

... il campo magnetico ...

E' così chiamato il campo vettoriale di forze prodotto da un magnete, da una corrente elettrica, oppure da un campo elettrico variabile nel tempo.

**Grandezza
vettoriale**

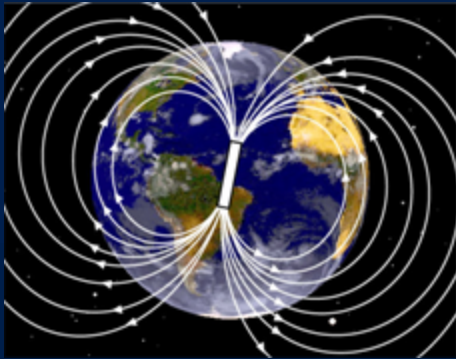
ampiezza

direzione

verso

... il campo magnetico ...

Campo magnetico terrestre

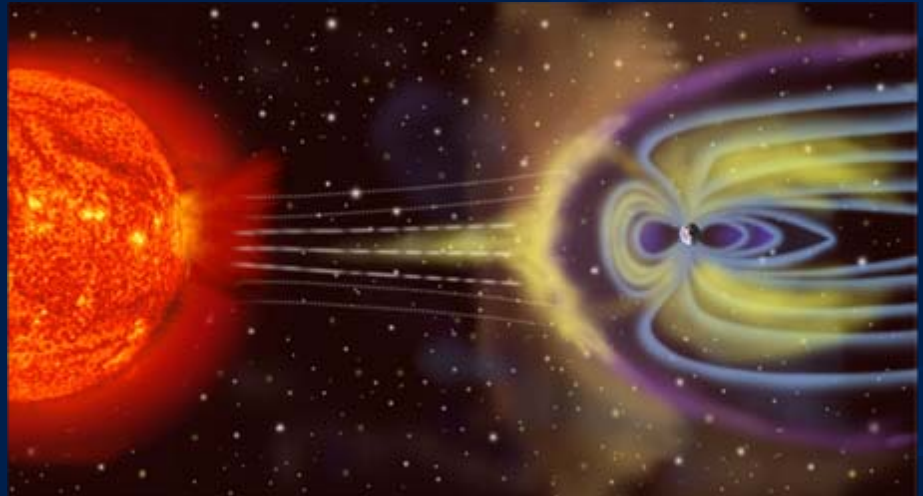
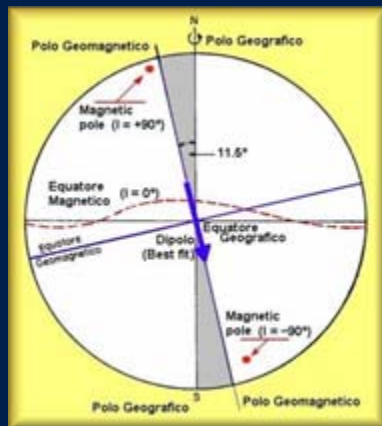


Campo principale

Campo crostale

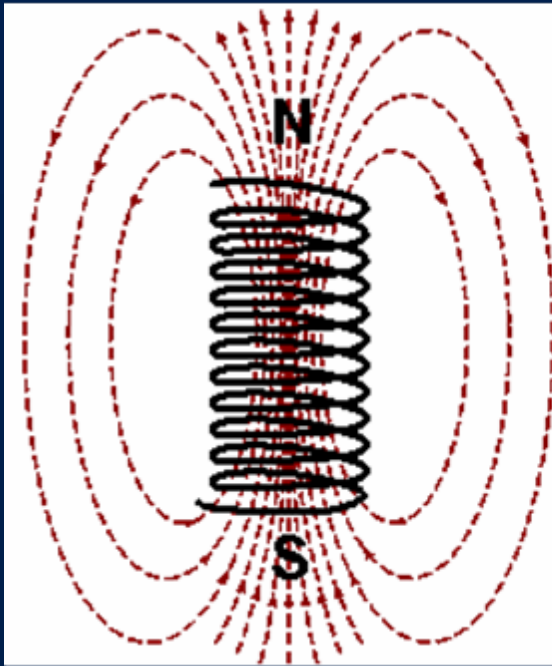
Campo esterno

Campo d'induzione elettromagnetica

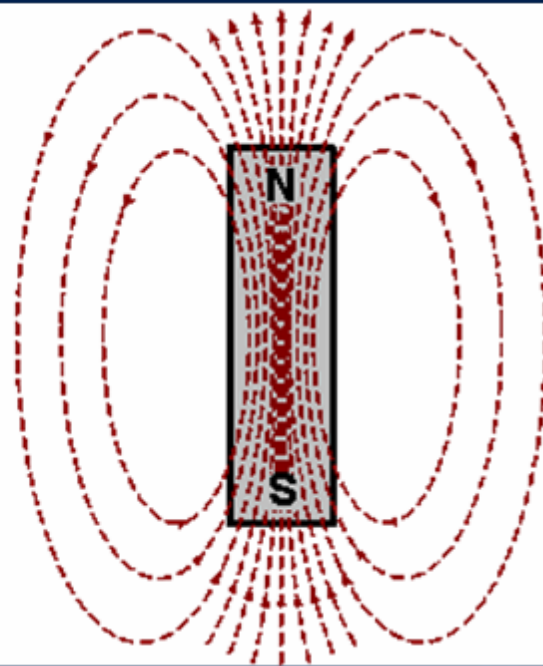


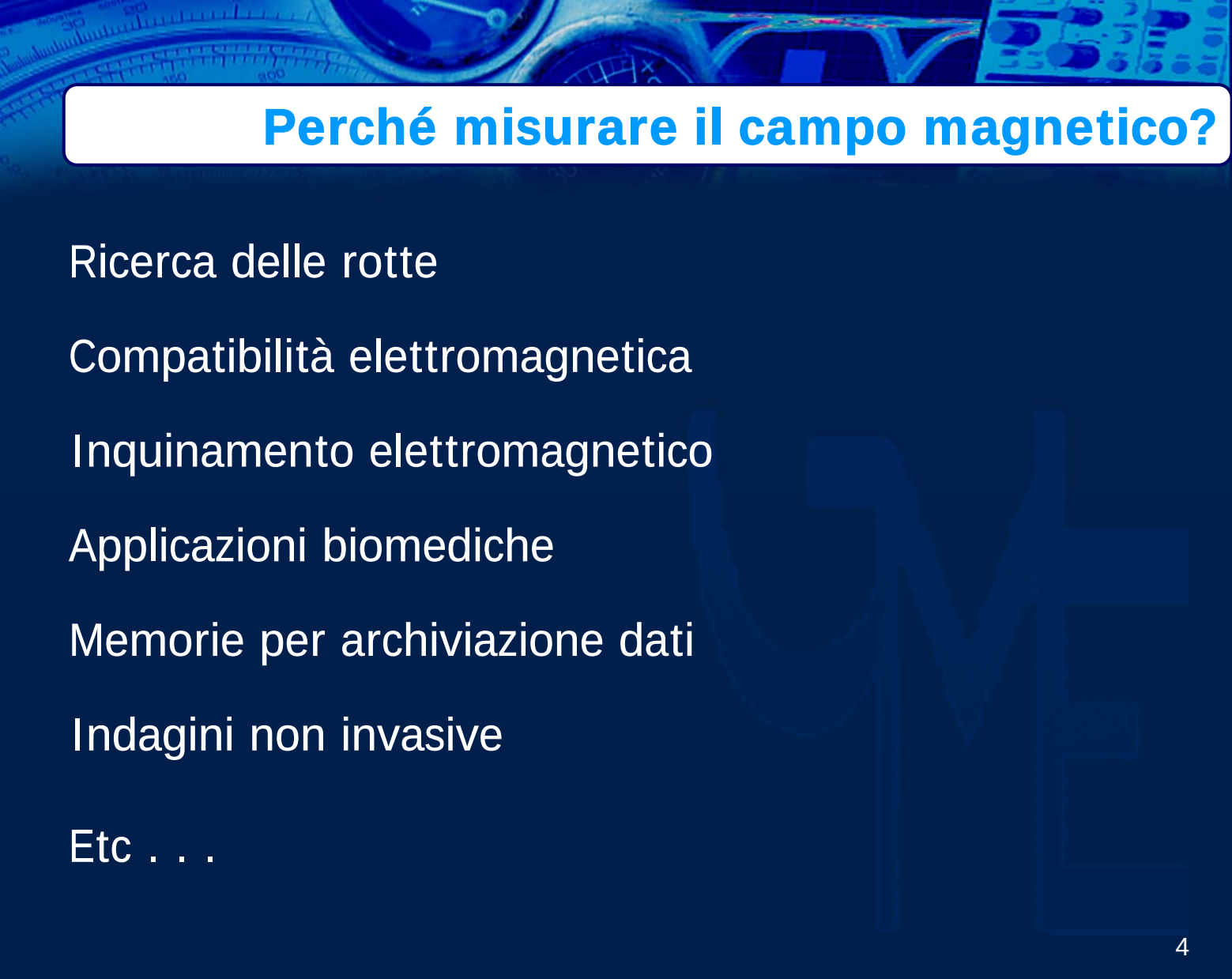
... il campo magnetico ..

Solenoide



Magnete





Perché misurare il campo magnetico?

Ricerca delle rotte

Compatibilità elettromagnetica

Inquinamento elettromagnetico

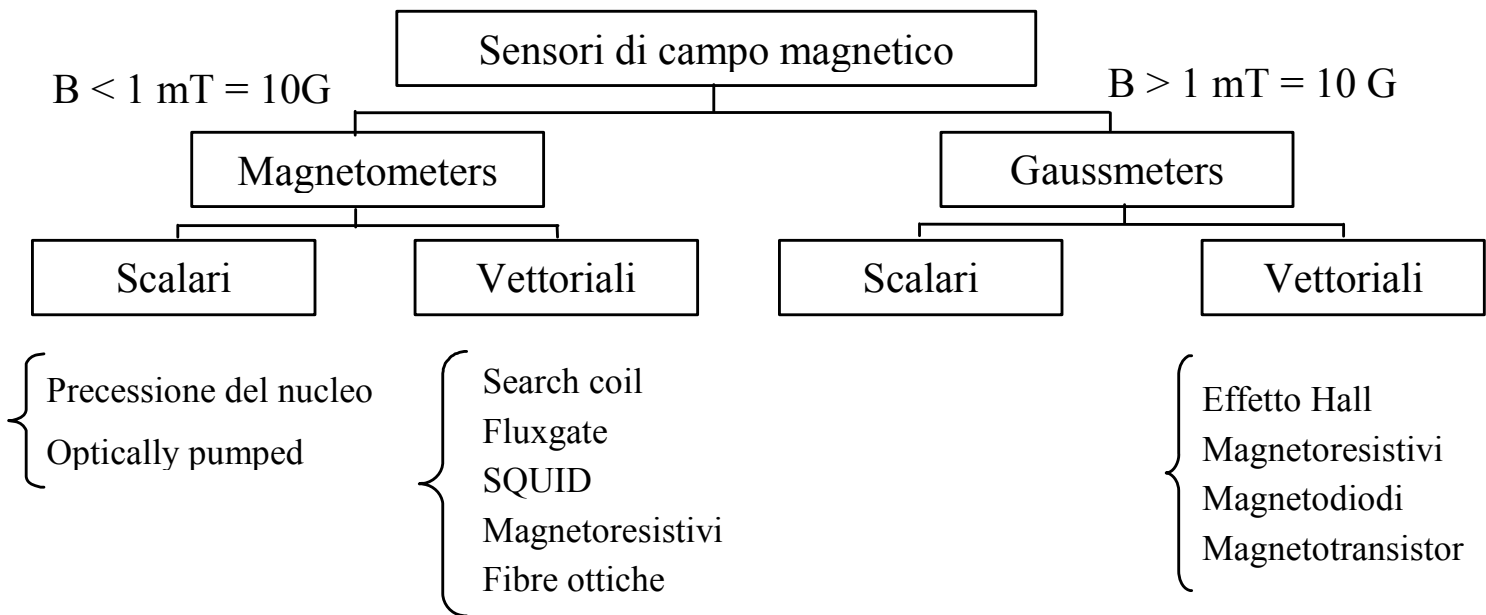
Applicazioni biomediche

Memorie per archiviazione dati

Indagini non invasive

Etc

I sensori di campo magnetico

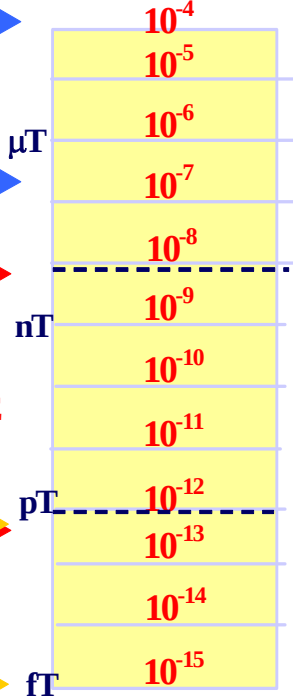


I sensori di campo magnetico

Applicazioni

Inquinamento
elettromagnetico

Campo magnetico (Tesla)



NDE

Esame
Geofisico

Applicazioni
Biomagnetiche

Tecnologia dei sensori
magnetici

RANGE DEL CAMPO
RILEVABILE (Tesla)*

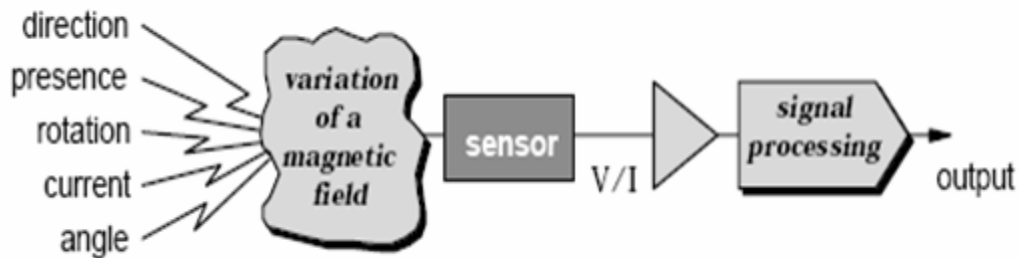
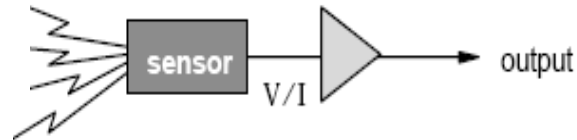
10⁻¹² 10⁻⁸ 10⁻⁴ 10⁰ 10⁴

SQUID
FIBRE OTTICHE
OPTICALLY PUMPED
PRECESSIONE DEL NUCLEO
BOBINE AVVOLTE
MAGNETORESIST. ANISOTR.
FLUX GATE
MAGNETOTRANSISTOR
MAGNETODIODE
SENSOR MAGNETO-OPTICAL
GMR
SENSORI A EFFETTO HALL

EARTH'S FIELD

I sensori di campo magnetico

**magnetic
field**





Perché tante tipologie di sensori?

Tante sono le applicazioni sia per la misura diretta di campo magnetico che indiretta di altre grandezze, ognuna delle quali con le proprie esigenze che definiscono quale possa essere il sensore più adatto

Campo di misura

Sensibilità

Risposta in frequenza

Dimensioni

Potenza dissipata

Costo

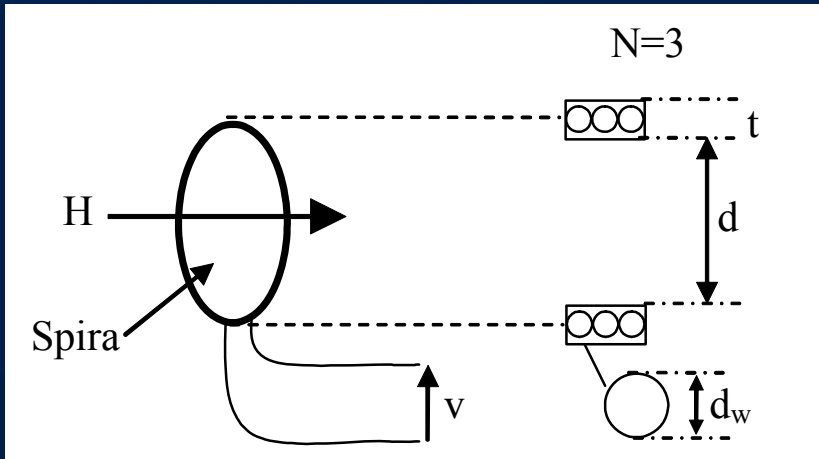
Linearità

Isteresi

Complessità del
condizionamento

Etc . . .

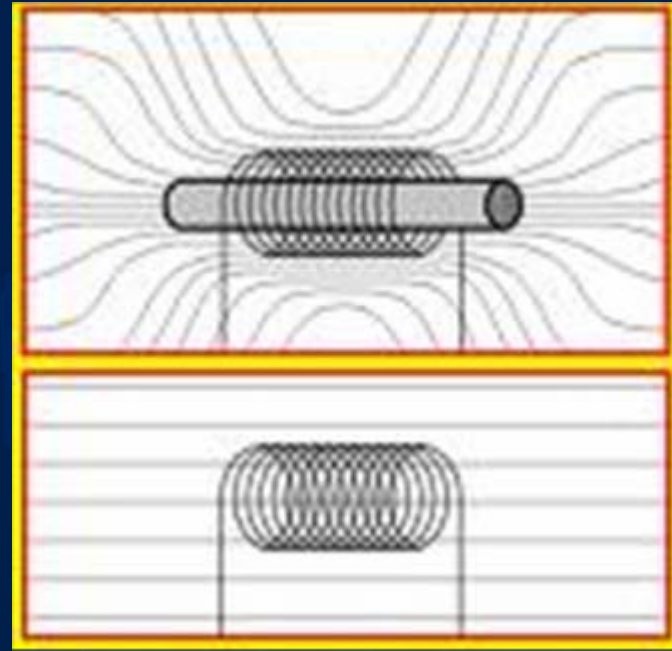
Search coil - Bobine



La sensibilità dipende da:

- permeabilità del nucleo
- sezione della bobina
- numero di spire
- frequenza del campo misurato

$$K = \mu_o \cdot N \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \left[1 + 2 \left(\frac{t}{d} \right) + \frac{3}{4} \left(\frac{t}{d} \right)^2 \right]$$



Legge di Faraday Lenz

$$V = - \frac{d\Phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \left[\int_a \underline{B} \cdot \underline{n} \cdot dA \right]$$

Caratteristiche

Misuratore vettoriale bidirezionale

Campo di misura: $10e-10 - 10e4$ [T]

Sensibilità: variabile

Banda passante: 1Hz – 1MHz

Dimensioni tipiche: 5cm x 12cm

Potenza dissipata: $< 10\text{mW}$

Costo: medio-basso

Semplice realizzazione

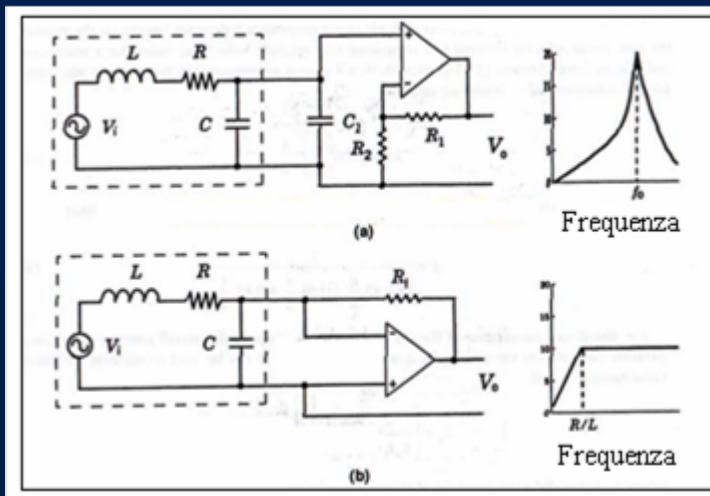
Robusto

Necessità di un elevato numero di spire

Semplice condizionamento

Search coil - Bobine

Condizionamento



Amplificazione di tensione

Amplificazione di corrente

Il condizionamento con amplificazione di tensione è più adatto ad applicazioni a banda stretta o addirittura per un'unica frequenza

Il condizionamento con amplificazione di tensione è più indicato per applicazioni a banda larga.

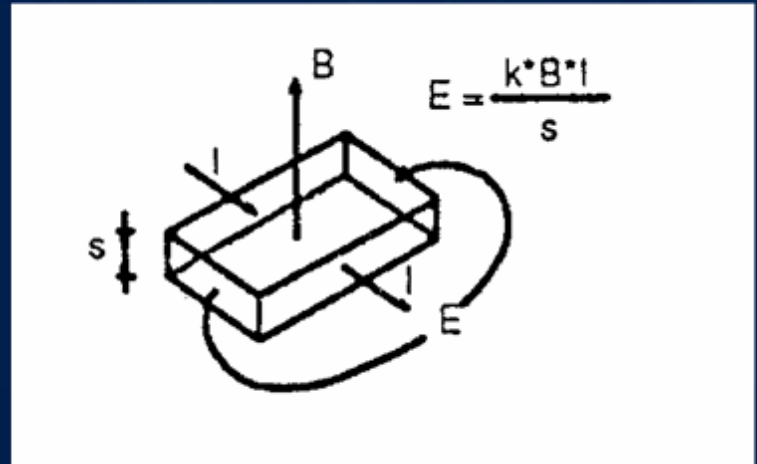
In entrambi i casi la frequenza massima di misura è limitata dalla frequenza di risonanza della bobina

Effetto Hall

Effetto Hall
(E.Hall 1879)

$$V_y = K_H i(t) B(t)$$

K_H = costante di Hall
f (B, temperatura, dim. piastra)



- In un materiale conduttore o semiconduttore sottoposto ad un campo di induzione magnetica B_z normale al flusso di una corrente elettrica di intensità I_x , si manifesta una d.d.p. V_y in direzione perpendicolare alle direzioni sia di B_z sia di I_x .
- Le cariche elettriche in moto con velocità $\mathbf{v}$ entro il campo $\mathbf{B}$ sono soggette ad una forza di Lorentz diretta perpendicolarmente sia a $\mathbf{v}$ che a $\mathbf{B}$. Tale movimento origina un eccesso, di cariche negative su una faccia della piastra e cariche positive sull'altra, originando la d.d.p.

Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $0.1 - 3 \cdot 10^4$ [mT]

Sensibilità: 10mV/T a 1.4 V/T

Banda passante: DC – 100MHz

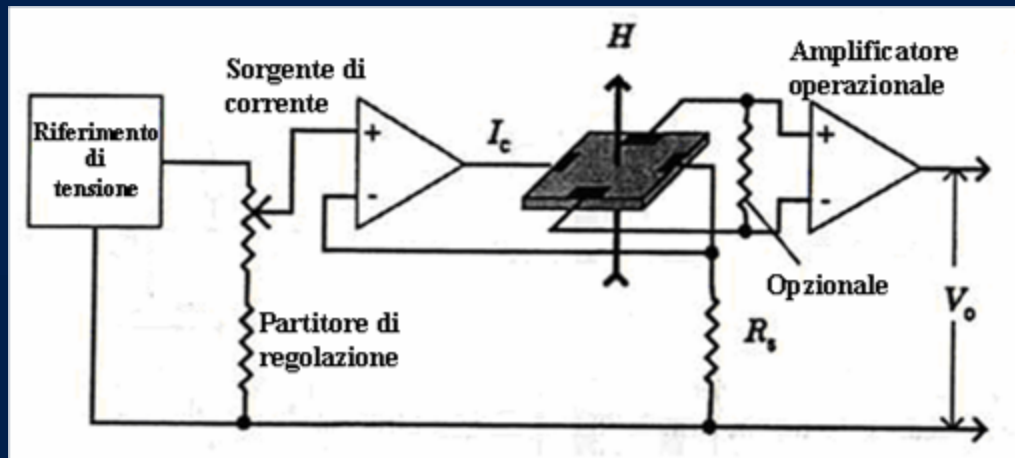
Dimensioni tipiche: ordine del cm

Potenza dissipata: < variabile

Costo: medio

Robusto

Condizionamento



- Generazione e controllo della corrente e del campo normale
- Amplificazione della tensione

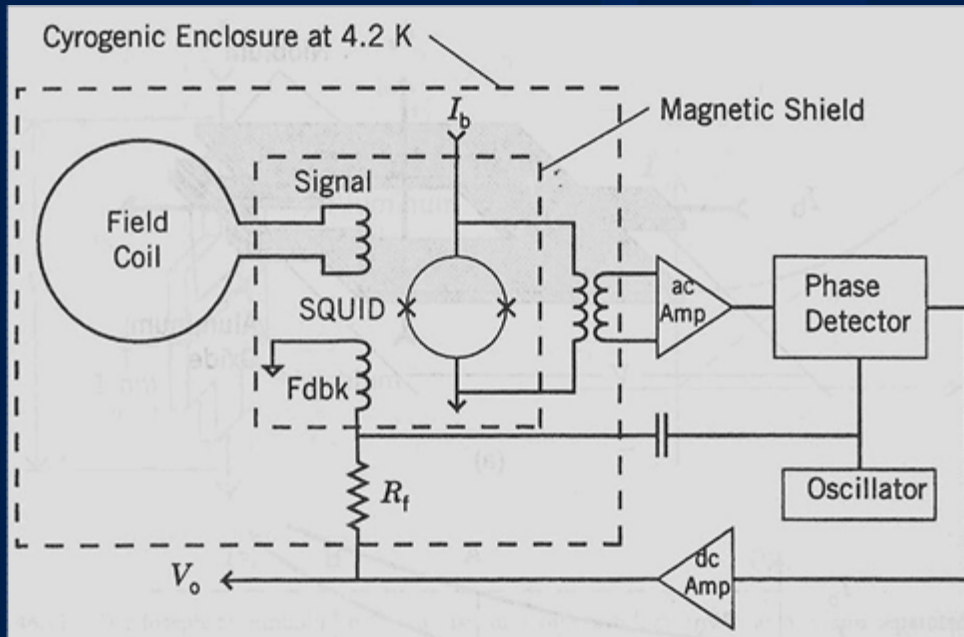
SQUID Superconducting Quantum Interference Device

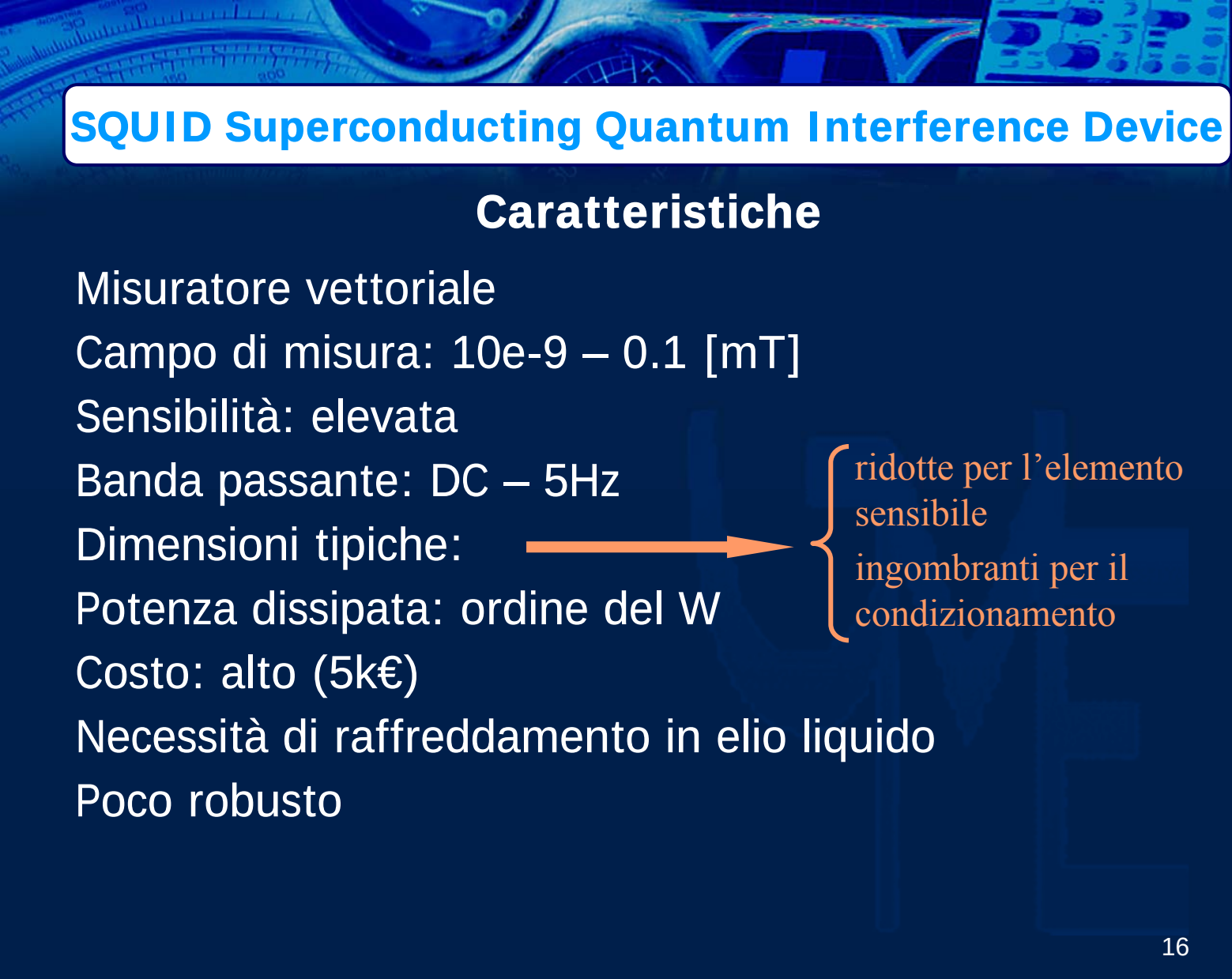
Sono basati sull'ausilio di due principi fisici:

- Superconduttività dei materiali
- Effetto Josephson (1962)



Temperatura di esercizio: -270°C





SQUID Superconducting Quantum Interference Device

Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $10\text{e-}9 - 0.1$ [mT]

Sensibilità: elevata

Banda passante: DC – 5Hz

Dimensioni tipiche:

Potenza dissipata: ordine del W

Costo: alto (5k€)

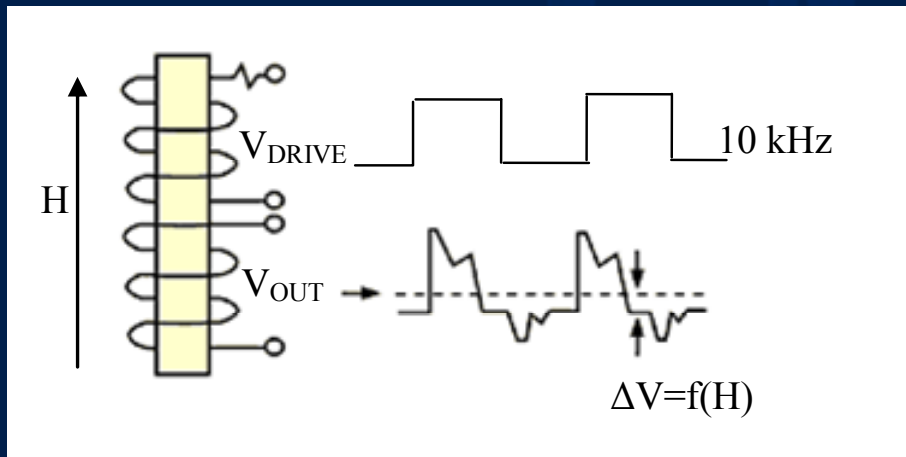
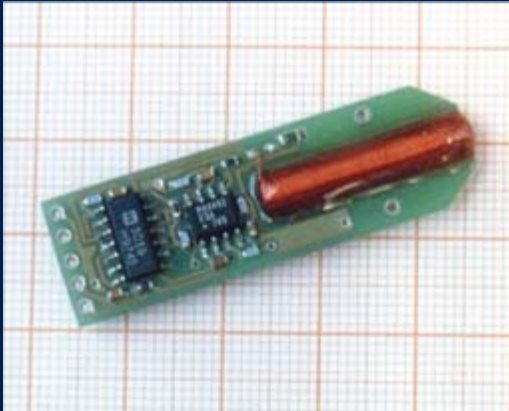
Necessità di raffreddamento in elio liquido

Poco robusto

→ { ridotte per l'elemento
sensibile

ingombranti per il
condizionamento

Fluxgate



Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $10e-4 - 0.5$ [mT]

Sensibilità: buona

Banda passante: DC – 2kHz

Dimensioni: ridotte

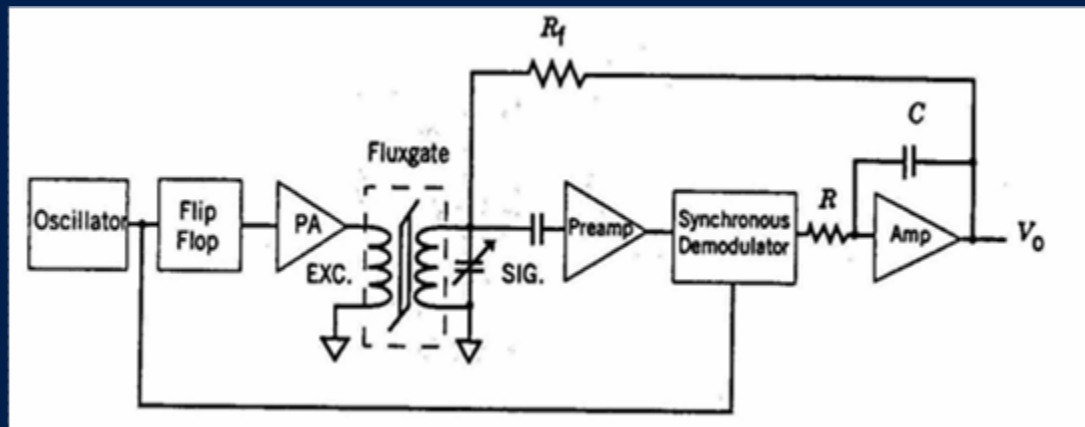
Potenza dissipata: ridotta

Costo: medio (70€)

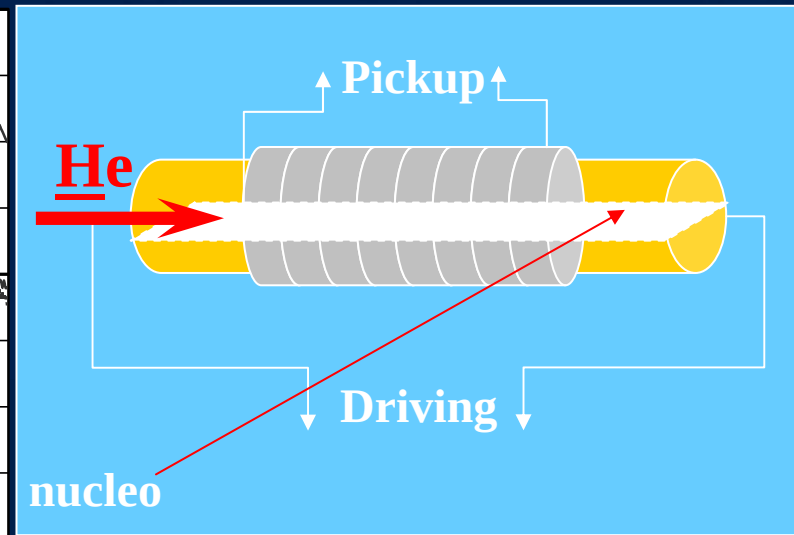
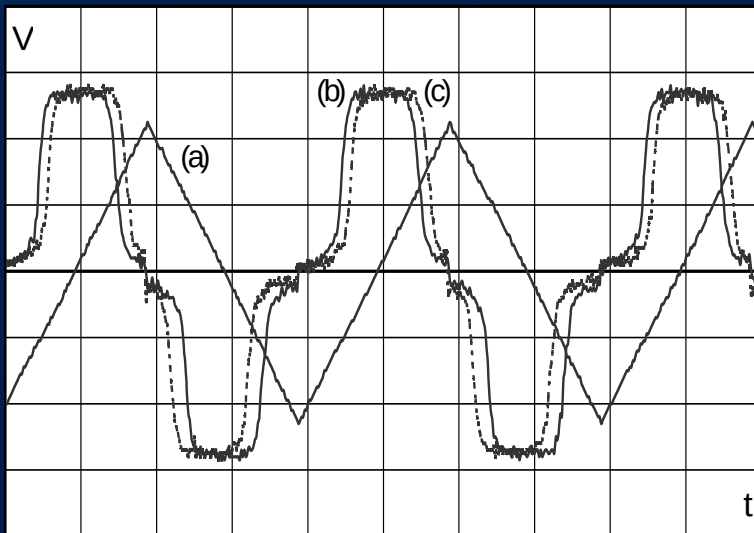
Poco robusto

Costruttivamente semplice

Condizionamento



- ➔ Alimentazione della bobina di eccitazione
- ➔ Amplificazione e demodulazione del segnale di uscita dalla bobina di pickup



- (a) Segnale di driving
- (b) segnale di pick-up in assenza di un campo magnetico esterno
- (c) segnale di pick-up in presenza di un campo magnetico esterno

Il livello del segnale di pick-up non dipende dal campo magnetico esterno

Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $30 \cdot 10^{-6}$ – 10 [mT]

Sensibilità: buona

Banda passante: DC – 20 kHz

Dimensioni: ridotte (5mm)

Potenza dissipata: ridotta

Costo: basso (5€)

Poco robusto

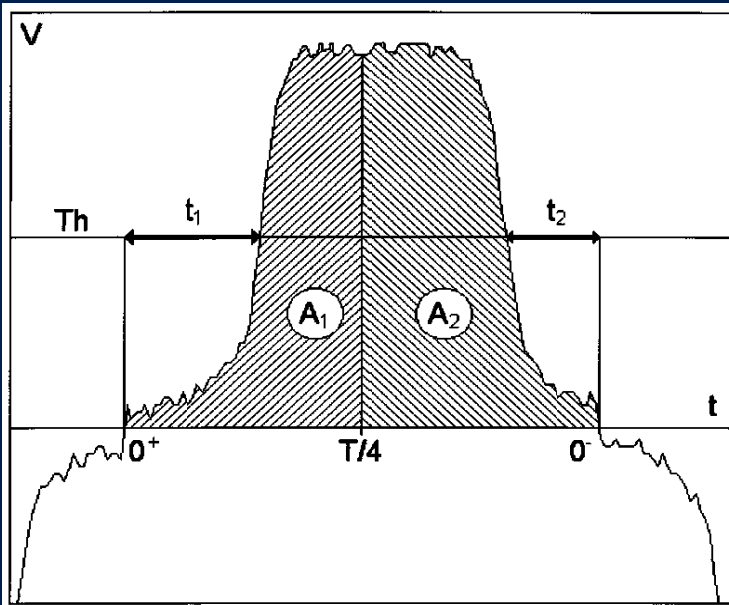
Costruttivamente semplice

Condizionamento

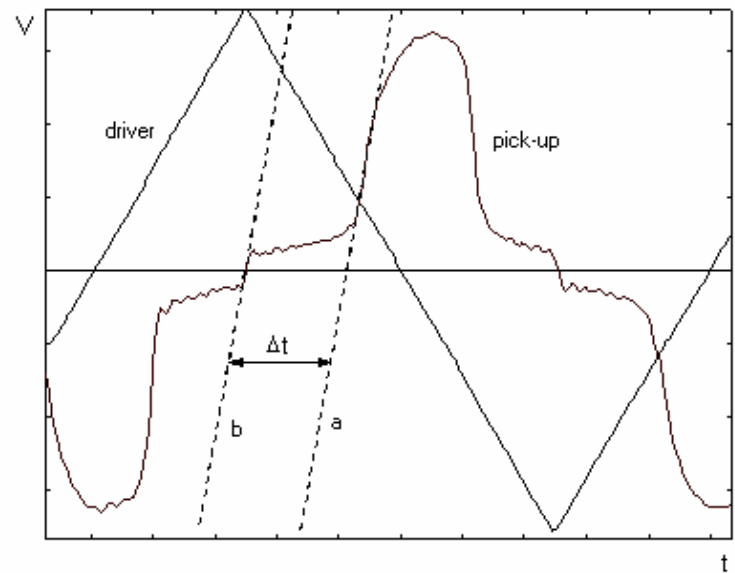
- Alimentazione della bobina di eccitazione
- Demodulazione del segnale di uscita dalla bobina di pickup

Condizionamento: estrazione del campo

1. aree

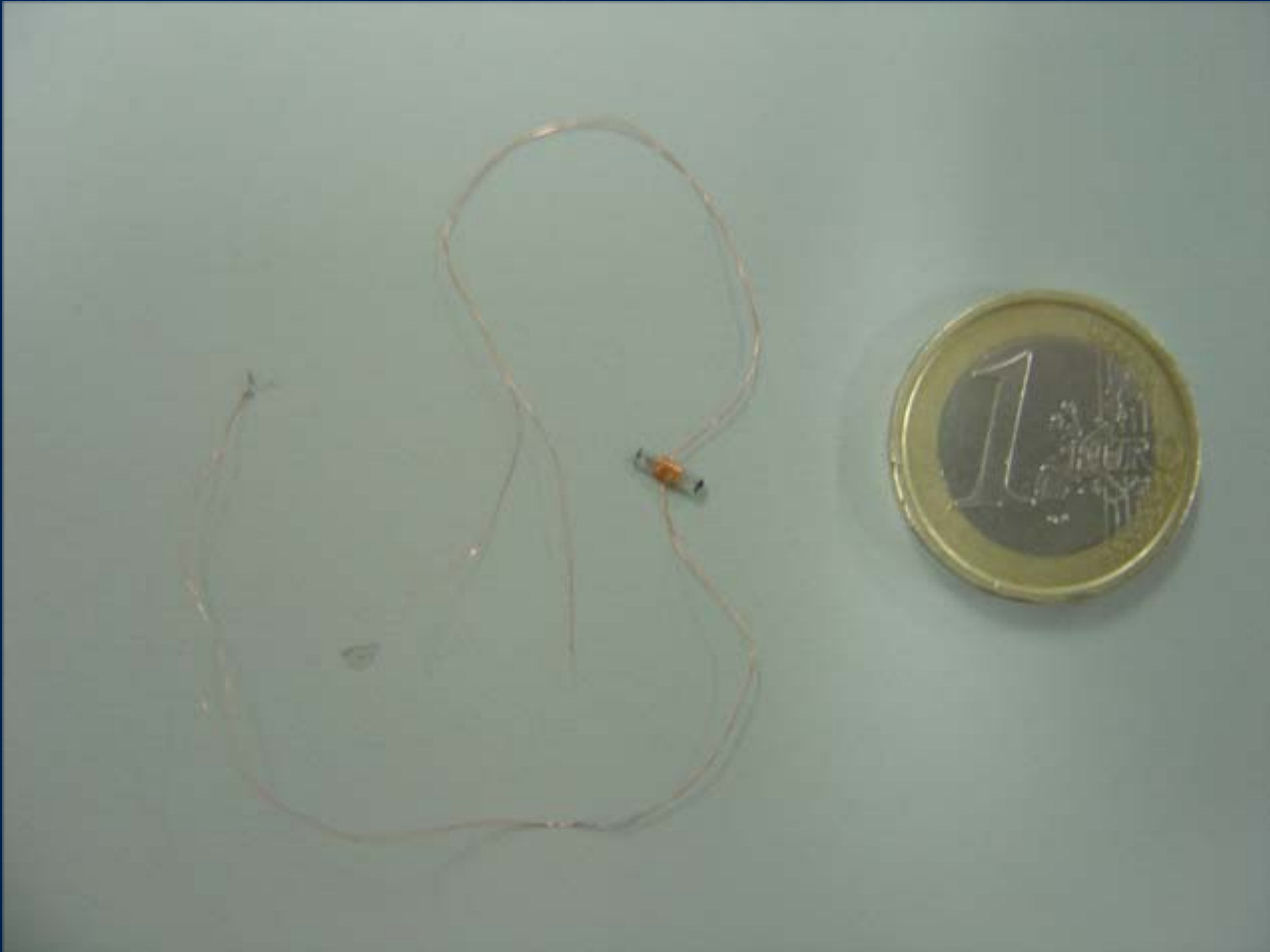


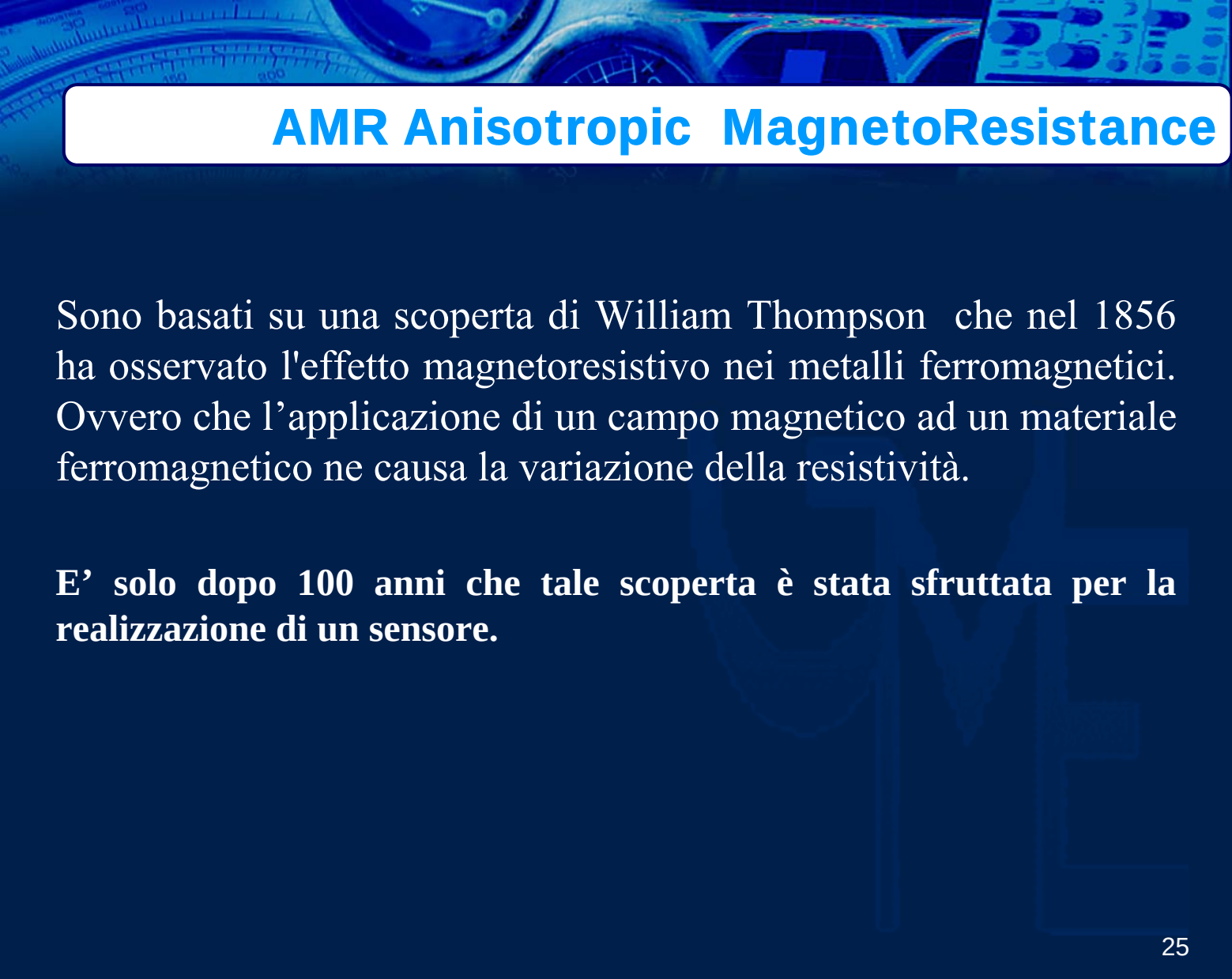
2. tempi



3. Analisi in frequenza

Fluxset

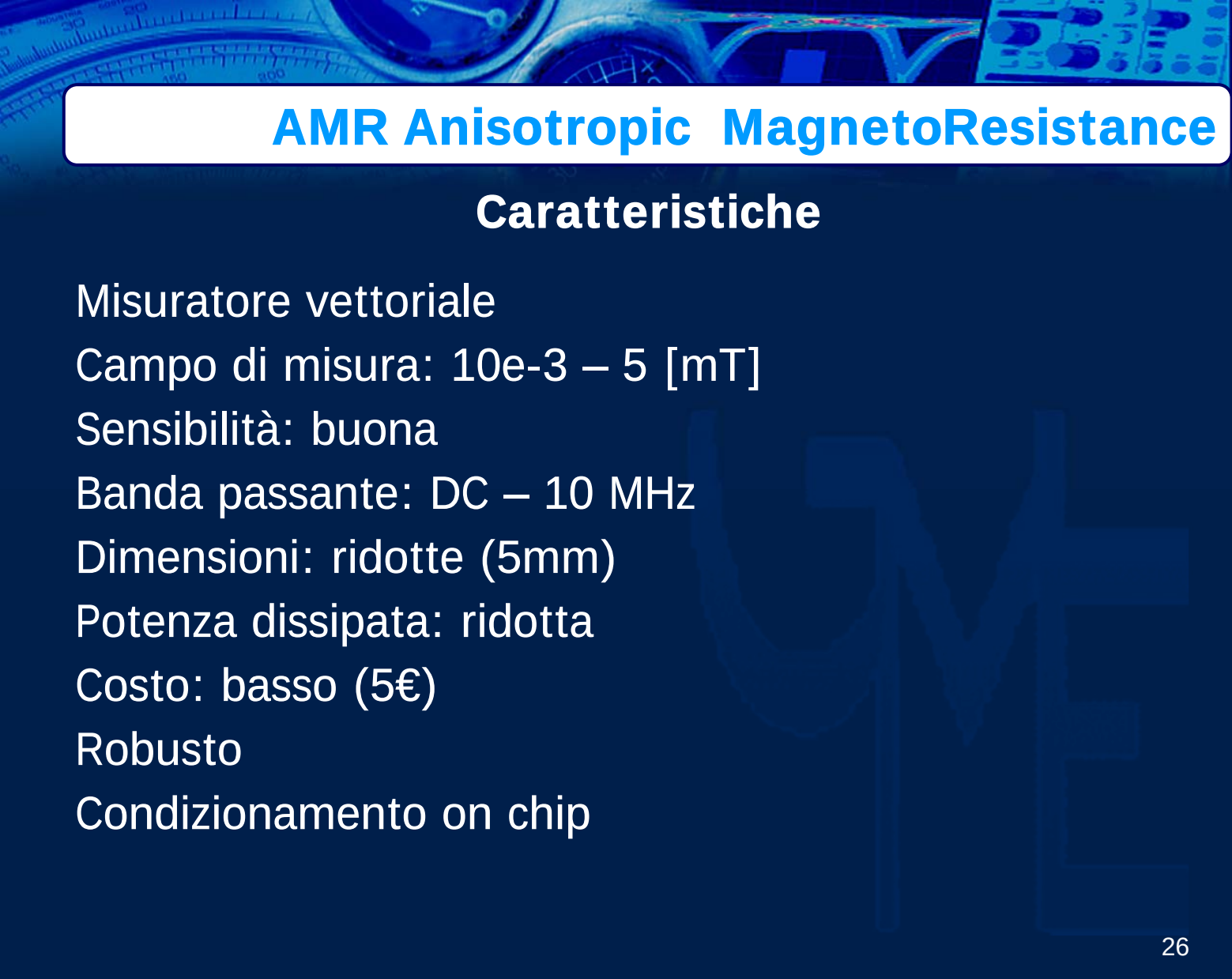




AMR Anisotropic MagnetoResistance

Sono basati su una scoperta di William Thompson che nel 1856 ha osservato l'effetto magnetoresistivo nei metalli ferromagnetici. Ovvero che l'applicazione di un campo magnetico ad un materiale ferromagnetico ne causa la variazione della resistività.

E' solo dopo 100 anni che tale scoperta è stata sfruttata per la realizzazione di un sensore.



AMR Anisotropic MagnetoResistance

Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $10\text{e-}3 - 5$ [mT]

Sensibilità: buona

Banda passante: DC – 10 MHz

Dimensioni: ridotte (5mm)

Potenza dissipata: ridotta

Costo: basso (5€)

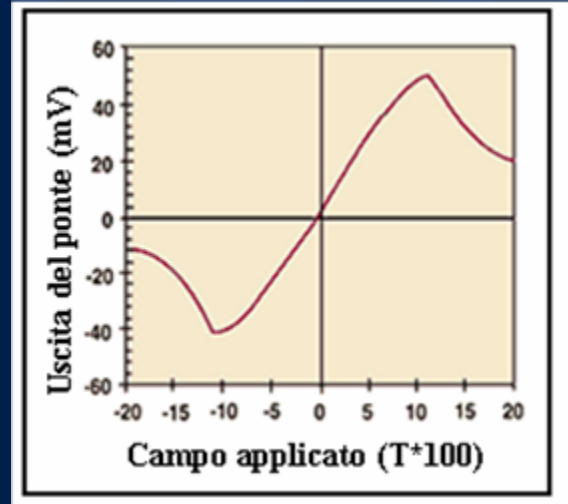
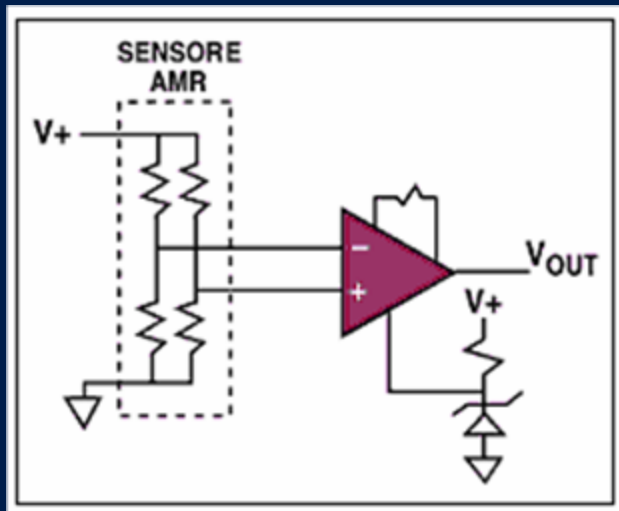
Robusto

Condizionamento on chip

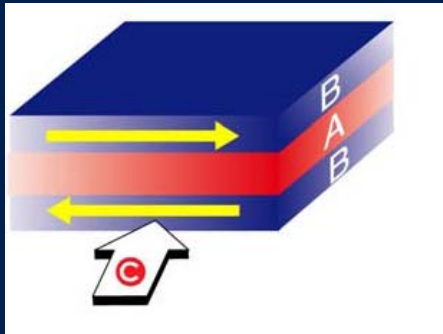
AMR Anisotropic MagnetoResistance

Condizionamento

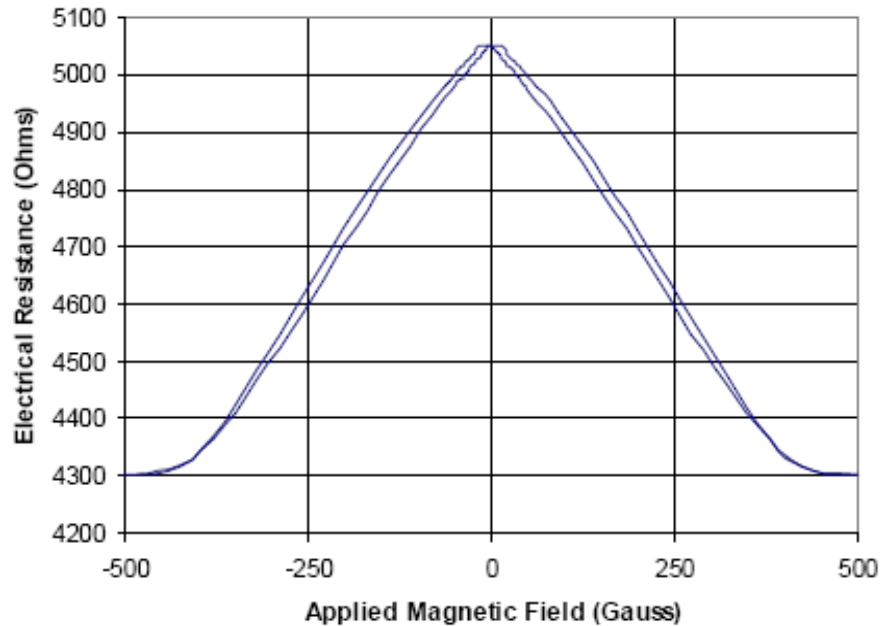
- Rilevare la variazione di resistenza
- Trasformarla in una variazione di tensione

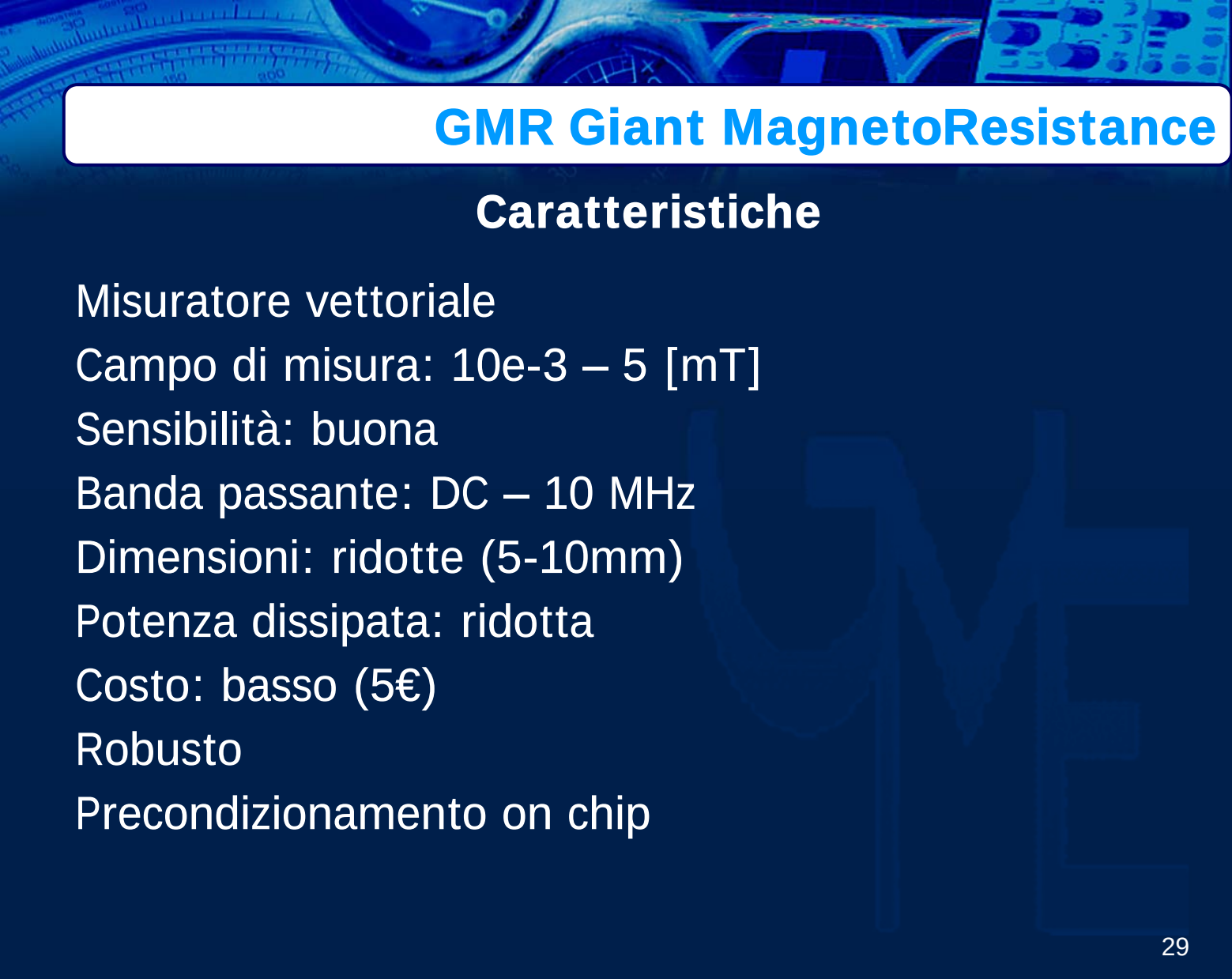


GMR Giant MagnetoResistance



- a) Materiale amagnetico
- b) Materiale magnetico





GMR Giant MagnetoResistance

Caratteristiche

Misuratore vettoriale

Campo di misura: $10\text{e-}3 - 5$ [mT]

Sensibilità: buona

Banda passante: DC – 10 MHz

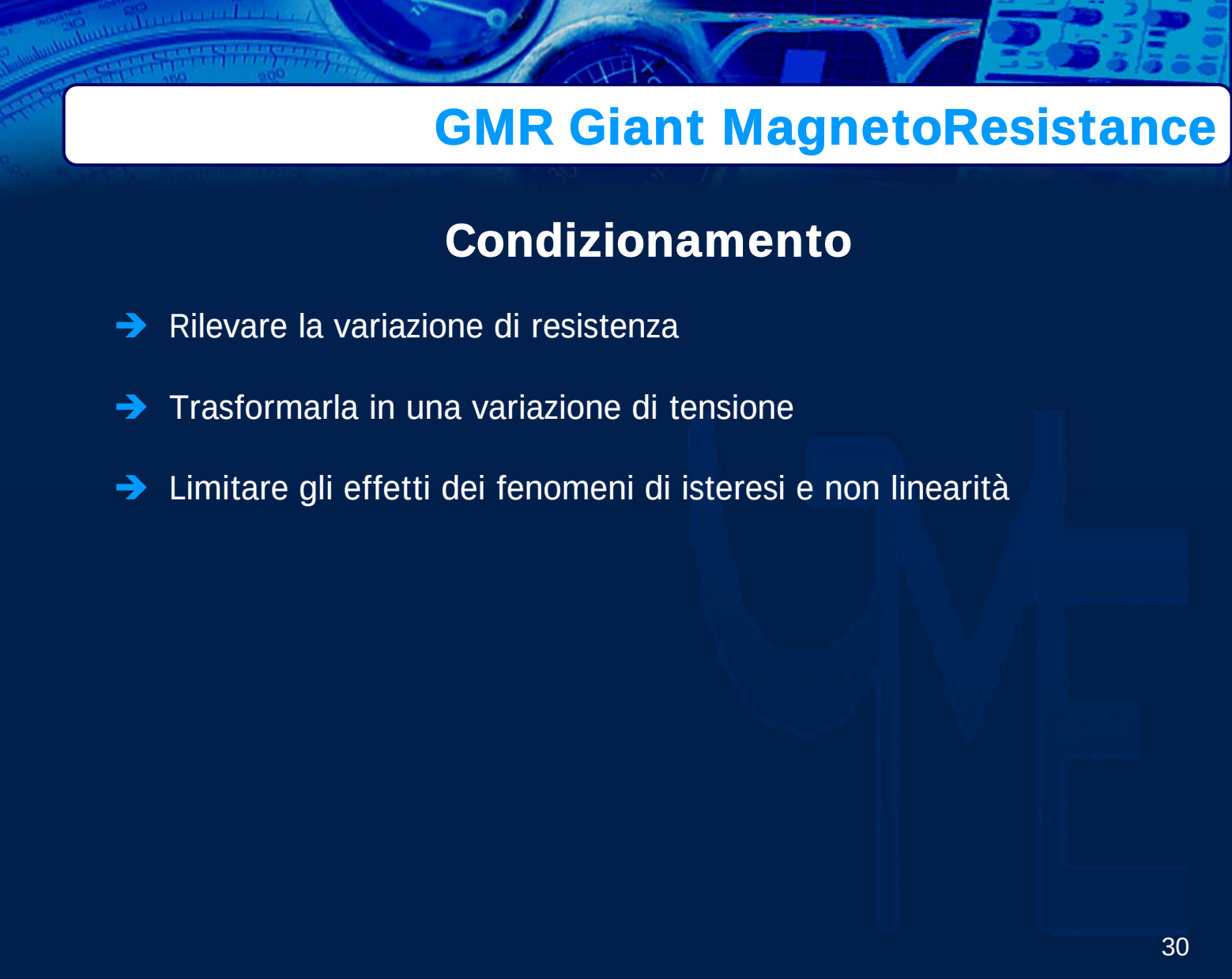
Dimensioni: ridotte (5-10mm)

Potenza dissipata: ridotta

Costo: basso (5€)

Robusto

Precondizionamento on chip



GMR Giant MagnetoResistance

Condizionamento

- Rilevare la variazione di resistenza
- Trasformarla in una variazione di tensione
- Limitare gli effetti dei fenomeni di isteresi e non linearità