 1  
Case assembly

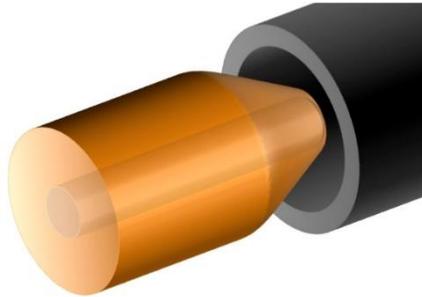


a) Foto del campione



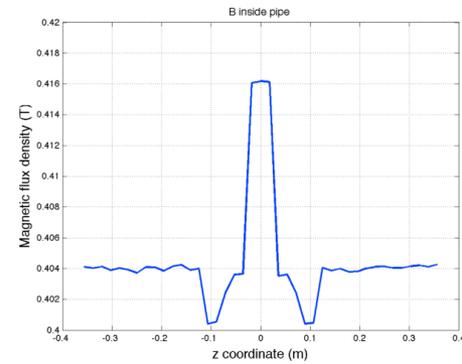
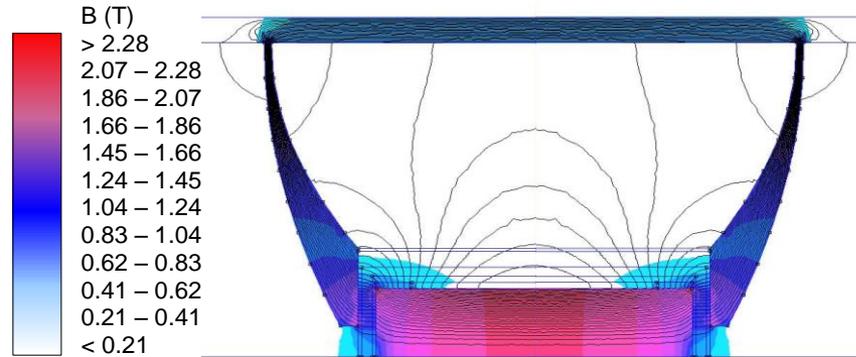
b) Immagine magnetica 3D del campione

# FOAM PIG FOR PIPELINES

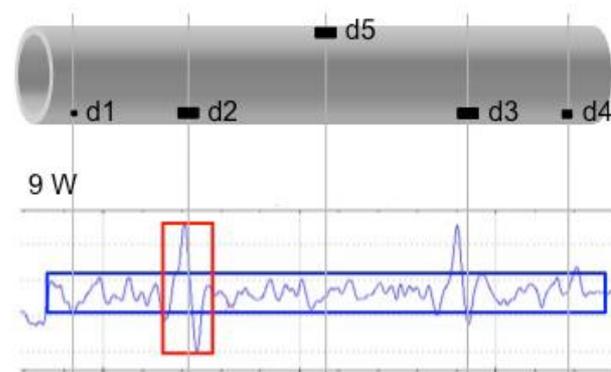
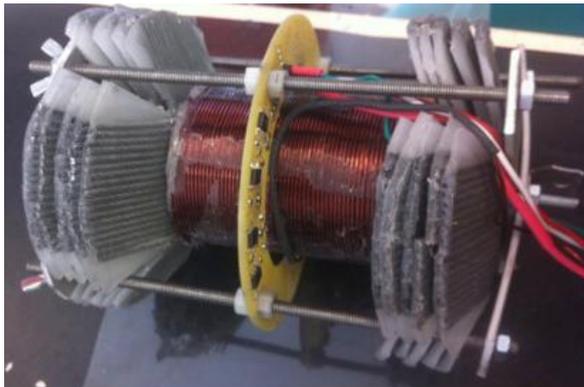
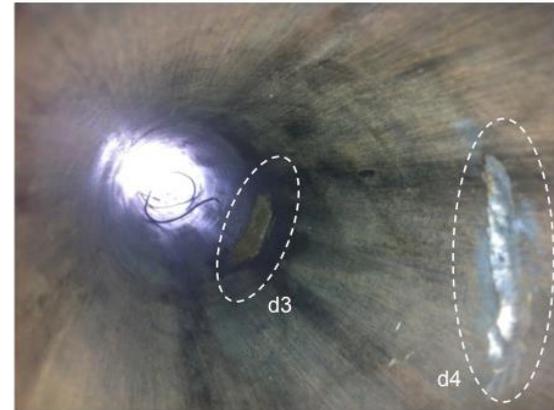
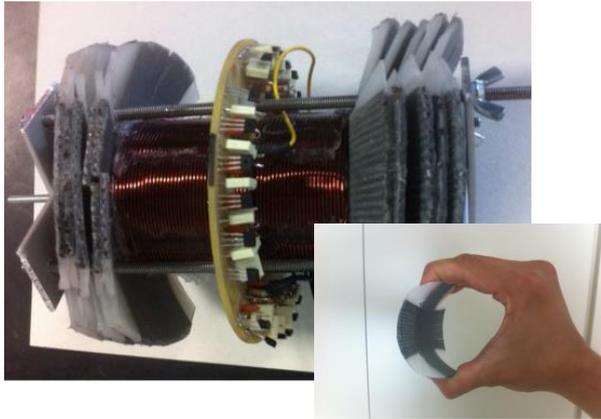


Rigid cylindrical tool  
( $d = 0,33 D$ ,  
where  $D$  = tube diam.)  
and external plastic part  
(foam)

**E.G.: Pipeline 8"**  
**( $D= 203,2$  mm) and**  
**Core of  $d=70$  mm**



# FOAM PIG FOR PIPELINES



# SERVICE ACTIVITIES: MEASUREMENT

e.g. of SERVICE:  
MOLE ANTONELLIANA (TORINO)  
BIGO (GENOVA)  
PORTO DI GENOVA



# Certificazione della strumentazione



## Certificazione strumentazione

La norma europea **EN 12927-8** “Prescrizioni di sicurezza degli impianti di trasporto a fune destinati alle persone – Funi – Parte 8 ; Controllo elettromagnetico” è molto importante, poiché stabilisce i requisiti ed criteri oggettivi di valutazione di idoneità delle apparecchiature utilizzate nel controllo di integrità delle funi.

La norma indica che l'apparecchiatura di tipo magneto-induttivo (MI) deve essere costituita da un detector, un visualizzatore del segnale e da un dispositivo di registrazione permanente, conforme alle prescrizioni della norma e verificata ogni anno.

## ...certificazione strumentazione

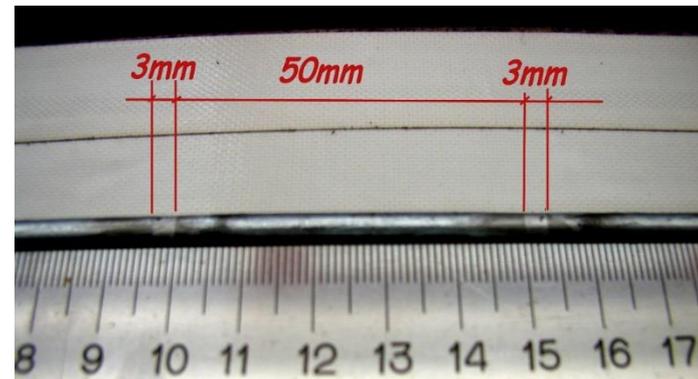
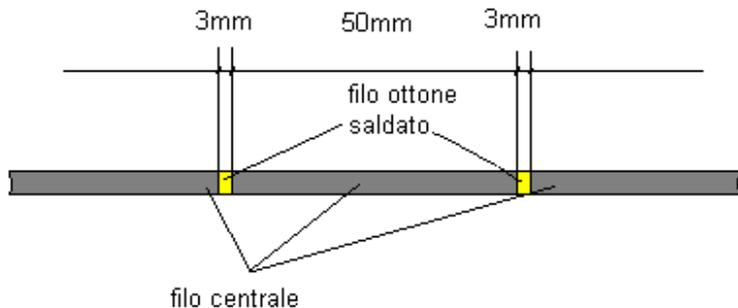
La norma indica che la strumentazione deve essere basata sul principio del rilevamento del flusso disperso e pertanto quello che viene rilevato sono discontinuità locali (Local Discontinuity: LD) della fune come i fili rotti. Il segnale che rileva la perdita di area metallica (Loss Metallic Area: LMA) è considerato complementare al segnale LD, a patto che venga dimostrato che il segnale LMA sia in grado di fornire anche il segnale LD

Il difetto convenzionale da predisporre per la valutazione dell'efficienza dello strumento, basata sul segnale LD, deve essere realizzato dal Laboratorio che eseguirà le prove in quanto non esistono sul mercato funi già pronte, ed inserito in uno spezzone di fune presentante la sezione metallica massima controllabile dal detector sottoposto a prova.

## ...certificazione strumentazione

Il difetto da realizzare sul filo è rappresentato da due rotture adiacenti, di larghezza 3mm, distanti tra loro di un valore pari al diametro  $D$  della fune, con un max di 50mm.

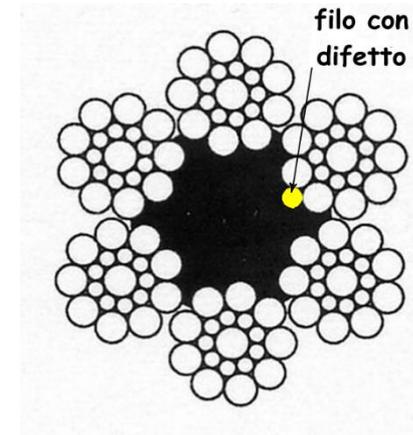
Il mantenimento della larghezza delle rotture e distanza tra loro è garantito da una saldatura in ottone.



## ...certificazione strumentazione

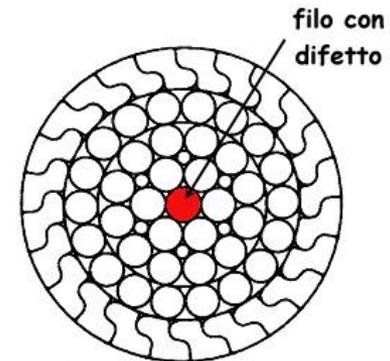
### Fune a trefoli

Il difetto, pari allo 0,5% della sezione della fune, è collocato tra un trefolo e l'anima tessile, per una fune ad un solo strato di trefoli: ciò corrisponde alla maggior distanza dalla superficie esterna della fune.



### Fune chiusa

Il difetto va inserito nel filo di anima. Nel caso delle funi chiuse, la norma non specifica l'entità della percentuale mancante in quanto il diametro del filo centrale è già stabilito dalla configurazione della fune.



## ...certificazione strumentazione

L'apparecchiatura deve mettere in evidenza il difetto come segnale, caratterizzato da due picchi distinti e di ampiezza nettamente superiore al rumore di fondo. Come detto il rumore di fondo è l'insieme dei segnali casuali caratteristici del sistema (funi stessa, detector, cavi, amplificatore).

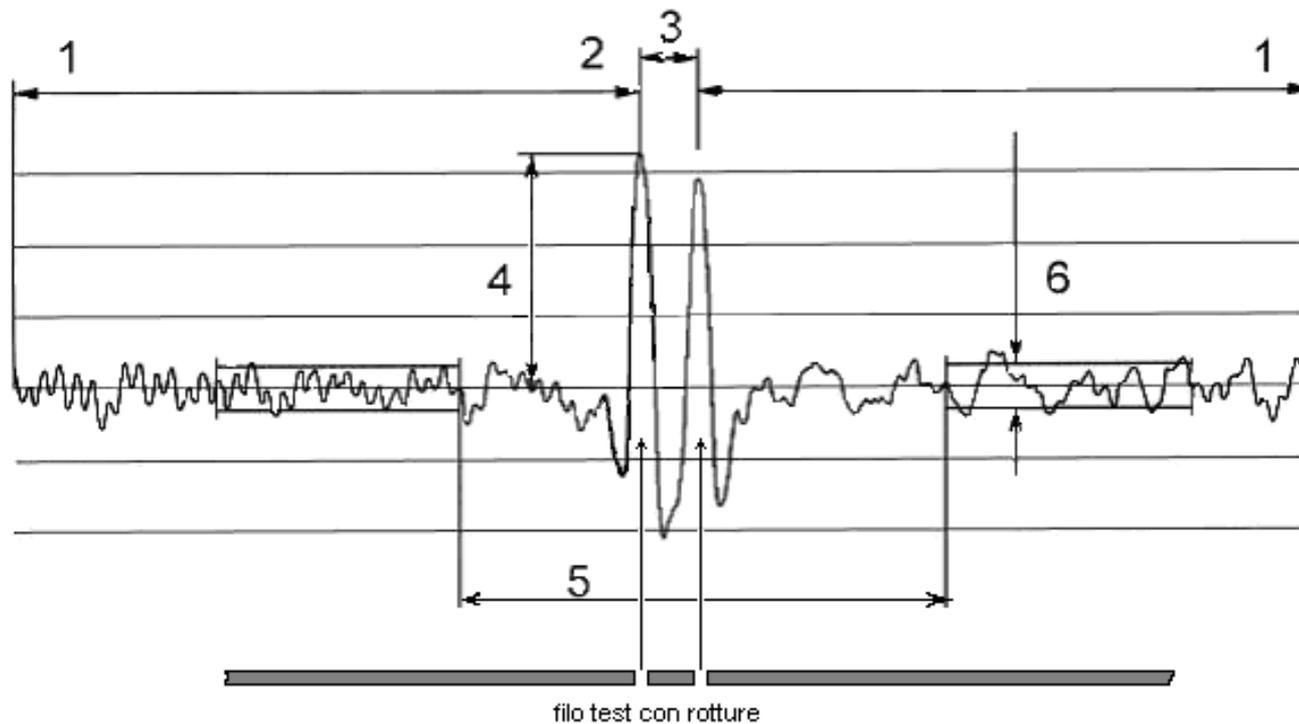
Per definire e quantificare questa caratteristica di sensibilità, si devono individuare due rette parallele orizzontali che rappresentino l'involuppo dei segnali di fondo per un tratto pari a 25 volte il diametro della fune, da ambo le parti del difetto.

E' ammesso che il segnale di fondo tagli solo 5 volte queste rette.

Il segnale corrispondente ai due difetti deve essere:

- di ampiezza almeno 2 volte l'ampiezza dell'involuppo citato
- doppio e separato corrispondentemente alle due rotture del filo campione

## ...certificazione strumentazione



## ...certificazione strumentazione

Il principale laboratorio in Italia che ha realizzato, detiene ed utilizza le funi campione conformi alla UNI EN 12927-8 è il LA.T.I.F. (Laboratorio Tecnologico Impianti a Fune). Le funi coprono un ampio range di diametri secondo quanto riportato in tabella.

Fune test	Ø nominale	Ø effettivo	tipo	sez. fune
(n°)	(mm)	(mm)		(mm <sup>2</sup> )
FT2	26,0	26,3	chiusa	465
FT3	30,0	29,8	chiusa	602
FT27	39,0	39,3	chiusa	1030
FT5	40,0	40,2	chiusa	1123
FT7	52,0	55,1	chiusa	1903
FT20	60,0	60,5	chiusa	2431
FT14	63,0	63,3	chiusa	2635
FT12	70,0	70,5	chiusa	3325
FT19	82,0	83,5	chiusa	4763