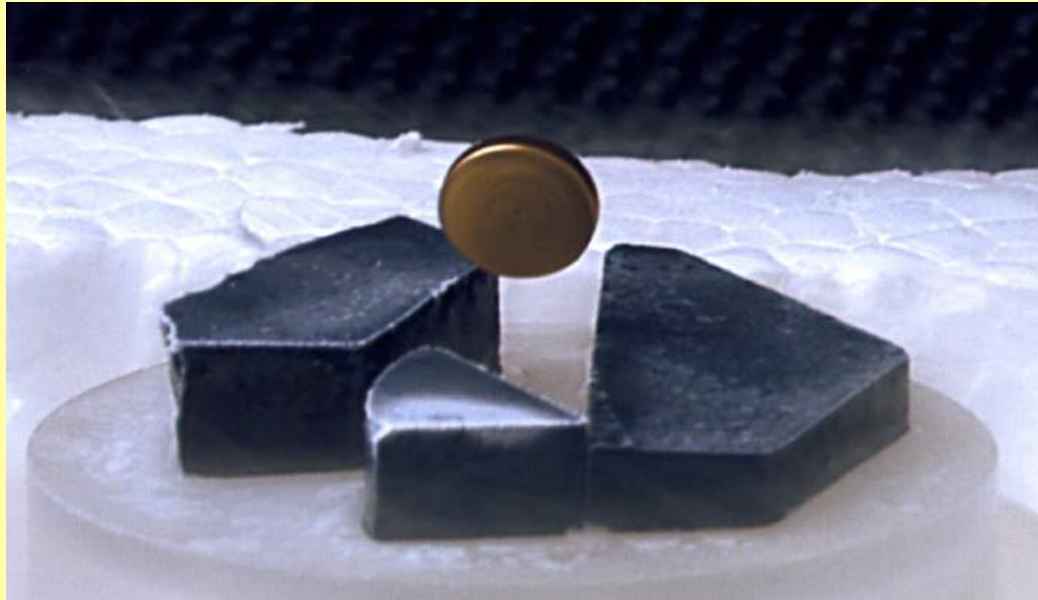
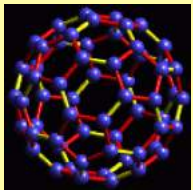
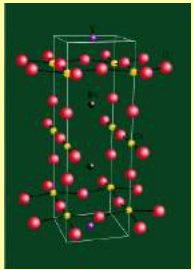
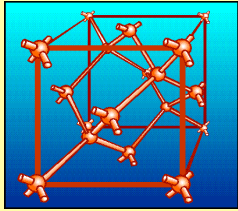


Il fenomeno della Superconduttività'

note introduttive per lo stage

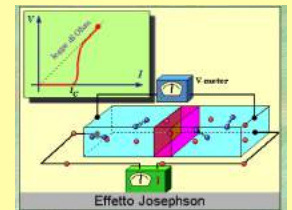
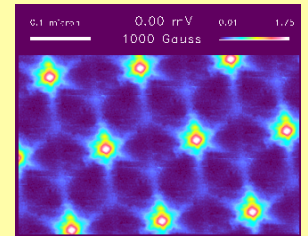
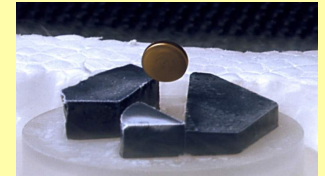
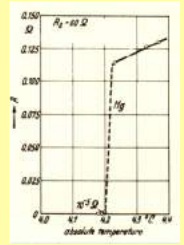


Dr. Daniele Di Gioacchino
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali di Frascati

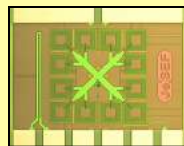


La Superconduttività è uno stato della materia con eccezionali proprietà elettriche e magnetiche. Evidenzia un comportamento della fisica quantistica nei solidi. E' uno dei rarissimi effetti quantistici macroscopici.

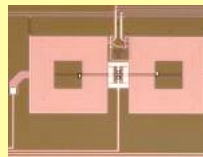
Fu scoperto da Onnes nel 1911



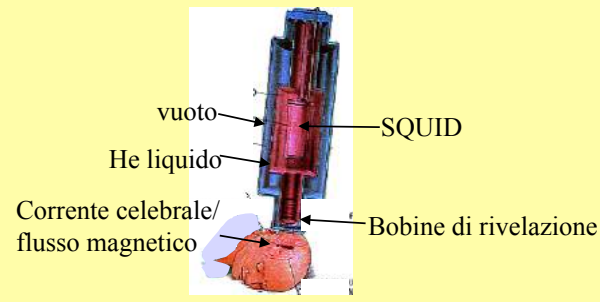
Treni veloci a levitazione magnetica



Giunzione Josephson



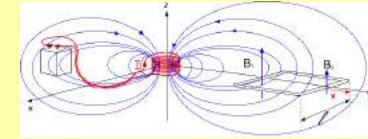
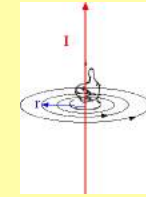
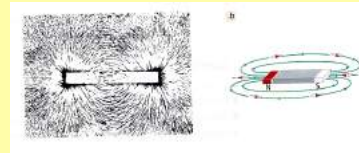
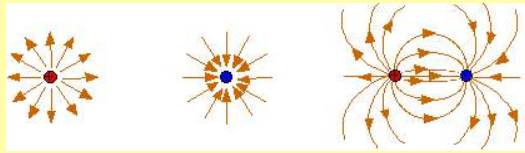
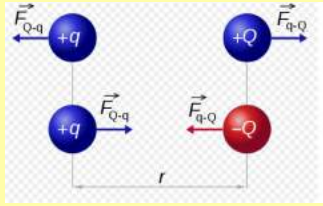
SQUID



Analisi biomagnetiche con SQUID



Potenti Magneti per MNR



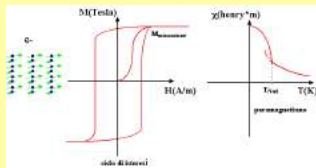
forza elettrica di Coulomb

Campo elettrico

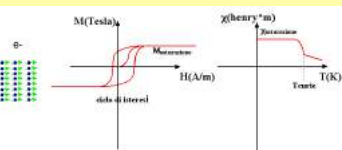
Campo magnetico

Campo magnetico di un filo percorso da corrente elettrica

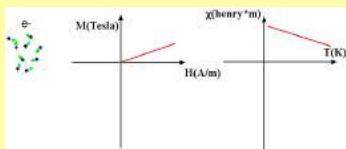
Induzione magnetica



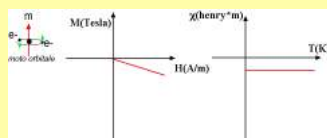
ferrimagnetismo



ferromagnetismo

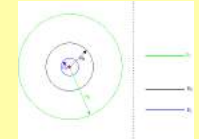


paramagnetismo



diamagnetismo

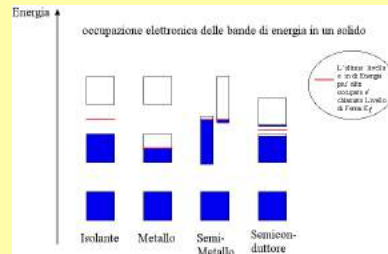
Per capire questo fenomeno dobbiamo conoscere alcune nozioni di elettromagnetismo e magnetismo nella materia



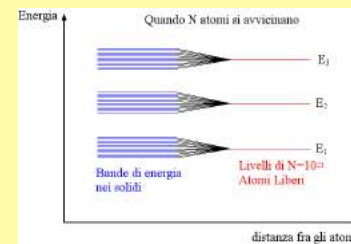
Le orbite degli elettroni in atomo di idrogeno



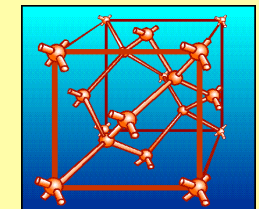
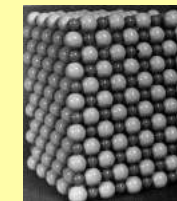
Forma spaziale degli Orbitali elettronici di atomo di idrogeno



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

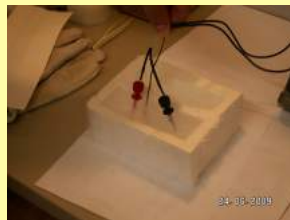
Termometro a termocoppia e lettore di temperatura

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



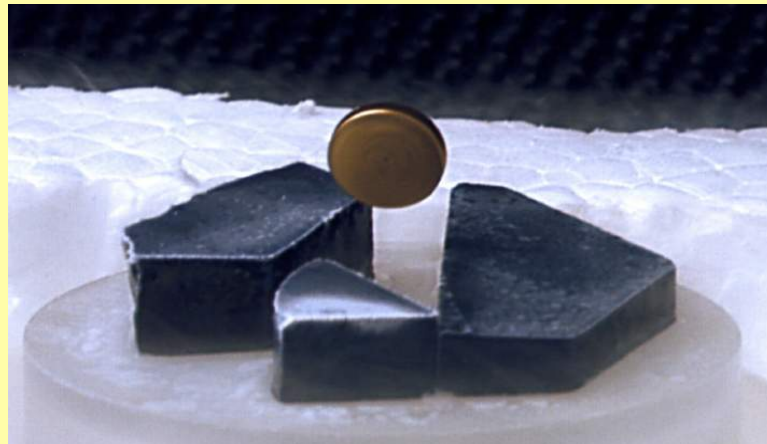
Azoto liquido: liquido molto freddo a **$-169\text{ }^\circ\text{C}=77\text{ }^\circ\text{K}$**

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:

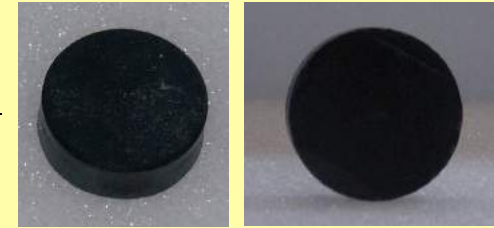
Si mostra in modo qualitativo un tipo di uso tecnologico dell'espulsione e/o esclusione del campo magnetico da parte di un superconduttore:

ecco l'idea base di TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

L' esperimento 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 (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

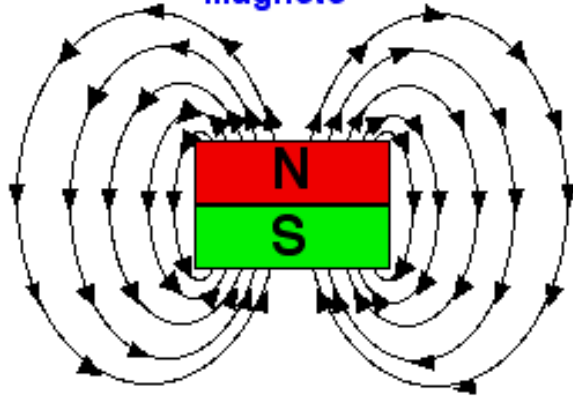
Esecuzione dell' esperienza

- 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

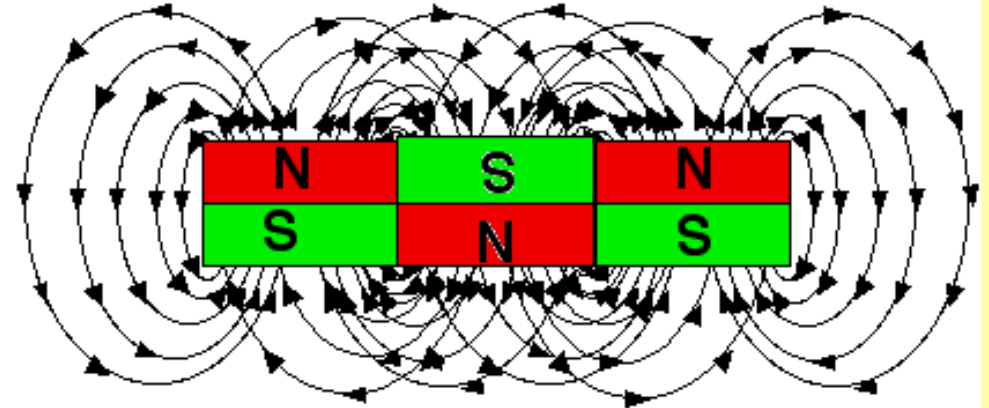


DESCRIZIONE ESPERIMENTO

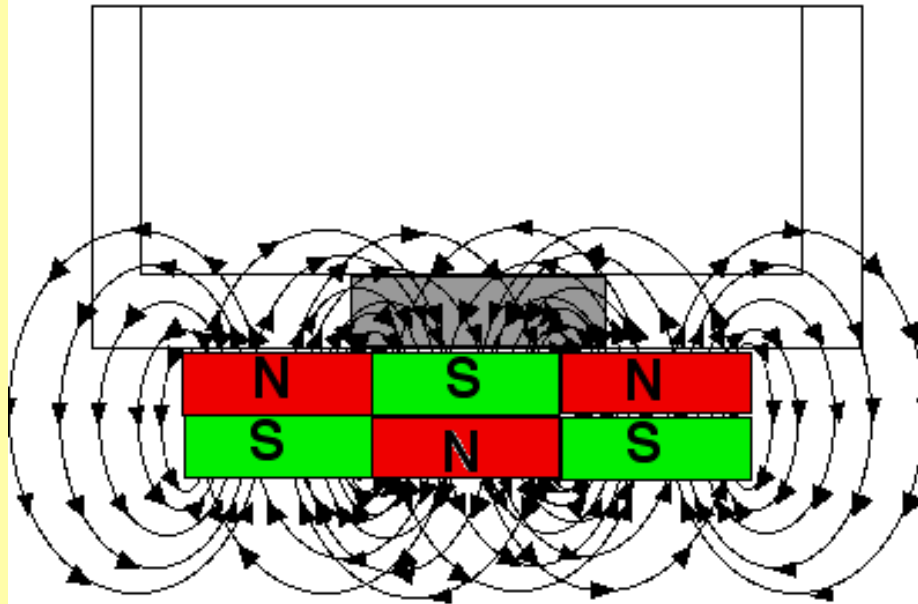
magnete



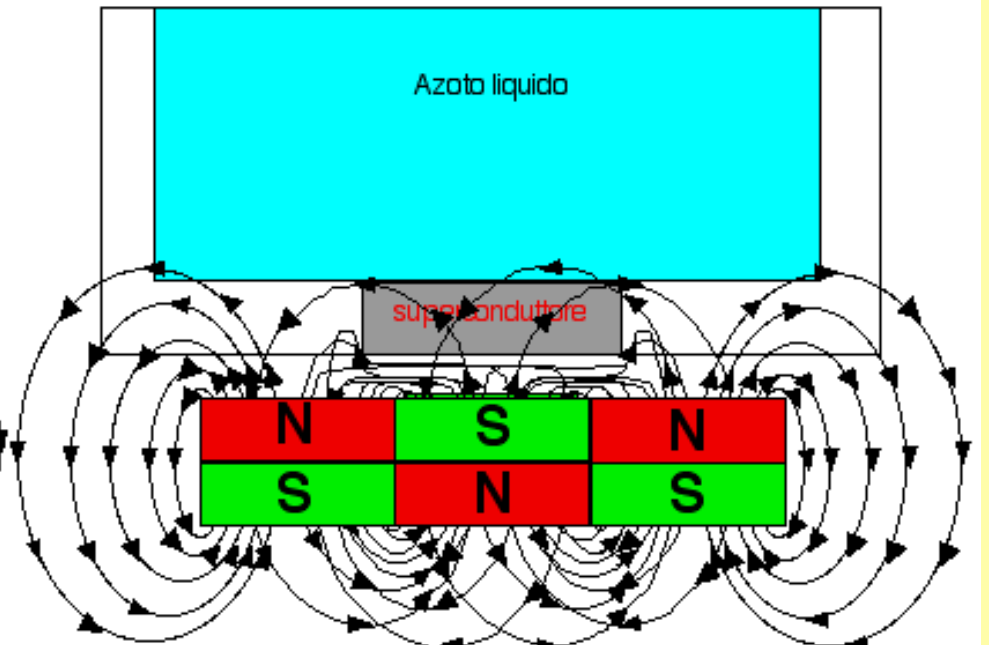
rotaia magnetica



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

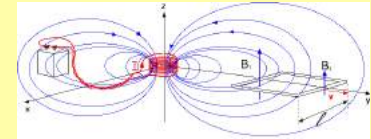
L' esperimento consisterà nel misurare la parte reale e la parte immaginaria delle componenti della suscettività magnetica, la I^a e la III^a armonica in funzione della temperatura durante la transizione dallo stato superconduttore a quello normale.

DESCRIZIONE ESPERIMENTO

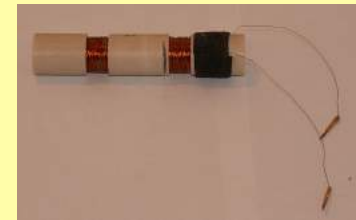
Il provino è un materiale ceramico di tipo granulare denominato BSCCO ($\text{Bi}_1\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_2\text{O}_3$) la cui T_c è $\sim 110^\circ\text{K}$ ($\approx -163^\circ\text{C}$) chiuso in un tubetto di argento e schiacciato a nastro.



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 = 0 Volt).



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

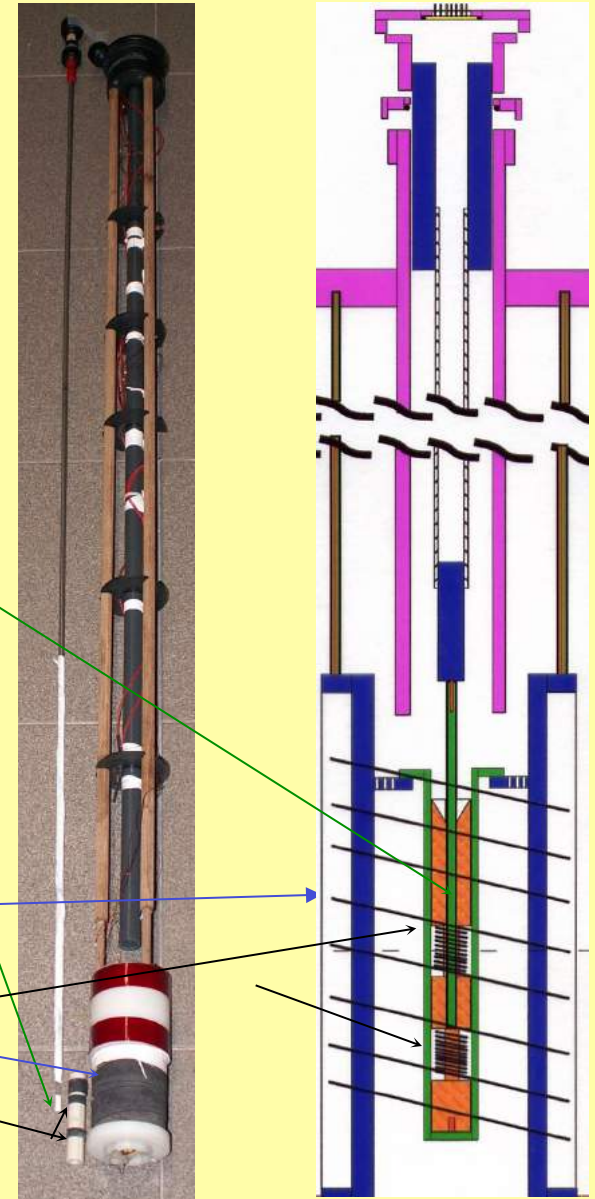
Il provino posto su un **'discendente**
chiamato **suscettometro** **magnetico**
criogenico' con termometri

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

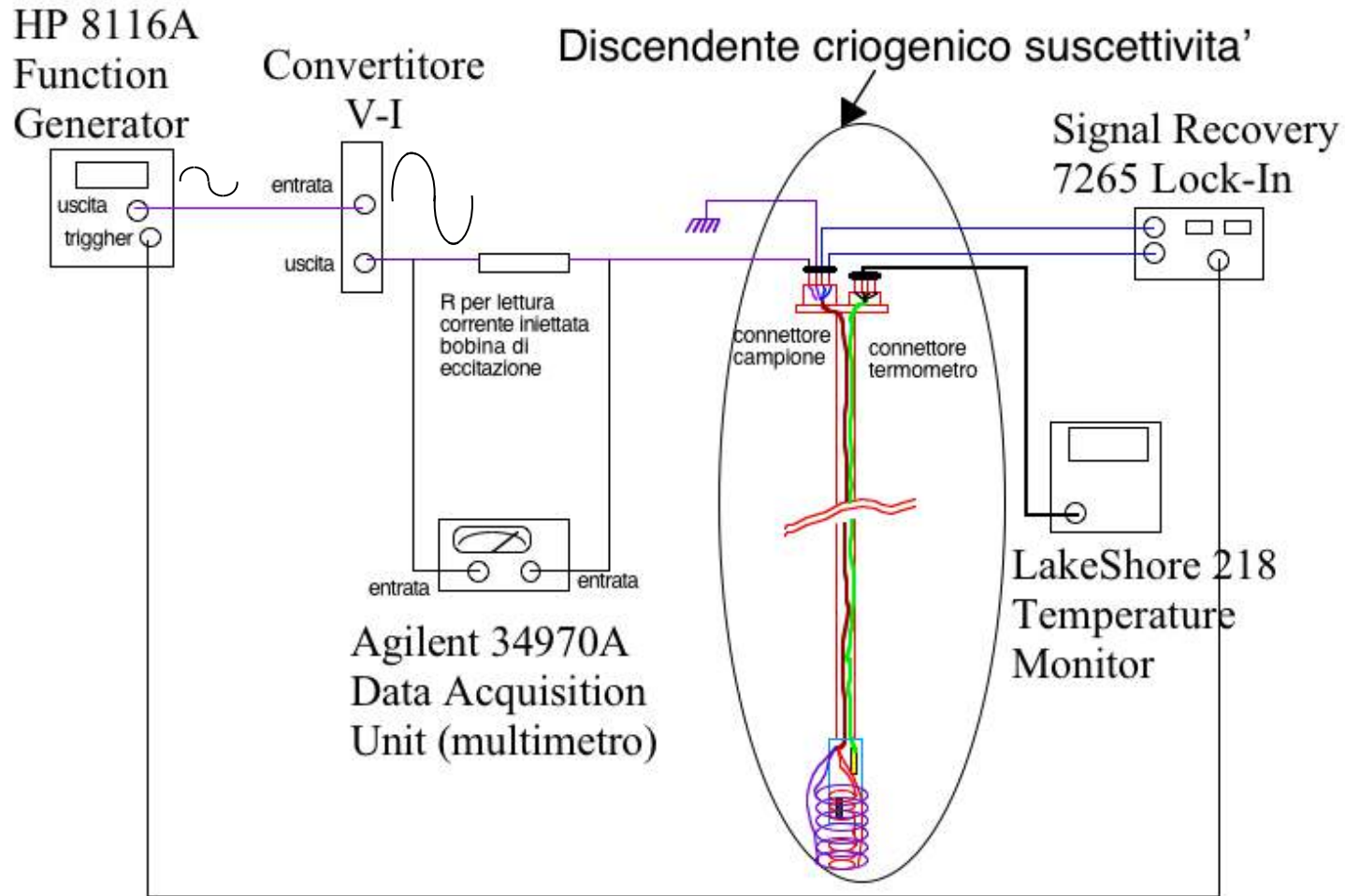
DESCRIZIONE ESPERIMENTO

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

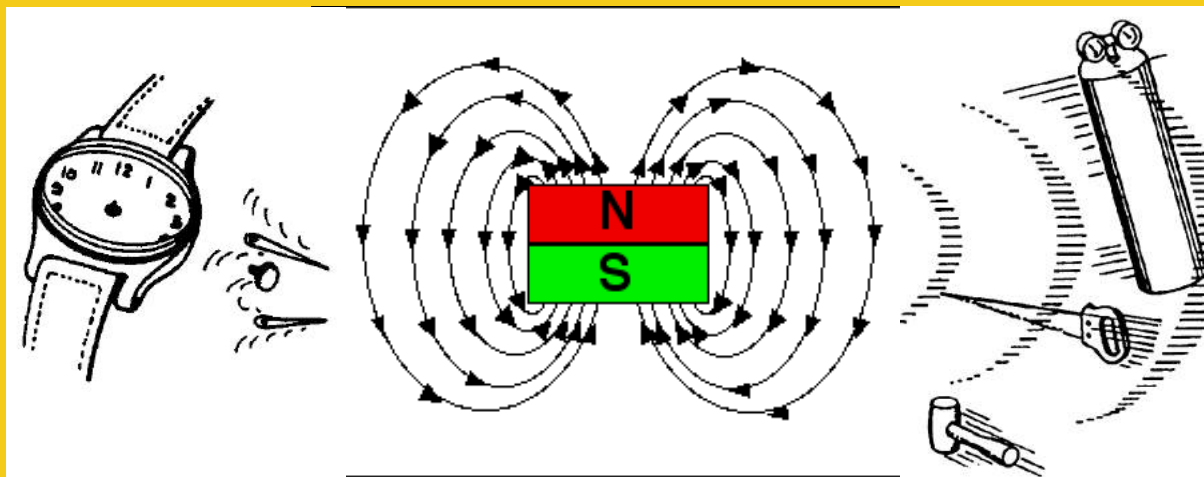
Schema a elettrico a blocchi della misura



SEGNALI DI PERICOLO

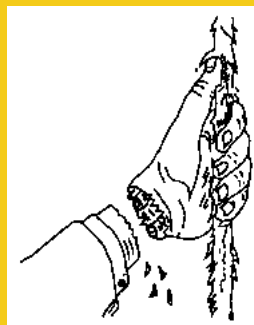
Magnetico e criogenico

CAUTION



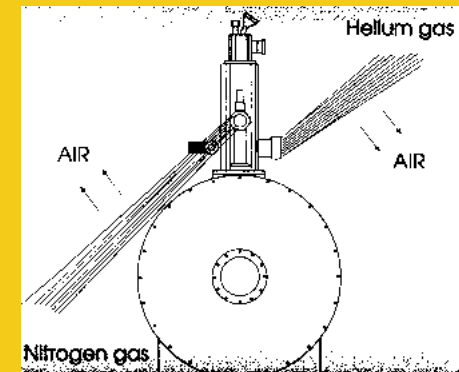
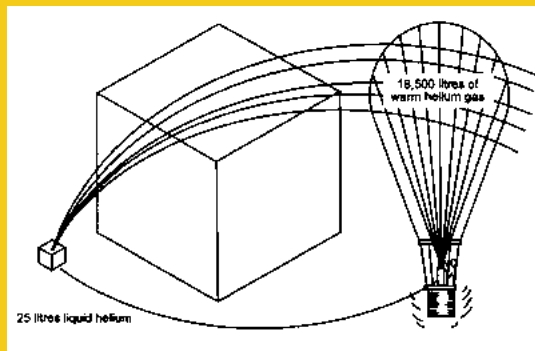
- elementi magnetici possono muoversi improvvisamente e in modo incontrollabile verso una zona di magnete
- la maggior parte degli strumenti sono magnetici,
- qualcuno potrebbe essere colpito provocando lesioni gravi

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?

.....

.....

.....