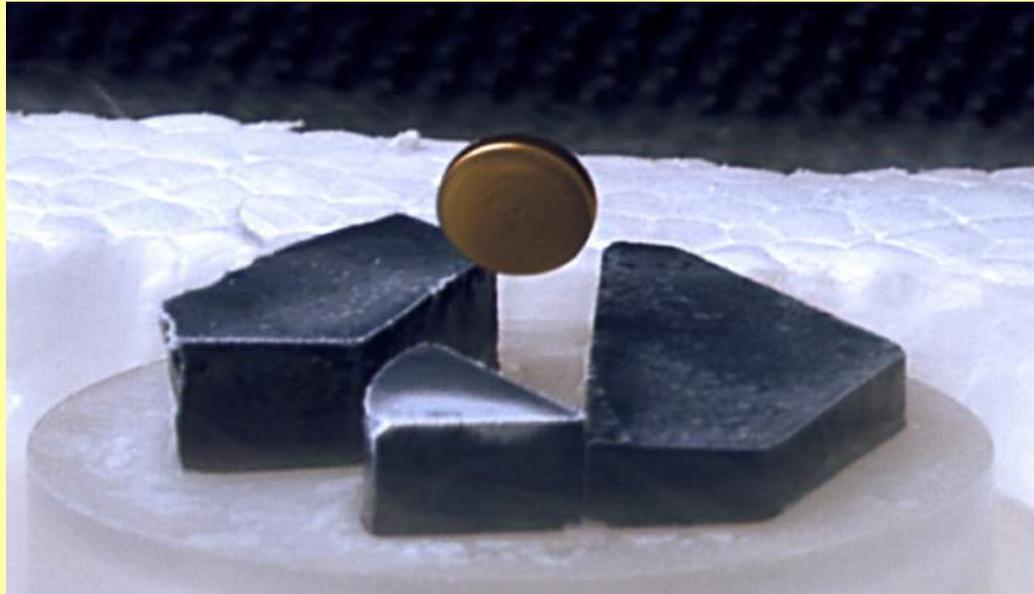
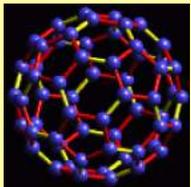
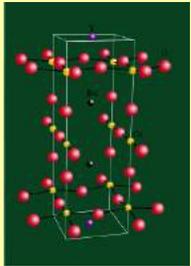
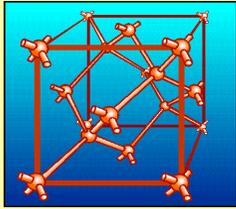


# *Il fenomeno della Superconduttività'*

*note introduttive per lo stage*

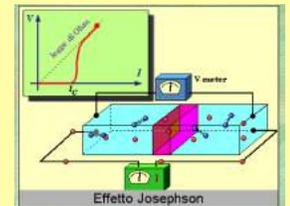
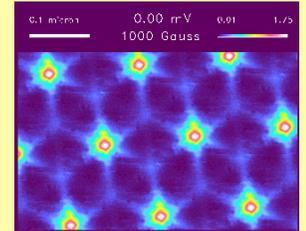
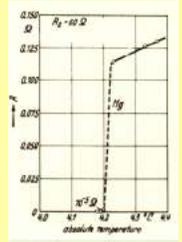


**Dr. Daniele Di Gioacchino**  
**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare**  
**Laboratori Nazionali di Frascati**

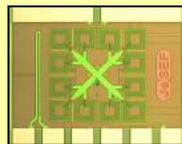


**La Superconduttività è uno stato della materia con eccezionali proprietà elettriche e magnetiche. Evidenzia un comportamento della fisica quantistica nei solidi. E' uno dei rarissimi effetti quantistici macroscopici.**

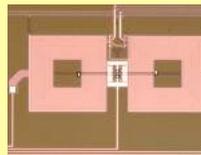
**Fu scoperto da Onnes nel 1911**



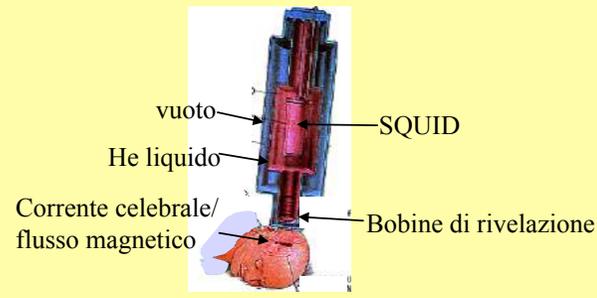
Treni veloci a levitazione magnetica



Giunzione Josephson



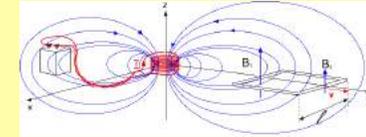
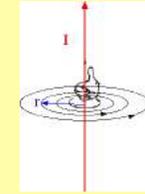
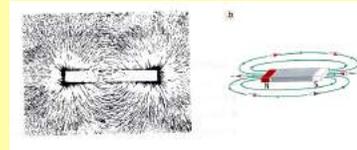
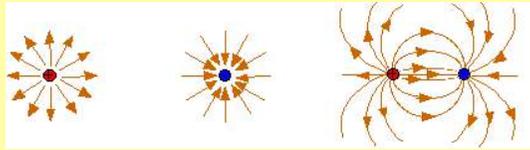
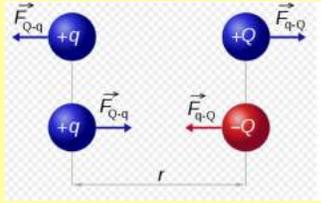
SQUID



Analisi biomagnetiche con SQUID



Potenti Magneti per MNR



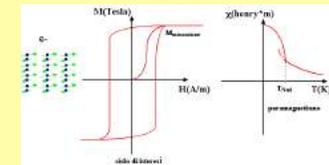
**forza elettrica di Coulomb**

**Campo elettrico**

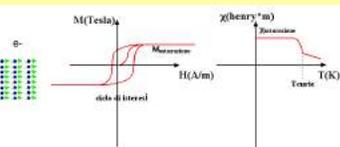
**Campo magnetico**

**Campo magnetico di un filo percorso da corrente elettrica**

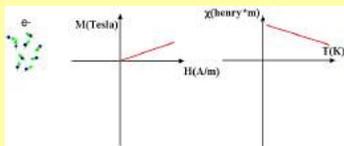
**Induzione magnetica**



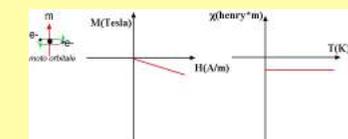
**ferrimagnetismo**



**ferromagnetismo**

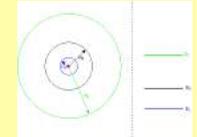


**paramagnetismo**



**diamagnetismo**

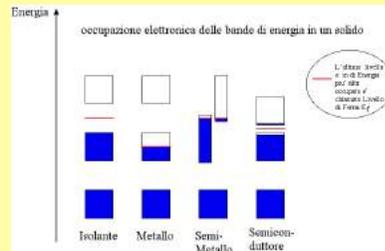
**Per capire questo fenomeno dobbiamo conoscere alcune nozioni di elettromagnetismo e magnetismo nella materia**



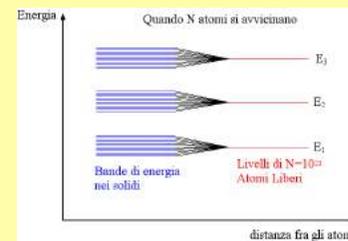
**Le orbite degli elettroni in atomo di idrogeno**



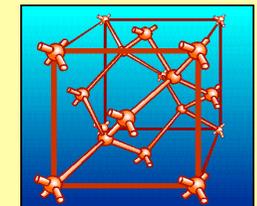
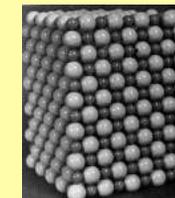
**Forma spaziale degli Orbitali elettronici di atomo di idrogeno**



**Come riempiono gli elettroni le bande di energia**



**Le bande di energia in un solido**



**Un solido**

# *Finalita' dello 'stage'*

- **Conoscere** le proprietà dei **materiali superconduttori con cenni alle teorie.**
- **Si verificheranno** direttamente in laboratorio con **esperimenti** alcune proprietà superconduttive.

Pre-requisito introduttivo:

- ❖ Sono utili conoscere proprietà su **elettricità, magnetismo e magnetismo nella materia**

Per il laboratorio:

- ❖ sarà mostrata una moderna tecnica di misura delle risposte magnetiche dei materiali. **Il magnetometro a campo magnetico variabile** per caratterizzare la suscettività magnetica a.c. dei superconduttori.

# *Obiettivi dello 'stage'*

- Saper riconoscere e descrivere il fenomeno della superconduttività
- Conoscere le varie classi di superconduttori
- Dare un cenno divulgativo ai fondamenti della teoria microscopica
- Conoscere gli ordini di grandezza delle variabili fisiche coinvolte

✓ *Per una comprensione approfondita di questo fenomeno è importante conoscere nozioni su:*

- **elettromagnetismo**
- **magnetismo nella materia**
- **misura di risposta magnetica dei materiali**

# *Le attività' dello 'stage'*

## **•TEORIA**

qualche lezione su:

- Criogenia,
- materia condensata,
- superconduttività

## **•PROVE PRATICHE**

esperimenti:

- Criogenia con l'azoto liquido,
- misure elettriche e termometria con errori casuali e sistematici,
- effetto Meissner
- Applicazione tecnologica: il treno a sospensione magnetica

## **• PERICOLI E SICUREZZA**

# *Le attività' dello 'stage'*

Esperienze in laboratorio sulla  
Superconduttività

# Come si fa una misura resistiva in funzione della temperatura

Un resistore formato da grani di carbone aumenta la resistenza elettrica quando si abbassa la temperatura, perchè?

Scopo dell' esperienza:

**Un semplice esperimento elettrico per conoscere fluidi criogenici, guanti, thermos, devar per contenere azoto liquido, un tipo di resistore elettrico, l' ohmetro, termometri, e ..... come si lavora.**

**Una osservazione porta a una applicazione: realizzare dei termometri**

L' esperimento consisterà fissare su una resistenza Allen-Bradley un termometro e leggerlo, misurare con un ohmetro la resistenza elettrica. Immergerlo in azoto liquido con l' uso di un contenitore di polistirolo e guanti, esporlo all' aria e prendere nel tempo la variazione della temperatura e resistenza

## DESCRIZIONE ESPERIMENTO

La resistenza Allen-Bradley

Nastro adesivo di alluminio

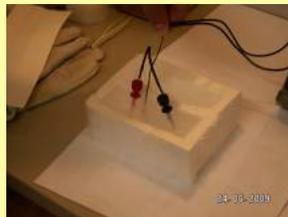
Termometro a termocoppia e lettore di temperatura

Ohmetro: lettore della resistenza elettrica

Contenitore di polistirolo

# Esecuzione dell' esperienza

- Viene posto il termometro sulla resistenza e fissata con scotch di Alluminio
- Vengono collegati gli estremi della resistenza all' ohmetro
- Viene raffreddata la resistenza ponendola dentro una scatola di polistirolo con azoto liquido versato da un contenitore chiamato 'devar' e lasciata immersa in azoto liquido, (uso di guanti).
- Estratta la resistenza dall' azoto liquido
- Osservata la variazione resistiva fino a temperatura ambiente
- Grafico del valore resistivo in temperatura (carta millimetrata, relazione)



# Come si mostra l'effetto 'Meissner'

Levitazione di un magnete su provini di un materiale ceramico granulare ad alta temperatura critica ( $T_c = 90\text{K}$ ,  $T_c \approx -183^\circ\text{C}$ ) chiamato YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ )

## Scopo dell'esperienza:

**Si mostra in modo qualitativo ma con un interessante effetto visivo l'esclusione del campo magnetico da parte di un superconduttore**

L'esperienza consisteva nel far fluttuare un magnetino (0.1 Tesla) su alcuni pezzi di superconduttore ceramico a una temperatura sotto la temperatura critica superconduttiva.

# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

Per campione si usano alcuni pezzi di materiale ceramico di tipo granulare chiamato YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ), **non è un buon conduttore elettrico**



Piccolo magnete



Un dito freddo di zaffiro: materiale isolante elettrico, **ottimo conduttore di calore**, fragile



Un contenitore di polistirolo per contenere azoto liquido



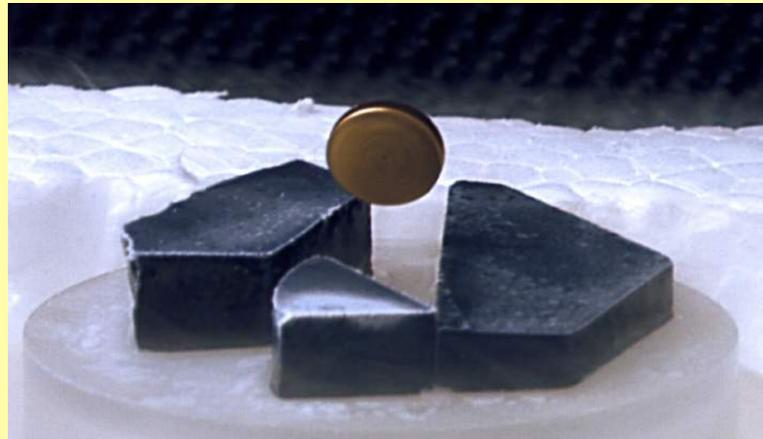
Azoto liquido: liquido molto freddo a  **$-169\text{ }^\circ\text{C}=77\text{ }^\circ\text{K}$**

**Guanti, pinzette** per proteggere le mani dal freddo



## Esecuzione dell' esperienza

- Viene raffreddato lo zaffiro posto nel polistirolo con azoto liquido versato da un contenitore chiamato 'devar' e lasciato immerso in azoto liquido, (uso di guanti).
- I vari campioni vengono poggiati sul dito freddo con pinzette (uso di guanti e pinzette).
- Viene sospeso un piccolo magnete fra i vari pezzi di YBCO (uso di guanti e pinzette).



# L'importanza tecnologica dell'effetto 'Meissner' : il treno MAGLEV

Levitazione di un trenino con pasticche di materiale ceramico granulare ad alta temperatura critica ( $T_c = 90\text{K}$ ,  $T_c \approx -183^\circ\text{C}$ ) chiamato YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) su una rotaia magnetica

Scopo dell'esperienza:

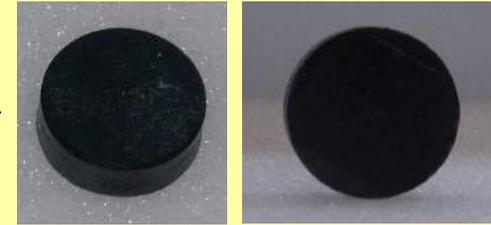
**Si mostra in modo qualitativo un tipo di uso tecnologico dell'espulsione e/o esclusione del campo magnetico da parte di un superconduttore:**

*ecco l'idea base di TRASFERIMENTO TECNOLOGICO*

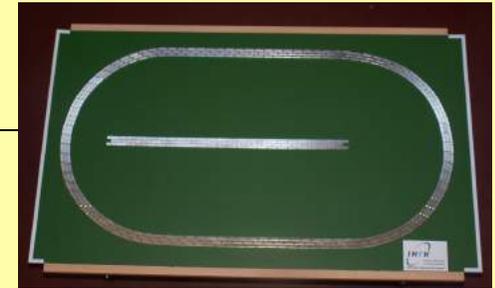
L'esperienza consisterà nel far fluttuare su una rotaia magnetica un trenino sulla cui base sono stati inseriti dei dischi di superconduttore ceramico a una temperatura sotto la temperatura critica superconduttiva

# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

Per campione si usano alcune pasticche di materiale ceramico di tipo granulare chiamato YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ), **non è un buon conduttore elettrico**



Una rotaia magnetica formata da potenti magneti ( $\text{NdFeB}$ ,  $B_r \approx 1.2\text{T}$ , **attenzione alto campo magnetico**) posati su una lastra di ferro di YBCO fissati sul fondo simulano la locomotiva e un vagone



Dei contenitori di polistirolo con dischi di superconduttore



Azoto liquido: liquido molto freddo a  **$-169\text{ }^\circ\text{C} = 77\text{ }^\circ\text{K}$**

**Guanti, pinzette** per proteggere le mani dal freddo



## DESCRIZIONE ESPERIMENTO

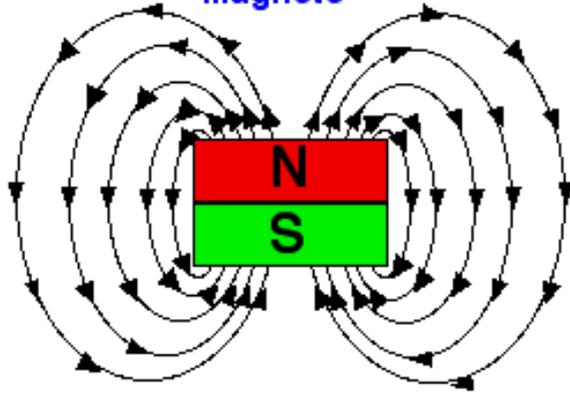
# Esecuzione dell' esperienza

- Vengono raffreddati la locomotiva e il vagone di polistirolo con azoto liquido (uso di guanti di cuoio).
- la locomotiva e il vagone vengono poggiati sul due barrette di legno posti ai lati della rotaia magnetica (uso di guanti e pinzette).
- viene spinto facendo muovere il trenino che sta levitando sulla rotaia (uso di guanti e pinzette)
- Si mostra l' ancoraggio del trenino sulla rotaia durante il moto

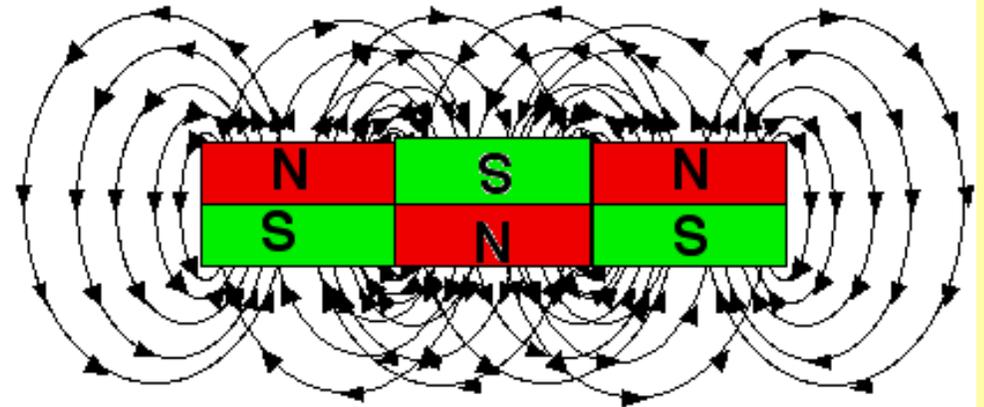


# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

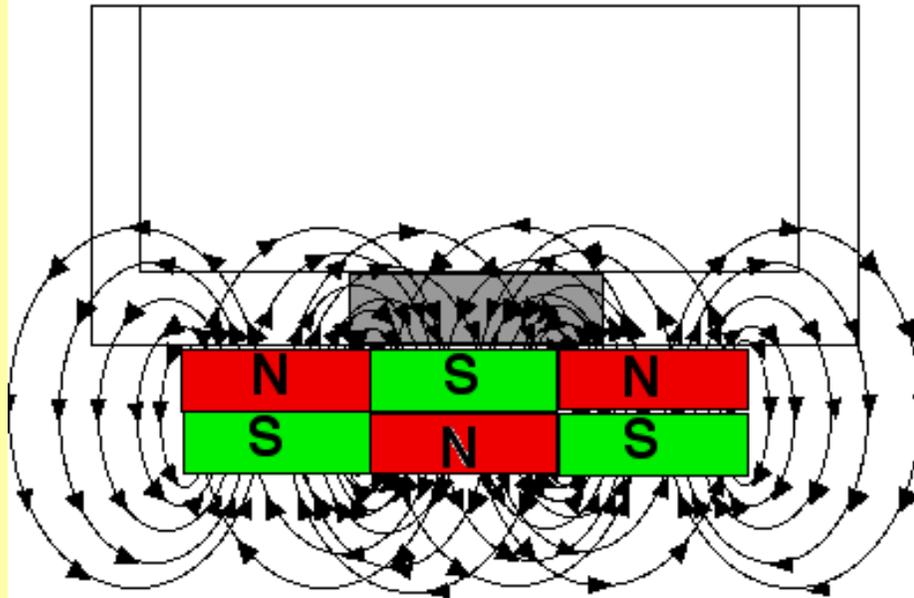
magnete



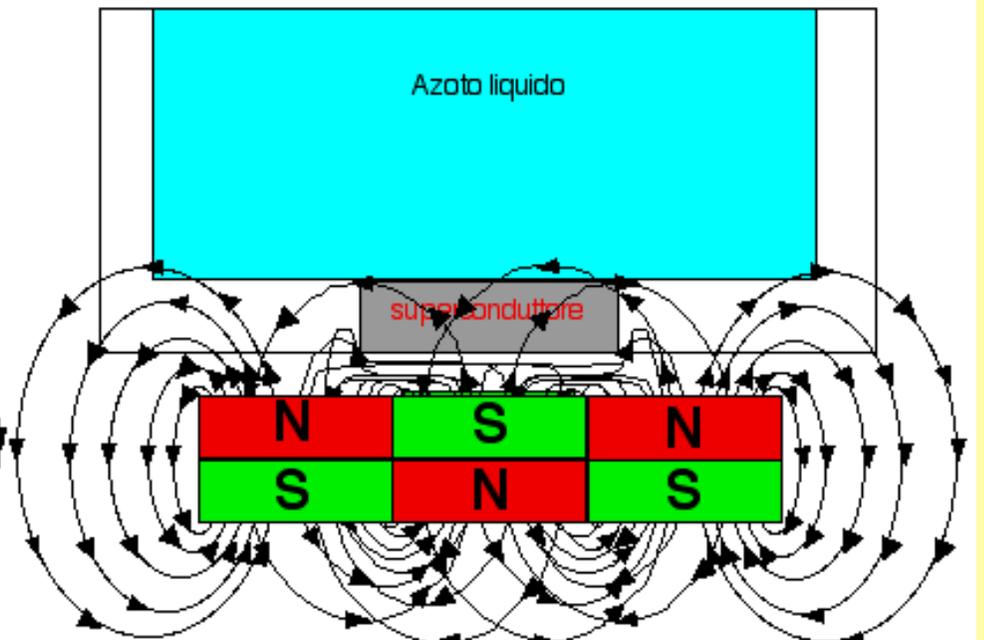
rotaia magnetica



treno con materiale superconduttore in stato *normale* su rotaia magnetica  $T(K) > T_c$



treno con stesso materiale in stato *superconduttore* su rotaia magnetica  $T(K) < T_c$



# Transizione diamagnetica di un superconduttore in funzione della temperatura

Scopo dell' esperienza:

Caratterizzazione quantitativa “dell' Effetto Meissner”:  
analisi della risposta puramente diamagnetica mediante  
la misura della suscettività magnetica a.c. in funzione  
della temperatura

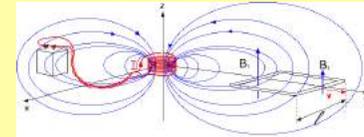
L' esperimento consisterà nel misurare la parte reale e la parte immaginaria delle componenti della suscettività magnetica, la I<sup>a</sup> e la III<sup>a</sup> armonica in funzione della temperatura durante la transizione dallo stato superconduttore a quello normale.

## DESCRIZIONE ESPERIMENTO

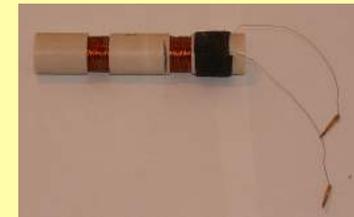
Il provino è un materiale ceramico di tipo granulare denominato BSCCO ( $\text{Bi}_1\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$ ) la cui  $T_c$  è  $\sim 110^\circ\text{K}$  ( $\approx -163^\circ\text{C}$ ) chiuso in un tubetto di argento e schiacciato a nastro.



Il metodo utilizzato per la misurazione della **suscettività** è basato sul l' effetto di **mutua induzione magnetica**



La risposta magnetica verrà misurata da un **ponte bilanciato di bobine** avvolte in modo anti induttivo (tensione ai capi del ponte= 0Volt).



# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

Il ponte bilanciato e' inserito in una bobina che viene alimentata con una corrente elettrica sinusoidale e produce il campo magnetico variabile sinusoidale di eccitazione: ( $\text{freq}=1070\text{Hz}$ ,  $V_{\text{app}}\sim 50\text{mV}$ ,  $I\sim 100\text{mA}$ ) .



Il **campione** viene posto su una barretta di zaffiro e inserita in **una** delle due bobine del ponte. Qualsiasi effetto magnetico sbilancia il ponte di bobine (tensione ai capi del ponte  $\neq 0\text{Volt}$ ) .



La **tensione (mV)** prodotta ai capi del ponte **viene misurata da** un volmetro particolarmente sensibile il **Lock-in** (strumento molto delicato)



# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

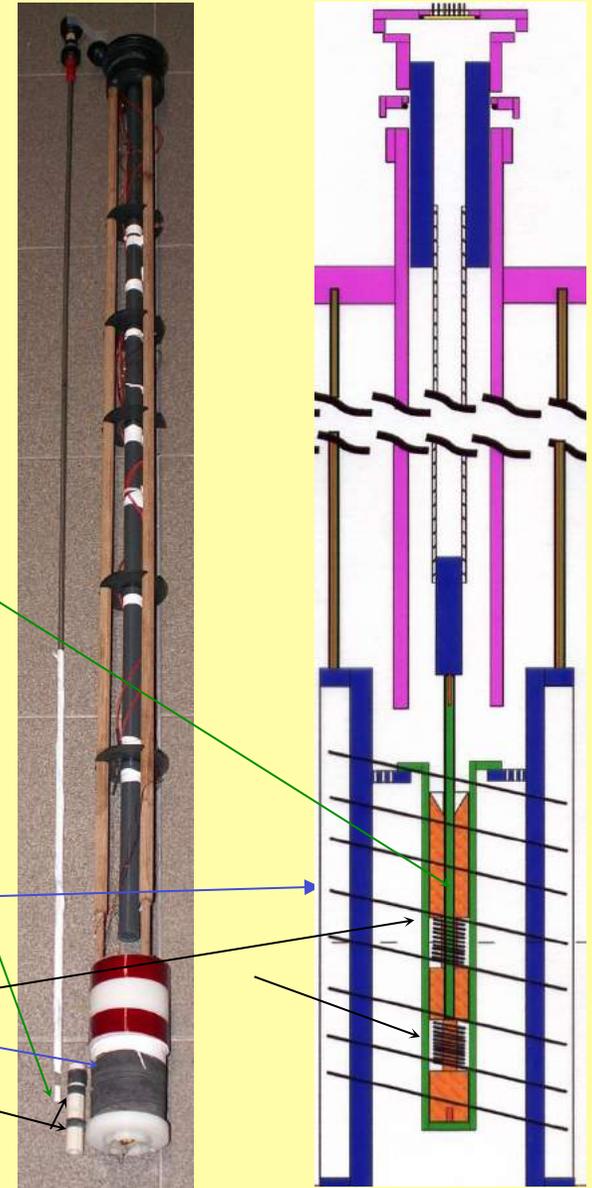
Il provino posto su un 'discendente  
chiamato **suscettometro  
criogenico**' con termometri

Il discendente è formato da:

A) Porta-campioni: il campione è fissato su una barretta di zaffiro con un termometro. Il porta campioni sarà posto dentro il ponte di bobine e a sua volta in un bicchiere in zaffiro

B) Bobina di eccitazione

C) Ponte di bobine avvolte anti-induttive



I collegamenti sono fatti con fili elettrici sottili e fragili

## Esecuzione dell' esperienza

- Viene posto il campione sulla barretta di zaffiro e fermato con del nastro di teflon
- Viene inserito il discendente con il campione nel suscettometro
- Il suscettometro e' posto nel bidone di polistirolo
- Si riempie il bidone con l' azoto liquido
- Si fa partire la misura con il campo di eccitazione sinusoidale gestito con un programma al computer
- misura con la temperatura in salita ponendo fuori del bidone il suscettometro
- Ogni operazione e commenti vengono appuntati brevemente su un libro di misura

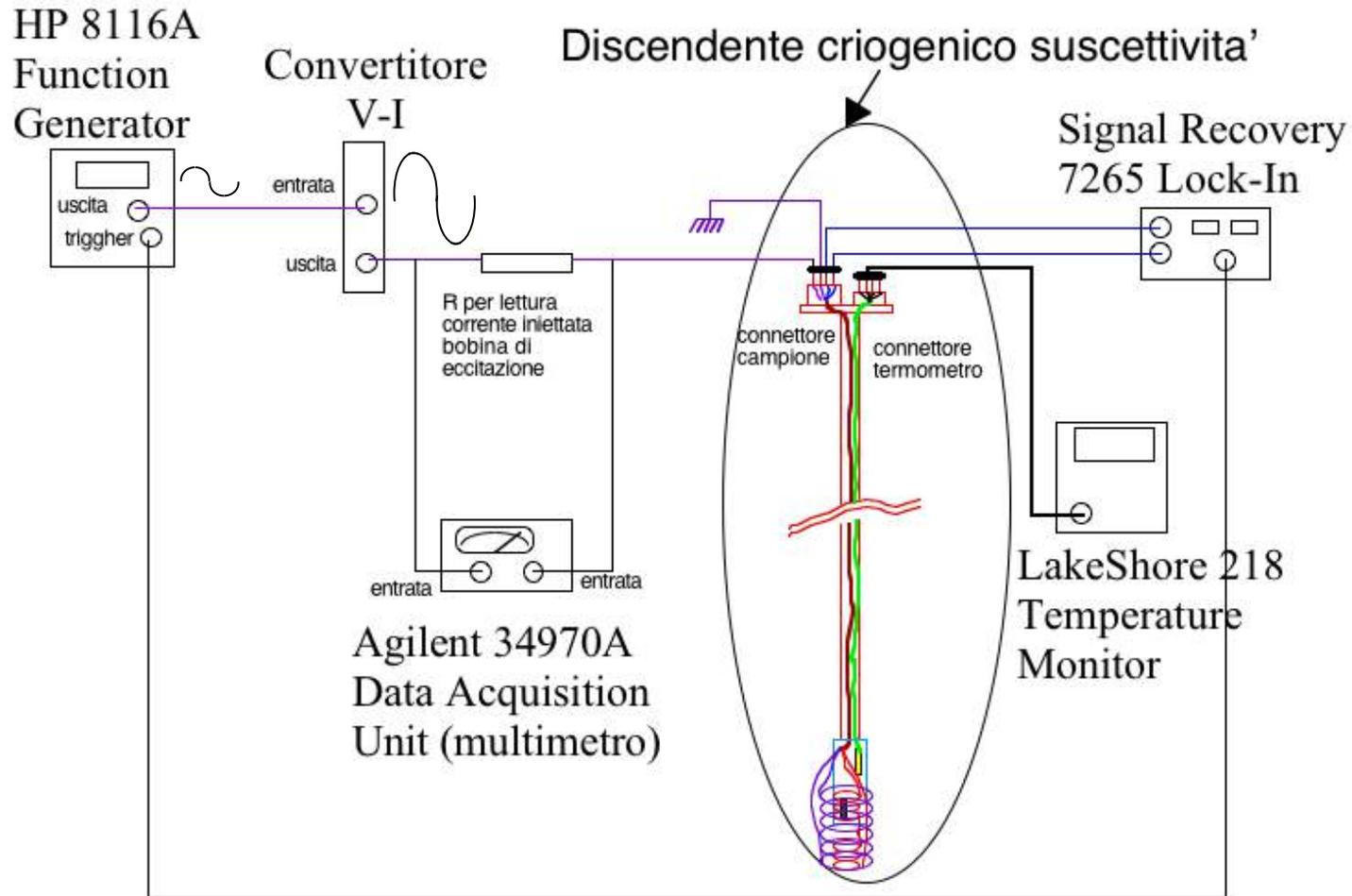
# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

Strumentazione usata:

- LakeShore 218 Temperature Monitor (**per leggere la temperatura**)
- HP 8116A Function Generator (**fornisce il segnale sinusoidale in tensione**)
- Convertitore V-I (**converte e amplifica il segnale sinusoidale da tensione in corrente (circa 50mA) che verrà iniettata nella bobina di eccitazione**)
- Signal Recovery 7265 Lock-In (**legge la tensione sul ponte di bobine di pick-up in cui è posto il campione**)
- Oscilloscopio (**visualizzazione della forma d'onda**)
- programma in Labview al computer per gestione della misura e dei dati

# DESCRIZIONE ESPERIMENTO

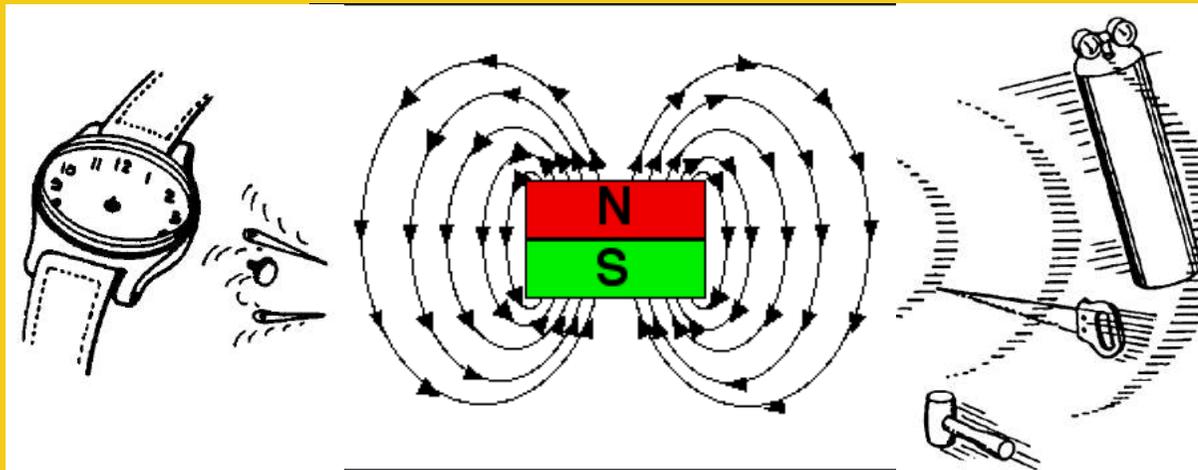
## Schema a elettrico a blocchi della misura



# SEGNALI DI PERICOLO

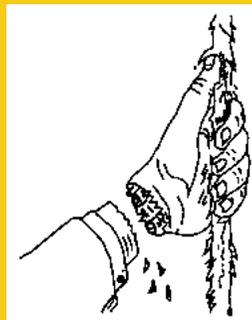
## Magnetico e criogenico

# CAUTION



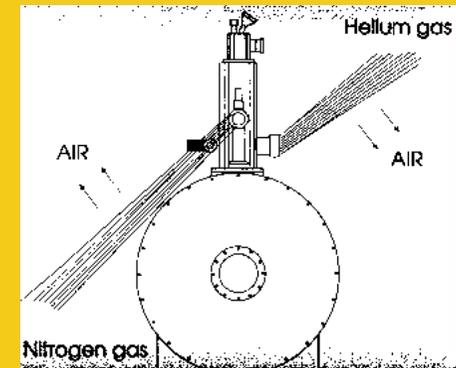
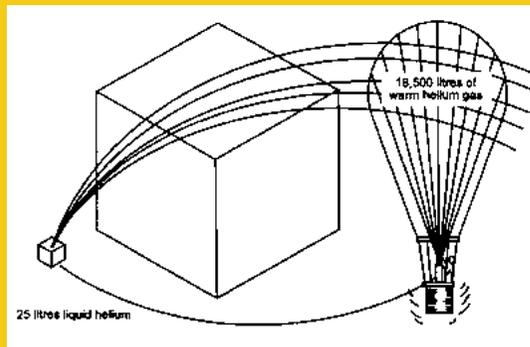
- elementi magnetici possono muoversi improvvisamente e in modo incontrollabile verso una zona di magnete
- la maggior parte degli strumenti sono magnetici,
- qualcuno potrebbe essere colpito provocando lesioni gravi

# CAUTION



- evaporazione violenta con movimento incontrollabile dei tubi
- parti del corpo umide di incollano a oggetti molto freddi

# CAUTION



- elio liquido se all'improvviso diventa gas aumenta enormemente il volume
- criostati posso esplodere se privi di valvola di sicurezza
- elio espelle l'aria se si è in stanze chiuse c'è un possibile pericolo di asfissia

# Semplici domande.....

1) I campioni superconduttori che verranno misurati sono dei metalli?

- a. Si. Sono buoni conduttori elettrici simili al rame
- b. Si ma non conducono la corrente elettrica molto bene sono simili al piombo
- c. No. Sono delle ceramiche, conducono l'elettricità non molto bene

2) Negli esperimenti viene usato lo zaffiro

- a. E' un materiale malleabile che conduce elettricità e calore
- b. E' un materiale fragile, isolante elettricamente, buon conduttore di calore
- c. E' un materiale flessibile che non conduce sia l'elettricità che il calore

3) Negli esperimenti viene usato l'azoto liquido per raffreddare, quale e' la sua temperatura?

- a. -10C
- b. -50C
- c. -169C

## Semplici domande.....

4) L'azoto liquido si puo' maneggiare .....

- a. con i guanti pesanti di cuoio e pinze
- b. con guanti di plastica e pinze
- c. a mani nude

5) Il segnale elettrico usato per l'esperimento di suscettivita' magnetica e' .....

- a. in corrente continua
- b. corrente alternata a forma rettangolare
- c. in corrente alternata sinusoidale

6) Che valori di tensione e corrente sono usati per la misura di suscettivita' magnetica?

- a.  $V=100V$  ,  $I=1A$
- b.  $V=300mV-600mV$  ,  $I=50-100mA$
- c.  $V=500V$ ,  $I=100A$

## 4) $C'$ è un campo magnetico forte.....

$C'$  è una persona con pacemaker:

- a. si può avvicinare
- b. non si può avvicinare

Le carte di credito:

- a. non si smagnetizzano
- b. non devono essere avvicinate

Si sta lavorando con un cacciavite:

- a. lo si può lasciare incostudito nelle vicinanze del magnete senza pericolo
- b. bisogna stare attenti a piccoli oggetti magnetici che si possono inavvertitamente spostare con pericolo

$C'$  è una piccola bombola di gas nelle vicinanze:

- a. non si può muovere
- b. è attratta e si muove con pericolo

# Semplici domande.....

**7) Cosa devo fare per abbassare la temperatura del materiale?**

.....

.....

.....

**8) Che serve il piccolo magnetino nella seconda esperienza?**

.....

.....

.....