



Università degli Studi di Salerno
Dipartimento di Fisica

TESI DI DOTTORATO DI RICERCA
In
Didattica della Fisica

**Progettazione e sperimentazione di un percorso
didattico sperimentale in superconduttività**

Relatore Prof. Alberto Stefanel Tesi di
Antonio Vanacore

Ciclo XII Dottorato di ricerca
Anno Accademico 2012 - 2013

A chi va d'accordo con la povertà è ricco.

Abstract

Vengono presentate e discusse le fasi di progettazione, realizzazione e valutazione di efficacia di un percorso didattico di insegnamento/apprendimento incentrato sui materiali superconduttori partendo dalle loro proprietà magnetiche. Sono state effettuate sperimentazioni di metodologie e realizzati materiali didattici innovativi volti a favorire l'apprendimento degli studenti con l'ausilio di attività laboratoriali svolte presso la Scuola Estiva di Eccellenza di Fisica Moderna SEEFM.

Parole chiave

Didattica della fisica, elettromagnetismo, progettazione didattica, apprendimento concettuale.

INDICE

Capitolo 1 Introduzione

Capitolo 2 La Ricerca didattica

- 2.1 Introduzione
- 2.2 Ricostruzione concettuale a scopo didattico
 - 2.2.1 Il contributo di David Hammer
 - 2.2.2 Il contributo di Claudia Von Aufschnaiter

Capitolo 3 L'Insegnamento Scientifico nei curricula Europei e L'insegnamento della Superconduttività nella Scuola Superiore

- 3.1. Insegnamento Scientifico a Scuola in Europa
 - 3.1.1 Conoscenza ed abilità generali richieste per l'insegnamento
 - 3.1.2 Conoscenza e abilità richieste per la scienza
 - 3.1.3 Conoscenza scientifica ed abilità
 - 3.1.4 Istruttori in istituzioni per la formazione primaria dell'insegnante
 - 3.1.5 Esperienza professionale
 - 3.1.6 Le riforme riguardano anche la metodologia
 - 3.1.7 Le ricerche sull'insegnamento scientifico
- 3.2 La superconduttività nella scuola secondaria
 - 3.2.1 I Progetti della famiglia Supercomet
 - 3.2.2 Il progetto Supercomet 2
 - 3.2.3 I progetti Mosem

Capitolo 4 . Superconduttività: storia, esperimenti, modelli per una ricostruzione didattica dei contenuti

- 4.1 Introduzione
- 4.2 Le principali tappe storiche della superconduttività
- 4.3 Le proprietà fondamentali dei superconduttori
- 4.4 Teoria BCS e coppie di Cooper

Capitolo 5 Esperimenti significativi per la scuola

- 5.1 Introduzione
- 5.2 Effetto Meissner puro
- 5.3 Confronto tra effetto Meissner e pinning
- 5.4 Levitazione inversa o rovesciata
- 5.5 Leaking beaker: il recipiente che perde
- 5.6 Dimostrazione dell'esistenza delle correnti persistenti in un disco superconduttivo
- 5.7 Misura dell'autoinduttanza di un campione di gadolinio effettuata a diverse temperature
- 5.8 Misura della forza d'interazione tra un superconduttore ad alta temperatura critica (HTSC) ed un magnete permanente posto a diverse altezze
- 5.9 Dimostrazione delle caratteristiche essenziali di un treno superconduttivo
- 5.10 Misura della resistività di un campione di YBCO in funzione della temperatura

Capitolo 6 La proposta didattica per la scuola secondaria

- 6.1 Introduzione
- 6.2 Motivazioni per l'inserimento delle Superconduttività nella scuola secondaria superiore
- 6.3 Il contesto della ricerca condotta nella presente tesi
- 6.4 Struttura, impostazione e strategia della proposta didattica
- 6.5 Mappe concettuali e procedurali

- 6.6 Materiali didattici e strumenti di monitoraggio degli apprendimenti
- 6.7 Percorso sui fenomeni superconduttivi

Capitolo 7 **Le sperimentazioni effettuate**

- 7.1 Introduzione
- 7.2 I diversi contesti scolastici in cui sono state effettuate le sperimentazioni di ricerca con gli studenti
- 7.3 La struttura della sperimentazione di ricerca condotta nelle scuole di Udine

Capitolo 8 **Analisi dati**

- 8.1 Introduzione
- 8.2 Il percorso didattico attuato
- 8.3 Metodologia di analisi
- 8.4 Analisi dei dati
- 8.5 Risultati ottenuti Discussione
- 8.6 Conclusioni

Capitolo 9 **Riflessioni conclusive**

Indice delle figure

- Figura 2.1: Legami esistenti tra la didattica delle scienze e i vari campi di indagine nell'ambito delle scienze dell'educazione (Duit et al., 2006) **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 2.2: Esempio di processo di progettazione didattica come risultato di una ricerca basata sulla DBR (Juuti, 2005, p. 102)..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 2.3: Una metodologia per la progettazione materiali di insegnamento/apprendimento (C. P. Constantinou) **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 2.4: Definizione di apprendimento **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 3.1: In giallo i paesi coinvolti nei progetti MOSEM del LLL-LdV PROGRAMME e la home-page del sito della famiglia dei progetti SUPERCOMET (<http://mosem.eu/>..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 3.2: LTK-Low tech kit e HTK-High-Tech kit di MOSEM. Sono organizzati come insiemi di risorse da assemblare per attività in classe su magnetismo, corrente elettrica, induzione elettrica (LTK), esplorazione dei fenomeni superconduttivi e di conduzione elettrica nei solidi (HTK)... **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 3.3: Materiali di supporto per insegnanti. La guida per l'insegnante, che include un'esposizione divulgativa di concetti e scoperte sulla superconduttività, indicazioni sui seminari di formazione; proposte di attività con gli studenti, schede di lavoro; descrizione sintetica degli esperimenti; le guide LTK e HTK, con descrizioni degli esperimenti che si possono realizzare con tali kit, illustrazioni, documentazioni di dati campione, avvertenze su impiego e sicurezza [34-36]. **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.1 Tavola periodica degli elementi; sono evidenziati gli elementi superconduttivi **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.2: Andamento qualitativo della resistività in funzione della temperatura **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.3: Caduta a zero della resistività in un film a crescita epitassiale di $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (Hopfengärtner et al., 1991). **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.4: (a) Andamento della suscettività in funzione della temperatura misurata in due diverse condizioni ZFC raffreddamento a campo nullo (circoletti chiusi) e raffreddamento a campo diverso da zero (circoletti aperti) per una soluzione resa in polvere (cerchi) e campioni di grano allineati di $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ in un campo di 5mT con B_{APPLIC} (triangoli) e $B_{\text{APP}\perp c}$ (quadrati), (b) suscettività normalizzata per campioni raffreddati a campo nullo di (a), (c) misure di χ a FC a 0,3 T, tracciate con la stessa convenzione (Lee e Johnston, 1990). **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.5: Dipendenza dalla temperatura del reciproco della suscettibilità $1/\chi$ per una vasta serie di terre rare R elemento sostituito $\text{R Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ di superconduttori nella gamma di temperature 100-300 K in un campo di 1 T (linee continue). I dati per i corrispondenti composti non superconduttivi riscaldati sottovuoto (linee tratteggiate) vengono mostrati per confronto. Il comportamento lineare è indicativo per il paramagnetismo (Tarascon et al., 1987b) **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.6: Andamento qualitativo della suscettività in funzione della temperatura **Errore. Il segnalibro non è definito.**
- Figura 4.7: Flusso di corrente attraverso un filo normale a sinistra e superconduttore di tipo I a destra. Si noti che la profondità di penetrazione λ determina lo spessore sia della regione di transizione all'interfaccia che quella dello strato superficiale..... **pag.33.**

Figura 4.8: Andamento del campo magnetico interno $r < R$ ed esterno $r > R$ in funzione della distanza dal centro di un cavo superconduttivo in cui fluisce una corrente I confinata nello strato superficiale..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 4.9. Discontinuità nel calore specifico di un campione di $(La_{0.9}Sr_{0.1})_2 CuO_4$ in prossimità dei 40K. Nel riquadro viene messo in rilievo l'ampiezza del salto. L'andamento AT^3 indicato dalla curva tratteggiata mostra come la transizione avvenga oltre la regione dove rimane valida l'approssimazione T^3 **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 4.10. Salto del calore specifico termico tra l'Al superconduttivo confrontato con il calore specifico nello stato normale (Phillips, 1959, vedi Crow e Ong, 1990, p 225.)..... **pag.34.**

Figura 4.11: Creazione di una coppia di Cooper per effetto del reticolo..... **pag.35.**

Figura 4.12: Effettiva interazione elettrone-elettrone in prossimità della superficie di Fermi..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 5.1: Attrezzatura utilizzata **pag.46.**

Figura 5.2: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito **pag.46.**

Figura 5.3: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito. **pag.47.**

Figura 5.4: Sistema magnete ferromagnete + moneta 20 centesimi + disco di YBCO..... **pag.48.**

Figura 5.5: Mantenendo in sospensione si crea un link magnetico **pag.48.**

Figura 5.6: Mantenendo in sospensione il sistema descritto in precedenza si crea un link magnetico che favorisce l'ancoraggio tra magnete e pastiglia superconduttiva **pag.49.**

Figura 5.7: Materiale utilizzato durante l'esperimento **pag.49.**

Figura 5.8: Sistema magnete ferromagnete utilizzato in seguito **pag.50.**

Figura 5.9: Sistema bicchiere di plastica con pastiglia superconduttiva inserita al suo interno..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 5.10: Immagini che mostrano il magnete levitare "saldamente" al di sotto del bicchiere di plastica **pag.50.**

Figura 5.11: Pellet Meissner contenente la pasticca di YBCO **pag.51.**

Figura 5.12: Pellet Meissner **pag.52.**

Figura 5.13: Immagine raffigurante il materiale utilizzato **pag.53.**

Figura 5.14: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito **pag.53.**

Figura 5.15: Tabella contenente i limiti di decadimento di alcune correnti persistenti osservate sperimentalmente **pag.54.**

Figura 5.16: Campione di gadolinio utilizzato..... **pag.56.**

Figura 5.17: Elettromagnet..... **pag.56.**

Figura 5.18: Attrezzatura utilizzata **pag.56.**

Figura 5.19: Sistema magnete permanente **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 5.20: Sistema magnete superconduttore **pag.58.**

Figura 5.21: Supporto di metallo **pag.58.**

Figura 5.22: Magnete permanente posto in un recipiente..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 5.23: Nel grafico sono riportati esempi di andamenti della forza di interazione in funzione della distanza tra un magnete tenuto fermo tra due bicchieri di plastica trasparenti ed un superconduttore posto all'interno di un recipiente **pag.59.**

Figura 5.24: Andamento della forza di interazione tra un magnete posto all'interno di un recipiente (come raffigurato nella prossima Figura) ed superconduttore in funzione della posizione (discesa - linea blu scuro; salita - linea marrone)..... **Errore. Il segnalibro non è definito.**

Figura 5.25: Set up sperimentale..... **pag.60.**

Figura 5.26: Binario monorotaia..... **pag.61.**

Figura 5.27: Sistema binario monorotaia + vagoncino	pag.61.
Figura 5.28: Vagoncino e monorotaia.....	pag.61.
Figura 5.29: Binario monorotaia.....	pag.62.
Figura 5.30: Strumentazione:interfaccia + placchetta.....	pag.62.
Figura 5.31: PC e strumentazione Materiale utilizzato: Kit didattico della Leybold, azoto liquido, contatti elettrici.....	pag.63.
Figura 5.32: Recipiente contenente azoto liquido.....	pag.63.
Figura 5.33: Contatti per il montaggio dell'apparecchiatura.....	pag.64.
Figura 5.34: Contatti per la misura della resistenza R	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 5.35: Scheda di misura.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 5.36: Andamento tipico della resistività di un campione di YBCO in discesa	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 5.37: Andamento tipico dello spazio in un moto rettilineo uniforme	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 5.38: 5.38: Caduta di un magnete all'interno di un tubo metallico e correnti indotte	Errore. Il segnalibro non è definito.7.
Figura 5.39:Rappresentazione di un corpo soggetto alla forza peso ed una forza di tipo viscoso	Errore. Il segnalibro non è definito.7.
Figura 5.40: Semplici accorgimenti tecnici	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 5.41: Andamento tipico con diversi materiali a confronto	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.1. L'HTK del progetto Mosem e alcuni esempi di materiali per effetto Meissner, levitazione magnetica, modello MAGLEV.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.2. Tutorial WS1 per l'esplorazione dell'effetto Meissner.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.3Linee di flusso del campo magnetico per un anello	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.4Curvatura delle linee del campo magnetico in prossimità di una sfera superconduttiva in un campo applicato costante.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.5 Penetrazione di un campo magnetico applicato in un superconduttore semiinfinito.La lunghezza caratteristica viene detta di penetrazione λ entro cui il campo diminuisce di un fattore e^{-1} .	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.6. Tutorial WS1 per l'esplorazione dell'effetto Meissner.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 6.7Linee di flusso del campo magnetico per un anello	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 8.1 Esempio di criterio B della classificazione delle proprietà magnetiche: le linee di campo e di rappresentanza vettore impulso magnetico è accompagnato dal fenomeno osservato (attrazione, attrazione, repulsione, rispettivamente).	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 8.2 Un magnete poggiato su un disco YBCO a temperatura ambiente: Esempi di linee di campo.	Errore. Il segnalibro non è definito.4.
Figura 8.3 Tipico disegno che fa uso dei criteri A e B.	Errore. Il segnalibro non è definito.
Figura 8.4 Risposta alla domanda presente nel post test.....	Errore. Il segnalibro non è definito.6.
Figura 8.5 Rappresentazione tipica delle linee di campo nel caso dell'effetto pinning. .	Errore. Il segnalibro non è definito.

INDICE DELLE TABELLE

Tabella oraria di ciascuna sperimentazione **Errore. Il segnalibro non è definito.87-88.**
Razionale V liceo scientifico - Tabella 2..... **Errore. Il segnalibro non è definito.86.**

Introduzione

Il presente lavoro di tesi ha riguardato la progettazione e la sperimentazione di un percorso didattico riguardante la superconduttività a livello secondario.

Ci si è soffermati sulle caratteristiche metodologiche e progettuali di una proposta didattica avanzata. Il riferimento teorico per tale progettazione didattica è stata la Design Based Research, introdotta nel 1992 come valido modo per effettuare ricerche di tipo educativo al fine di testare e perfezionare percorsi didattici basati su principi derivati dalla ricerca precedente".

Autori validi come Barab e Squire (2004) definiscono la DBR come "una serie di approcci con l'intento di produrre nuove teorie, artefatti e pratiche che rappresentano e potenzialmente influenzano l'apprendimento e l'insegnamento in contesti naturali". La "serie di approcci" cui si fa riferimento è stata etichettata in vari modi tra cui "ricerca basata sulla progettazione" (Kelly, 2003), "sviluppo di ricerca" (van den Akker, 1999), "ricerca di design" (Reeves, Herrington Oliver, 2005), "ricerca evolutiva" (McKenney & van den Akker, 2005), "esperimenti educativi progettuali" (Brown, 1992, Collins, 1992) o "ricerca formativa" (Newman, 1990).

Indipendentemente dal modo in cui è stata definita, la DBR rappresenta uno strumento utile al fine di migliorare sia i contributi teorici che metodologici e dar valore agli strumenti tecnologici nell'ambito della ricerca in scienze dell'educazione (Van den Akker, Gravemeijer, Mc Kenney, Nieveen, 2006).

Le metodiche adottate nell'ambito della DBR sono state recentemente riprese ed inglobate nel cosiddetto Model of Educational Reconstruction di Duit (Duit et Al. 2006), che costituisce attualmente il riferimento principale per la progettazione di interventi didattici mirati nell'innovazione didattica.

Esso prevede: un'analisi del contenuto disciplinare per l'individuazione chiara dei concetti fondanti, dei contenuti irrinunciabili al fine di una loro proposizione in ambito scolastico avente come scopo una "elementarizzazione"; un'analisi dei processi e percorsi di apprendimento degli studenti in merito alla tematica oggetto della proposta didattica progettuale; la ricostruzione dei contenuti per una loro riproposta in chiave didattica alla luce delle prime due fasi progettuali.

Al fine di migliorare le pratiche didattiche nei contesti scolastici si è avuto un grande interesse nella ricerca educativa e nello sviluppo dell'educazione scientifica. Il dibattito internazionale riguardante l'alfabetizzazione in campo scientifico a partire dal 1990 e la serie di studi di monitoraggio internazionali come TIMSS e PISA hanno fornito sostanzialmente importanti passi in avanti.

Il modello di Educational ricostruzione (MER) presentato fornisce una concezione della ricerca educativa rilevante per migliorare la pratica didattica e i programmi di sviluppo professionale degli insegnanti. Il modello si basa su versanti formativi di tradizione europea Didaktik e Bildung - con una particolare enfasi sulla tradizione tedesca.

Si tratta di un approccio prevalentemente americano, anche se esistono esempi continentali che, sebbene conosciuti sotto vari denominazioni godono di qualche analogia. Varie caratteristiche trasversali differenziano la DBR da altre metodologie (Kelly (Eds), 2003).

La progettazione di particolari innovazioni come lo sviluppo di teorie o '*prototheories*' e la presenza di cicli continui di progettazione, emanazione, analisi e riprogettazione fanno della DBR una metodologia didattica privilegiata per l'innovazione.

In base al Model of Educational Recontruction (Duit 2006) che ingloba la metodologia progettuale della Design Based Research, partendo dagli aspetti più generali della teoria della superconduttività calata in contesti educativi specifici, si è analizzato il vasto panorama della ricerca didattica internazionale e sono stati studiati i relativi processi di apprendimento coinvolti nello studio delle (indicare di quali temi/aspetti sono state prese in considerazione gli articoli).

Si è successivamente indagato sul ruolo che la fisica moderna riveste nei curricoli di insegnamento secondario europei. Da tale analisi è emersa una forte asimmetria tra fisica classica e fisica moderna a livello di insegnamento secondario a netto favore della prima.

Ci si è pertanto orientati verso una proposta di introduzione nella scuola secondaria di un tema rilevante per la fisica moderna come quello della superconduttività, sia per le sue implicazioni concettuali che di tipo applicativo.

E' stata avanzata una proposta didattica in merito all'insegnamento della superconduttività. Tale proposta è stata effettuata partendo dalla rassegna di lavori rintracciabili in letteratura sul tema in esame, basandosi su materiali e risultati dei progetti europei MOSEM e MOSEM² della famiglia Supercomet (si rimanda a www.supercomet.no), ed in particolare alle proposte di percorsi per la scuola secondaria sviluppati dall'Unità di ricerca in Didattica della Fisica dell'Università degli studi di Udine, partner italiano dei suddetti progetti.

In fase di messa a punto della sperimentazione, sono stati analizzati e testati a fondo gli esperimenti dei kit Low Tech e High-tech del progetto europeo MOSEM allo scopo di individuarne valenze e limiti fondamentali per un loro efficace utilizzo in compagnia degli studenti durante le varie sperimentazioni effettuate. Di tali esperimenti sono state prodotte schede operative e con dati campione autonome.

Sono inoltre stati analizzati e valutati i materiali di supporto elettronico e cartaceo con testi, video e animazioni utilizzati per aumentare motivazione e apprendimento degli studenti coinvolti nelle sperimentazioni didattiche. Si è successivamente progettata la personale proposta didattica per la scuola secondaria.

Essa viene presentata secondo gli standard della ricerca in didattica della fisica (ref.) con: rationale, approccio metodologico, strumenti pedagogici utilizzati, metodi e strategie didattiche considerate, mappa concettuale procedurale, percorso, schede di monitoraggio degli apprendimenti, test di ingresso e di uscita. L'analisi delle sperimentazioni effettuate nelle classi quinte della scuola secondaria sia in provincia di Udine che in provincia di Salerno sono documentate nel capitolo settimo.

Si documentano qui in particolare gli esiti delle sperimentazioni condotte nei seguenti istituti: *l'ITIS Solari* di Tolmezzo, il *Liceo Scientifico Buonarroti* di Monfalcone, il *Marinelli* di Udine ed alcuni licei scientifici di Salerno, quali *Da Procida* e *Severi* ed infine il liceo scientifico *Alfonso Gatto* ad Agropoli. Esse hanno coinvolto 45 studenti di 6 classi.

In questa fase della ricerca educativa sono stati analizzati i vari elementi distintivi della sperimentazione didattica tra cui i vari contesti sedi, scuole, classi, le caratteristiche delle aree di intervento, la tabella dei periodi e delle ore di ciascuna sperimentazione.

Per quanto attiene l'analisi dati si è proceduto analizzando i vari strumenti e metodi adottati con dati risultati e relativa discussione e con una revisione della proposta didattica alla luce dei risultati ottenuti dalle sperimentazioni precedenti.

CAPITOLO 2

LA RICERCA DIDATTICA

2.1. INTRODUZIONE

La didattica della fisica possiede come oggetto di studio l'insegnamento e l'apprendimento di una disciplina specifica. Si distingue dalla pedagogia e dalla psicologia dell'apprendimento, in quanto tratta fenomeni e problemi collegati alla specificità del contenuto disciplinare non riducibili né risolubili in un quadro generale psicopedagogico.

Essa nasce in contrasto con due idee diffuse, opposte e principalmente simmetriche:

- l'idea di una didattica indipendente dai contenuti o dalla pedagogia generale, l'arte di insegnare tutto a tutti;
- l'idea di una didattica basata essenzialmente sui contenuti, se conosci bene la materia, la sai anche insegnare bene, sapere.

La didattica delle scienze subisce una svolta e un momento fondante come disciplina autonoma durante gli anni '70 in concomitanza con lo sviluppo delle ricerche sulle concezioni alternative degli studenti.

Ausubel (1968) afferma che: *“Il singolo fattore più importante che influenza l'apprendimento sono le conoscenze che lo studente già possiede. Conviene accertarsi e comportarsi in conformità con l'insegnamento”, “il sussistere di preconcetti è il fattore singolo più importante nell'acquisizione e nella ritenzione delle conoscenze in una data materia ... questi preconcetti sono sorprendentemente tenaci e resistenti all'eliminazione”.*

Bachelard introduce l'idea di *ostacolo epistemologico* e pedagogico in base al quale *“gli insegnanti non sono in grado di comprendere perché gli studenti non capiscono”.*

Spesso gli studenti sbagliano non per distrazione o incapacità, ma perché la pensano diversamente. Lo statuto dell'errore è alterato profondamente: non si tratta solo di sbagli, ma anche di differenti modelli interpretativi.

La terminologia utilizzata si è modificata con il passare del tempo secondo aree culturali e quadri interpretativi differenti: *pre-conceptions, misconceptions, priorideas, alternative frameworks, children science, rappresentazioni mentali, ragionamenti spontanei, concezioni difformi, ecc.*

Si ritrovano concezioni simili in ambiti culturali differenti tanto da far presupporre una specie di “fisica spontanea” come risultato della ricerca fondamentale.

Una volta riconosciuta l'importanza delle rappresentazioni mentali degli allievi, si studiano le strategie di cambiamento concettuale, che favoriscano il passaggio dalla concezione difforme ad una concezione coerente con gli obiettivi posti dall'insegnamento.

Alcuni autori sottolineano la continuità (di Sessa, Clement, Brown, Vosniadou) fra idee comuni e conoscenza scientifica e considerano le pre-concezioni come risorse, altri insistono sulle rotture ed il conflitto cognitivo (Hewson, Strike, Posner e Bachelard) e considerano necessario un cambiamento concettuale come una personale fase di rivoluzione scientifica.

Con riferimento a Vygotsky, che attribuisce alle interazioni sociali e al linguaggio un ruolo centrale nello sviluppo cognitivo vari autori introducono il concetto di *conflitto socio-cognitivo* in qualità di motore del

cambiamento concettuale, suggerendo situazioni didattiche che favoriscano la creazione di un *dibattito scientifico* in classe e alla relazione e discussione fra pari.

Utilizzare i risultati ottenuti per costruire situazioni didattiche che consentano agli studenti di capire e di migliorare l'apprendimento.

Risulta utile progettare percorsi o sequenze d'insegnamento e di apprendimento (*Teaching Learning sequences, TLS*), basati sui risultati delle ricerche sulle concezioni di senso comune e sui processi di apprendimento relativi a specifici contenuti scientifici.

A tal scopo conviene ricondursi all'indagine PISA svolta con cadenza triennale con l'obiettivo generale di verificare in che misura gli studenti italiani abbiano acquisito alcune competenze giudicate essenziali per svolgere un ruolo consapevole ed attivo nella società odierna.

In particolare viene valutata la capacità di utilizzare le conoscenze scientifiche per risolvere quesiti aperti riguardanti il funzionamento di determinati, per acquisire nuove conoscenze, per spiegare fenomeni scientifici e per trarre conclusioni basate sui fatti in merito a questioni di carattere scientifico. I risultati relativi alla precedente edizione dell'indagine non sono incoraggianti: nella "Prima presentazione dei risultati di PISA 2009" (INVALSI, 2011) si legge che per quanto riguarda questa abilità l'Italia si colloca significativamente al di sotto della media OCSE (501) con un punteggio medio di 489, seppure differenziato per macro-aree geografiche. Alla quinta edizione dell'indagine (2012) hanno partecipato 66 paesi: la variazione rispetto al 2009 è positiva, sia in assoluto sia nel confronto con la media OCSE.

Il divario ancora oggi presente tra i paesi che ottengono le migliori collocazioni nel test PISA e quelli che ottengono le peggiori è stato ricondotto all'orientamento curricolare specifico dei diversi paesi e in particolare al modo in cui si insegnano le materie scientifiche. Il divario sembra essere correlato alla diversità di approcci tenuti nell'insegnamento della fisica:

- approccio tradizionale, basato sull'insegnamento sistematico dei contenuti disciplinari;
- approccio "progressivo", orientato alla trattazione di situazioni problematiche applicazioni pratiche e processi fisici.

L'alfabetizzazione scientifica sembra essere agevolata da un insegnamento che attiva cognitivamente gli studenti e consente l'opportunità di porre domande significative. Il ruolo attivo dello studente sembra essenziale per l'apprendimento della fisica consentendo di ridurre la separazione tra ciò che agli studenti viene insegnato e ciò che imparano. Si sottolinea la necessità di affrontare congiuntamente sia la progettazione del curriculum di fisica sia la formazione degli insegnanti in ambito scientifico.

Osborne & Dillon (2008) raccomandano di porre attenzione all'apprendimento dei ragazzi al di sotto dei quattordici anni, in quanto essi mostrano un atteggiamento positivo verso le scienze, sicché un buon insegnamento permetterebbe di mantenere questo interesse anche negli anni successivi, quando invece si riscontra una netta disaffezione. Questi autori sostengono, in accordo con Euler, che la proposta di indagini e di sperimentazioni *hands-on* promuove il coinvolgimento degli studenti nello studio delle scienze in misura maggiore rispetto all'insegnamento tradizionale basato su un modello trasmissivo della conoscenza. Il passaggio nella didattica delle scienze da metodi principalmente deduttivi a metodi *inquiry-based* promuove l'interesse degli studenti, aumenta la qualità dell'apprendimento e, al tempo stesso, stimola la motivazione dell'insegnante.

In particolare, i metodi di coinvolgimento attivo nell'apprendimento sembrano produrre una conoscenza concettuale della fisica persistente nel tempo, come risulta dallo studio di Francis et al. (1998) sugli studenti universitari che hanno utilizzato il testo *Tutorials in Introductory Physics* (McDermott, 1998).

Tale approccio riveste una duplice funzione: da un lato si vogliono cercare modalità di interazione valide in grado di rappresentare bisogni ed intuizioni interpretative diverse, dall'altro si ritiene utile apportare più punti di vista utili alla soluzione dei problemi complessi che si trovano alla base di quadri e riferimenti teorici talvolta non univoci.

Per ottenere un efficace apprendimento in fisica (Chinn & Malhotra, 2002) è necessario realizzare un laboratorio didattico dove le attività coinvolgono in prima persona gli studenti con l'intento di interpretare i fenomeni con una progressiva assunzione di responsabilità sul proprio apprendimento attraverso un processo di analisi delle problematiche, di selezione critica delle alternative e di argomentazione coerente. A tal fine la ricerca descritta nella tesi affronta i problemi della didattica scientifica delineando la progettazione di un percorso di apprendimento in superconduttività.

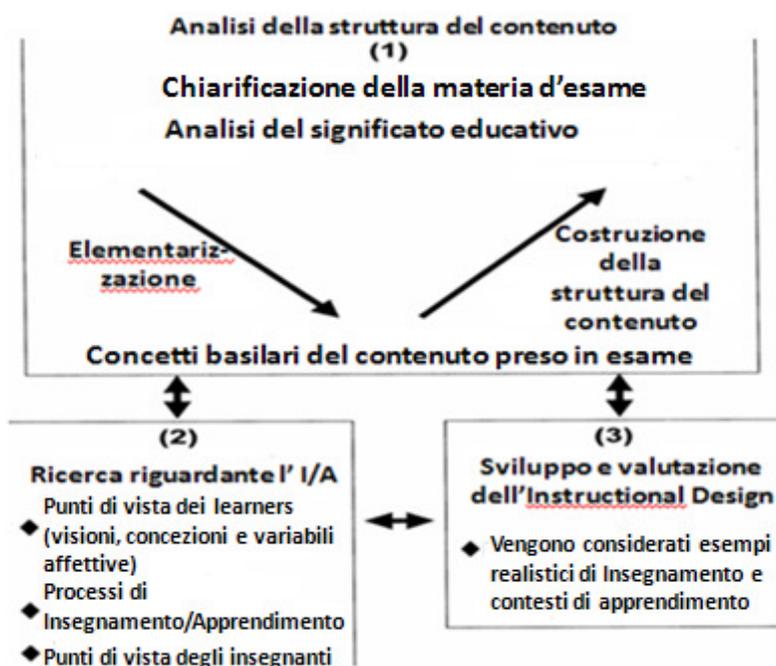


Figura 2.1: Legami esistenti tra la didattica delle scienze e i vari campi di indagine nell'ambito delle scienze dell'educazione (Duit et al., 2006)

2.2. Ricostruzione concettuale a scopo didattico

In questo paragrafo ci si propone di descrivere le caratteristiche dei criteri di ricerca per la progettazione di ambienti di apprendimento definiti e proposte didattiche secondo la Design Based Research. Se ne discutono le basi concettuali analizzando i lavori di autori che ne hanno definito le caratteristiche generali come Psillos, Tiberghien, Lavonen, Costas. Per quanto riguarda invece i processi di apprendimento risulta opportuno considerare i contributi più recenti degli autori quali di Sessa, Hammer, von Auschnaiter.

Secondo lo studioso Lavonen esistono tre caratteristiche principali che costituiscono la Design Based Research:

- un processo di progettazione essenzialmente iterativo,
- realizzazione di artefatti capaci di aiutare insegnanti ed alunni ad agire (apprendimento e di studio) in maniera più intelligibile (in modo da condurre verso un apprendimento efficace),
- la DBR conduce a nuove conoscenze in merito all'insegnamento delle scienze e all'apprendimento.

Tutte e tre le caratteristiche rappresentano uno sforzo a cui vien dato il nome Design Based Research.

Coinvolgendo idee di pragmatismo e razionalità, il progetto educativo ideato in base ai dettami della DBR e calato nel campo dell'istruzione scientifica parte analizzando la situazione iniziale, in cui si riscontra un elemento problematico (ad esempio processi decisionali di politiche educative da attuare o risultati della

ricerca volti a produrre cambiamenti sostanziali nel rapporto insegnamento/apprendimento delle scienze) : ricercatori ed insegnanti non sanno come comportarsi in determinate circostanze.

In particolare micro-computer ed Internet sollevano la questione educativa in quanto tutte le possibili applicazioni comprese nelle tecnologie TIC devono essere utilizzate nella didattica delle scienze. Il punto di partenza si concretizza nella possibilità di utilizzare la miglior letteratura di ricerca disponibile e poi per studiare il modo di affrontare il problema (design narrativo).

Il primo compito è quello di operare una revisione della letteratura di settore e trovare risposte a domande come le seguenti (Psillos 2005):

- Quali sono i modelli di scienza di base nell'ambito del settore scientifico di riferimento?
- Quali sono le concezioni degli studenti oppure i modelli mentali utilizzati?
- Come si manifestano le concezioni degli studenti impiegate in ambienti di apprendimento ufficiali o in singole sequenze di apprendimento/insegnamento? Analogamente nel campo delle tecnologie didattiche Clements e Battista (2000) sottolineano che i progettisti prima di ideare i percorsi da attuare a scuola dovrebbero spiegare attentamente le ricadute didattiche dei modelli e delle concezioni agli alunni in modo da favorire in modo positivo atteggiamenti e credenze.

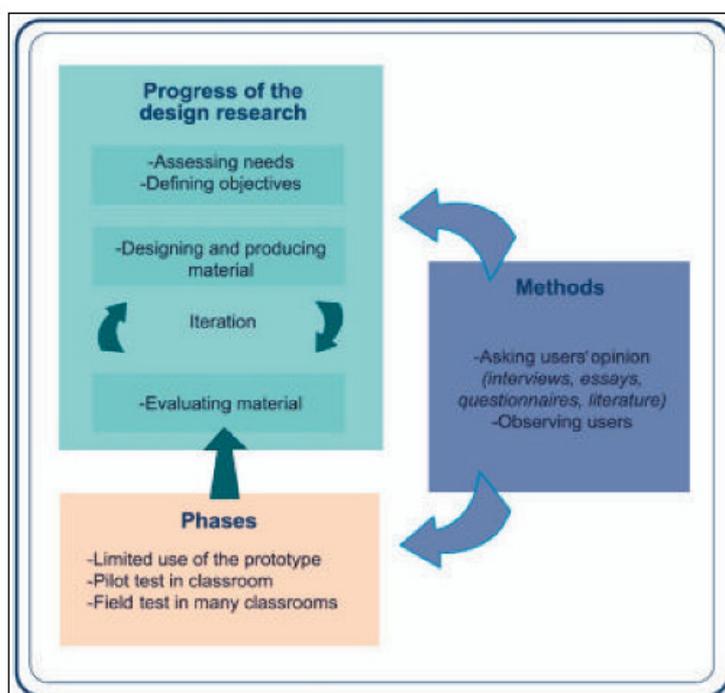


Figura 2.2: Esempio di processo di progettazione didattica come risultato di una ricerca basata sulla DBR (Juuti, 2005, p. 102).

Tuttavia esperti del settore hanno sollevato tre critiche fondamentali nei confronti della DBR. In primo luogo vi è una sostanziale mancanza di rigore nella ricerca. Troppo spesso come Brown (1992) ha osservato i progettisti sono distratti dalla raccolta ed alla analisi dati e traggono conclusioni parziali. Hoadley (2004) volge la sua attenzione alla validità della misurazione della robustezza delle valutazioni specifiche. Dede (2004) mette in guardia i ricercatori della DBR sulla situazione della unfalsifiability: "Senza norme standardizzate al fine di decidere quando abbandonare un approccio di design in quanto poco promettente, il campo di indagine dalla DBR rischia di essere visto come un luogo dove proporre strategie educative subottimali all'infinito ottimizzato nella speranza di una svolta improbabile" (Dede, 2004, p. 108; Bell, Hoadley, e Linn (2004) danno una risposta al problema della falsificabilità dal punto di vista delle

conoscenze acquisite durante il processo di progettazione ed affermano che non risulta eccessivamente rilevante.

Il processo instaurato con la DBR offre dei principi di progettazione efficaci generati in modo induttivo da progetti di successo. Questi principi sono falsificabili se non perdono parte della loro applicabilità in progettazioni future. (Bell, Hoadley e Linn, 2004 ,p . 83).

La seconda critica sollevata da Yin (1994) risiede nel fatto che la ricerca in esame fornisce solo in parte una base per una solida generalizzazione scientifica. Egli risponde alla critica dicendo che "casi di studio ed esperimenti sono generalizzabili a proposizioni teoriche e non alle popolazioni o universi" (Yin, 1994)CITA. Edelson (2002) sottolinea che la ricerca progettuale deve essere valutata dal punto di vista dell'efficacia cioè quanto produttivamente debbano risultare le conoscenze acquisite tramite la DBR per agevolare la spiegazione completa dei fenomeni educativi.

Dal punto di vista pragmatico si potrebbe dire che come frutto della conoscenza, acquisita attraverso la ricerca basata sulla progettazione si aiuta a muoversi in modo più comprensibile in contesti educativi specifici: avviare nuovi processi di progettazione, la progettazione di un nuovo manufatto e migliorare l'insegnamento e di apprendimento. La terza critica che gli studiosi DBR dovrebbero prendere in seria considerazione cosa evidenziata da Yin (1994) così come Richey e Nelson (1996), è rappresentata dal lungo periodo di tempo necessario per mettere in essere una ricerca del genere e dalle massicce relazioni illeggibili.

Il periodo di tempo non dovrebbe essere lungo apposta, ma è chiaro che un processo di progettazione ambizioso può richiedere un tempo considerevole.

Al versante opposto si pone il contributo di Costas Constantinou secondo cui la metodologia educativa Design Based Research si configura nell'ambito delle scienze dell'educazione come un valido quadro di riferimento in grado di fornire preziosi consigli didattici agli addetti del settore. Essa possiede i seguenti aspetti fondanti:

- risulta un contesto aperto e abbastanza pluralistico tale da accogliere le attuali tendenze
- aiutare la comunità a trovare risoluzioni per entrambi i problemi

La Design Based Research (DBR) rappresenta un ampio repertorio di metodologie comprendenti un quadro teoricamente compiuto unito ad una ricerca di qualità empiricamente incentrata sul difficile rapporto tra insegnamento/apprendimento basato su particolari progetti per istruzioni, che:

- ha il duplice obiettivo di sviluppare un apprendimento efficace in ambienti predefiniti e l'utilizzo di tali ambienti come laboratori "naturali" di idee per favorire lo studio ed il forte legame che si instaura tra apprendimento ed insegnamento
- facilita l'interazione binaria di ricerca; l'innovazione e lo studio dei quadri teorici in situ

La DBR si presenta come un quadro compiuto di ingegneria didattica (Brown, 1992; Collins, 1992; Brown& Campione, 1998) caratterizzato da:

- forte iterazione dei procedimenti messi in essere;
- variazione delle linee di sviluppo di crescita intellettuale degli allievi;
- personalizzazione dell'insegnamento specifico.

La DBR non si configura come:

- progettazione e sviluppo coinvolgenti la valutazione dei processi educativi. Infatti in questi casi risultano preminenti bisogni problematici centrati sugli studenti piuttosto che una teoria compiuta guidati

- la ricerca di design (che non comporta ricerca in-situ)
- la sperimentazione di design (che è una forma specifica di sperimentazione controllata che conserva ancora molti variabili latenti)

- Design Evidence-Based (che non comporta congetture teoriche esplicite)

Progettazione basata sull'evidenza o EBD è un campo di studio che sottolinea l'importanza di una prova credibile al fine di influenzare positivamente la progettazione didattica. Questo approccio è diventato popolare nel settore dell'istruzione specialistica al fine di migliorare il personale benessere del paziente, la guarigione del paziente, riduzione dello stress e la sicurezza.

Il Design Evidence-Based rappresenta un campo relativamente nuovo, che ha preso in prestito terminologia e idee da discipline limitrofe come la psicologia ambientale, l'architettura, la neuroscienza e l'economia comportamentale.

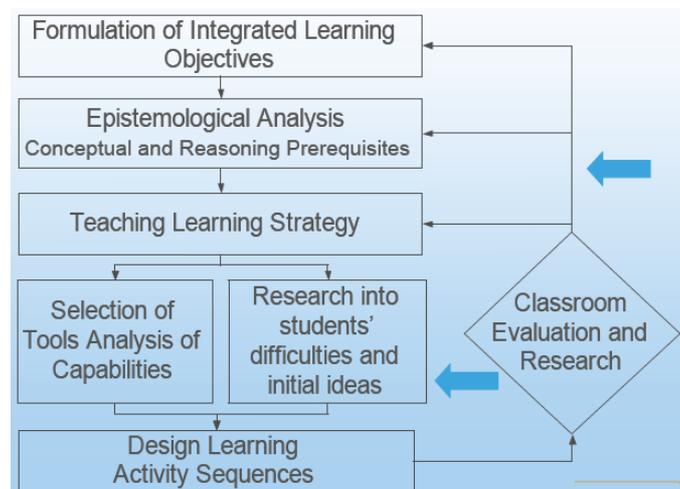


Figura 2.3: Una metodologia per la progettazione materiali di insegnamento/apprendimento (C. P. Constantinou)

2.2.1 Il contributo di David HAMMER

La ricerca psicologica ha avanzato ipotesi più complesse tra le quali, per un insegnante, può essere utile sintetizzare l'approccio delle intelligenze multiple (Howard Gardner, *Formae mentis*, Feltrinelli, Milano, 2010) nella formulazione sintetica di tre tipi fondamentali (Masini, 2001): l'intelligenza intuitiva, l'intelligenza descrittiva e l'intelligenza ordinativa o formale.

Può essere importante riflettere su quali tipi di intelligenza sono richiesti per una buona comprensione della fisica. Poiché la disciplina è oggi un intreccio tra conoscenza dei fenomeni e conoscenza dei quadri teorici in cui essi trovano una spiegazione; è ragionevole pensare, oltre alla utilità/necessità di un approccio intuitivo ai fenomeni, alla necessità di capacità di tipo descrittivo (per la conoscenza dei fenomeni) e di tipo formale (per la comprensione dei quadri teorici).

Apprendimento

- è guidato dalla Motivazione ad apprendere
- utilizza canali di percezione e comunicazione e abilità di pensiero innate
- riguarda la acquisizione - inserimento nella Memoria a Lungo termine - di conoscenze dichiarative, procedurali (abilità di pensiero acquisite) e di metaconoscenze (capacità di riflettere su ciò che si sa)
- è provato dal richiamo nella Memoria di lavoro delle conoscenze acquisite rilevanti in un particolare contesto
- si differenzia in stili legati alle diverse forme di Intelligenza (descrittiva, intuitiva, ordinativa)

Figura 2.4: Definizione di apprendimento

Un punto su cui soffermarsi riguarda i canali di acquisizione di conoscenza. Possiamo distinguere tra i canali percettivi attraverso gli organi di senso e i canali comunicativi attraverso il linguaggio.

In ambedue i casi si può pensare che ogni essere umano selezioni le informazioni in base ai propri schemi di conoscenza e ai propri desideri: "si vede ciò che si vuole vedere, si ascolta ciò che si vuole ascoltare".

Ovviamente i canali percettivi svolgono un ruolo fondamentale nella acquisizione di conoscenze riguardanti i fenomeni del mondo fisico e quindi anche nella costruzione degli schemi di fisica spontanea. Ad essi si sovrappone comunque il canale linguistico che può indirizzare l'attenzione a cogliere gli aspetti importanti dei fenomeni e a definire l'uso del linguaggio ad essi appropriato.

L'uso della parola "vuole" tende a mettere in evidenza il ruolo giocato, in ogni processo di apprendimento della motivazione ad apprendere.

A tale riguardo le ricerche distinguono tra una motivazione intrinseca, propria del soggetto conoscente, ed una motivazione estrinseca che può essere stimolata dalla indicazione di finalità e vantaggi di tipo sociale e/o applicativo.

Lo schema di fig.1 tenta di illustrare le correlazioni tra i vari processi e concetti discussi e vuole mettere in evidenza le varie dimensioni dell'apprendimento che uno studente deve tenere presenti nella propria attività di studio.

Una prospettiva utile a tal fine può essere quella di analizzare le risorse che ogni soggetto può utilizzare nel proprio processo di apprendimento (Hammer 2000). Possiamo distinguere in proposito tra le risorse di tipo concettuale e quelle di tipo epistemologico.

Le risorse concettuali riguardano gli schemi di conoscenze posseduti nella memoria a lungo termine che possono fornire strategie di ancoraggio delle nuove conoscenze agli schemi propri, di formare analogie di ricordo, di raffinare l'intuizione.

A questo proposito è importante sottolineare che assumendo come punto di partenza per la costruzione degli schemi di conoscenza scientifica gli schemi di conoscenza spontanea (fisica ingenua), nel corso delle attività di insegnamento e studio concetti scientifici vi possono trovare un facile ancoraggio senza provocare una ristrutturazione verso gli schemi condivisi dalla comunità scientifica.

Ne risultano schemi di conoscenze in qualche modo ibridi in quanto pur contenendo elementi caratteristici della conoscenza scientifica se ne differenziano per aspetti non marginali (Guidoni, 1995 - Redish, 1999).

2. 2.2 Il contributo di Claudia Von Aufschnaiter

L'indagine sui vari processi di insegnamento e di apprendimento (in fisica) sotto il paradigma del cambiamento concettuale rappresenta un aspetto essenziale nell'ambito della ricerca in Didattica della fisica.

Riferendoci alla conoscenza concettuale che viene di solito insegnata ed appresa, studi importanti indagano soprattutto se i concetti siano "corretti" oppure no e a quale livello tali concetti vengano costruiti.

Non solo il contenuto del concetto gioca un ruolo importante, ma ciò vale anche per la struttura temporale in cui il concetto viene sviluppato e viene passato all'insegnamento.

I docenti presentano un concetto in modo rapido; non è per gli studenti semplice seguire la presentazione, anche se fossero stati in grado, da un punto di vista cognitivo.

Oppure, due studenti possono costruire la stessa conoscenza (rispetto al contenuto e il livello di astrazione), ma uno ha bisogno solo pochi secondi mentre l'altro deve pensarci per qualche minuto. Inoltre, anche le valutazioni sono (intuitivamente) strutturato sulla base di intervalli di tempo.

Inoltre, anche le valutazioni sono strutturate sulla base di precisi intervalli di tempo. In base alle norme PISA gli studenti hanno avuto una media di 5 minuti per risolvere un compito.

CAPITOLO 3

INSEGNAMENTO SCIENTIFICO NEI CURRICOLA EUROPEI E L'INSEGNAMENTO DELLA SUPERCONDUTTIVITÀ NELLA SCUOLA SUPERIORE

3.1. Insegnamento Scientifico a Scuola in Europa

Si riepiloga qui lo studio Eurydice [(www.eurydice.org)] in cui viene fornita una rassegna comparativa dei regolamenti e delle raccomandazioni ufficiali sull'insegnamento scientifico in 30 paesi Europei e si presenta una panoramica dei risultati principali della ricerca sull'insegnamento scientifico in questi paesi.

Nella prima parte viene esposta lo stato delle attuali politiche educative per l'insegnamento scientifico in Europa. La panoramica della letteratura di ricerca mira ad offrire una panoramica della competenza oramai disponibile intorno agli approcci più efficaci per portare i giovani verso un apprendimento del sapere scientifico. Le connessioni più importanti tra queste due prospettive complementari sono enfatizzate nelle conclusioni dello studio a cui qui ci si riferisce.

Il modo in cui la scienza viene insegnata a scuola dipende da molti fattori, tra cui la formazione dei docenti, il contenuto del curriculum scolastico e le forme di valutazione. Direttamente o indirettamente, questi fattori influenzano il contenuto – e gli approcci – all'insegnamento scientifico, come pure le attività scientifiche in classe.

L'anno di riferimento per i dati nello studio comparativo risulta il 2004/05, con riferimento fatto alle riforme in atto nel 2005/06. Lo studio copre 30 paesi membri dell'Eurydice Network.

I livelli educativi trattati sono quello primario (ISCED 1) e quello secondario inferiore (ISCED 2). In questo rapporto ci si occupa solamente di scuole gestite e finanziate dalle autorità pubbliche. Fanno eccezione il Belgio, l'Irlanda e l'Olanda. In questi paesi vengono prese in considerazione anche le scuole private a finanziamento pubblico poiché frequentate dalla maggioranza degli studenti.

Per limitare l'ampiezza della raccolta dati e assicurare la fattibilità del lavoro, l'indagine si è focalizzata sulla scienza intesa come singolo soggetto integrato e sulla fisica - quando si tratta invece di argomenti separati nel curriculum. Il curriculum per l'educazione secondaria superiore spesso include argomenti di fisica classica e non moderna, mentre la scienza integrata è più tipica dei curriculum primari.

L'informazione presentata in questa indagine comparativa è stata raccolta dalle Eurydice National Units per mezzo di un questionario accompagnato da una lista di termini specifici e definizioni. Questi strumenti di raccolta dati possono essere ottenuti dal sito web di Eurydice (www.eurydice.org).

Oltre ai contributi delle National Units, l'European Unit ha ricevuto sostegno nella preparazione di questa unità da due esperti nei metodi di insegnamento scientifico. I quali, oltre ad aiutarci a redigere il questionario di raccolta dei dati, hanno anche scritto parte del rapporto, compresa la panoramica sui risultati della ricerca, e ne hanno letto l'intero contenuto da una prospettiva critica.

Per assicurare l'affidabilità e la qualità del contenuto dello studio la prima parte (comparativa) è stata controllata strettamente dalle National Units dell'Eurydice Network.

La prima parte di questo lavoro contiene un'indagine comparativa sulle prescrizioni e raccomandazioni ufficiali sul tema dell'insegnamento scientifico in Europa.

Esamina il contenuto dei requisiti standard, delle linee guida sui programmi iniziali di formazione dei docenti e dei criteri per l'accreditamento di istituzioni e programmi di educazione superiore. Lo scopo è identificare i tipi di competenza ed esperienza che i futuri insegnanti di scienza dovrebbero sviluppare durante la loro istruzione iniziale, sia che si tratti di pratica effettiva d'insegnamento o di argomenti rilevanti per l'ambito disciplinare insegnato.

Secondo paragrafo: si occupa dei requisiti e dell'esperienza professionale degli istruttori dei docenti che sovrintendono alla formazione iniziale di insegnanti di scienza qualificati. La ricerca riguarda su due figure professionali: 1) i formatori che operano nelle istituzioni di formazione del docente iniziale, e 2) gli insegnanti che, dall'interno della scuola, sovrintendono ai futuri insegnanti durante il loro tirocinio scolastico

Terzo paragrafo focalizzato sugli approcci esposti nel curriculum scientifico prescritto a scuola, ed in particolare gli scopi da conseguire e le attività da intraprendere in classe. L'indagine riguarda nella fattispecie i seguenti aspetti: la presenza di riferimenti agli aspetti contestuali dell'insegnamento scientifico, come la storia della scienza ed i problemi sociali contemporanei; lavoro sperimentale; tecnologia dell'informazione e delle comunicazioni; e comunicazione. Si offre anche una panoramica sul dibattito in corso e le riforme relative al curriculum scolastico.

In seguito si prende in considerazione test e forme di valutazione standardizzate in ambito scientifico. Dopo una catalogazione iniziale dei paesi che ne fanno uso, il capitolo esamina i tipi di conoscenza e le abilità accertate. Si occupa pure dell'accertamento standardizzato di un particolare tipo di attività: i progetti scientifici. Successivamente si offre una breve panoramica generale delle riforme e del dibattito che riguarda la valutazione dei risultati dell'insegnamento scientifico.

In seguito ci si inoltra in una panoramica sui maggiori risultati in tema di ricerca sull'insegnamento scientifico, coprendo gli aspetti più significativi volti a rispondere a domande simili: "Quali forme d'apprendimento si dovrebbe incoraggiare?"; "Come motivare gli alunni?"; "Che contributi speciali possono dare le ICT?"; "Com'è vista la scienza e l'insegnamento scientifico da parte degli scienziati?"; "Che competenze professionali bisogna mobilitare per l'insegnamento?" e "Come possono sviluppare approcci e procedure innovative?".

Un buon insegnamento in campo scientifico dovrebbe: fornire un'adeguata conoscenza dei concetti e delle teorie scientifiche, esibire un adeguato corredo tecnico-metodologico per l'insegnamento del lavoro sperimentale a livello laboratoriale. Poi vi è l'area più ampia della psicologia dell'educazione e la conoscenza dei metodi d'insegnamento, oltre alla conoscenza pratica dell'insegnamento e delle abilità associate al lavoro in classe.

Inizialmente si mira a definire le dimensioni che contribuiscono alla preparazione di un efficace insegnamento della scienza.

In seguito si trattano le abilità di insegnamento specifiche al contesto scientifico.

Successivamente si occupa spazio riguardo l'educazione dell'insegnante circa la conoscenza scientifica e le abilità relative, con informazioni ulteriori sulla competenza dell'insegnante circa la sperimentazione e l'indagine scientifica.

L'ultima sezione esamina se siano contemplati specifici criteri di accreditamento per i programmi iniziali di formazione di docenti qualificati nell'insegnamento scientifico. Quando esistono tali criteri, la ricerca mette in luce quali aspetti dell'educazione vadano a coprire.

L'informazione qui contenuta ci dice solo cosa si trova nei regolamenti. Quanto ciò possa fornire un quadro ragionevolmente completo sull'educazione degli insegnanti dipende da come ogni sistema educativo è governato.

Queste linee guida sullo sviluppo di standard di qualifica per gli insegnanti sono state e sono materia di dibattito per le autorità preposte all'educazione in molti paesi.

3.1.1 Conoscenza ed abilità generali richieste per l'insegnamento

Con *conoscenza ed abilità generali richieste per l'insegnamento* s'intende la professionalità sviluppata dai programmi di formazione degli insegnanti indipendentemente dall'argomento: teorie dello sviluppo del bambino, creazione e gestione di ambienti di apprendimento, lavoro con diversi gruppi di ragazzi e approcci cooperativi all'insegnamento.

Questo tipo di abilità riceve una copertura abbastanza comprensiva, sia a livello ISCED1 che ISCED2. Un po' più ad ISCED1, soprattutto riguardo le teorie sullo sviluppo del bambino.

La sensibilità verso le differenze di genere per ciò che concerne attitudini e motivazioni, e la capacità di tener conto di queste differenze all'interno della classe sono aspetti di considerevole importanza. La ricerca, infatti, mostra che ci sono grandi differenze tra la maggior parte dei ragazzi e delle ragazze per quanto riguarda ciò che vorrebbero imparare nelle loro lezioni di scienza, sulle modalità d'insegnamento e di valutazione preferite, ed l'atteggiamento degli studenti verso la scienza.

Tuttavia, questi sono gli aspetti meno citati negli standard di programmazione per le linee guida e le qualifiche riguardanti la formazione dei docenti.

Un numero maggiore di paesi prende in considerazione le differenze sociali e culturali insite nel background degli studenti.

3.1.2 Conoscenza e abilità richieste per la scienza

In confronto a quelle generali, i rimandi alle abilità specifiche necessarie all'insegnamento scientifico sono un po' meno frequenti.

Attività sperimentali/investigative compaiono frequentemente a entrambi i livelli.

Una seconda area ben coperta è la conoscenza dei diversi modelli d'insegnamento (della scienza) e la loro storia, oltre alla conoscenza dei curricula scientifici e dei loro obiettivi.

L'insegnamento scientifico a scuola deve essere sensibile alla comprensione "di senso comune" dei fenomeni scientifici da parte dei bambini per essere efficace (cioè, il ragionamento spontaneo o pre-scientifico porta a rappresentazioni o concezioni ingenuie dei fenomeni). Ciò è stato mostrato definitivamente in un ampio corpo di ricerca, che sottolinea le miriadi di modi in cui i bambini vedono e interpretano il mondo intorno a loro. La conoscenza delle implicazioni di ciò e della abilità di tener conto di tale comprensione "di senso comune" nelle lezioni in classe ed in laboratorio, tuttavia, manca in 13 sistemi educativi ad ISCED1 ed in 11 ad ISCED2.

Infine aggiornarsi sugli sviluppi scientifici è ritenuto importante ad entrambi i livelli quasi ovunque, sebbene in 5 paesi ciò sia vero solo a livello ISCED2.

3.1.3 Conoscenza scientifica ed abilità

Insegnare la scienza non vuol dir solo possedere le abilità didattiche richieste, ma anche un'adeguata conoscenza dei contenuti. In questa sezione ci focalizzeremo sulla conoscenza scientifica.

Quasi ogni sistema educativo in possesso di linee guida generali include riferimenti a concetti scientifici e teorie, e su attività scientifiche sperimentali/di ricerca. Tra le eccezioni l'Italia.

Quasi la metà dei sistemi educativi fa riferimento alla conoscenza della storia e dell'epistemologia. Questa è l'unica area coperta dalle linee guida italiane al livello ISCED2, mentre non è presente ad ISCED1.

La maggior parte degli insegnanti a livello ISCED1 sono generalisti. Ad essi non viene richiesto di istruirsi nella ricerca/sperimentazione scientifica. A livello secondario, invece, la maggior parte dei docenti è composta da specialisti.

L'informazione presentata in queste prime tre sezioni mostra che gli standard definiti dalle autorità educative hanno molto da dire su ciò che dovrebbe essere incluso nella formazione degli insegnanti, non solo in termini di abilità generali d'insegnamento, ma anche in termini di abilità e conoscenze più specifiche. In molti paesi europei, gli istituti educativi più avanzati [in Italia università ed educazione post-universitaria] godono di forme di autogoverno considerevoli. L'accreditamento è uno dei mezzi adottati dalle autorità educative per assicurare in questo quadro l'ottemperanza di determinati standard di qualità nell'istruzione

offerta. L'accreditamento è dunque un processo attraverso il quale le autorità legislative e professionali giudicano se un'istituzione o un programma soddisfa standard di qualità predeterminati che la autorizzano ad offrire un corso particolare e a concedere la qualifica corrispondente.

Tredici sistemi educativi in Europa posseggono criteri di accreditamento per i programmi di educazione primaria dell'insegnante. Questi criteri riguardano vari aspetti, inclusi il contenuto dei programmi, il supporto del personale agli studenti o, più specificamente, le questioni organizzative.

I criteri contenutistici fanno riferimento ad aspetti fondamentali della formazione primaria dell'insegnante, cioè all'istruzione su concetti e teorie scientifiche, istruzione nell'indagine/sperimentazione scientifica, istruzione nei metodi d'insegnamento e, in misura minore, nel gestire sistemi informatici.

3.1.4 Istruttori in istituzioni per la formazione primaria dell'insegnante

Si considerano qui i regolamenti o le raccomandazioni emanate dalle autorità educative circa le qualifiche e l'esperienza professionale del personale responsabile per la componente professionale della formazione primaria dell'insegnante di scienza.

La prima sezione si occupa dei formatori degli insegnanti che lavorano in istituti per la loro formazione primaria e svolgono corsi di carattere teorico riguardanti l'istruzione professionale.

La seconda sezione si focalizza sui responsabili all'interno delle scuole che si occupano della guida o supervisione dei futuri insegnanti nel loro tirocinio pratico durante l'istruzione primaria e/o nella qualifica finale "sul-posto-di-lavoro" o nella fase d'inserimento.

In quasi tutti i paesi i futuri insegnanti devono intraprendere un tirocinio pratico. Solo in Grecia non è obbligatorio.

Livelli di qualifica in scienza

In una ventina di sistemi educativi, il livello di qualifica in scienza è specificato in regolamenti o raccomandazioni. Nella maggior parte dei casi è necessario un master scientifico postuniversitario. In altre un bachelor. In altre ancora un dottorato in ambito scientifico.

In altri - tra cui l'Italia - non vi sono regolamenti sulla qualifica scientifica di tali formatori per il livello primario (ISCED1), mentre misure analoghe alle precedenti si applicano ai formatori per il livello secondario inferiore: la Spagna richiede un bachelor, l'Italia ed altri un master, ed il Portogallo un dottorato.

Vengono affrontate di seguito le qualifiche specifiche in tipi d'insegnamento.

Anch'essi sono soggetti a regolamentazione o raccomandazione nella maggioranza dei paesi.

Qui si distingue in:

- a) qualifiche d'insegnamento: un diploma o certificato in educazione e insegnamento.
- b) qualifiche come formatore d'insegnanti: diploma o certificato che testa che il suo possessore ha la conoscenza e le abilità necessarie per formare insegnanti.

Mentre il primo è soggetto a regolamenti, solo una piccola minoranza di paesi possiede regolamenti di qualifica specifica come formatore d'insegnanti. [6] Essa è obbligatoria solo in Bulgaria, Romania, Danimarca e Cipro. Altri tre paesi le includono tra le raccomandazioni.

3.1.5 Esperienza professionale

Nell'insegnamento: circa 15 paesi hanno regolamenti che richiedono o raccomandano che i formatori d'insegnanti abbiano esperienza essi stessi in veste d'insegnanti, sia per il livello ISCED1 che ISCED2.

Nella ricerca educativa: meno di metà dei paesi posseggono regolamenti sul bisogno di possedere esperienza nella ricerca educativa. Questa esperienza è obbligatoria solo in 4 paesi dell'Europa centrale e a Malta. In altri, si raccomanda che i formatori abbiano qualche esperienza nella redazione di libri di testo scientifico.

Si prende in considerazione chi guida o sostiene gli insegnanti in corso di formazione all'interno delle scuole durante il loro tirocinio o nella qualifica finale "sul-posto-di-lavoro" o nella fase d'inserimento. Mira ad identificare quali figure professionali compongono i formatori e 2) se vi siano regolamenti o raccomandazioni richiedenti il completamento di speciali corsi di formazione mirati all'assunzione di responsabilità di guida.

Nella maggioranza dei paesi, sono gli insegnanti stessi ad assumersi responsabilità di guida o facilitazione. Solo a Malta il tirocinio è monitorato da esterni. In altri paesi è il leader del comparto scientifico o il preside.

In una minoranza di paesi, per lo più in Europa centrale, è obbligatorio per i mentori o facilitatori ricevere un'istruzione speciale, o lo si raccomanda. In Estonia c'è bisogno di 5 anni di esperienza e di un corso universitario mirato all'assunzione di questa responsabilità. In Romania si ha un'istruzione specializzata durante il lavoro.

In alcuni paesi, come in Spagna, dipende dalla regione autonoma in cui ci si trova. In Svezia viene lasciato all'autonomia dell'istituto decidere se allocare risorse per la formazione delle guide o facilitatori interni.

Nel Belgio fiammingo ed in Italia, guida e sostegno sono generalmente forniti da insegnanti di notevole rilievo il cui lavoro sia riconosciuto dai loro colleghi e dai loro superiori. In Francia sono scelti da membri dell'ispettorato e selezionato per la loro eccellenza professionale

Ci occupiamo dei curricula scientifici prescritti o raccomandati nei due livelli scolastici di nostro interesse, oltre agli approcci e gli obiettivi perseguiti.

Si noti che:

- In ambito primario la scienza viene presentata come un argomento integrato nella quasi totalità dei paesi considerati (salvo l'Olanda, dove sono separati),
- In ambito secondario inferiore la tendenza è invertita (con l'eccezione di pochi paesi, tra cui l'Italia, dove la scienza resta un argomento integrato).

La prima sezione del capitolo esamina se i curricula comprendano approcci che ricoprono gli aspetti contestuali della scienza. Primariamente: storia e questioni sociali.

La seconda sezione si occupa del contenuto dei curricula scolastici ufficiali, espressi in termini di attività e/o obiettivi prescritti o raccomandati, con speciale riguardo a tre aspetti:

- a) lavoro sperimentale e pratico
- b) tecnologia dell'informazione e delle comunicazioni (ITC)
- c) comunicazione.

Infine l'ultima sezione fornisce una panoramica sulle riforme in corso ed il dibattito intorno ai curricula scolastici di scienza.

Le tabelle indicano in quali paesi viene prescritto l'insegnamento della storia della scienza e/o delle questioni sociali ad essa connesse.

Nel caso italiano, i curricula comprendono solo l'insegnamento di questioni sociali. Ciò ad entrambi i livelli d'istruzione, in ambito di discussione come pure nelle attività in classe. Tale impostazione è in contrasto con quelle di molti altri paesi d'Europa, dove entrambi i campi sono compresi nei curricula, soprattutto a livello ISCED2.

I curricula scolastici possono presentarsi in vari modi, includendo a seconda dei casi le aree generali di conoscenza (concetti) da coprire, le attività specifiche da svolgere (ciò che agli studenti viene chiesto di fare) e i risultati d'apprendimento da ottenere (le abilità che gli studenti dovrebbero acquisire).

Si osserva che, mentre più attività possono essere mirate al conseguimento dello stesso obiettivo, una singola attività può contribuire a più di uno di essi.

I regolamenti e le raccomandazioni sono assai mutevoli da paese a paese. In alcuni si tende a specificare le attività d'insegnamento e d'apprendimento ma si tace sugli obiettivi. In altri non si prescrive né si raccomanda attività specifiche, e l'educazione scientifica scolastica è espressa in termini di obiettivi d'insegnamento e d'apprendimento. In altri ancora si esplicitano entrambi gli aspetti.

Si ricordi che se un aspetto non viene specificato nelle prescrizioni sui curricula, ciò non implica necessariamente la sua assenza dalla pratica didattica. Per esempio, l'uso di tecnologie dell'informazione può essere prescritto come attività a scuola (ad esempio "comunicare con gli altri ragazzi") ma l'abilità di usare l'ICT non è necessariamente un risultato d'apprendimento in sé.

Il lavoro pratico e sperimentale costituisce un aspetto importante ed altamente distintivo dell'insegnamento scientifico, e tutti i curricula prescritti o raccomandati vi fanno riferimento. "Compiere osservazioni" è incluso quasi ovunque come forma di attività o obiettivo.

Nella ricerca sulla didattica scientifica si è data molta attenzione alle abilità cognitive complesse. Lo sviluppo di tali abilità durante l'istruzione scientifica sta diventando sempre più vitale dato che molte operazioni richiedenti abilità cognitive di basso livello - come l'applicazione di formule - possono essere svolte dal computer.

Attività che richiedono un corpo complesso di conoscenza e competenza e qualche grado d'indipendenza da parte degli alunni sono incluse nella maggioranza dei curricula scientifici a livello ISCED2. In contrasto, esse sono meno evidenti nei curricula di livello primario, come nel caso dell'attività: "verificare una legge scientifica mediante l'esperimento".

Ciò si applica anche ad altre attività scolastiche impegnative sul piano cognitivo, come ad esempio: "formulare ipotesi e testarle" e "lavoro a progetto di carattere scientifico".

Questa differenza di approcci si può vedere anche nel caso di abilità meno complesse, come quella di "seguire accuratamente istruzioni sperimentali" e l'abilità di selezionare ed usare apparati e strumentazioni appropriate".

L'uso dell'ITC non riguarda solo i corsi di scienza.

"Ricerca informazioni su internet" e "Comunicare con altri ragazzi" sono attività utilizzabili per apprendere qualsiasi argomento.

"Registrare e presentare risultati sperimentali e dati" e "compiere simulazioni" corrispondono invece ad attività più caratteristiche di argomenti scientifici.

Nel caso della scienza, la presenza dell'ITC è ormai diffusa a livello secondario inferiore, mentre è meno evidente nei curricula primari, probabilmente perché l'uso dell'ITC richiede il possesso di abilità cognitive relativamente complesse.

La ricerca sulla didattica scientifica riguardante soprattutto il livello secondario superiore ("Science Education Research and the Training of Science Teachers", sezione A.4) evidenzia il considerevole beneficio ricavabile dall'organizzazione a scuola di questo tipo di lavoro, poiché incoraggia gli studenti ad impegnarsi in attività teoriche e può aiutarli a formare associazioni cognitive tra la teoria e l'esperienza.

Imparare a discutere di scienza ed a comunicare ciò che si sta facendo (o si è stato fatto) è un aspetto importante dell'educazione scientifica che fa parte di diverse aree del curriculum scolastico ed emerge come un aspetto a cui viene assegnata alta priorità in Europa, almeno a livello di prescrizioni o raccomandazioni.

Esistono tre forme di discussione sulla scienza:

- 1) discussioni sul ruolo che la scienza assume nella società ed i modi in cui si connette alla vita quotidiana,
- 2) discussioni sulla ricerca d'informazioni (abilità di manipolazione dei dati, comprensione della diversità delle fonti e della qualità dell'informazione, capacità di usare la documentazione scientifica),
- 3) discussioni su esperimenti (cioè, saper presentare e comunicare procedure e risultati).

Mentre a ISCED2 ci si aspetta che i ragazzi si occupino di tutti i tre gli aspetti in quasi tutti i paesi, a livello ISCED1 la situazione è più differenziata.

- 1) Quasi ovunque gli alunni primari discutono di scienza in relazione alla società e alla vita quotidiana, e accoppiano questo discorso alla ricerca di informazioni. Questa attività potrebbe anche essere mirata alla discussione sulla comprensione "di senso comune" della scienza, consentendo al docente di stabilire il livello di comprensione degli alunni e, di conseguenza, le attività di apprendimento ad essi più appropriate.
- 2) Un'analisi delle abilità di manipolazione dei dati serve a sottolineare l'importanza della presentazione e della comunicazione dell'informazione.
- 3) Un altro aspetto della comunicazione nell'educazione scientifica riguarda l'educazione a presentare e comunicare procedure e risultati sperimentali. Tutti i sistemi educativi lo includono a livello secondario solo sette a quello primario.

I curricula scolastici di scienza sono attualmente soggetto di dibattito e riforma in gran parte dei paesi europei. La discussione riguarda un ampio spettro di questioni (approcci metodologici e l'ammontare del tempo d'insegnamento) ed in alcuni paesi è associata ad una riforma generale del curriculum scolastico.

La riforma dei contenuti curriculari spesso richiede delle modifiche in altri settori, come la valutazione degli studenti e, a monte, la formazione degli insegnanti.

Nella scuola primaria insegnanti dall'istruzione scientifica più limitata devono prendere parte a corsi che li aiutano a soddisfare i più recenti requisiti del curriculum, che assegna maggiore importanza alla scienza.

Nel caso di insegnanti di scuola secondaria, l'istruzione aggiuntiva risulta profondamente legata a questioni di tipo metodologico.

In Lettonia l'obiettivo generale è ottenere un curriculum strutturato rispetto alle abilità, e non solo ad un set di fatti da memorizzare, come era in precedenza.

In Estonia si cerca di introdurre delle modifiche dei contenuti, abilità da acquisire metodologie ed in particolare, il ruolo del docente e dell'alunno nel processo di apprendimento.

In alcuni paesi si va in direzioni contrastanti: nella Repubblica Ceca si cerca di uniformare i curricula al quadro nazionale. In Olanda si vuol concedere a riguardo maggiore autonomia agli istituti scolastici (ad es: lasciar scegliere se insegnarla come soggetto integrato, o in argomenti separati).

La Gran Bretagna sta riformando il curriculum del Key Stage 3, fino ad allora consistente in una lunga lista di fatti, per produrre un curriculum più rilevante e flessibile, con più enfasi sui fondamenti concettuali più importanti e su processi chiave come l'indagine e la valutazione.

In Italia sono stati introdotti, sia a livello primario che secondario inferiore, nuovi curricula formulati in termini di obiettivi di apprendimento specifici, all'interno di una riforma più generale dell'educazione. In relazione alla scienza, il ministero dell'istruzione ha lanciato il progetto *Insegnare Scienze Sperimentali* nel 2006. Questo progetto mira da un lato a migliorare i livelli di abilità in matematica e scienza per studenti di età compresa tra i 6 ed i 16 anni e, dall'altro lato, a sostenere lo sviluppo continuativo della professionalità degli insegnanti in tali settori.

In Lituania e Finlandia si parla anche dell'ammontare di tempo necessario per lo studio e l'apprendimento efficace in campo scientifico.

3.1.6 Le riforme riguardano anche la metodologia.

In Francia si cerca di introdurre una dimensione d'indagine già presente nei programmi a livello primario sotto il nome di *la main à la pâte* (un approccio del "metterci le mani") e lasciar giocare agli studenti una parte importante nello sviluppo della propria conoscenza. In più i nuovi programmi forniscono un incentivo ad adottare un approccio multidisciplinare in certi argomenti come la salute o l'ambiente sostenibile, che riguardano molte discipline. L'obiettivo è di trattarli continuativamente in tutta l'educazione secondaria inferiore.

In Olanda si vuol far partire i curricula dalle concezioni e dai ragionamenti di senso comune degli studenti, per poi sviluppare una comprensione più accurata dei fenomeni scientifici.

Nei paesi in cui queste riforme riguardano l'intero curriculum scolastico, si cerca di stabilire standard educativi, per esempio in forma di competenze chiave, e si prende in considerazione l'idea di ampliare l'autonomia delle scuole nella definizione concreta dei curricula. Riforme di questo tipo vanno generalmente a braccetto con l'introduzione o il rafforzamento di accertamenti esterni sugli studenti basati su test che misurino la loro competenza e conoscenza rispetto agli standard stabiliti.

3.1.7 Le ricerche sull'insegnamento scientifico

La ricerca sull'educazione scientifica è interessata allo sviluppo di abilità di alto livello (formazione dei concetti, modellazione, *problem solving* e procedure scientifiche), ed è un campo la cui importanza sta crescendo rapidamente nell'ambito dell'educazione scientifica.

E' a queste abilità cognitive più complesse - non acquisibili tramite un modello trasmissivo dell'insegnamento né imparando a memoria - che la ricerca inizia a dare più attenzione.

Minore priorità ricevono invece le abilità comportamentali (come "essere capaci a manovrare la strumentazione") e le abilità cognitive di basso livello (ad esempio, le abilità di imparare e ripetere leggi e definizioni, applicare formule, risolvere problemi standard). Ciò è dovuto in parte allo sviluppo di sistemi di computazione ed elaborazione automatica.

Si sente oggi il bisogno di inquadrare la ricerca in un contesto sociale più ampio e, in particolar modo, di consentire a più gente possibile di giocare pienamente il loro ruolo di cittadini in società tecnologicamente e scientificamente avanzate.

Ciò richiede la comprensione non solo della conoscenza scientifica e degli sviluppi tecnici associati (*la tecnoscienza* [9]), ma anche della natura della scienza e dei suoi metodi, assieme ad un'abilità di ingaggiare uno spettro di discussioni scientifiche in dibattiti pubblici di ampio raggio che possono coinvolgere questioni ambientali, economiche, sociali ed etiche. Bisogna individuare una scala di priorità tra gli obiettivi che questa prospettiva offre.

I ricercatori stanno cercando di dischiuderla agli apporti di altre discipline, in particolare alla psicologia, alla filosofia e alla storia della scienza, alla linguistica, e stanno esplorando il potenziale di metodi diversi al fine di accrescere la motivazione degli studenti, il loro piacere nell'apprendimento, migliorare la loro percezione della scienza, e l'efficacia di vari metodi d'insegnamento ed apprendimento nello sviluppo delle competenze desiderate.

Le questioni generali possono essere spezzate in diverse domande.

- Quali approcci all'insegnamento e all'apprendimento vanno privilegiati?

L'attenzione si concentra sulla ricerca intorno all'insegnamento e l'apprendimento di concetti scientifici, lo sviluppo di procedure scientifiche (A.3) e le abilità associate alla discussione (A.5).

- Quali sono i contributi specifici che i computer possono dare all'insegnamento ed apprendimento scientifico?

La domanda precedente riguarda i contributi dati all'insegnamento scientifico da queste tecnologie, quando usate sia per raccogliere ed elaborare dati che per le simulazioni.

- Come vanno motivati gli alunni

Si darà attenzione ai fattori capaci di accrescere l'interesse del bambino e degli adolescenti verso gli studi scientifici.

Possiamo anche porci delle domande sulla penetrazione dei nuovi approcci all'insegnamento scientifico e alla formazione dei docenti, una domanda che appare in molte forme a seconda del focus della ricerca:

- Quali concezioni della scienza e del suo insegnamento sono oggi diffuse tra gli insegnanti di scienza in fase di formazione quelli già in servizio?
- Che genere di conoscenza professionale consente di sviluppare abilità d'insegnamento scientifico?
- In che modo gli insegnanti devono adottare le innovazioni suggerite loro?

Ci occuperemo adesso della ricerca nell'apprendimento delle discipline scientifiche.

La ricerca in questo settore si divide in due filoni:

- 1) Alcuni studi illustrano i modi in cui un fenomeno o tipo di fenomeno particolare viene rappresentato. Ad esempio concetti associati all'elettricità, meccanica, ottica, chimica e biologia.
- 2) Altri si occupano più a fondo di identificare le strutture generali di ragionamento che sostengono i modelli diversi usati per interpretare i vari fenomeni.

Alcuni studi hanno mostrato l'esistenza e indagato la natura di stadi nello sviluppo della comprensione dei circuiti elettrici, anteriori al raggiungimento di un livello di comprensione compatibile con le leggi scientifiche per come oggi s'insegnano:

- Circolazione sequenziale: la "corrente elettrica" si indebolisce passando in ogni componente del circuito, fino a tornare al generatore, dove "riguadagna l'energia perduta".
- Circolazione a corrente costante: la corrente fornita dal generatore è sempre la stessa indipendentemente dal circuito.

I concetti di energia e flusso di corrente sono confusi ed intrecciati. Il focus del primo passaggio dello sviluppo concettuale deve riguardare la costruzione e la differenziazione dei concetti di corrente, voltaggio ed energia elettrica.

Nel campo dell'ottica, gli stadi di sviluppo coinvolti nella formazione dell'immagine sono stati stabiliti in una varietà di contesti (Galili e Hazan 2000).

- Una “concezione olistica”, nota come “l’immagine viaggiante”; se una lente è parzialmente oscurata, solo parte dell’immagine passa attraverso la lente.
- Raggi di luce concepiti come “binari ferroviari”; un solo raggio che lascia un punto oggetto è sufficiente a trasportare l’informazione relativa a quel punto e quindi ottenere la sua immagine.

Il ruolo del tempo nella spiegazione dei fenomeni da parte degli alunni (ragionamento lineare causale, Viennot 1996, vedi p 76: Raisonner en Phisique: la part dus ens commun, Bruxelles, De Boeck):

- la scienza ragiona in termini di relazioni tra variabili, il che conduce alla covarianza (una variabile non cambia prima di un’altra, né gioca un ruolo causale nel cambiarla).
- il ragionamento di senso comune coinvolge una narrativa, costruita in termini di successive di eventi e nella quale l’interrelazione di causa ed effetto gioca un ruolo importante.

Invece di gestire il cambiamento concomitante di due variabili, gli studenti ragionano in tappe, ciascuna delle quali prende in considerazione una singola variabile. Il risultato di una tappa conduce “logicamente” alla successiva.

Quando molte variabili cambiano simultaneamente, si descrive il fenomeno come composto da una serie di tappe ciascuna delle quali coinvolge un singolo cambiamento (di una singola variabile).

La ricerca sui concetti e modalità del ragionamento di senso comune e la loro resistenza al cambiamento attraverso metodi tradizionali d’insegnamento, ha gettato luce sulle difficoltà di apprendimento specifiche ad un dato dominio. Ciò ha condotto alla ricerca sulle strategie d’insegnamento adatte a sviluppare modalità di pensiero scientifico.

A partire da questo corpo di lavoro (vedi bibliografia p.59), si sta lentamente giungendo ad un consenso sull’importanza di intraprendere, a monte, due tipi di analisi per escogitare strategie d’insegnamento ed apprendimento adeguate:

- un’analisi della conoscenza scientifica rilevante [per ciò che si sta insegnando], del suo sviluppo e del modo in cui può essere usata (per fare predizioni od offrire spiegazioni)
- un’analisi delle difficoltà incontrate nell’apprendimento e dei concetti propri degli studenti.

I risultati di analisi di questo genere vengono usati in situazioni d’ insegnamento ed apprendimento rivedute, basate su una “ricostruzione educativa” o un approccio “ingegneristico” all’insegnamento che tiene conto sia dei contenuti da apprendere che dei concetti propri degli studenti (Méheut e Psillos 2004).

Ricerche di questo genere producono una varia gamma di risultati. Forniscono indici metodologici per la realizzazione di situazioni d’insegnamento specificate in termini di risultati d’apprendimento desiderati, basati sulla conoscenza scientifica da imparare comparata con la conoscenza degli alunni.

Indicano l’impatto di diverse situazioni d’apprendimento sullo sviluppo cognitivo in una varietà di ambiti scientifici.

In base alle asserzioni fornite dai diversi ricercatori in questo settore non mancano finalità educative al lavoro sperimentale nell’ambito dell’insegnamento scientifico. Tra di esse figurano:

- la motivazione dei ragazzi,
- lo sviluppo di abilità di manipolazione
- un migliore apprendimento della conoscenza scientifica e dei metodi di calcolo.

Di seguito viene esposta un’ampia serie di considerazioni riguardanti alcune critiche dirette alle modalità stereotipate dell’attività sperimentale dell’insegnamento scientifico in ambito secondario.

Mentre l’educazione primaria sembra più aperta ad attività d’indagine - tra cui “testare le ipotesi” gioca un ruolo significativo - le attività pratiche a livello secondario sono usate principalmente:

- per illustrare concetti scientifici
- per verificare una legge scientifica
- in modo induttivo (esperimento, osservazione, misurazione e conclusione)

I ragazzi devono compiere una serie di attività prestabilite, fare osservazioni, misurazioni e raggiungere conclusioni che paiono auto-evidenti, sempre dietro l’assunzione fittizia che non siano già note in partenza.

Dall’analisi delle prescrizioni dei curricula, emerge che l’obiettivo comune a diversi paesi e a discipline come fisica e biologia per quanto riguarda il lavoro pratico è quello di familiarizzarsi con gli apparati ed i fenomeni (manipolare l’apparato, produrre un avvenimento e osservarlo).

Un obiettivo meno comune, sia ai paesi considerati che alle varie discipline, è l’organizzazione di una strategia per condurre un’indagine:

-in fisica si guarda all'apprendimento di leggi scientifiche e alla manipolazione delle relazioni tra variabili (imparare a gestire i dati e ad usarli per raggiungere una conclusione).

Molti studi rivelano le difficoltà incontrate dai ragazzi nel costruire legami tra esperimento e teoria. Le attività pratiche forniscono poche occasioni ai ragazzi per dibattere sulla fisica. La manipolazione dell'apparato e la presa delle misure occupano una parte importante del tempo dei ragazzi e conducono ad attività di carattere routinario, a detrimento della riflessione sugli esperimenti o sulle questioni teoriche correlate.

La critica e i suggerimenti indicano due filoni principali di sviluppo per il lavoro sperimentale:

- fornire un quadro più ricco di ciò che comporta fare scienza: formulare e riformulare una domanda o un problema, formulare un'ipotesi, pianificare un esperimento, migliorare un protocollo, controllare uno spettro di variabili, raccogliere, analizzare ed interpretare i dati, usando le simulazioni, discussioni, ecc..
- dare più autonomia ai ragazzi: impegnarli in compiti a soluzioni più aperte e permettergli di sviluppare abilità di più alto livello cognitivo.

Alcuni dei suggerimenti rientrano nell'idea di sviluppare una cultura scientifica, una cultura che assegni un ruolo importante allo sviluppo da parte dei ragazzi di una comprensione delle attività e procedure scientifiche.

A partire dal lavoro di Piaget è stata svolta molta ricerca sullo sviluppo del ragionamento ipotetico-deduttivo nell'apprendimento della scienza. Sono stati indagati diversi tipi di compiti. In alcuni casi si è data enfasi allo studio dell'effetto provocato dal cambiamento di date variabili. In altri i problemi sono più aperti, e la scelta delle variabili da studiare viene lasciata ai ragazzi stessi.

Dunque il ruolo del lavoro sperimentale nei curricula scientifici è cambiato dagli anni '90. Inizialmente centrato sull'apprendimento di abilità manipolative e di formazione dei concetti, e organizzato in accordo con una descrizione stereotipata del "metodo scientifico", tali curricula hanno dato gradualmente maggiore attenzione alla natura delle indagini a conclusioni aperte come condotte dalla scienza stessa: la formulazione di ipotesi, lo sviluppo dell'apparato e delle procedure sperimentali, la selezione dei dati da raccogliere e la comunicazione dei risultati.

Dallo studio (sull'uso degli standards nell'educazione scientifica) è emersa la nozione di sviluppo progressivo della competenza degli alunni nell'indagine scientifica in un arco di parecchi anni. Ad esempio, secondo Millar sembra che i ragazzi tra 12 e 14 anni si pongano più prontamente in una situazione di ottimizzare un effetto o un fenomeno, e susseguentemente (tra 14 e 16) sono capaci di adottare un approccio più scientifico nell'esplorare le relazioni tra variabili.

Data la necessaria dipendenza del curriculum dal contesto (tipo di scuola, numero di alunni, insegnante e livello di scolarizzazione degli allievi), gli autori suggeriscono di coinvolgere gli allievi in attività corrispondenti ai crescenti livelli di indipendenza richiesti per l'indagine scientifica.

Per questo Winschitl (2003) propone una progressione negli stadi di indagine, dalla più familiare (verifica di esperimenti e procedure prescritte) verso le più autentiche forme di indagine, sia guidate (vengono poste domande agli studenti) che aperte (sono gli studenti stessi a formulare le questioni da indagare).

Tanto più che studi intrapresi su studenti dai 15 ai 17 anni mostrano che gli approcci più aperti creano un senso di insicurezza negli insegnanti e negli studenti, i quali trovano particolare difficoltà nell'escogitare procedure sperimentali e presentare i loro dati.

Quando l'aiuto è attentamente strutturato, si osservano effetti positivi sia in termini di apprendimento di concetti scientifici e della comprensione della natura della scienza (Haigh e Forrett2005).

Lo stesso corpo di ricerca indica stadi possibili nello sviluppo di indagini scientifiche sempre più aperte. Mostrano anche che resta del lavoro da fare in questo ambito, sia nella chiarificazione degli obiettivi che nel suggerire modi possibili per fare acquisire agli studenti le necessarie competenze e 3) perché gli insegnanti individuino le strategie d'insegnamento appropriate.

Ciò pone la necessità di chiarire un certo numero di questioni epistemologiche.

Quali sono le caratteristiche essenziali del lavoro sperimentale?

E' possibile verificare, rifiutare o corroborare un'ipotesi in base ad un singolo esperimento?

Se è così, in quali condizioni?

Le risposte a tali domande sono raramente inequivocabili, sebbene lo sviluppo della ricerca nell'insegnamento e apprendimento della scienza sta gradualmente conducendo a risposte più precise.

Questa chiarificazione diviene urgente quando si desidera insegnare la natura della scienza, che oggi costituisce un punto importante nei curricula che cercano di promuovere la scienza come elemento di conoscenza generale.

Può essere utile all'educazione in generale agendo come data-base, facilitando gli esercizi individuali, o consentendo il trasferimento d'informazione e l'apprendimento a distanza.

I due aspetti che interessano a noi sono più specifici all'educazione scientifica:

- a) Inserire ed elaborare automaticamente dati sperimentali (il computer come strumento di laboratorio).
- b) Usare il computer a scopi di simulazione.

In generale vari studi hanno lasciato dei dubbi sui benefici dell'1) e suggerito alcuni modi di integrare il 2) in quelle procedure che sembrano particolarmente produttive in termini di attività cognitiva degli studenti. Vediamo:

1) Le ricerche di Hucke e Fischer (2002) hanno messo in discussione il contributo dato dai computer nell'elaborazione dei dati. Essi concludono non è utile per portare gli studenti ad impegnarsi in riflessioni teoriche e può ridurre l'attenzione prestata dagli studenti agli esperimenti, distogliendo la loro attenzione verso il lavoro con il computer.

2) Beaufils e Richoux (2003) si occupano della possibilità di visualizzare modelli teorici e dello sviluppo di attività che:

- Esplorano e manipolano modelli mirati allo sviluppo della conoscenza delle loro caratteristiche e all'adozione delle regole che governano la loro funzione.
- Conducano alla modellazione, usando gli strumenti dell'ICT per sviluppare modelli di fenomeni fisici.
- Meheut (1997), da una prospettiva simile, ha cercato di far sviluppare agli studenti (12-13 anni) un modello di struttura della materia capace di fare previsioni e di spiegare la termoelasticità dei gasi.
- Buty (200) ha esplorato il potenziale d'apprendimento ed i limiti dell'uso di software che simula l'ottica geometrica per comprendere come le lenti conducono alla formazione delle immagini.

E' stato mostrato che la coordinazione tra attività sperimentali e di simulazione può fungere da "ponte cognitivo" tra la teoria e l'esperienza pratica.

-Niederer (2002)

-Goldberg e Otero (2001) hanno mostrato che le attività cognitive che accompagnano il processo coinvolto nel compito della concettualizzazione sono inizialmente più intense se lo studente è impegnato nella simulazione (la fase di costruzione del modello), che nelle attività sperimentali (collegare il modello all'esperimento)

Inoltre si può considerare come interessante il ruolo dei grafici come intermediari tra i fenomeni fisici e la teoria. Infatti Bisdikian e Psillos (2002) hanno indagato i processi cognitivi degli studenti nella comparazione di grafici determinati sperimentalmente e simulati, durante un'attività di previsione, manipolazione di apparato e misurazione.

La ricerca che esporremo può essere usata per aiutare gli insegnanti a scegliere il tipo di dibattito adatto a formare il tipo di abilità di argomentazione che desiderano promuovere e a dirigere i loro interventi durante le discussioni in classe. Suggerisce anche criteri per la valutazione della competenza degli studenti nell'argomentare.

A partire dagli anni '90 l'enfasi posta nel promuovere la scienza come un elemento di conoscenza generale ha riposto interesse nelle abilità di argomentazione impiegate nel contesto di dibattiti socioscientifici, visti

anche come opportunità di acquisire una comprensione concettuale ed epistemologia della scienza (Sadler e Zeidler 2005).

Alcuni studi sono particolarmente rilevanti per la tesi qui discussa.

- Studi di rilievo (Bell e Lederman 2003) hanno rivelato l'importanza di considerare le dimensioni emozionali, sociali e morali inerenti a questi dibattiti e sollevare interrogativi sul legame posto in alcuni curricula tra l'acquisizione di idee epistemologiche (comprendere la natura della scienza) e lo sviluppo di abilità usate nei dibattiti socioscientifici (riconoscere affermazioni pseudoscientifiche e applicare la conoscenza scientifica alla vita quotidiana)
- Simmoneaux (2003) ha mostrato che le discussioni basate sul role-playing [da intendersi come assegnazione di opinioni a studenti, come nelle scuole hassidiche] favoriscono abilità retoriche (provocazione, sospetto, ironia), mentre lezioni incentrate su discussioni più formali sono più propizie al ragionamento razionale.
- Grace e Ratcliffe (2002) studi sui valori ed i concetti utilizzati da studenti in dibattiti sulla conservazione delle specie. Mostrano l'importanza dei giudizi di valore nei dibattiti. Concludono che è importante usare dibattiti di diverso genere per promuovere lo sviluppo concettuale.
- Zeidler (2005) valorizzano l'importanza della scelta degli argomenti, alcuni dei quali possono privilegiare l'emozionale a spese del razionale.
- Zohar e Nemet (2002) riportano i risultati di una unità d'insegnamento mirata allo sviluppo della comprensione della genetica e delle loro abilità di discussione. L'unità include l'insegnamento della genetica assieme ai principi dell'argomentazione ed il ruolo che giocano nei dibattiti. Sono convinti della sua efficacia sotto entrambi gli aspetti. Per quanto riguarda le abilità di discussione, si tratta delle seguenti: riflettere prima di trarre conclusioni, migliore qualità degli argomenti, contenuti più sofisticati.
- Mork (2005) passa in rassegna le possibili ragioni per un uso limitato di attività volte a promuovere le abilità di discussione da parte degli insegnanti: 1) sono abilità difficili da acquisire e devono essere apprese specificamente; 2) le attività necessarie sono impegnative in termini di tempo e 3) gli insegnanti non hanno sviluppato le risorse per pianificarle e gestirle. Basandosi sulla tipologia proposta da Mortimer e Scott (2003), propone un tipo di comunicazione "interattiva e dialogica" in contrasto a quella non interattiva e autoritaria adatta a migliorare la qualità del dibattito in classe. Analizza gli interventi dell'insegnante in base alle loro finalità; assicurare la correttezza dell'informazione scambiata, riportare il discorso sul tema e ampliare il dibattito, riaprirlo quando giunge ad un punto morto, incoraggiare il coinvolgimento degli alunni, e gestire l'uso dei termini.

La ricerca di Haeussler ed il suo approccio (distingue tra componente situazionale e personale)

Importante ricerca pluridecennale (1987, 1998, 2000) sulla motivazione. L'obiettivo è distinguere le qualità intrinseche dello studente da quelle che derivano dalla situazione d'apprendimento.

Le prime possono essere categorizzate in età e genere.

Le seconde sono analizzate nei termini di tre componenti: discipline scientifiche, contesto (scienza come sforzo personale, applicazione della scienza alla vita quotidiana, preparazione al mondo del lavoro, connessioni sociali della scienza) e approccio d'insegnamento (trasmissione ricezione, problem solving, discussione in classe).

La questione è investigare come questi fattori interagiscono in termini di motivazione degli alunni.

Differenze di genere

Per quanto riguarda la scienza, le ragazze dagli 8 ai 14 anni sono generalmente più in biologia che in chimica o fisica, mentre gli interessi sono più diversificati tra i loro coetanei maschi, interessati un po' più in fisica che in biologia (Stark e Gray 1999).

Haeussler ha considerato un campione tra gli 11 ed i 16 anni in diversi Länder della Germania, mostrando che:

Le ragazze ripongono meno interesse dei ragazzi nello studio della fisica. Questa discrepanza si assottiglia con il passare dell'età, anche se per entrambi i sessi si registra con il tempo un piccolo decremento di interesse nella fisica.

Ragazzi e ragazze si interessano in aspetti diversi della scienza, con le ragazze ugualmente o un po' meno interessate dei ragazzi in argomenti come luce, suono e calore, e molto meno in meccanica, elettricità e radioattività.

Le differenze di genere sono parimenti evidenti in termini di contesto di insegnamento ed apprendimento, con le ragazze attratte fortemente verso carriere nell'arte, medicina o consulenza ed i ragazzi verso la fisica come tendenza intellettuale e come base per lavorare nella ricerca o in ambito tecnico.

In conclusione, i ricercatori affermano che le differenze di genere non sono molto significative per quanto riguarda gli interessi nelle discipline scientifiche, ma che dal loro lavoro emerge una caratteristica importante.

Per le ragazze l'interesse nella fisica sta nella sua utilità, nelle sue relazioni con altre discipline e nella sua significatività a livello quotidiano. Ciò si accorda con quanto detto da Jones, Howe, Rua (2000) che mostrano che gli interessi extrascolastici sono più strettamente attinenti alla biologia (guardare uccelli, piantare semi, giardinaggio). Per quanto riguarda gli argomenti scientifici, le ragazze preferiscono argomenti che hanno un'attinenza con la percezione e la vita (colore, dieta, comunicazione con animali e Aids).

I ragazzi, di converso, hanno esperienze extrascolastiche attinenti alla fisica (giochi elettronici, razzi, microscopi). Per quanto riguarda gli argomenti scientifici, i ragazzi preferiscono argomenti tecnici (aeroplani, computers, nuove fonti di energia).

Una reinterpretazione dei suoi studi precedenti(1998), ha condotto Haeussler all'identificazione di tre tipi diversi di alunni (per quanto riguarda il loro approccio alla scienza):

- *Tecno-scientifico*: $\frac{1}{4}$ del totale. Ha forte interesse nella scienza come impresa intellettuale, negli artefatti e nelle carriere tecnologiche. $\frac{4}{5}$ sono ragazzi;
- *Umanista*: poco meno di $\frac{1}{2}$. Principalmente interessato nel comprendere i fenomeni naturali e le loro conseguenze per l'umanità. Ragazzi e ragazze si trovano in ugual numero
- *Cittadino*: $\frac{1}{4}$. L'interesse principale sta nell'impatto della fisica sulla società. La maggior parte degli alunni in questo gruppo ($\frac{3}{4}$) sono ragazze.

Le differenze di genere dunque sono marcate solo nel primo e nel terzo profilo.

Al variare dell'età il primo mostra un chiaro decremento nelle differenze di genere, il secondo è stabile, il terzo mostra un incremento.

L'insegnamento scientifico dovrebbe favorire attenzione verso questioni socioeconomiche e alla preparazione dei ragazzi per futuri impieghi.

I ragazzi sono molto interessati negli aspetti economici, pratici e personali della scienza, che non si trovano nei curricula di scienza tradizionali.

Questi risultati sono stati utilizzati per designare unità d'insegnamento che hanno portato a benefici cognitivi ed affettivi nel medio termine, specie nel caso delle ragazze.

Un gruppo vuole mettere più enfasi sui concetti ed i metodi scientifici.

Il secondo sulla tecnica e gli aspetti pratici della scienza.

Importanza dell'insegnante e Correlazione o no tra motivazione e qualità dell'apprendimento

Diamo attenzione anche ai risultati che emergono da una ricerca di Osborne, Simon e Collins (2003):

L'importanza dell'insegnante: l'efficacia di un curriculum è trascurabile se comparata a cosa può fare un insegnante competente ed entusiasta [dell'insegnamento, spero, non della materia e basta]. In altre parole, la padronanza dell'argomento da insegnare è un fattore determinante.

La relazione tra gli atteggiamenti ed i risultati dell'apprendimento: i risultati della ricerca sembrano contraddittori. Mentre alcuni studi mostrano una correlazione positiva tra motivazione degli alunni e qualità dell'apprendimento, altri no.

3.2 La superconduttività nella scuola secondaria

Diverse ricerche sottolineano la necessità di rinnovare i programmi di fisica del liceo in particolare prevedendo contenuti di fisica contemporanea (Aubrecht, 1989; Gil & Solbes, 1993; Nasello 2000, Ostermann, Moreira 2004). Anche se l'attenzione principale è orientata ad introdurre temi fondamentali

come la meccanica quantistica e la relatività (Ostermann, Moreira 2000a), un numero crescente di lavori evidenzia l'importanza di prendere in considerazione altri aspetti come la superconduttività: Esperimenti dimostrativi di levitazione in laboratori didattici sono stati proposti in un contesti diversi (Schneider et al, 1991; Abd-Shukor, Lee 1998, Brown 2000; González-Jorge, Domarco 2004; Zwitlinger, 2006; Schorn et al 2008;. Strehlow, Sullivan 2009); percorsi didattici sulla superconduttività e relative materiali di supporto per gli insegnanti che presentano i progressi nelle applicazioni tecnologiche dei superconduttori (Ostermann, et al. 1998a, Gough 1998 AAVV 2007), possono attivare la costruzione di modelli, una critica ri-analisi delle conoscenze in merito magnetico e proprietà elettriche dei materiali, stimolando la connessione tra scienza e tecnologia, il ponte tra fisica classica e quantistica (Ostermann, Moreira 2004), aprono una riflessione sulla natura della scienza (Tasar 2009). Percorsi formativi attuati nella scuola con gli studenti e con gli insegnanti in formazione costituiscono i primi positivi test di fattibilità (Osterman 2000, Ostermann, Moreira 2000b, 2004; Schorn 2008; Tasar 2009).

In particolare nel progetto di Ostermann e Moreira (200b), sul tema della superconduttività è stato preparato un testo di 74 pagine(Ostermann et al., 1998a, 1998b) per gli insegnanti scuole secondarie basate su diversi riferimenti(Rose-Innes e Rhoderick, 1988; Cyrot e Pavuna, 1992; Luiz, 1992; Nobel, 1996; Pureur Neto, 1996). il testo comprende una breve descrizione storica del fenomeno, le proprietà di base di un superconduttore (Zero resistività ed effetto Meissner), termodinamica della transizione superconduttore, la teoria di London, la teoria Ginzburg-Landau, la teoria BCS, levitazione magnetica, superconduttori di tipo II e applicazioni della superconduttività. In laboratorio è stato utilizzato un chip superconduttore (YBaCuO, $T_c = 92$ K), delle dimensioni di una moneta, a scopo dimostrativo. tale materiali è stato utilizzato per la formazione insegnanti. Esso ha il pregio dalla sintesi in chiave didattica di contenuti innovativi. Ha il limite di gran parte delle proposte didattiche in cui la spiegazione di fenomeni e concetti sostituisce una didattica attiva di costruzione dei concetti.

3.2.1 I Progetti della famiglia Supercomet

Per superare l'approccio descrittivo-qualitativo generalmente seguito nelle opere citate, nel contesto dei progetti europei della famiglia Supercomet (www.supercomet.no, AAVV 2010, 2011;. Kedzierska et al 2010), sono stati sviluppati materiali didattici e percorsi didattici sulla superconduttività nella scuola superiore e sperimentati dai partner italiani dei progetti coordinati da Marisa Michelini a Univiversity di Udine. Dalla ricerca, condotta in diverse scuole italiane, con più di 500 studenti e 100 insegnanti, sono emersi differenziati percorsi formativi, che permettono di integrare la superconduttività negli ordinari curricula delle scuole superiori, coinvolgendo gli studenti nell'analisi della fenomenologia e concentrandosi sul comprensione concettuale dei processi alla base della levitazione superconduttività (Corni et al 2009;. Michelini, Viola 2011; Viola 2010).

Sono stati sviluppati quattro progetti correlati: Supercomet, Supercomet 2, MOSEM, MOSEM².

Tali progetti (<http://online.supercomet.no/>) sono fondati sull'esigenza, individuata da diversi filoni di ricerca, che sia necessario riorganizzare i contenuti della fisica classica per dare spazio e integrare organicamente la fisica moderna [19-22]. Hanno studiato come individuare ponti di raccordo tra fisica classica e moderna [23-24], adottando approcci didattici attivi basati sulla laboratorialità [5, 15, 25-26], in cui l'operatività attuata con materiali semplici, nuove tecnologie, strumenti multimediali è posta al servizio della costruzione concettuale [20, 24-34]. La superconduttività è stata scelta come tema della fisica del '900 rilevante per i suoi contenuti e le sue ricadute tecnologiche [20-22], da inserire in continuità con i curricula di elettromagnetismo, e come spunto per una loro riorganizzazione [22-23]. La disponibilità di superconduttori, a costi accessibili, ha candidato diversi approcci basati su esplorazioni fenomenologiche e analisi delle sue applicazioni tecnologiche [19-20, 28-29].

3.2.2Il progetto Supercomet 2 (SUPERCONductivity Multimedia Educational Tool phase 2), è stato un Progetto biennale che si è sviluppato all'interno del Programma Leonardo da Vinci fase II dell'Unione Europea.

Obiettivo del Progetto è stata la messa a punto di applet multimediali per l'insegnamento della superconduttività rivolti in particolar modo a studenti di Scuola Secondaria Superiore per la creazione di una comunità internazionale a livello europeo per il rinnovamento dell'insegnamento della fisica.

L'introduzione del tema della superconduttività nel curriculum di fisica delle Scuole Superiori avviene per mezzo di:

- una applicazione interattiva su CD-Rom (animazioni, film di esperimenti dimostrativi, testi esplicativi sviluppati nell'ambito del progetto Supercomet);
metodi pedagogici moderni come, per esempio, apprendimento collaborativo e problem solving.

In Italia l'Università di Udine ha guidato e coordinato la sperimentazione che ha coinvolto studenti di Scuola Superiore, dalla Sicilia alle regioni del Nord.

In questo contesto sono stati sviluppati molti e differenziati materiali: animazioni interattive, testi, video, materiali hands-on per esperimenti qualitativi e quantitativi relativi ai fenomeni, di elettromagnetismo ed elettrostatica, connessi con la superconduttività, una guida per l'insegnante e un seminario per il training degli insegnanti [Michelini et al, 2007].

Questi materiali sono stati utilizzati sia nei seminari di formazione insegnanti che nelle sperimentazioni in classe. Dopo un primo periodo di sperimentazione e disseminazione, i materiali sono stati integrati con nuove proposte allo scopo di mettere a punto quella che è la versione finale della applicazione.

In particolare, durante il primo anno del Progetto sono stati prodotti:

- un CD-ROM con materiali didattici;
- una guida per l'insegnante per chiarire caratteristiche e ruoli dei materiali di supporto (testi, worksheets e presentazioni multimediali) e spunti per percorsi didattici.

Durante il secondo anno:

- i materiali sono stati tradotti nelle lingue dei paesi partecipanti al progetto;
- l'applicazione è stata sperimentata in classi di Scuola Superiore dei paesi coinvolti nel Progetto;
- il corso di aggiornamento e la guida per l'insegnante sono stati testati con un gruppo di insegnanti di riferimento.

Il gruppo italiano, guidato dalla Prof. Marisa Michelini dell'Università di Udine, nel primo periodo

- ha tradotto e adattato tutti i materiali per la sperimentazione,
- ha collaborato alla definizione di proposte didattiche incluse nella guida per l'insegnante,
- ha curato l'adattamento dei materiali ai curricula dei vari tipi di scuola in Italia,

e durante il secondo anno e un periodo di estensione, ha condotto varie tipologie di sperimentazione.

Alla fine del periodo di sperimentazione e disseminazione sono state apportate modifiche e correzioni ai materiali ed essi sono stati integrati fino a produrne un versione finale.

Articoli da citare per questo testo:

Engstrom V, Ireson G, Latal H, Mathelisch L, Michelini M, Peeters W, Rath G (2008) The Supercomet 2 Project: teacher seminar, in FFP9, Sidharth B. G. et al. eds., AIP 1018, Melville-New York, 221-224.

[31]Michelini M, Viola R, Engstrom V (2008) Superconduttività: esperimenti e modelli, in Didamatica 2008 - Informatica per la didattica, parte I, Andronico A et al eds., Laterza ed., Bari, 110-114

[32]Michelini M, Viola R (2008) Gli strumenti multimediali della sperimentazione Supercomet, in Didamatica 2008 - Informatica per la didattica, Andronico A et al eds., Laterza ed. Bari, 975

3.2.3I progetti Mosem

Mario Gervasio, Marisa Michelini, Lorenzo Santi, Alberto Stefanel, Rossana Viola (2014)

I progetti MOSEM e la superconduttività per una innovazione didattica a scuola: il contributo italiano di ricerca didattica, *Il Giornale di fisica*, in stampa]

Il progetto MOSEM (**M**inds-**O**n experimental equipment kits in **S**uperconductivity and **E**lectro**M**agnetism for the continuing vocational training of upper secondary school physics teachers) e il successivo MOSEM²

(**MO**delling and data acquisition for the continuing vocational training of upper secondary school physics teachers in pupil-active learning of **Super**conductivity and **ElectroM**agnetism based on **Minds-On Simple ExperiM**ents) sono stati approvati nell'ambito del programma Leonardo da Vinci dell'Unione Europea per promuovere l'innovazione didattica in fisica, utilizzando e sviluppando materiali e risultati dei Progetti europei Supercomet [30-36]. Hanno coinvolto oltre 30 partner di 11 nazioni (fig. 1) [33-35], tra cui 11 istituti superiori partner-sperimentatori di progetto per la validazione di materiali, strumenti didattici e proposte, 120 istituti superiori coinvolti nelle fasi di formazione insegnanti, valutazione materiali e proposte didattiche, e sperimentazioni didattiche per un totale di 1300 studenti e 220 insegnanti di scuole superiori.

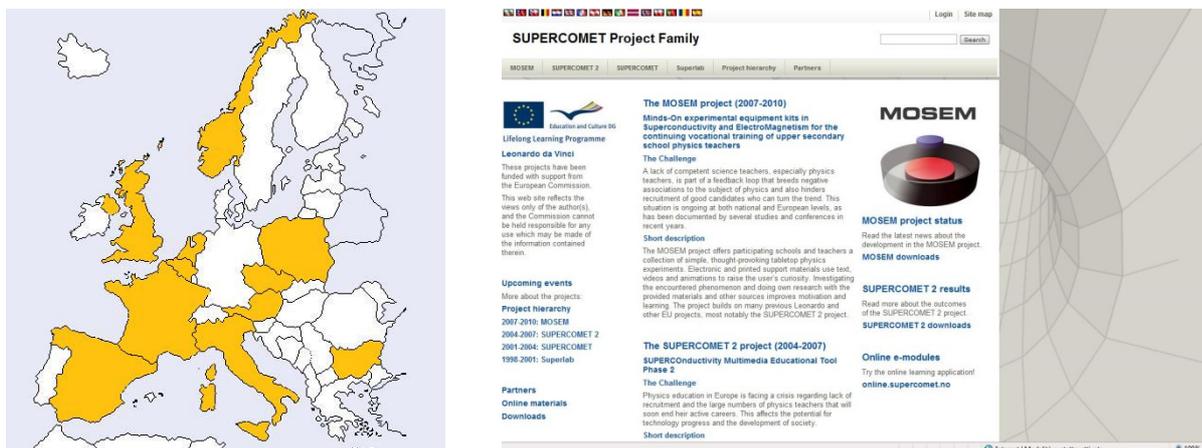


Fig.3.1 In giallo I paesi coinvolti nei progetti MOSEM del LLL-LdV PROGRAMME e la home-page del sito della famiglia dei progetti SUPERCOMET (<http://mosem.eu/>).

La dimensione di ricerca del progetto e i relativi risultati hanno riguardato quattro diversi piani: A) progettazione e realizzazione di apparati didattici nel quadro del Research and Development (R&D) [37-38], B) criteri di progettazione dei materiali didattici e ricerca fondata sul quadro teorico della *Designed Based Research* (DBR) [39-40]; C) implementazione, secondo il Model of Educational Reconstruction (*MER*) [41], di attività didattiche sulla superconduttività con gli studenti e ricerche empiriche sui processi di apprendimento; D) formazione insegnanti e relative ricerche di sviluppo professionale, nel quadro teorico del *Pedagogical Content Knowledge* (*PCK*) [42].



Fig.3.2 . LTK-Low tech kit e HTK-High-Tech kit di MOSEM. Sono organizzati come insiemi di risorse da assemblare per attività in classe su magnetismo, corrente elettrica, induzione elettrica (LTK), esplorazione dei fenomeni superconduttivi e di conduzione elettrica nei solidi (HTK).

La diffusione di materiali innovativi in sistemi scolastici differenti richiede una grande flessibilità e modularità, per poter rispondere alle esigenze di diversi curricula nazionali, tipologie di scuola, stili di insegnamento. I materiali didattici di supporto di MOSEM sono stati progettati e messi a punto come ambienti di risorse multifunzionali a cui attingere per implementare proposte didattiche validate dalla ricerca, personali percorsi di insegnamento/apprendimento basati sui materiali del progetto o che ne utilizzano singoli esperimenti, video, simulazioni. Ne sono esempi: i kit sperimentali Minds-On realizzati con

materiali poveri e con le nuove tecnologie, che possono essere assemblati in modi differenti per realizzare più esperimenti (fig.2); le simulazioni basate su modelli, che ne consentono un uso esplorativo completamente aperto; le applicazioni multimediali fortemente interattive, che integrano animazioni, misure con sensori, video analisi, modellizzazione; le guide per l'insegnante, disponibili in cartaceo e in rete, che illustrano materiali, differenziati percorsi e metodi di insegnamento attivo (fig. 3). L'adattabilità dei materiali e delle proposte a contesti e curricula diversi è uno dei principali esiti raggiunti dai progetti MOSEM. [33-36]

Le scuole e gli insegnanti coinvolti nella validazione dei materiali e nelle sperimentazioni hanno esperito varie tipologie (Modelli) di seminari di formazione, basati sui materiali del progetto, tradotti nelle diverse lingue dei paesi partecipanti ed esplorabili anche in un ambiente web nazionale predisposto allo scopo (<http://www.fisica.uniud.it/mosem/indice.htm>). Nell'ambito di tali progetti l'insegnante sperimentatore si è confrontato con altri insegnanti e ricercatori del proprio paese e di altri paesi, su una piattaforma web e in presenza. L'insegnante che ha portato in classe i materiali ha lavorato all'interno di un contesto di ricerca-azione, a partire dai *work-shop* formativi per studi di fattibilità, costruzione di percorsi e strumenti didattici e di monitoraggio dell'apprendimento. L'attuazione e valutazione di sperimentazioni in classe è stata sostenuta da discussioni in itinere di confronto e analisi dei percorsi di apprendimento via via seguiti dagli studenti. La multidimensionalità della formazione e la progettazione differenziata hanno costituito gli aspetti più innovativi della modalità di formazione insegnanti dei progetti. [30-36]

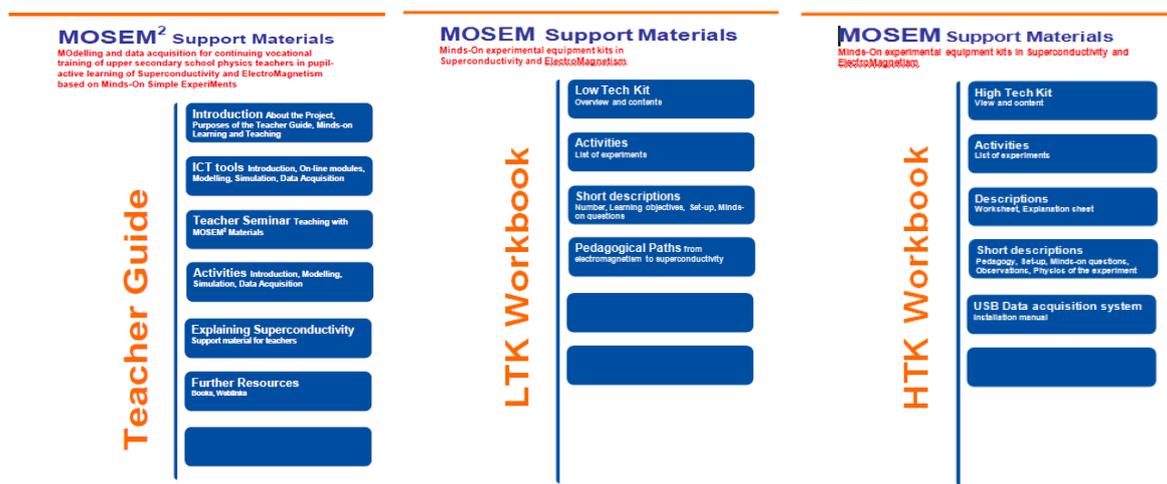


Fig. 3.3. Materiali di supporto per insegnanti. La guida per l'insegnante, che include un'esposizione divulgativa di concetti e scoperte sulla superconduttività, indicazioni sui seminari di formazione; proposte di attività con gli studenti, schede di lavoro; descrizione sintetica degli esperimenti; le guide LTK e HTK, con descrizioni degli esperimenti che si possono realizzare con tali kit, illustrazioni, documentazioni di dati campione, avvertenze su impiego e sicurezza [34-36].

Le sperimentazioni nelle scuole dei paesi partner sono state un significativo test di fattibilità sull'introduzione della superconduttività nella scuola superiore. La differenziazione, la ricchezza e l'ampiezza delle proposte e la forte integrazione di esperimenti/video/modellizzazione/simulazione si sono dimostrati gli elementi che hanno consentito di adattare le proposte oltre che a contesti diversi anche ai diversi stili e percorsi di apprendimento degli studenti. [31-34]

In tale ambito progettuale la collaborazione italiana al progetto, dell'Unità di Ricerca in Didattica della fisica dell'Università di Udine (URDF) si è caratterizzata come contributo di ricerca su diversi piani:

- 1) R&D - progettazione e messa a punto di prototipi per lo studio sperimentale della resistività di solidi in funzione della temperatura e dell'effetto Hall con sensori collegati via USB all'elaboratore,
- 2) DBR - progettazione e validazione di proposte sperimentali low cost e relativi percorsi didattici integrati con i temi curriculari di elettromagnetismo e in Laboratori di Esplorazione Operativa e Concettuale in contesti informali,
- 3) PCK – modelli, strumenti e metodi di sviluppo professionale degli insegnanti

- 4) MRE - studi empirici sui processi di apprendimento degli studenti.

CAPITOLO 4

Superconduttività: storia, esperimenti, modelli per una ricostruzione didattica dei contenuti

4.1 Introduzione

Nella prospettiva di una ricostruzione concettuale dei contenuti, si presentano qui le principali tappe storiche delle ricerche sulla superconduttività, discutendo i principali risultati sperimentali raggiunti in questo ambito e i principali modelli sviluppati per descriverlo.

4.2 Le principali tappe storiche della superconduttività

La superconduttività fu scoperta tra Aprile e Maggio del 1911 dal fisico olandese H.K. Onnes.

All'epoca di Onnes, a Leida, le principali linee di ricerca vertevano sullo studio delle proprietà dell'elio, liquefatto lì per la prima volta nel 1904, e sullo studio dei sistemi fisici alle basse temperature (ottenute proprio usando l'elio liquido).

Prima del 1911 si riteneva che la resistività avesse un valore residuo al di sotto del quale non potesse scendere. Gli esperimenti condotti a basse temperature avevano come scopo la determinazione di questo valore residuo; come primo metallo fu utilizzato il mercurio. Tale elemento liquefa ad una temperatura piuttosto bassa (234,32 K, ovvero $-38,83^{\circ}\text{C}$).

Negli anni successivi furono proposte varie teorie fenomenologiche e nel 1957 Bardeen, Cooper e Schriffer sviluppano la teoria microscopica della superconduttività basata sulla meccanica quantistica, nota come *BCS Theory*. Questa teoria costituisce tuttora la spiegazione più esauriente della superconduttività dei materiali metallici.

L'anno prima Cooper presentò un problema riguardante coppie di elettroni legati in un gas di Fermi degenere.

Tra gli anni '60 e '70 furono studiati composti di leghe intermetalliche caratterizzate da temperature di transizione più alte.

Nel 1986, a seguito di lunghi studi sulle proprietà elettroniche delle perovskiti (che possiedono importanti proprietà ferroelettriche), Muller e Bednorz ottennero la transizione allo stato superconduttivo ad oltre 30K nel composto Ba - La - Cu - O: questo esperimento aprì la strada ad una nuova classe di superconduttori che transiscono a temperature superiori a 90 K e che possono essere raffreddati con azoto liquido. Questi sono detti superconduttori ad alta temperatura critica (HTS); l'anno successivo vinsero il Premio Nobel.

L'osservazione del comportamento superconduttivo nei materiali ferroelettrici fu una scoperta rivoluzionaria, poiché fino agli anni '60 si pensava che tali materiali non potessero essere superconduttivi.

Nel 1988, Parkin scoprì la superconduttività a 125 K nel composto $\text{Ti}_2\text{Ca}_2\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ e nel 1993 ci fu la scoperta della superconduttività a 135 K nel composto $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$. Non esiste ancora, però, una teoria microscopica, come BCS, in grado di spiegare la superconduttività ad alte temperature.

Negli ultimi anni è stato scoperto un altro materiale interessante, Sr_2RuO_4 , che è il primo materiale superconduttore di tripletto, anche se è caratterizzato da una temperatura di transizione piuttosto bassa (si veda Paragrafo 4 per i dettagli).

Nel 2008 si è visto che sostituendo nel composto LaOFeAs (che è superconduttivo a bassissime temperature) una parte di ossigeno con il fluoro, la temperatura di transizione aumenta fino a circa 60K. È stato osservato che la proprietà superconduttiva è legata al ferro.

Un campo di ricerca attuale riguarda lo studio di effetti di superficie dei “materiali superconduttori topologici”, nei quali tali effetti di superficie sono più rilevanti di quelli bulk.

Attualmente sappiamo che in molti metalli che non sono caratterizzati da un ordine magnetico, a temperature estremamente basse, si manifesta lo stato *superconduttivo*. Oltre 20 elementi metallici diventano superconduttori al di sotto di una certa temperatura critica (T_c); altri elementi acquistano questa peculiarità sotto precise condizioni (alta pressione; sottoforma di film sottili). Di seguito si può osservare la tavola periodica degli elementi dove sono stati evidenziati gli elementi superconduttivi:

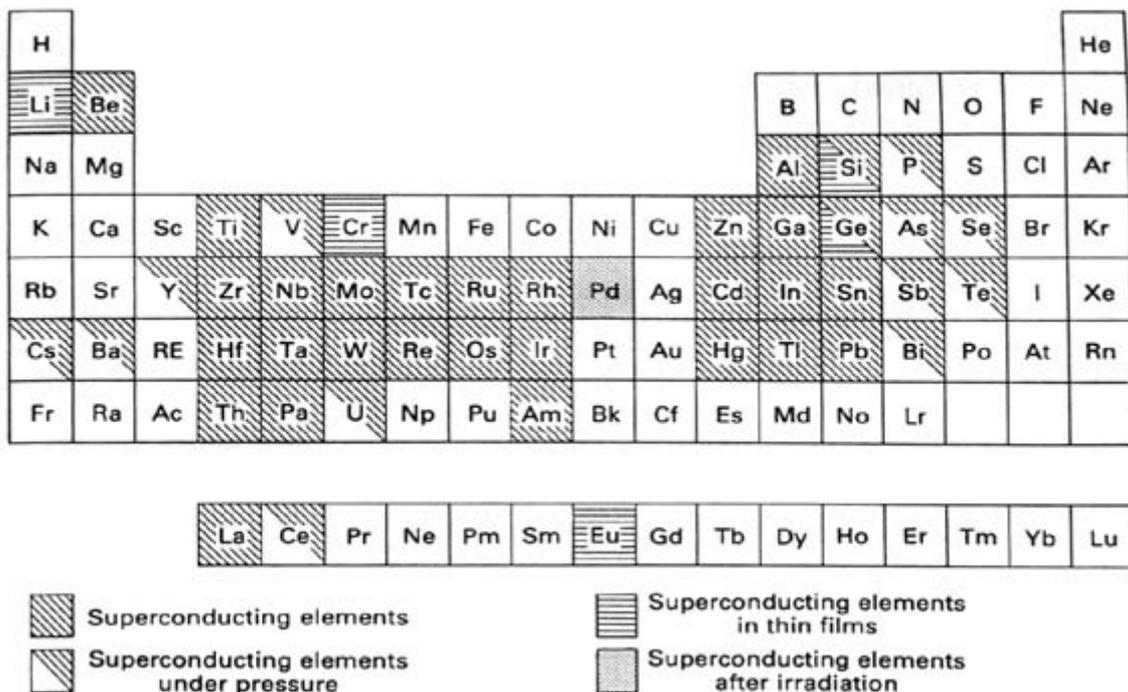


Figura4.1: Tavola periodica degli elementi; sono evidenziati gli elementi superconduttivi

Dalla tavola periodica in Figura 3.1 si nota che non sono superconduttivi Cu, Ag, Au, cioè quelli che sono “i buoni metalli”. Questa è un’evidenza sperimentale. Viceversa diventano superconduttori materiali che a temperature ordinarie non sono dei buoni conduttori.

4.3Le proprietà fondamentali dei superconduttori

Dai primi esperimenti condotti a basse temperature fu osservato per il mercurio un andamento del tipo riportato in Figura3.1.

Proprietà 1

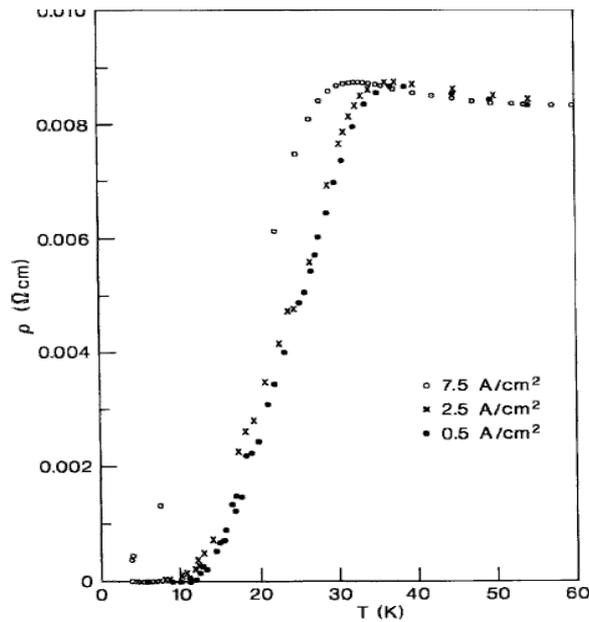


Figura 4.2: Andamento qualitativo della resistività in funzione della temperatura

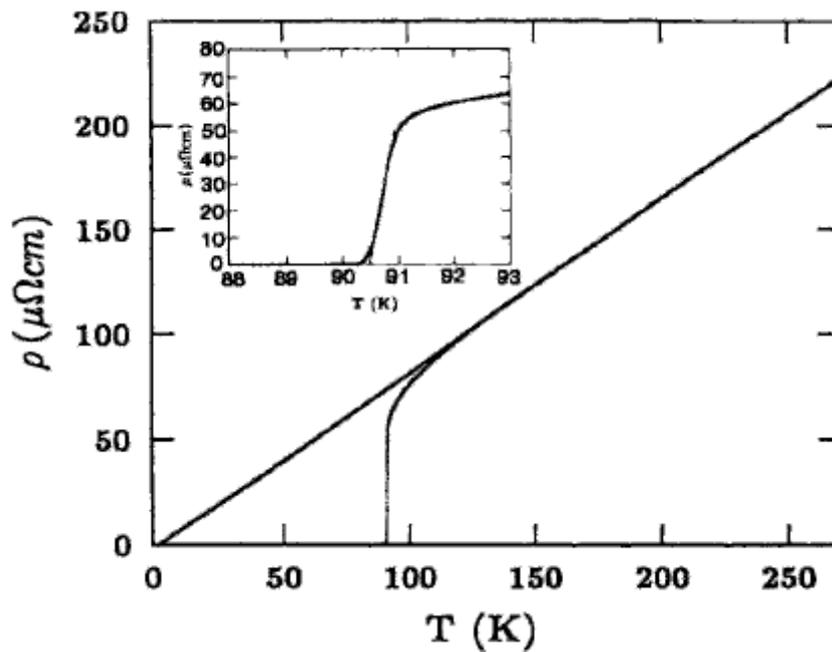


Figura 4.3: Caduta a zero della resistività in un film a crescita epitassiale di $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (Hopfengärtner et al., 1991).

Fu osservata un'improvvisa transizione nel diagramma resistività- temperatura del mercurio. Essa diminuiva con brusca transizione dal valore di $0.12 \Omega \text{m}$ a $10^{-5} \Omega \text{m}$ a 4.2K , ma questa stima era legata alla sensibilità dello strumento, pertanto la resistività si può considerare nulla.

Onnes osservò che tale elemento passava in uno stato con proprietà elettriche completamente diverse da quelle note fino a quel momento e lo chiamò "stato superconduttivo". Egli eseguì lo stesso esperimento con altri metalli e osservò un comportamento simile a quello del mercurio.

Un'altra importante evidenza sperimentale (1933 da Meissner e Ochsenfeld in Germania) fu che questi elementi nella fase superconduttiva diventano perfetti *diamagnetici*, cioè all'interno si genera un campo magnetico che si oppone al campo esterno applicato.

Fu osservato che la suscettività aveva l'andamento del tipo in Figura 3.4

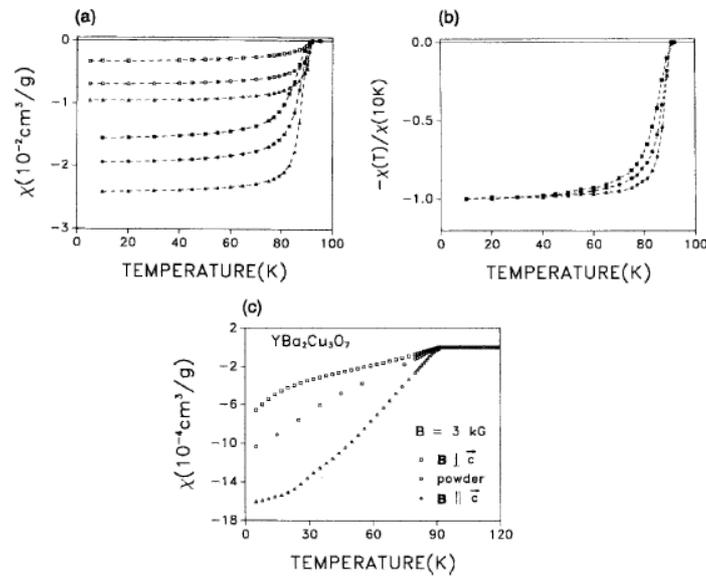


Figura 4.4: (a) Andamento della suscettività in funzione della temperatura misurata in due diverse condizioni ZFC raffreddamento a campo nullo (circoletti chiusi) e raffreddamento a campo diverso da zero (circoletti aperti) per una soluzione resa in polvere (cerchi) e campioni di grano allineati di $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ in un campo di 5mT con B_{APPLIC} (triangoli) e B_{APPLIC} (quadrati), (b) suscettività normalizzata per campioni raffreddati a campo nullo di (a), (c) misure di χ a FC a $0,3\text{T}$, tracciate con la stessa convenzione (Lee e Johnston, 1990).

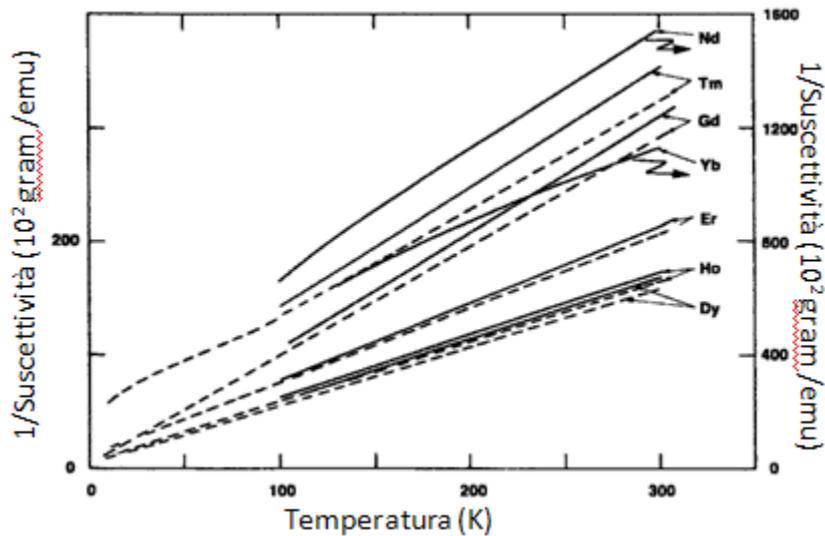


Figura 4.5: Dipendenza dalla temperatura del reciproco della suscettibilità $1/\chi$ per una vasta serie di terre rare R elemento sostituito $R \text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ di superconduttori nella gamma di temperature $100\text{-}300\text{ K}$ in un campo di 1 T (linee continue). I dati per i corrispondenti composti non superconduttivi riscaldati sottovuoto (linee tratteggiate) vengono mostrati per confronto. Il comportamento lineare è indicativo per il paramagnetismo (Tarascon et al., 1987b)

Proprietà 2

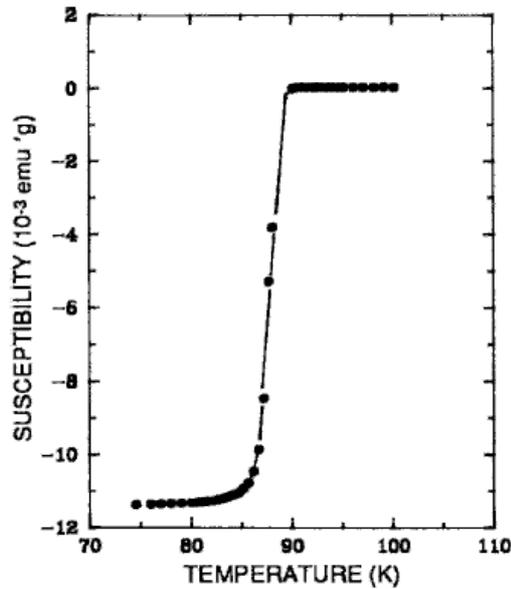


Figura4.6: Andamento qualitativo della suscettività in funzione della temperatura

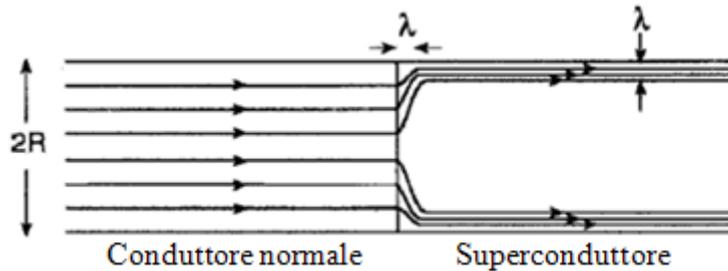


Figura4.7:Flusso di corrente attraverso un filo normale a sinistra e superconduttore di tipo I a destra. Si noti che la profondità di penetrazione λ determina lo spessore sia della regione di transizione all'interfaccia che quella dello strato superficiale.

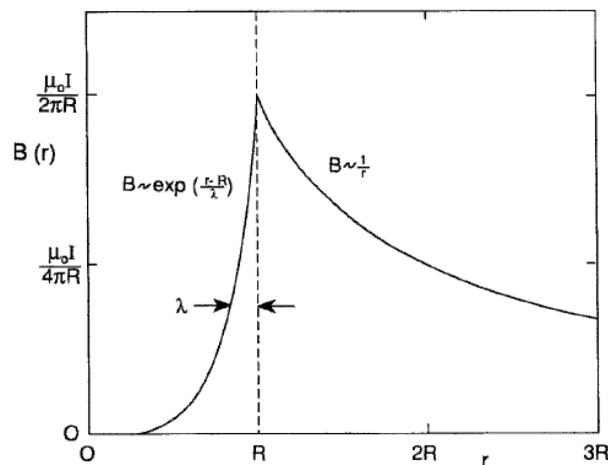


Figura4.8:Andamento del campo magnetico interno $r < R$ ed esterno $r > R$ in funzione della distanza dal centro di un cavo superconduttivo in cui fluisce una corrente I confinata nello strato superficiale.

Un altro importante risultato sperimentale che fu osservato è del tipo riportato in figura 4.7.

Proprietà 3

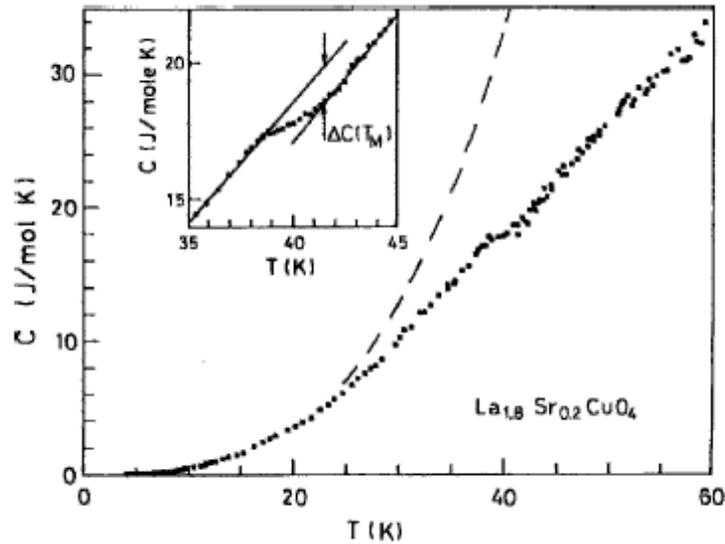


Figura 4.9. Discontinuità nel calore specifico di un campione di $(La_{0.9}Sr_{0.1})_2CuO_4$ in prossimità dei 40K. Nel riquadro viene messo in rilievo l'ampiezza del salto. L'andamento AT^3 indicato dalla curva tratteggiata mostra come la transizione avvenga oltre la regione dove rimane valida l'approssimazione T^3 .

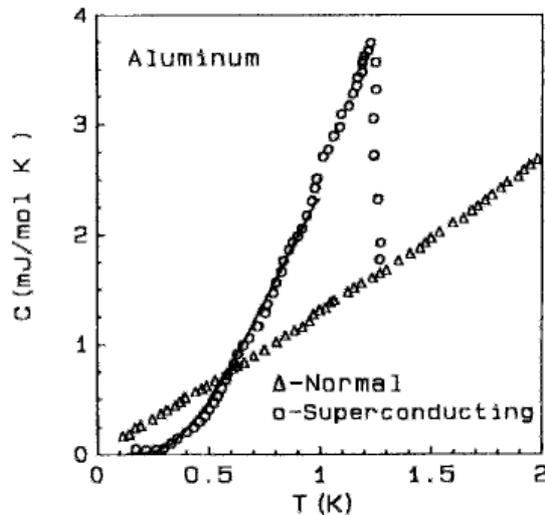


Figura 4.10. Salto del calore specifico termico tra l'Al superconduttivo confrontato con il calore specifico nello stato normale (Phillips, 1959, vedi Crow e Ong, 1990, p225.).

Il calore specifico a basse temperature decade esponenzialmente

Un'altra proprietà che fu osservata successivamente è la seguente:

Effetto isotopico: dallo studio della temperatura di transizione e dai risultati sperimentali si evidenzia che tale temperatura è legata alla massa dello ione e, quindi, alla frequenza di oscillazione del fonone (

$$\omega = \sqrt{K/M}):$$

$$T_c \propto M^{-\alpha} \tag{3.1}$$

La teoria originale BCS, che sarà specificata nel seguito, prevede che l'esponente isotopico α sia $\frac{1}{2}$. La maggior parte dei comuni superconduttori sono in accordo con questa previsione, tuttavia esistono delle eccezioni come ad esempio il molibdeno e l'osmio, che mostrano un effetto ridotto, o il rutenio che ha effetto isotopico essenzialmente nullo.

4.4 Teoria BCS e coppie di Cooper

Dalla Proprietà 1 (annullamento della resistività) si intuisce che gli elettroni si muovono coerentemente come se non ci fossero ostacoli, cioè gli elettroni si legano e non si respingono; esiste una certa attrazione tra gli elettroni.

Dalla Proprietà 2 (perfetto diamagnetismo) si intuisce che all'interno del sistema si crea, al di sotto della temperatura di transizione, una corrente spontanea che si oppone al campo magnetico applicato esternamente. Questa corrente spontanea, quindi, essendo anche la resistività nulla, circolerà per anni (il tempo stimato è di circa 10^5 anni).

Dalla Proprietà 3 (calore specifico con andamento esponenziale decrescente) si può osservare che l'andamento esponenziale decrescente del calore specifico è un comportamento tipico dei sistemi i cui livelli eccitati sono separati dallo stato fondamentale mediante un gap di energia.

Passare da uno stato normale a uno superconduttivo significa che c'è transizione di fase dovuta a meccanismi di interazione forti e pertanto non è applicabile una teoria di tipo perturbativo.

La teoria BCS è una "teoria di campo medio", ma in questa trattazione viene analizzato un modello semplificato, cioè viene studiato il comportamento di due elettroni, per capire perché essi si attraggono, e per spiegare la presenza di un gap di energia nello spettro. Cooper considerò due elettroni in prossimità del livello di Fermi in presenza di un'interazione attrattiva e notò la formazione di uno stato legato, la cui energia risulta facilmente calcolabile. Nella teoria BCS viene supposta la presenza di un gap di energia, che viene successivamente calcolato in funzione della temperatura raggiunta dal materiale.

L'interazione tra gli elettroni è certamente di tipo coulombiano, ma il comportamento attrattivo è stato osservato in un gas di elettroni interagenti per azione coulombiana, in presenza di un reticolo, e quindi dei fononi. In queste condizioni la costante dielettrica è rinormalizzata e tale interazione può essere anche attrattiva. Quindi l'interazione attrattiva che viene ipotizzata è dovuta alla presenza degli ioni: un elettrone si muove e il reticolo (quindi i fononi) "segue" il suo moto, poi arriva un altro elettrone, che vede l'elettrone di prima che ha interagito con i fononi e tale interazione può comportare un cambio di segno. In tal caso l'elettrone risente di una carica positiva e quindi interagisce in modo attrattivo con l'altro elettrone, ma non è detto che si crei uno stato legato, bisogna comunque effettuare delle verifiche.



Figura 4.11: Creazione di una coppia di Cooper per effetto del reticolo

Il fatto che gli elettroni si legano attraverso questo meccanismo è derivabile dall'effetto isotopico che esprime il ruolo importante rappresentato dal reticolo cristallino. In una descrizione microscopica del reticolo, quest'ultimo è descrivibile tramite delle quasi-particelle dette fononi. I fononi, in pratica, rappresentano le eccitazioni elementari associabili alle vibrazioni reticolari.

Nella descrizione del sistema elettroni-fononi, se si considera momentaneamente soltanto il gas di fononi (di essi si disquisirà nel prosieguo della trattazione), è possibile utilizzare i risultati ottenuti dal modello di

Drude per un gas di elettroni; infatti, come per gli elettroni in Drude, i fononi sono considerati liberi ed indipendenti.

Il modello di Drude fu sviluppato agli inizi del Novecento per spiegare le proprietà di trasporto nei metalli. In tale modello è stata applicata la teoria cinetica dei gas di Maxwell-Boltzmann agli elettroni in un solido sulla base di alcune assunzioni fondamentali: gli ioni sono considerati immobili e dotati di carica positiva tale da compensare la carica negativa degli elettroni affinché sia conservata la neutralità del metallo. Gli elettroni vengono, quindi, trattati come un gas non interagente, cioè vengono trascurate le interazioni tra elettrone ed elettrone (approssimazione di elettrone indipendente) e le interazioni (di tipo Coulombiano) tra elettrone-ione (approssimazione di elettrone libero); l'elettrone interagisce con gli ioni solo mediante gli urti, cioè eventi istantanei che cambiano bruscamente la sua velocità. Il tempo che intercorre tra un urto e l'altro lo si indica con τ ed è detto "tempo di rilassamento". La velocità di uscita dalla collisione, inoltre, ha una direzione casuale, non correlata alla velocità prima della collisione, e modulo legato alla temperatura locale.

Si può considerare la risposta dielettrica di un gas di elettroni supposto infinitamente esteso.

Si può valutare l'equazione del moto di un elettrone libero, posto nel campo elettrico esterno, che risulta del tipo:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\cdot\vec{r} - \omega t)} \quad (4.1)$$

Dove \vec{E} è il vettore campo elettrico, \vec{r} è il vettore posizione rispetto ad un sistema di coordinate arbitrario, \vec{E}_0 è una quantità complessa descrivente l'ampiezza e la polarizzazione dell'onda, ω è la pulsazione e \vec{k} è il vettore d'onda complesso. Si assume che il campo fisico sia rappresentato dalla parte Reale di questa relazione complessa.

Quindi, l'equazione del moto di un elettrone libero posto nel campo elettrico (4.1) conduce alla funzione dielettrica (parte reale):

$$\varepsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (4.2)$$

con

$$\omega_p^2 = \frac{4\pi\sigma_0}{\tau} \quad (4.3)$$

e con la condizione $\omega\tau \gg 1$.

A seconda di come è fatto ω , si può avere uno stato di opacità o di trasparenza del campione: infatti, risolvendo l'equazioni di Maxwell con il campo elettrico dato dall'equazione (4.1), se $\omega < \omega_p$, la soluzione è un'esponenziale decrescente (opacità); mentre se $\omega > \omega_p$ si ottiene una soluzione oscillante (trasparenza).

Se si rilassa l'assunzione che gli ioni siano fissi, si può pensare che essi vibrino intorno alla loro posizione di equilibrio. In quest'ottica lo studio del problema Hamiltoniano lo si può affrontare utilizzando i modi normali. Generalmente il linguaggio dei modi normali è sostituito da una descrizione corpuscolare equivalente, per l'appunto i fononi. Anche in questo caso esiste un dualismo onda-particella. I fononi (dal greco *phonos*, cioè suono) sono quasiparticelle che descrivono quanti di vibrazione in un reticolo cristallino.

In generale la teoria delle vibrazioni reticolari è applicabile sia ai metalli che agli isolanti. L'applicazione rigorosa di questa teoria ai metalli è complicata dal fatto che gli ioni sono carichi e che sono presenti elettroni di conduzione. Anche la più semplice teoria delle vibrazioni reticolari in un metallo deve tener conto della presenza di un insieme di elettroni che non possono essere considerati legati fortemente al core ionico. Gli elettroni di conduzione interagiscono con gli ioni attraverso forze elettrostatiche intense quanto la forza Coulombiana diretta tra gli ioni. Questi elettroni rimuovono il problema connesso al lungo range dell'interazione elettrostatica diretta tra gli ioni. Supponendo di ignorare le forze che gli elettroni di conduzione esercitano sugli ioni, allora la teoria delle vibrazioni di un reticolo metallico può essere trattata come la teoria dei modi normali per un insieme di N particelle di carica Ze e massa M in un volume V . Nel limite di grandi lunghezze d'onda si può fare un'analogia tra il gas fononico e il gas elettronico, che è caratterizzato da una certa frequenza di plasma ω_p , come è noto dai risultati ottenuti dal modello di Drude:

- frequenza di plasma per un gas di elettroni:

$$\omega_p^2 = \frac{4\pi\sigma_0}{\tau} = \frac{4\pi n e^2}{m} \quad (4.4)$$

- frequenza di plasma per un gas di fononi:

$$\Omega_p^2 = \frac{4\pi\sigma_0}{M} \frac{n_e}{Z} (Ze)^2 = \frac{4\pi n_e Z e^2}{M} \quad (4.5)$$

con

- M massa dello ione
- n_e numero di fononi a disposizione
- Z densità di fononi (ogni ione può cedere Z cariche)

Si ottiene che i fononi oscillano ad una frequenza pari a quella di plasma e cioè ad una frequenza costante. Questo risultato è però scorretto, infatti nello spettro energetico dei fononi non sono presenti solo i rami a frequenza, e quindi energia costante (rami ottici), ma anche i rami acustici. Per correggere questa trattazione si deve considerare l'effetto dello screening del sistema "gas di elettroni" sul gas di fononi. Da un punto di vista puramente effettivo, l'influenza del gas di elettroni sullo spettro energetico ω^2 dei fononi, si traduce in una rinormalizzazione rispetto alla costante dielettrica del gas di elettroni.

$$\omega^2(k) = \frac{\Omega_p^2}{\epsilon_{el}} = \frac{\Omega_p^2}{1 + \frac{K_{TF}^2}{k^2}} = \frac{\Omega_p^2 k^2}{k^2 + K_{TF}^2} \quad (4.6)$$

Nel limite in cui il vettore d'onda di Thomas-Fermi è molto maggiore di k (limite di grandi lunghezze d'onda) si ottiene:

$$\omega^2 \approx \frac{\Omega_p^2 k^2}{K_{TF}^2} \quad (4.7)$$

- $\omega \approx k$, quindi si ritrova il ramo acustico con $\frac{\Omega_p^2}{K_{TF}^2} \approx 300 \text{ m/s}$ che è la velocità del suono.

Pertanto il ramo acustico è conseguenza del fatto che i fononi sono immersi nel gas di elettroni: gli elettroni contribuiscono sul piano effettivo con una costante dielettrica (che è quella di Thomas-Fermi).

Ora si consideri il sistema globale "fononi più elettroni": la costante dielettrica di questo sistema è tale che:

$$\epsilon \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} \quad (4.8)$$

con

- Φ^{TOT} potenziale totale che agisce sul sistema
- Φ^{EXT} potenziale esterno (né dovuto agli elettroni né ai fononi, ma a tutte le restanti cariche esterne)
- ϵ costante dielettrica del sistema globale

L'analogo per la parte elettronica è:

$$\epsilon^{EL} \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} + \Phi^{ION} \quad (4.9)$$

Si è considerato l'effetto sui soli elettroni delle altre due parti del sistema, ovvero gli ioni e le restanti cariche (ovviamente non si considerano gli stessi elettroni).

Analogamente per gli ioni:

$$\epsilon^{ION} \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} + \Phi^{EL} \quad (4.10)$$

Si hanno quindi tre equazioni costitutive:

$$\begin{cases} \varepsilon \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} \\ \varepsilon^{EL} \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} + \Phi^{ION} \\ \varepsilon^{ION} \Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} + \Phi^{EL} \end{cases} \quad (4.11)$$

NOTA: le interazioni elettrone-elettrone e ione-ione sono contenute nei termini ε^{EL} e ε^{ION} nella seconda e nella terza equazione della (4.11) rispettivamente.

Sommando la seconda con la terza si ha:

$$(\varepsilon^{EL} + \varepsilon^{ION} - 1)\Phi^{TOT} = \Phi^{EXT} \quad (4.12)$$

Quindi per la prima equazione della (4.11) si ha che la *costante dielettrica del sistema globale* è:

$$\varepsilon = \varepsilon^{EL} + \varepsilon^{ION} - 1 \quad (4.13)$$

Si ha:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon^{EL} + \varepsilon^{ION} - 1} = \frac{1}{\varepsilon^{EL} \left(1 + \frac{\varepsilon^{ION} - 1}{\varepsilon^{EL}} \right)} \quad (4.14)$$

Siccome

$$\begin{cases} \varepsilon^{ION}(\omega) = 1 - \frac{\Omega_p^2}{\omega^2} \\ \varepsilon^{EL}(k) = 1 - \frac{K_{TF}^2}{k^2} \end{cases} \quad (4.15)$$

si ottiene:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{k^2}{(k^2 + K_{TF}^2) \left(1 - \frac{\Omega_p^2}{\varepsilon^{EL} \omega^2} \right)} \quad (4.16)$$

Sapendo che la rinormalizzazione dello spettro fononico è:

$$\omega^2(k) = \frac{\Omega_p^2}{\varepsilon^{EL}} \quad (4.17)$$

si ottiene, infine:

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{k^2}{k^2 + K_{TF}^2} \left(\frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2(k)} \right) \quad (4.18)$$

Si può immediatamente notare che questa costante dielettrica non è una semplice somma di contributi ma contiene in maniera articolata il contributo elettronico e quello ionico, infatti mentre il primo pezzo

$\left(\frac{k^2}{k^2 + K_{TF}^2} \right)$ contiene il contributo puramente elettronico, il secondo $\left(\frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2(k)} \right)$ non contiene solo

quello ionico ma anche quello elettronico: infatti la $\omega^2(k)$ al denominatore contiene la costante dielettrica di Thomas-Fermi ε^{EL} (equazione (4.15)).

Ora si consideri l'interazione coulombiana nuda (cioè priva degli effetti di screening elettronico e fononico l'uno sull'altro) nello spazio dei k :

$$V(k) = \frac{4\pi e^2}{k^2} \quad (3.19)$$

per introdurre l'effetto dello screening globale si moltiplica $V(k)$ per $\frac{1}{\epsilon}$ (esattamente come in elettrostatica, quando, in presenza di un mezzo, il potenziale nudo $\left(\frac{e^2}{r}\right)$ si moltiplica per $\frac{1}{\epsilon}$, con ϵ costante dielettrica del mezzo). Quindi, l'interazione colombiana diventa:

$$V(k) = \frac{4\pi e^2}{k^2} \frac{k^2}{k^2 + K_{TF}^2} \left(\frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2(k)} \right) = \frac{4\pi e^2}{k^2 + K_{TF}^2} \left(\frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2(k)} \right) \quad (4.20)$$

Siccome ω^2 può essere maggiore o minore di $\omega^2(k)$, la repulsione coulombiana può divenire *attrazione*; questo risultato è di fondamentale importanza.

Può instaurarsi, quindi, un'attrazione tra gli elettroni a causa dell'interazione con il reticolo, descritta dal termine $\left(\frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2(k)} \right)$.

Questa risulta essere una sorta di premessa al fenomeno della superconduttività; in definitiva: se può esserci attrazione tra gli elettroni (ed il risultato a cui si è appena giunti conferma che può esserci), si crea allora un nuovo stato fisico, non riconducibile a nessun altro descritto in precedenza (liquido di Fermi) dato dallo stato superconduttivo.

Assumiamo ora che per effetto dei fononi gli elettroni si attraggono e studiamo le conseguenze di questa assunzione.

Conviene studiare un modello semplice considerando due elettroni in prossimità del livello di Fermi, pertanto i vettori d'onda sono tutti maggiori del vettore d'onda di Fermi, poiché al di sotto di tale energia tutti gli stati sono occupati.

Bisogna determinare la funzione d'onda che è costituita da una parte spaziale e una parte di spin:

$$\Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = f(\vec{r}_1, \vec{r}_2) g(\sigma_1, \sigma_2) \quad (4.21)$$

La funzione $g(\sigma_1, \sigma_2)$ dipende dallo spin dei due elettroni:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{1}{2} \quad (4.22)$$

Pertanto lo spin totale è (per la composizione dei momenti angolari¹):

$$\sigma_{TOT} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (4.23)$$

Se $\sigma_{TOT} = 0$ allora si ha la funzione d'onda associata ad uno stato di singoletto, che è antisimmetrica:

$$g_0(\sigma_1, \sigma_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(|\uparrow\rangle_1 |\downarrow\rangle_2 - |\downarrow\rangle_1 |\uparrow\rangle_2 \right) \quad (4.24)$$

Sperimentalmente si osserva che tutti i superconduttori sono di singoletto, tranne Sr_2RuO_4 che è di tripletto. Ne segue che per l'antisimmetria della funzione d'onda, la parte spaziale deve essere necessariamente simmetrica, mentre per Sr_2RuO_4 la parte spaziale deve essere antisimmetrica.

La funzione $f(\vec{r}_1, \vec{r}_2)$, cioè la parte spaziale, si può scrivere rispetto alle coordinate del centro di massa e della coordinata relativa:

$$\text{- il centro di massa è individuato da } \vec{R} = \frac{1}{2} (\vec{r}_1 + \vec{r}_2);$$

¹ Composizione momenti angolari: dati due momenti angolari l_1, l_2 il momento risultante è dato da:

$$l_{tot} = \begin{cases} l_1 + l_2 \\ \dots \\ |l_1 - l_2| \end{cases}$$

- la coordinata relativa è $\vec{\rho} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$

quindi:

$$f(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = e^{i\vec{q}\cdot\vec{R}} \Phi_{\vec{R}}(\vec{\rho}) \quad (4.25)$$

Dove q è la quantità di moto del centro di massa (si comporta tipo una particella libera e pertanto la funzione si può assumere di onda piana).

Si può porre la velocità del centro di massa nulla per conservazione della quantità di moto del centro di massa ($e^{i\vec{q}\cdot\vec{R}} = 1$), allora:

$$f(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = \Phi(\vec{\rho}) \quad (4.26)$$

e per la simmetria della parte spaziale si deve avere che:

$$\Phi(\vec{\rho}) = \Phi(-\vec{\rho}) \quad (4.27)$$

Inoltre, assumendo che la coppia di elettroni in considerazione si muova con velocità del centro di massa nulla, significa che i due elettroni si muovono con quantità di moto uguali in modulo e direzione e opposte in verso e possiedono spin opposto. Quindi i due elettroni sono caratterizzati da questa configurazione².

Ora si supponga che Φ sia data dalla trasformata di Fourier discreta:

$$\Phi(\vec{\rho}) = \sum_{k > k_F} g(\vec{k}) e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \quad (4.28)$$

Per poter effettuare la trasformata di Fourier deve valere l'invarianza traslazionale, ma esistono anche superconduttori che non sono invarianti per traslazioni.

È evidente che la simmetria della Φ implica che

$$g(\vec{k}) = g(-\vec{k}) \quad (4.29)$$

Inoltre la somma è vincolata ($k > k_F$) poiché se $k < k_F$ si ha che $g(\vec{k}) = 0$, come conseguenza del principio di esclusione di Pauli.

Il problema Hamiltoniano è un problema a due corpi:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_1^2 - \frac{\hbar^2}{2m} \nabla_2^2 + V(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \right] \Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) = E \Psi(\vec{r}_1, \vec{r}_2) \quad (4.30)$$

Sostituendo la funzione d'onda discussa, tenendo conto che la (4.10) non agisce sulla parte di spin ma solo sulla parte spaziale, cioè sulla (4.8), si ottiene:

$$\sum_{k > k_F} g(\vec{k}) e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \left[\frac{2\hbar^2}{2m} k^2 + V(\vec{\rho}) \right] = (\mathcal{E} + 2\mathcal{E}_F) \sum_{k > k_F} g(\vec{k}) e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \quad (4.31)$$

È stato assunto che il potenziale sia di tipo centrale $V(\vec{\rho})$ ed è stato espresso l'autovalore riferendolo all'energia di Fermi:

$$E = \mathcal{E} + 2\mathcal{E}_F \quad (4.32)$$

Nella (4.11) moltiplicando per $e^{-i\vec{k}\cdot\vec{\rho}}$ ambo i membri e integrando si ottiene la seguente espressione:

$$\int d^3 \rho e^{-i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \left[\sum_{k > k_F} e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} g(\vec{k}) \frac{\hbar^2}{m} k^2 + \sum_{k > k_F} e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} V(\vec{\rho}) g(\vec{k}) \right] = \int d^3 \rho e^{-i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \left[(\mathcal{E} + 2\mathcal{E}_F) \sum_{k > k_F} g(\vec{k}) e^{i\vec{k}\cdot\vec{\rho}} \right] \quad (4.33)$$

Per comodità, gli integrali vengono eseguiti separatamente:

1.

² Se la quantità di moto del centro di massa non fosse nulla, allora l'impulso sarebbe non nullo e i due elettroni non sarebbero più degeneri in energia. Affinché siano degeneri bisognerebbe fornire ad uno dei due elettroni la differenza di energia applicando un campo magnetico esterno, ottenendo così la superconduttività in campo magnetico. In quest'ultimo caso si avrebbe una coppia di Cooper con impulso diverso da zero.

$$\sum_{k>k_F} \int d^3 \rho e^{i\vec{\rho} \cdot (\vec{k} - \vec{k}')} g(\vec{k}) \frac{\hbar^2}{m} k^2 = L^3 g(\vec{k}') \frac{\hbar^2}{m} k'^2 \quad (4.34)$$

Poiché:

$$\int d^3 \rho e^{i\vec{\rho} \cdot (\vec{k} - \vec{k}')} = L^3 \delta_{kk'} \quad (4.35)$$

Cioè l'integrale è nullo, poiché la funzione integranda è combinazione di funzioni seno e coseno, a meno che $k=k'$, così che la funzione integranda diventa uguale ad 1.

2.

$$\sum_{k>k_F} \int d^3 \rho e^{i\vec{\rho} \cdot (\vec{k} - \vec{k}')} V(\vec{\rho}) g(\vec{k}) = L^3 \sum_{k>k_F} g(\vec{k}) V_{kk'} \quad (4.36)$$

Poiché

$$\int d^3 \rho e^{i\vec{\rho} \cdot (\vec{k} - \vec{k}')} V(\vec{\rho}) = L^3 V_{kk'} \quad (4.37)$$

Cioè è la trasformata di Fourier di $V(\vec{\rho})$.

L'integrale al secondo membro della (4.13) è tipo l'integrale 1. studiato (4.16), pertanto:

$$L^3 g(\vec{k}') \frac{\hbar^2}{m} k'^2 + L^3 \sum_{k>k_F} g(\vec{k}) V_{kk'} = (\varepsilon + 2\varepsilon_F) L^3 g(\vec{k}') \quad (4.38)$$

L^3 si può semplificare da ambo i membri e resta un'equazione integrale con $g(\vec{k})$ incognita.

Riscrivendo la (4.18):

$$g(\vec{k}') \left[\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F) \right] = - \sum_{k>k_F} g(\vec{k}) V_{kk'} \quad (4.39)$$

Lo scopo di questa trattazione è capire se questi elettroni si attraggono, ottenendo uno stato legato, cioè conoscere ε ; si utilizza un modello molto semplificato. Per esempio, si può supporre che il potenziale sia fattorizzabile $V_{kk'} = W_k W_{k'}$, ma la trattazione non si semplifica al massimo. Per semplificare ancora di più si può ipotizzare la costanza del potenziale nelle vicinanze del livello di Fermi:

$$V_{kk'} = \begin{cases} -L^3 \lambda & \left| \frac{\hbar^2 k^2}{2m} - \varepsilon_F \right| e \left| \frac{\hbar^2 k'^2}{2m} - \varepsilon_F \right| < \hbar \omega_D \\ 0 & \left| \frac{\hbar^2 k^2}{2m} - \varepsilon_F \right| o \left| \frac{\hbar^2 k'^2}{2m} - \varepsilon_F \right| > \hbar \omega_D \end{cases} \quad (4.40)$$

Il segno meno davanti al primo termine è stato introdotto per l'ipotesi di potenziale attrattivo, L^3 è il volume e λ è la costante di accoppiamento. La scala dell'energia è quella fononica, cioè l'ampiezza dell'intorno del livello di Fermi è fornita dall'energia dei fononi, poiché il potenziale è attrattivo nel loro spettro; in altre parole, si confronta l'energia dei due elettroni, che sono intorno al livello di Fermi con l'energia fononica ($\hbar \omega_D$, dove ω_D è la frequenza di Debye). Affinché vi sia interazione tra i due elettroni è necessario che entrambi possiedano energia in un range pari a $\hbar \omega_D$ intorno a ε_F ; ed è sufficiente che solo uno dei due elettroni abbia energia superiore ad $\hbar \omega_D$ per non avere interazione.

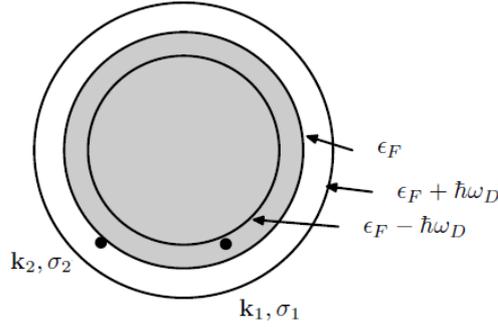


Figura4.12: Effettiva interazione elettrone-elettrone in prossimità della superficie di Fermi

Si può scrivere dunque:

$$g(\vec{k}') \left[\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F) \right] = \lambda L^3 \sum_{\vec{k}} g(\vec{k}) \quad (4.41)$$

Per risolvere questa equazione è conveniente eseguire una somma rispetto a k' su ambo i membri:

$$\sum_{\vec{k}'} g(\vec{k}') = \sum_{\vec{k}'} \left\{ \frac{\lambda L^3 \sum_{\vec{k}} g(\vec{k})}{\left[\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F) \right]} \right\} \quad (4.42)$$

OSSERVAZIONE: l'ipotesi della costanza del potenziale nello spazio dei k corrisponde ad ipotizzare che, nello spazio Reale, tale potenziale sia della forma δ di Dirac.

L'indice della sommatoria è muto, pertanto al primo membro è conveniente sostituire k con k' in modo da poter semplificare tale termine con lo stesso termine al secondo membro, dato che è costante

$$\left(\sum_{\vec{k}} g(\vec{k}) = \sum_{\vec{k}'} g(\vec{k}') = Cost \right):$$

$$\begin{aligned} \sum_{\vec{k}} g(\vec{k}) &= \lambda L^3 \sum_{\vec{k}} g(\vec{k}) \sum_{\vec{k}'} \frac{1}{\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F)} \Rightarrow 1 = \lambda L^3 \sum_{\vec{k}'} \frac{1}{\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F)} \Rightarrow \\ &\frac{1}{\lambda} = L^3 \sum_{\vec{k}'} \frac{1}{\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F)} \end{aligned} \quad (4.43)$$

La (4.23) è un'equazione agli autovalori che non è semplice da risolvere; pertanto è conveniente trasformare la sommatoria in integrale³:

$$\frac{1}{\lambda} = \int \frac{d^3 k'}{(2\pi)^3} \frac{1}{\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F)} \quad (4.44)$$

k' varia nella shell $\hbar\omega_D$.

È utile definire la seguente quantità:

$$\frac{\hbar^2}{m} k'^2 - (\varepsilon + 2\varepsilon_F) = 2 \left(\frac{\hbar^2}{2m} k'^2 - \varepsilon_F \right) - \varepsilon; \quad \frac{\hbar^2}{2m} k'^2 - \varepsilon_F =: \xi \quad (4.45)$$

L'integrale si può scrivere, introducendo un'integrazione "fittizia" rispetto a ξ :

³ $\lim_{V \rightarrow \infty} \frac{1}{V} \sum_{\vec{k}} F(\vec{k}) = \int \frac{d^3 k}{(2\pi)^3} F(\vec{k})$

$$\frac{1}{\lambda} = \int \frac{d^3k'}{(2\pi)^3} \int d\xi \delta(\xi(k) - \xi) \frac{1}{2\xi - \varepsilon} \quad (4.46)$$

ma

$$N(\xi) = \int \frac{d^3k'}{(2\pi)^3} \delta(\xi(k) - \xi) \quad (4.47)$$

è la densità degli stati, quindi l'integrale nella (4.26) si può scrivere:

$$\frac{1}{\lambda} = \int_0^{\hbar\omega_D} d\xi \frac{1}{2\xi - \varepsilon} N(\xi) \quad (4.48)$$

Gli estremi di integrazione sono giustificati dal fatto che la ξ indica quanto differisce l'energia dell'elettrone dal livello di Fermi, ma l'interazione avviene in un range pari a $\hbar\omega_D$. È ragionevole ipotizzare che in questo range la densità degli stati sia costante e quindi può essere riferita al livello di Fermi $N(0)$:

$$\frac{1}{\lambda} = N(0) \int_0^{\hbar\omega_D} d\xi \frac{1}{2\xi - \varepsilon} \quad (4.49)$$

Ora l'integrale è facilmente risolvibile:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\lambda} &= \frac{N(0)}{2} \ln(2\xi - \varepsilon) \Big|_0^{\hbar\omega_D} \Rightarrow \frac{2}{\lambda N(0)} = \ln\left(\frac{\varepsilon - 2\hbar\omega_D}{\varepsilon}\right) \Rightarrow \\ \varepsilon &= \frac{2\hbar\omega_D}{1 - e^{\frac{2}{\lambda N(0)}}} \end{aligned} \quad (4.50)$$

Si può ipotizzare che λ sia piccola e quindi:

$$\varepsilon \approx -2\hbar\omega_D e^{-\frac{2}{\lambda N(0)}} \quad (4.51)$$

ed è l'energia dello stato legato, che è negativa. L'energia del sistema è più bassa quando gli elettroni interagiscono, rispetto al caso in cui non interagiscono, pertanto gli elettroni tendono a legarsi. L'energia era stata riferita nella (4.12) all'energia di Fermi ($E = \varepsilon + 2\varepsilon_F$) e si è creato un gap nell'energia di eccitazione:

$$\begin{cases} \Delta = 2\hbar\omega_D e^{-\frac{2}{\lambda N(0)}} \\ E = 2\varepsilon_F - \Delta \end{cases} \quad (4.52)$$

OSSERVAZIONI:

- per ogni λ finito il gap Δ ha valore finito;
- il risultato ottenuto è riferito alla scala di energia fononica, come conseguenza della supposizione che i fononi siano i responsabili di questo meccanismo;
- non si può sviluppare in serie $e^{-\frac{1}{\lambda}}$, ciò riflette il fatto che la teoria BCS non può essere ricavata da un calcolo perturbativo;
- nella (3.39) c'è $N(0)$, quindi la densità degli stati al livello di Fermi può variare, ingrandendo o diminuendo, così, il gap di energia e la T_c . Se si riuscissero a creare materiali con tale gap più grande si otterrebbero T_c più elevate;
- nel caso in cui il numero di elettroni fosse elevato e ci fosse un elettrone spaiato, il suo effetto è trascurabile; quest'analisi è stata fatta nello spazio dei k e se due elettroni sono vicini in questo spazio, nello spazio Reale sono lontani (tipicamente qualche migliaio di Angstrom). Le coppie di Cooper si muovono in modo solidale nello spazio reale a distanze elevate l'una dall'altra.

CAPITOLO 5

Esperimenti significativi per la scuola

5.1 Introduzione

Di seguito si riporta una raccolta di esperimenti esplorativi e quantitativi che sono significativi per una proposta didattica riguardante l'insegnamento della superconduttività integrata con i curricula di elettromagnetismo a livello secondario.

Ciascun esperimento viene presentato indicando: titolo, finalità, materiale necessario e foto/illustrazioni degli apparati, procedura, risultati e conclusioni; suggerimenti per gli insegnanti. Essi hanno costituito la base di riferimento per la proposta progettata e sperimentata nel contesto della presente tesi. Si propongono attraverso una descrizione sistematica anche come riferimento per insegnanti che vogliano in futuro utilizzarli per autonome sperimentazioni in classe.

5.2 Effetto Meissner puro

Finalità: indagare la capacità di risposta ad un campo magnetico esterno propria di un superconduttore

Cenni teorici: se un materiale effettua la transizione da stato normale a superconduttivo, esso retroagisce alla presenza di un campo magnetico esterno annullando attivamente al suo interno il campo magnetico esterno e prodotto ad esempio da un magnete posto sulla sua superficie.

Questo vincolo a zero del campo magnetico all'interno di un superconduttore è distinto dal diamagnetismo perfetto che risulterebbe dalla sua resistività elettrica nulla.

Resistenza zero vorrebbe dire che, se si è tentato di magnetizzare un superconduttore, si genererebbe un loop di corrente tale da annullare esattamente il campo imposto (legge di Lenz). Se il materiale possiede già un campo magnetico costante al suo interno quando viene raffreddato effettuando la transizione superconduttiva, dovrebbe permanere il campo magnetico.

Se non si producesse alcun cambiamento nell'intensità del campo magnetico applicato, non si dovrebbe manifestare alcuna tensione applicata (legge di Faraday) atta poi a pilotare correnti, anche in un conduttore perfetto. Quindi l'espulsione attiva di campo magnetico deve essere considerata un effetto completamente diverso dalla resistenza nulla.

Materiale utilizzato: sottile disco magnetico, pinzette di plastica, azoto liquido, recipiente di polistirolo, superconduttore Meissner.



Figura 5.1: Attrezzatura utilizzata

Procedimento: posizionare il magnete al di sopra del pellet Meissner ed osservare gli effetti magnetici prodotti avendo prontamente atteso che si sia instaurato l'equilibrio termico tra il superconduttore a temperatura ambiente e l'azoto criogenico (77 K).

Vanno distinti essenzialmente due casi legati alla procedura di preparazione dell'apparato sperimentale: (caso A) raffreddando prima la pasticca di YBCO ed in seguito ponendo sopra il magnete (caso B) ponendo il magnete sopra l'YBCO a temperatura ambiente e poi raffreddando l'intero sistema



Figura 5.2: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito

Caso A

Fenomeno osservato. il magnete portato sopra all'YBCO raffreddato viene respinto indipendentemente dalla parte con cui viene avvicinato, ossia dal polo affacciato all'YBCO.

E' possibile che posizionando opportunamente il magnete sopra all'YBCO esso resti in levitazione stabile.

Tra YBCO e magnete si osserva una forte interazione anche avvicinando il magnete lateralmente].

Conclusione: L'YBCO manifesta evidenti proprietà diamagnetiche. Tali proprietà si manifestano in presenza del magnete (indipendentemente dal polo avvicinato) e sono l'esito di una retroazione dell'YBCO alla presenza del magnete. L'YBCO infatti respinge comunque il magnete e non interagisce con un oggetto ferromagnetico che non si stato precedentemente magnetizzato.

Caso B

Fenomeno osservato: Il magnete si stacca dall'YBCO e levita sopra di esso.

Conclusioni: l'YBCO evidenzia la sua natura di diamagnete perfetto (campo magnetico $B = 0$ al suo interno, a parte le zone in cui si ha pinning che è un effetto per quanto debole nel caso degli YBCO utilizzati, ma comunque decisivo per la realizzazione di configurazioni di levitazione stabile del magnete).

Suggerimento: è opportuno mostrare che un superconduttore non è un magnete; infatti da qualsiasi direzione venga avvicinato il magnete si osserva come unico effetto la repulsione.

La polarità del magnete non ha influenza alcuna sulla riuscita dell'esperimento: infatti può levitare da entrambi i suoi lati.

Avvicinando una clip d'acciaio all'YBCO, in assenza del magnete vicino, non si osserva alcuna interazione.

E' interessante mostrare che in assenza di azoto liquido il magnete è tranquillamente appoggiato al di sopra del superconduttore; ciò per dimostrare ancora una volta che il superconduttore non è un magnete, ed esibisce proprietà magnetiche solamente al di sotto di una certa temperatura critica T_c .

5.3 Confronto tra effetto Meissner e pinning

Finalità: indagine sulla capacità di un superconduttore di mantenere fortemente saldo un magnete

Cenni teorici: in un superconduttore ideale di tipo II nello stato misto sono presenti fenomeni dissipativi che, creando un aumento di temperatura del materiale, limitano la corrente critica. Se però il materiale considerato non è ideale, ma contiene disomogeneità, difetti puntuali o di linea come dislocazioni ottenibili con deformazioni plastiche, inclusioni di fasi diverse, queste possono attrarre e tenere ancorati i flussoidi. Il motivo per cui i vortici tendono a rimanere attaccati a questi difetti è il fatto che in quella posizione si dimostra minimizza l'energia libera di Gibbs del sistema. Tale fenomeno di ancoraggio prende il nome di pinning e le imperfezioni che lo determinano sono dette centri di pinning.

Materiale utilizzato: sottile disco magnetico, pinzette di plastica, azoto liquido, recipiente di polistirolo, superconduttore ad effetto Meissner.

Montaggio dell'apparecchiatura:

L'apparecchiatura è formata dai seguenti elementi: sistema ferro magnete, contenitore pellet Meissner.



Figura 5.3: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito.

Procedimento seguito: posizionare il magnete al di sopra del contenitore Meissner ed osservare gli effetti magnetici prodotti avendo prontamente atteso che si sia instaurato l'equilibrio termico tra il superconduttore a temperatura ambiente e l'azoto criogenico (77 K).

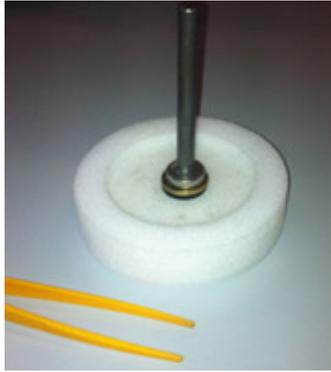


Figura 5.4: Sistema magnete ferromagnete + moneta 20 centesimi + disco di YBCO.

La moneta da 20 centesimi inserita tra il magnete ed il dischetto superconduttivo funziona essenzialmente da spaziatore reso necessario per mantenere distanti i due materiali e creare una sorta di legame magnetico.

Conclusioni (raggiungimento degli obiettivi)

E' stata realizzata la levitazione magnetica, si è manifestato un nuovo effetto detto "pinning" ancoraggio cioè tra magnete e dischetto superconduttivo.

In questa configurazione si può osservare che tra magnete e YBCO si ha sia una forte repulsione quando li si cerca di avvicinare, sia una forte attrazione, quando li si cerca di allontanare.

La repulsione è l'esito di un forte effetto Meissner, l'attrazione è l'esito dell'ancoraggio del campo magnetico nelle zone in cui esso penetra all'interno dell'YBCO. Tale ancoraggio, che si manifesta come sospensione dell'YBCO sotto al magnete, caratterizza l'effetto pinning e lo differenzia dal pure effetto Meissner che si manifesta unicamente nella repulsione tra YBCO e Magnete. Al residuo di effetti pinning è dovuta la stabilità della levitazione che si osserva nel caso dei superconduttori di II tipo come le pastiglie di YBCO.



Figura 5.5: Mantenendo in sospensione si crea un link magnetico



Figura 5.6: Mantenendo in sospensione il sistema descritto in precedenza si crea un link magnetico che favorisce l'ancoraggio tra magnete e pastiglia superconduttiva

Il magnete rimane fortemente legato al disco di superconduttore. Quando il campo magnetico applicato è più alto del campo critico inferiore ma più basso del campo critico superiore, un superconduttore del II tipo permette al flusso magnetico di penetrarlo nella forma di vortici, una minuscola area normale circondata da supercorrenti. Sotto l'azione di una forza di Lorentz esterna o per attivazione termica, i vortici possono muoversi. Il loro moto induce dissipazione dell'energia ed eventualmente può distruggere la superconduttività. Recenti progressi nella nano-fabbricazione hanno portato a straordinarie possibilità per l'implementazione di strutture di pinning nei superconduttori e controllare così il moto dei vortici.

La dinamica dei vortici in geometrie superconduttive confinate ha generato molto interesse nell'ambito dello studio sia delle proprietà fondamentali dei vortici e sia dei dispositivi basati sul loro moto.

Durante gli ultimi anni una vasta mole di lavoro scientifico è stata dedicata al miglioramento di alcuni parametri critici dei materiali superconduttori. In particolare, l'introduzione di un reticolo regolare di centri di pinning artificiali in film sottili superconduttivi può portare alla riduzione del moto dei flussoni dando luogo a valori più alti della corrente critica. Questo risultato è di importanza pratica poiché per applicazioni tecnologiche è richiesto ai superconduttori di lavorare a correnti critiche alte.

5.4 Levitazione inversa o rovesciata

Finalità: effettuare alcune considerazioni in merito alla direzionalità delle proprietà magnetiche di un superconduttore di II tipo. Si cerca di descrivere in termini di "qualità" del link magnetico che si è instaurato tra magnete e dischetto superconduttore.

Materiale utilizzato: sottile disco magnetico, pinzette di plastica, azoto liquido, bicchiere di plastica, vetrino di plexiglass, superconduttore Meissner, azoto liquido



Figura 5.7: Materiale utilizzato durante l'esperimento

Procedimento: posizionare il magnete al di sotto del vetrino di plexiglass, su cui è stata appoggiata una moneta da 20 centesimi. Posizionare il bicchiere di plastica al di sopra del sistema descritto in precedenza e versare lentamente l'azoto liquido all'interno del bicchiere.

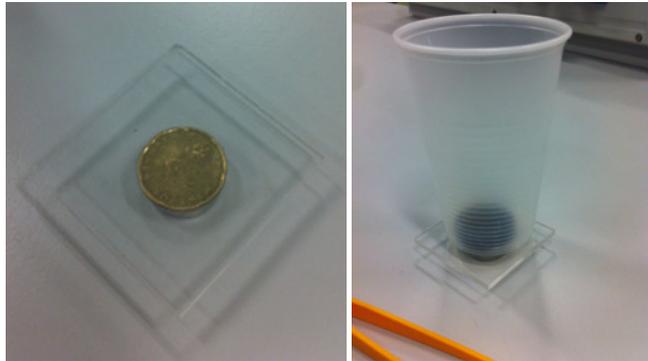


Figura 5.8: Sistema magnete ferromagnete utilizzato in seguito

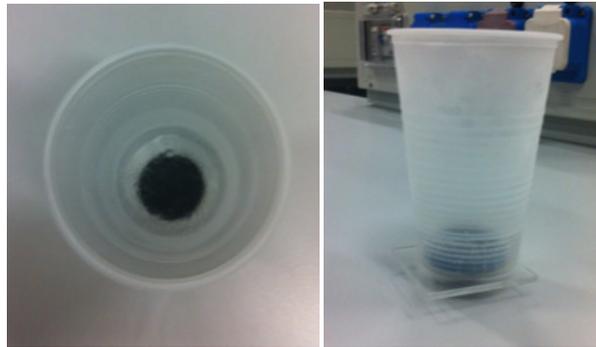


Figura 5.9: Sistema bicchiere di plastica con pastiglia superconduttiva inserita al suo interno

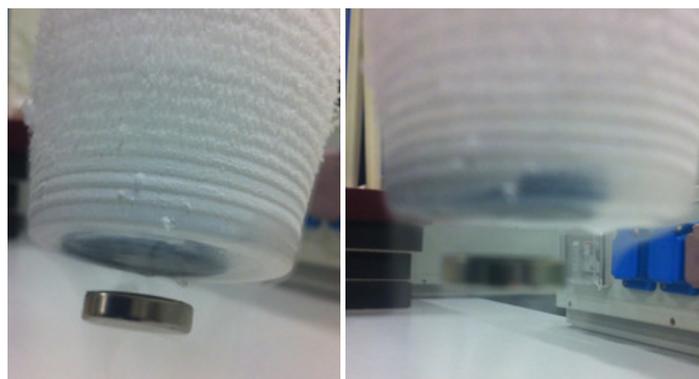


Figura 5.10: Immagini che mostrano il magnete levitare "saldamente" al di sotto del bicchiere di plastica

Osservazione: Il magnete resta sospeso sotto il bicchiere. Se si cerca di allontanarlo esso sembra ancorato sotto all'YBCO restando alla distanza a cui è stato creato lo stato superconduttivo.

Conclusioni: L'effetto di ancoraggio dovuto al pinning comporta che magnete e YBCO resti in una fissata distanza fra loro indipendentemente da quale dei due sistemi si trovi più in alto. Questa configurazione

caratterizza l'effetto pinning. Essa non si può realizzare nel caso in cui si utilizzi un SC con solo effetto Meissner, ossia con SC che presentano debole effetto pinning.

Suggerimento: Mostrare che pur stratonando il bicchiere in sopra e sotto il magnete rimane fortemente legato al bicchiere; tutto questo per testimoniare l'alta "qualità" del link magnetico instauratosi tra magnete e dischetto superconduttore.

Inoltre è utile evidenziare il fatto che, una volta rimosso il magnete e posto a distanza notevole dalla parte inferiore del bicchiere di plastica esso risulta duramente attratto dal disco superconduttore se rimesso nelle sue vicinanze.

5.5 Leaking beaker: il recipiente che perde

Finalità: indagine sulle proprietà magnetiche di una pastiglia superconduttiva.

Materiale utilizzato: sottile disco magnetico, pinzette di plastica, azoto liquido, recipiente polistirolo, Meissner superconduttore.

Montaggio dell'apparecchiatura:



Figura 5.11: Pellet Meissner contenente la pasticca di YBCO

Procedimento posizionare il magnete al di sopra del Meissner pellet ed osservare gli effetti magnetici prodotti.

Conclusioni: La temperatura di ebollizione dell'azoto liquido si aggira attorno ai 77 K, quella dell'ossigeno liquido è di circa 90 K. Quando l'azoto liquido viene versato nel becher di alluminio, viene raffreddato al di sotto di 90 K, anche all'esterno di esso (infatti l'alluminio è un buon conduttore termico ed il foglio è sottile). L'ossigeno dall'aria viene liquefatto in prossimità della superficie fredda del bicchiere e si ottiene qualche goccia di liquido. Il bicchiere non perde.

L'ossigeno liquido è una sostanza paramagnetica, viene attratto da una calamita. E' infiammabile, se una goccia cade su un fiammifero acceso, si realizza un bagliore.

L'ossigeno liquido può essere osservato anche durante gli esperimenti di levitazione: gocce di ossigeno liquido si condensano sul pellet superconduttore e vengono attratte dal magnete: a volte si può osservare il manifestarsi di una goccia che salta dal pellet al magnete.



Figura 5.12: Pellet Meissner

5.6 Dimostrazione dell'esistenza delle correnti persistenti in un disco superconduttivo

Finalità: indagine sulle caratteristiche delle correnti persistenti presenti in un superconduttore

Cenni storici: In uno dei suoi esperimenti Onnes lo scienziato scopritore della superconduttività fece passare una corrente in un filo chiuso raffreddato a 4 K. Un anno dopo la corrente ancora fluiva nel filo senza perdite misurabili. Onnes trovò che i superconduttori permettono l'esistenza di quelle che lui chiamò *correnti persistenti*, cioè correnti elettriche che continuano a fluire senza una differenza di potenziale che le sostenga.

$$\frac{L}{R} = \tau \text{ [s]}$$

Viene detto costante di tempo di un circuito e si tratta di una quantità caratteristica costante.

Fisicamente la quantità di corrente contenuta nell'induttore tramite la relazione al momento iniziale, nel momento in cui l'interruttore T viene chiuso, viene scaricata entro il circuito: tale corrente elettrica si dissipa completamente nella resistenza R secondo la soluzione appena trovata: la corrente tende esponenzialmente a zero per $t \rightarrow \infty$. Il tempo caratteristico di questa caduta di corrente è proprio determinato dalla costante di tempo: essa è il valore dell'istante per il quale la corrente prende il valore di:

Materiale utilizzato: sottile disco magnetico, pinzette di plastica, recipiente polistirolo, superconduttore Meissner, azoto liquido, sonda di Hall per la misura dell'intensità del campo magnetico prodotto



Figura 5.13: Immagine raffigurante il materiale utilizzato

Procedimento: posizionare il magnete al di sopra del pellet Meissner ed osservare gli effetti magnetici prodotti.

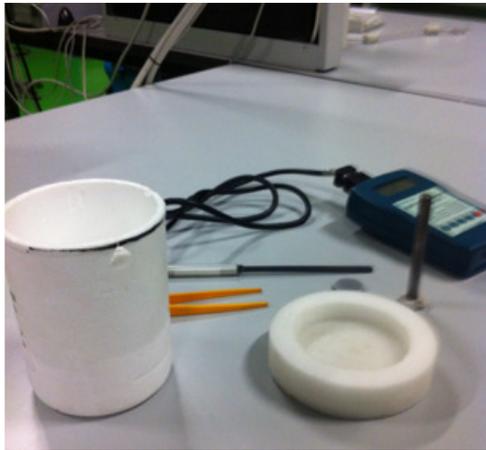


Figura 5.14: Sistema magnete ferro magnete utilizzato in seguito

Conclusioni: (raggiungimento degli obiettivi) effetto della levitazione magnetica ottenuta tramite

Suggerimento: è opportuno mostrare che un superconduttore non è un magnete; infatti da qualsiasi direzione venga avvicinato il magnete si osserva l'unico effetto della repulsione.

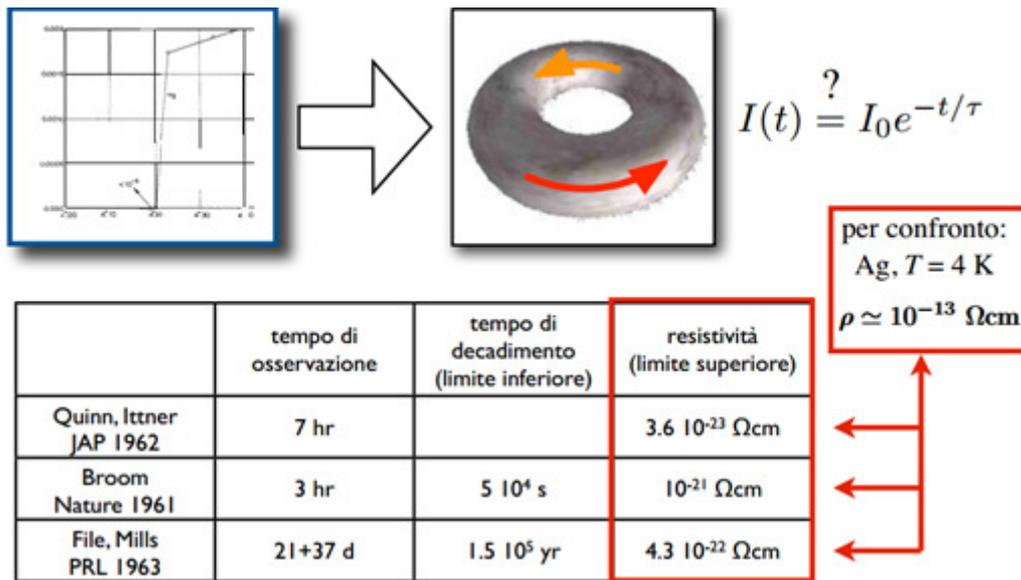


Figura 5.15: Tabella contenente i limiti di decadimento di alcune correnti persistenti osservate sperimentalmente

I valori misurati con il gaussometro sono i seguenti:

$B = 4,8 \text{ mG}$ con la sonda di Hall posta al di sotto del recipiente di polistirolo

$B = 0,4 \text{ mG}$ senza la sonda di Hall (mG sta per milliGauss)

L'unità di misura del campo magnetico terrestre nel sistema internazionale (SI) è il tesla (T) ma in pratica si utilizza il suo sottomultiplo nanotesla (nT), pari a 10^{-9} T , oppure il gauss (G) ($1 \text{ G} = 10^{-4} \text{ T}$). Dall'equatore ai poli, sulla superficie terrestre, il valore del campo varia da circa poco più di 20.000 nT all'equatore ai circa 70.000 nT delle zone polari.

Spiegazione del fenomeno

1. Quando l'asta e magnete vengono rimossi dal ring un campo viene ancora rilevato dalla sonda Hall.
2. Non appena viene rimosso il recipiente con l'anello superconduttivo ed allontanato dalla sonda Hall una lettura efficace rileva un campo magnetico nullo.
3. Quando l'anello viene ribaltato idealmente il segno dei cambiamenti di campo. Tuttavia può accadere di osservare una variazione essenzialmente nel valore.
4. Idealmente non si dovrebbe osservare un campo magnetico indotto, ma solamente un campo di valore ridotto.
5. Un campo magnetico variabile genera un campo elettrico; questo fenomeno è descritto dall'equazione di Faraday Neumann. La forza elettromotrice indotta (EMF) in circuito chiuso è uguale alla variazione del flusso magnetico nel tempo attraverso il circuito. La EMF è espressa in Volt, mentre il flusso magnetico in weber. Una corrente elettrica viene indotta in un qualunque circuito chiuso quando il flusso magnetico attraverso una superficie delimitata dai cambiamenti del conduttore. Ciò si manifesta se il campo si varia in modulo o il conduttore viene rimosso attraverso di essa.

Quando il magnete e l'asta si trovano in prossimità del centro dell'anello nello stato " normale", allora il campo esterno prodotto dal magnete passa attraverso l'anello e rimane intrappolato un certo flusso magnetico. Quando l'anello viene raffreddato tramite l'ausilio di azoto liquido, si realizza una transizione allo stato superconduttivo con l'instaurarsi di resistenza nulla.

Nel momento in cui il magnete viene rimosso, varia il flusso e secondo la legge di Lenz la FEM indotta nel circuito da questo flusso variabile produce una corrente che genera il proprio campo magnetico in modo tale da annullare tale variazione. Poiché il flusso non varia con il tempo la corrente rimane costante. Questa corrente persistente è il risultato di un effetto meccanico quantistico che influenza le modalità con cui gli elettroni viaggiano nei metalli nello stato superconduttivo.

Ciò viene fuori dallo stesso tipo di movimento che permette agli elettroni all'interno di un atomo di orbitare incontrastati attorno al nucleo. La corrente indotta è un circuito intorno all'anello e quindi, quando l'anello viene invertito il campo prodotto ha segno opposto.

5.7 Misura dell'autoinduttanza di un campione di gadolinio effettuata a diverse temperature

Finalità: indagine sulle proprietà magnetiche di un campione di gadolinio

Cenni teorici: il gadolinio è un metallo delle cosiddette terre rare ha aspetto bianco-argenteo. Cristallizza a temperatura ambiente in una forma esagonale compatta. A differenza degli altri lantanidi, è relativamente stabile all'aria, purché secca.

Diventa superconduttivo a temperature inferiori a 1,083 K. È fortemente magnetico a temperatura ambiente ed è l'unico metallo non appartenente al gruppo dei metalli di transizione a mostrare proprietà magnetiche.

In questa esperienza si vuole misurare l'autoinduttanza di un campione di gadolinio. Quest'ultima è da considerarsi la proprietà dei circuiti elettrici tale per cui la corrente che li attraversa induce una forza elettromotrice che, per la legge di Lenz, si oppone alla variazione dell'intensità della corrente stessa.

La grandezza fisica associata, detta anche coefficiente di autoinduzione L del circuito, è il rapporto tra il flusso del campo magnetico concatenato col circuito e la corrente elettrica passante.

Pierre Curie fu il primo a scoprire che esiste una temperatura critica per ogni materiale ferromagnetico al di sopra della quale il materiale si comporta come paramagnetico. La suscettività magnetica segue la legge di Curie-Weiss:

$$\chi_m = \frac{C \rho}{T - T_c}$$

Dove C è una costante caratteristica del materiale, ρ è la densità e T_c la temperatura di Curie misurata in Kelvin.

Materiale utilizzato: pinzette di plastica, campione di gadolinio, elettrocalamita, multimetro

Montaggio:



Figura 5.16: Campione di gadolinio utilizzato

Procedimento: posizionare il campione di gadolinio all'interno dell'elettromagnete e misurarne il valore dell'autoinduttanza in diverse condizioni di temperatura:

- riscaldato con l'asciugacapelli,
- raffreddato in una miscela di acqua ghiaccio.



Figura 5.17: Elettromagnete



Figura 5.18: Attrezzatura utilizzata

I valori misurati sono i seguenti:

$L = 4,61 \text{ mH}$ vuoto $L = 5,21 \text{ mH}$ con il campione di gadolinio posto al suo interno

$L = 6,53 \text{ mH}$ dopo aver posto il campione di gadolinio in una miscela di acqua e ghiaccio

$L = 7,90 \text{ mH}$ dopo aver riscaldato il campione di gadolinio con un asciugacapelli

Raffreddare il campione di gadolinio nuovamente e ripetere la procedura in esame registrando i valori della temperatura (T) e i corrispondenti valori dell'autoinduttanza (L). Non appena il gadolinio viene portato al di sopra della temperatura di 20°C diviene paramagnetico.

Per ogni elemento ferromagnetico esiste una temperatura critica detta di Curie al di sopra della quale si ha il

passaggio dalla fase ferro magnetica a quella paramagnetica. Per il ferro la temperatura di Curie vale 1 043 K, per la magnetite (magneti naturali) vale 858 K invece per il gadolinio vale 293 K.

5.8 Misura della forza d'interazione tra un superconduttore ad alta temperatura critica (HTSC) ed un magnete permanente posto a diverse altezze

Finalità: Riconoscere l'andamento della forza di interazione tra magnete e superconduttore

Materiale necessario: sensore di forza, sensore di posizione della Pasco, supporto in metallo, pinzette, azoto liquido, bicchieri di plastica, disco superconduttore, magnete permanente, recipiente Meissner



Figura 5.19: Sistema magnete permanente



Figura 5.20: Sistema magnete superconduttore

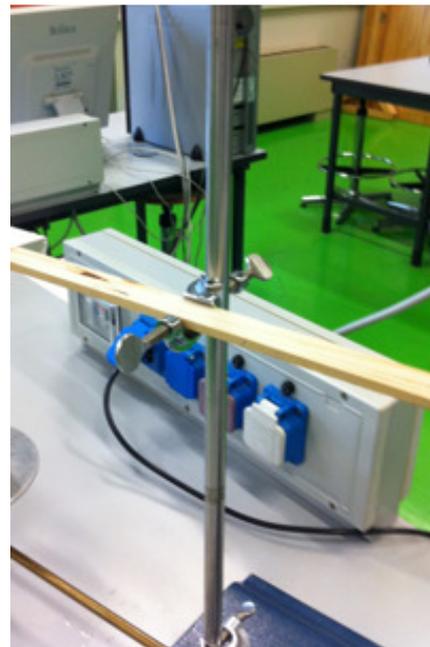


Figura 5.21: Supporto di metallo

Descrizione della procedura



Figura 5.22: Magnete permanente posto in un recipiente

Avvicinando il bicchiere di plastica contenente il superconduttore immerso in azoto liquido sostenuto da un apposito sostegno al relativo recipiente in cui è posto il disco superconduttore è possibile registrare un andamento decrescente della forza di interazione tra i due sistemi. La salita e la discesa graduale del supporto superiore può essere realizzata tramite un soffiutto a manovella che ne facilita il movimento lento senza salti improvvisi.

Dati sperimentali:

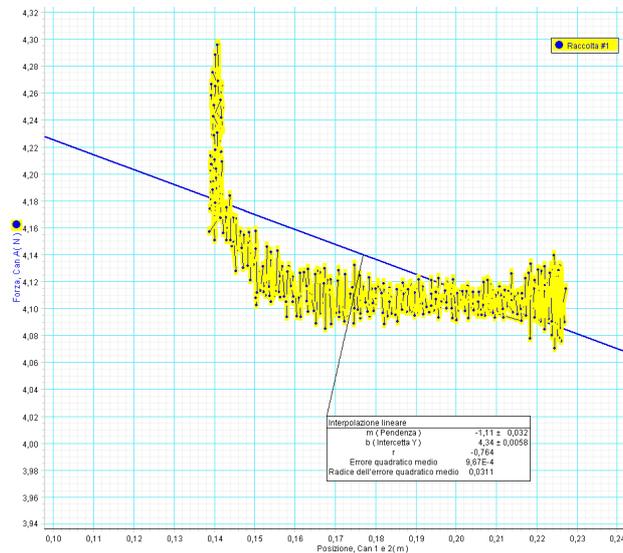


Figura 5.23: Nel grafico sono riportati esempi di andamenti della forza di interazione in funzione della distanza tra un magnete tenuto fermo tra due bicchieri di plastica trasparenti ed un superconduttore posto all'interno di un recipiente

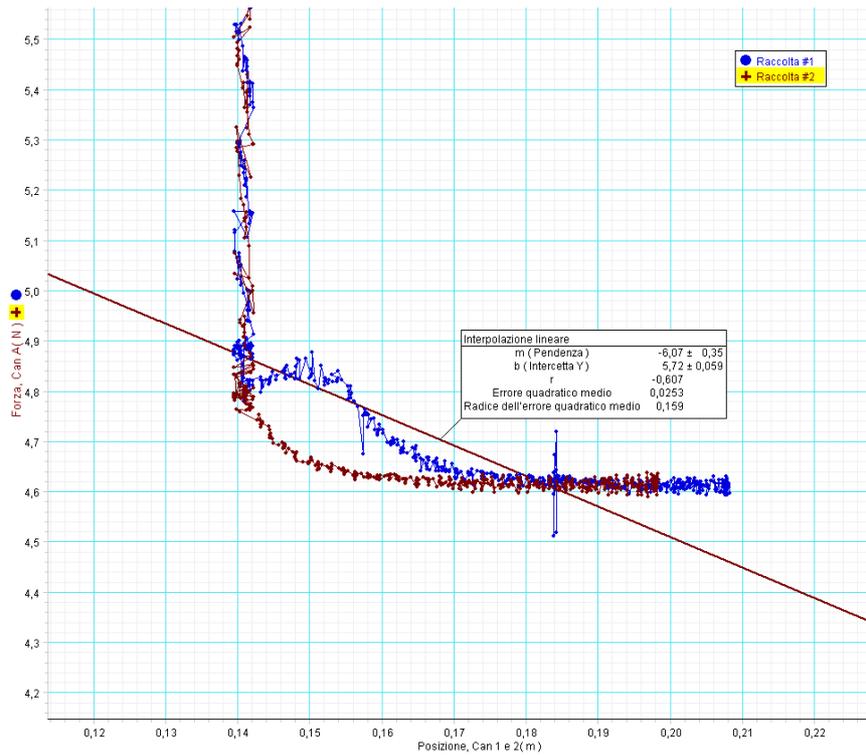


Figura 5.24: Andamento della forza di interazione tra un magnete posto all'interno di un recipiente (come raffigurato nella prossima Figura) ed superconduttore in funzione della posizione (discesa - linea blu scuro; salita - linea marrone)



Figura 5.25: Set up sperimentale

Considerazioni conclusive

Per migliorare la misura è possibile realizzare un supporto superiore maggiormente saldo avente due punti di appoggio.

5.9 Dimostrazione delle caratteristiche essenziali di un treno superconduttivo

Stabilità del treno superconduttivo ed importanza della traccia magnetica composta da tre fasce magnetizzate in modo differente NSN.

Finalità: Riconoscere la forte stabilità del vagoncino posto al di sopra della rotaia

Materiale necessario: monorotaia, vagoncino di plastica, azoto liquido, spaziatore di medio spessore, azoto liquido, disco superconduttore, pinzette di plastica



Figura 5.26: Binario monorotaia

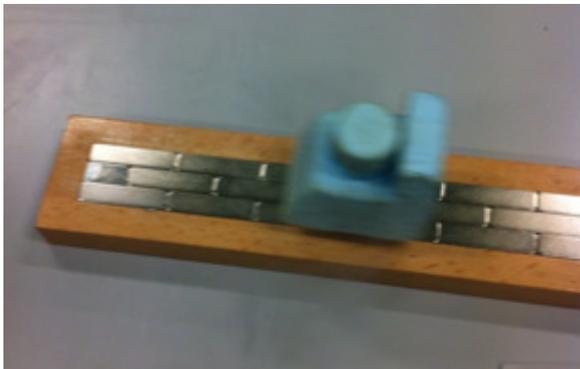


Figura 5.27: Sistema binario monorotaia + vagoncino



Figura 5.28: Vagoncino e monorotaia

Descrizione della procedura: la procedura da seguire per rendere mobile il vagoncino al di sopra della rotaia è la seguente: posizionare uno spaziatore di plastica al sopra della rotaia ed un disco superconduttore con forte pinning. Alla fine porre il vagoncino al di sopra dell'anello superconduttivo.

Versare dell'azoto liquido all'interno del vagoncino ed attendere del tempo sufficiente affinché si instauri l'equilibrio termico tra le varie parti presenti nel sistema.



Figura 5.29: Binario monorotaia

5.10 Misura della resistività di un campione di YBCO in funzione della temperatura

Finalità: indagine sulle proprietà elettriche di un superconduttore

Cenni teorici: i superconduttori sono particolari materiali che, se raffreddati fino a temperature molto basse, e comunque al di sotto di una temperatura T_c , detta temperatura critica (molto prossima allo zero assoluto, $0\text{ K} = -273\text{ }^\circ\text{C}$, e caratteristica di ogni materiale), vedono bruscamente annullarsi la loro resistività elettrica. Si comportano come superconduttori circa 30 elementi e molte loro leghe e composti. Il fenomeno della superconduttività fu scoperto nel 1911 dal fisico tedesco Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), osservando che la resistività del mercurio, a valori prossimi a zero (circa 4 K), si annullava bruscamente, anziché assestarsi su valori minimi.

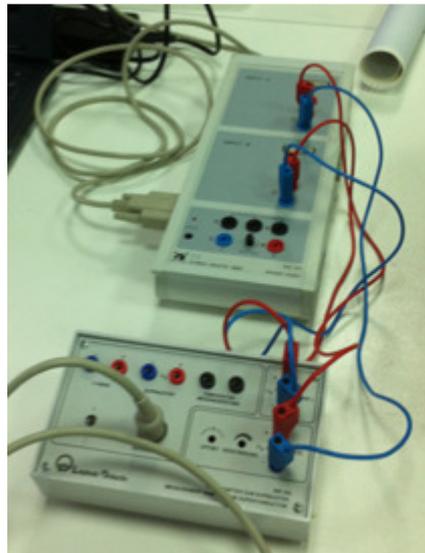


Figura 5.30: Strumentazione: interfaccia + placchetta

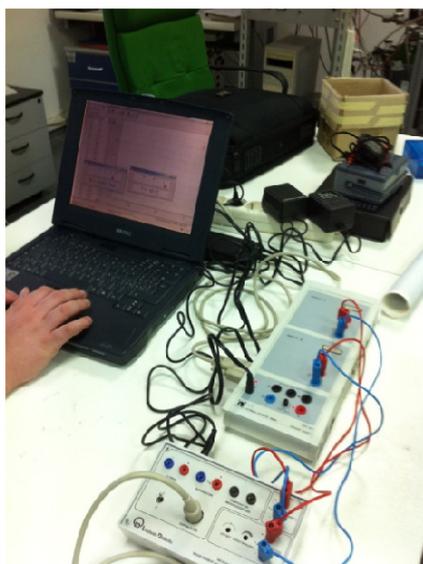


Figura 5.31: PC e strumentazione Materiale utilizzato: Kit didattico della Leybold, azoto liquido, contatti elettrici

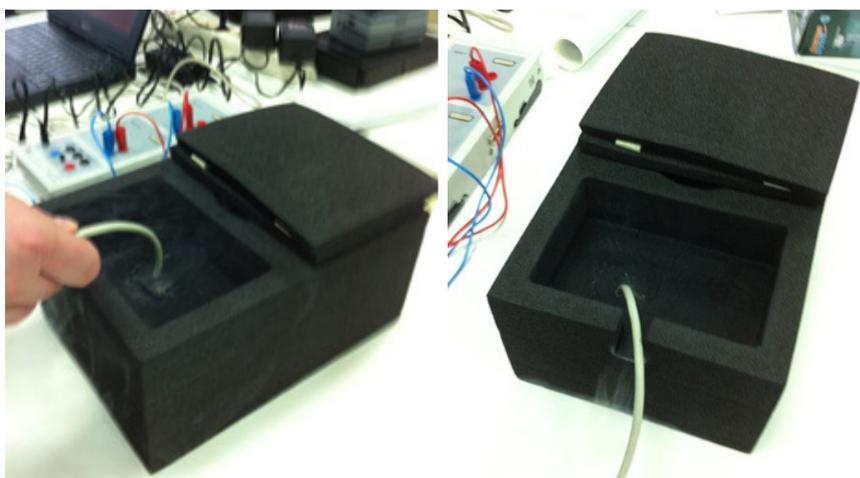


Figura 5.32: Recipiente contenente l'azoto liquido

Strumentazione: Leybold Didactic GMBH "kit sperimentale per la determinazione della temperatura di transizione superconduttiva" (Instruction Sheet 666205), composto da:

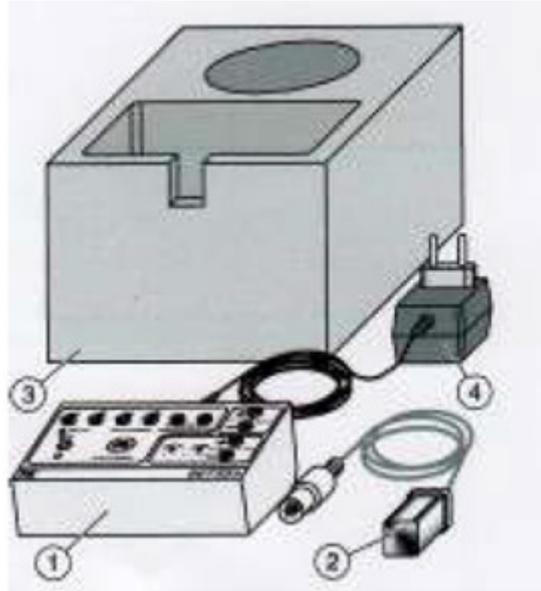


Figura 5.33: Contatti per il montaggio dell'apparecchiatura

- 1) adattatore per l'acquisizione dei dati
- 2) contenitore di alluminio all'interno del quale è alloggiata una sbarretta di materiale superconduttore YBCO munita di contatti per la determinazione della tensione e della corrente e di un sensore per la temperatura (con un range da 0°C a -200°C)
- 3) contenitore per l'azoto liquido, opportunamente strutturato in modo tale da alloggiare l'intero equipaggiamento di cui al punto 1)
- 4) trasformatore o Circuito di alimentazione composto di un generatore di corrente continua G (580mA), 12V

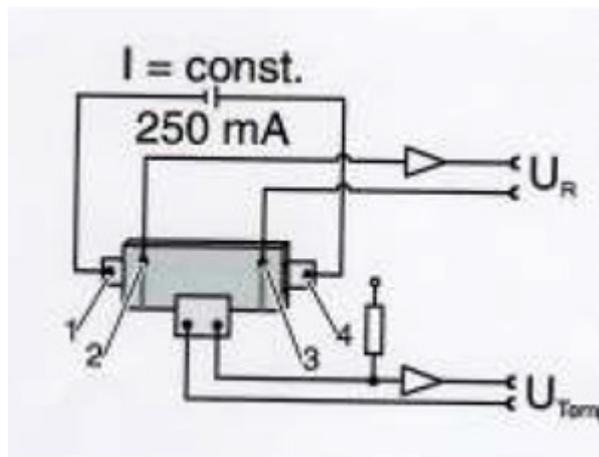


Figura 5.34: Contatti per la misura della resistenza R

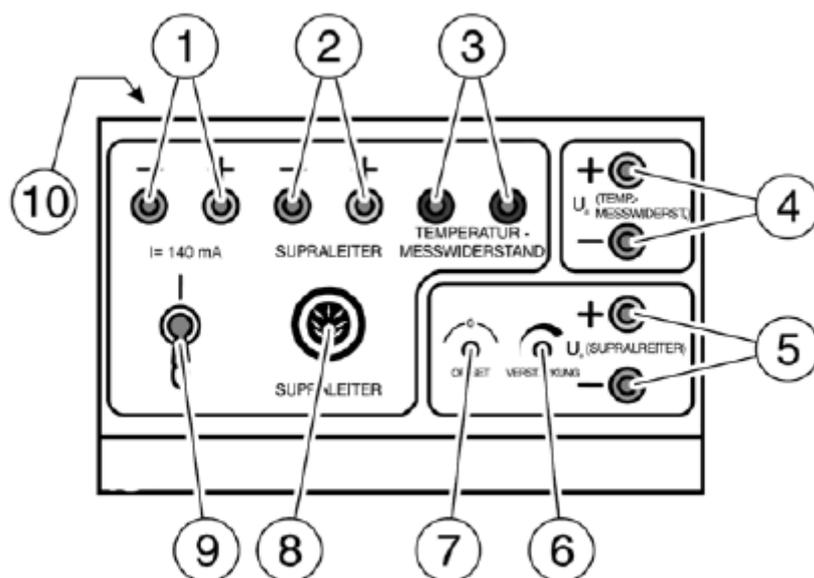


Figura 5.35: Scheda di misura

In particolare l'adattatore per l'acquisizione dati, mostrato in figura 4.32, ha i seguenti connettori:

1. alimentatore con uscita stabilizzata
2. misura di tensione di ingresso (superconduttore esterno)
3. sensore di temperatura di ingresso (superconduttore esterno)
4. uscita di misurazione della temperatura
5. tensione di uscita della misura (U_a)
6. fattore di guadagno
7. offset
8. ingresso modulo di misura
9. on-off
10. Presa jack per il plug-in di alimentazione

Risultati ottenuti

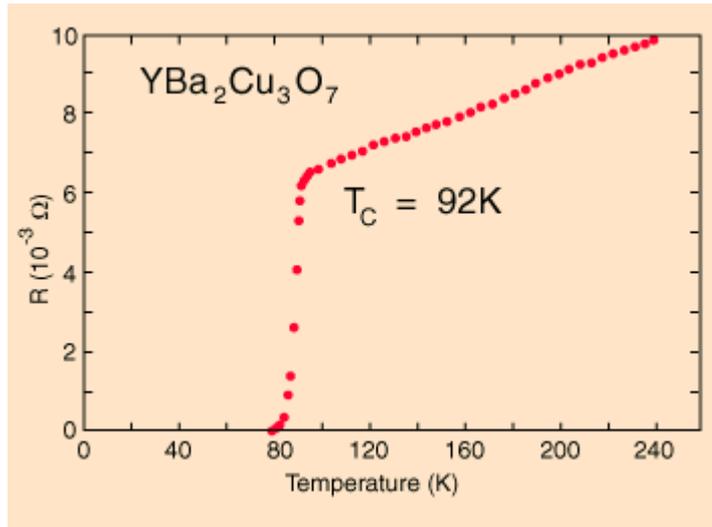


Figura 5.36: Andamento tipico della resistività di un campione di YBCO in discesa

5.11 Moto di un magnete all'interno di un tubo metallico

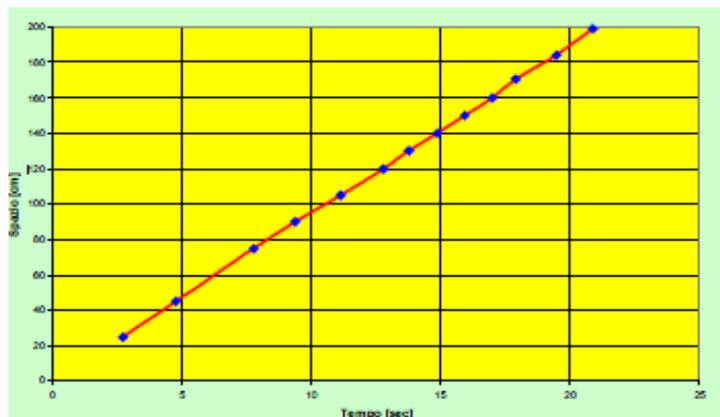


Figura 5.37: Andamento tipico dello spazio in un moto rettilineo uniforme

Il moto non è uniformemente accelerato come quello di un corpo che cade nel vuoto o di un magnete che cade in un tubo di plexiglas.

Dopo un transitorio iniziale, difficile da determinare con gli strumenti a disposizione, si osserva che la legge oraria trovata sperimentalmente è quella di un moto rettilineo uniforme.

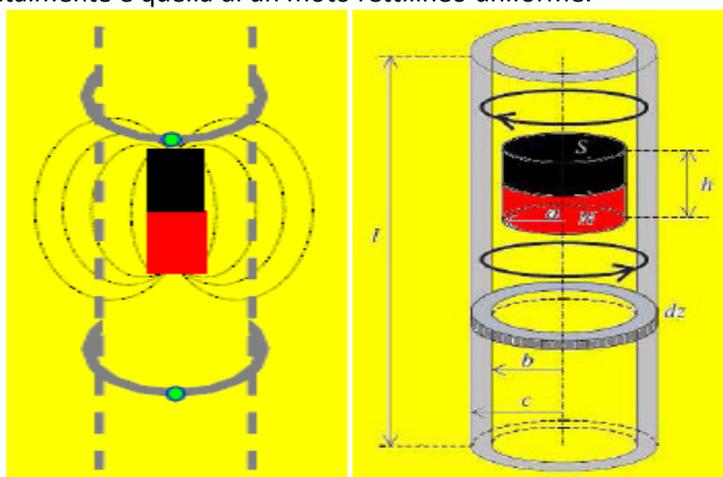


Figura 5.38: Caduta di un magnete all'interno di un tubo metallico e correnti indotte

Il magnete in caduta è frenato dalle correnti indotte nel metallo del tubo prodotte dal movimento di caduta del magnete stesso.

Esame del problema

1. La forza peso del magnete ne fa aumentare la velocità.

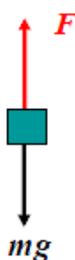


Figura 5.39: Rappresentazione di un corpo soggetto alla forza peso ed una forza di tipo viscoso

2. Aumenta la rapidità di variazione del flusso del campo magnetico attraverso la sezione del tubo.
3. Si genera una forza elettromotrice indotta per la Legge di Faraday- Newmann.
4. La corrente indotta nel tubo aumenta con la velocità di caduta del magnete.
5. Aumenta il campo magnetico indotto che, per la legge di Lenz, si oppone alla causa che l'ha generato.
6. Sul magnete aumenta la forza frenante.
7. La velocità tende a diminuire in contrasto con l'effetto della forza peso (questo è un effetto contrario alla causa iniziale).
8. Quindi dopo una fase transitoria iniziale si può raggiungere una condizione di equilibrio in cui la forza risultante sul magnete è nulla e la sua velocità è costante.
9. Per studiare il problema facciamo l'ipotesi che la forza frenante sia di tipo viscoso: $\vec{F} = -k\vec{v}$

Tecnica di esecuzione ed andamenti

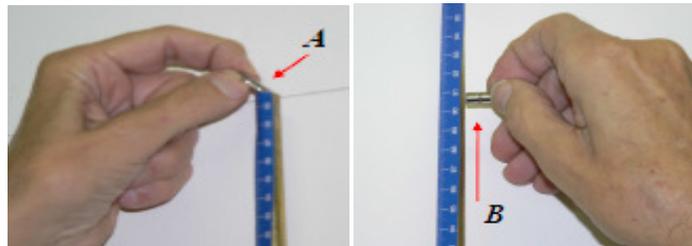


Figura 5.40: Semplici accorgimenti tecnici

- Lo zero della scala graduata deve coincidere con l'apertura del tubo posta in basso
- Il magnete A è quello in caduta, il magnete B viene tenuto all'esterno del tubo alle varie altezze e serve per tenere e liberare il magnete A
- Quando si inserisce il magnete A (figura di sinistra) l'altro magnete B (figura di destra) deve essere già posizionato alla quota opportuna per agganciare il magnete A
- Per agganciare correttamente il magnete A in caduta occorre che esso sia sempre orientato nello stesso modo (attrazione) rispetto al magnete B

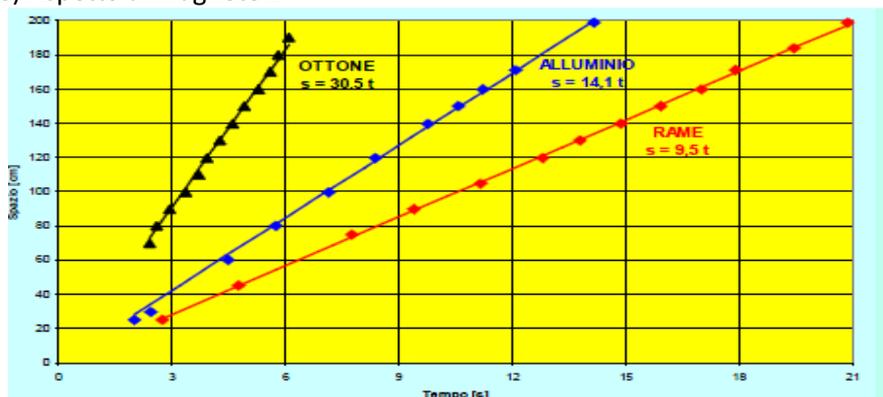


Figura 5.41: Andamento tipico con diversi materiali a confronto

Tubo da 7 mm - METALLI A CONFRONTO - magnete piccolo

CAPITOLO 6

LA PROPOSTA DIDATTICA SULLA SUPERCONDUTTIVITÀ NELLA SCUOLA SECONDARIA

1.Introduzione

In questo capitolo viene presentata la proposta didattica sull'insegnamento della superconduttività nella scuola secondaria sperimentata in sei classi di scuola secondaria superiore delle province di Udine e Salerno. Vengono discusse le motivazioni per l'introduzione nella scuola secondaria di un tema di fisica moderna e avanzata. le scelte metodologiche didattiche fatte per l'attuazione in classe della proposta di cui vengono discusse l'impostazione e il filo del percorso, oltre che degli strumenti utilizzati per attuare una strategia IBI con gli studenti e monitorare i loro percorsi di apprendimento. Nel successivo capitolo 7 vengono invece presentati i contenuti di sperimentazione e le modalità con cui il percorso didattico è stato adattato e modificato per implementarlo nei diversi ambiti di sperimentazione. Nel capitolo 8 viene presentata l'analisi dati.

6.2. Motivazioni per l'inserimento delle Superconduttività nella scuola secondaria superiore

La superconduttività è un contesto rilevante facente parte la fisica del ventesimo secolo. Risulta davvero interessante per vari motivi: le sue applicazioni [1-3] e per numerosi spunti teorici che può fornire. Può essere interpretata a diversi livelli teorici [4-5], offrendo punti di collegamento utili tra fisica classica quantistica e la trattazione moderna della teoria dei campi [6]. Nella prospettiva di rinnovare i curricula scolastici con l'intento di inglobare aree sempre più ampie di fisica moderna e ripensare il curriculum si sono concentrati vari contributi in letteratura scientifica i quali rimarcano la possibilità di esplorare questa fenomenologia in un laboratorio scolastico [7-11].

Tuttavia, pochi studi sono stati effettuati circa l'apprendimento degli alunni in questo settore ed il modo in cui utilizzano concetti rilevanti di elettrodinamica ed elettromagnetismo allo scopo di analizzare questioni fondamentali quali campo magnetico e corrente elettrica all'interno della materia [6]. In un progetto di ricerca a lungo termine sono stati progettati e sperimentati percorsi formativi che integrano la superconduttività nei corsi di elettromagnetismo ordinari [12-13]. Questi percorsi attivano processi di apprendimento degli studenti con l'esplorazione fenomenologica e sperimentale, in particolare tramite la misura della caduta della resistività [14]. Sono stati condotti esperimenti di ricerca, proponendo un approccio alla superconduttività centrato sulle proprietà magnetiche. È emerso che gli studenti che utilizzano soprattutto la rappresentazione delle linee di campo sono in grado di dar conto in modo coerente dell'effetto Meissner [12-13, 15].

La superconduttività rappresenta uno dei fenomeni più spettacolari della fisica della materia condensata. Quando un materiale superconduttore viene raffreddato sotto una determinata temperatura caratteristica (temperatura critica o di transizione), la corrente elettrica può scorrere con resistenza nulla. Allo stesso

tempo, un eventuale campo di induzione magnetica viene espulso (in tutto o in parte: lo studio di questo secondo tipo di superconduttori è valso il Premio Nobel nell'anno 2003 ad A. Abrikosov e V. Ginzburg, www.nobel.se/physics/laureates/2003/) dal materiale superconduttore (effetto Meissner, caratteristica che lo differenzia da un "semplice" conduttore perfetto). La superconduttività una manifestazione macroscopica della natura quantistica della materia: l'esistenza di una debole interazione attrattiva fra elettroni del materiale (come quella dovuta all'interazione elettrone-fonone) determina la trasformazione dello stato fondamentale dal normale gas di Fermi ad uno stato in cui le eccitazioni fondamentali sono sistemi legati di due elettroni con spin e quantità di moto opposti (coppie di Cooper). Fino agli anni 80 la superconduttività veniva considerata esaurientemente descritta dalla teoria microscopica BCS (dagli autori Bardeen, Cooper e Schrieffer, premi Nobel nel 1972 - www.nobel.se/physics/laureates/1972/) veniva considerata come esaustiva nel descrivere i fenomeni superconduttivi.

Un esperimento di ricerca è stato condotto con 16 studenti (18 anni) di una classe di un liceo scientifico di Udine in 10 ore di attività di laboratorio svolte utilizzando fogli di lavoro Inquiry Based Stimoli e di un questionario utilizzato come pre e post test. Sono stati studiati come gli studenti sono stati in grado di organizzare una visione dinamica del processo di levitazione magnetica e attivato il collegamento tra le proprietà elettriche e magnetiche dei superconduttori.

6.3 Il contesto della ricerca condotta nella presente tesi

Nel contesto di un progetto di ricerca a lungo termine, sono stati progettati e sperimentati percorsi formativi che integrano la superconduttività nei corsi di elettromagnetismo della scuola secondaria superiore [cit. Supercomet e Mosem]. Questi percorsi attivano processi di apprendimento degli studenti con l'esplorazione fenomenologica e sperimentale, sia attraverso esperimenti qualitativi, sia con misure con sensori collegati in linea con l'elaboratore per caratterizzare l'andamento della resistività con la temperatura e in particolare mette in evidenza il fenomeno del breakdown della resistività alla transizione di fase.

Sono state condotte sperimentazioni di ricerca in diversi contesti e con diversi gruppi di studenti delle ultime classi delle scuole superiori italiane, da cui è emerso che gli studenti nelle prime esplorazioni della levitazione magnetica di un piccolo magnete posto sopra a un superconduttore raffreddato alla temperatura dell'azoto liquido quando osservano la levitazione si rapportano a questa fenomenologia interpretando attribuendo inizialmente ai superconduttori proprietà tipiche di oggetti magnetici ordinari identificandoli ad esempio con magneti, oggetti ferromagnetici. I modi con cui descrivono e interpretano fenomenologicamente il fenomeno della levitazione si modificano progressivamente quando esplorano situazioni diverse (ad esempio invertendo la polarità del magnete, cambiando il magnete, analizzando in che modo si modifica l'interazione magnetica tra due oggetti quando tra essi vi è un superconduttore). Il riconoscimento della natura diamagnetica dei superconduttori emerge come esito della fenomenologia. Essa viene associata a una descrizione di come un superconduttore modifica un campo magnetico esterno attraverso la rappresentazione con le linee di campo del campo magnetico. Si sono rilevate correlazioni tra come gli studenti rappresentano i campi magnetici nella materia con le linee di campo e il riconoscimento della natura di diamagnete ideale dei superconduttori [citare lavori sulle nostre sperimentazioni]

La connessione tra proprietà elettriche e magnetiche nei superconduttori viene attivata dall'analisi del ruolo delle correnti parassite prodotte da un magnete in caduta su o dentro un conduttore metallico. Trova rinforzo nello studio sperimentale dell'andamento della resistività di campioni di YBCO in prossimità della transizione di fase. Tale esplorazione non attiva la suddetta connessione se questa non viene innescata in precedenti esplorazioni allo scopo di soffermarsi sul ruolo dell'induzione elettromagnetica nella levitazione magnetica vista come un processo di caduta di un magnete su un conduttore ideale che avviene quindi a velocità di regime nulla [51].

Sono state complessivamente progettate ed implementate sperimentazioni di ricerca in 6 classi coinvolgendo 145 studenti con modalità diverse. E' stato messo a punto un percorso sperimentale descritto in seguito utilizzando schede di lavoro basate su una strategia di tipo Inquiry Based Learning ([25] McDermott, L.C.) discusse e riportate in appendice nella presente tesi.

Lo stato iniziale delle concezioni degli studenti è stato monitorato con pre e post test discusso nei paragrafi finali e anch'esso allegato alla tesi e sono stati studiati come gli studenti descrivono l'effetto Meissner, quali riferimenti concettuali utilizzano e in quali contesti lo fanno, e come differenziano nelle loro descrizioni le fenomenologie dell'effetto pinning dall'effetto Meissner puro.

6.4 Impostazione della proposta didattica

La proposta didattica traduce l'impostazione di seguito descritta che prevede un approccio effettuato attraverso una esplorazione fenomenologica preliminare delle proprietà magnetiche della materia operata per caratterizzare ferromagneti paramagneti e diamagneti secondo il tipo e la forza dell'interazione tra un (potente) magnete ed oggetti di diversi materiali.

L'analisi fenomenologica della proprietà magnetiche di un disco di YBCO a temperatura ambiente completa questa parte introduttiva. Quest'ultima viene ripetuta quando il disco di YBCO viene raffreddato tramite l'uso di azoto liquido. La natura diamagnetica dell' YBCO emerge nettamente non solo tramite l'interazione sistematicamente repulsiva tra il magnete e il disco di YBCO, ma anche osservando che l'anello di YBCO scherma il campo magnetico a $T = T_{NL}$, quando esso viene interposto tra un magnete e un anellino ferromagnetico.

Il collegamento tra le due caratteristiche tipiche dei superconduttori ($R = 0$, $B = 0$) viene in seguito proposto analizzando la caduta di un magnete su conduttori ordinari di materiale diverso, e quindi astruendo a partire dal concetto di resistività quella limite tipica di un superconduttore cioè quella nulla.

È stata effettuata un'analisi delle diverse forme di levitazione e sospensione per effetto pinning, sottolineando il forte legame tra il magnete e il disco YBCO che si verificano anche a distanza. Essa mira a distinguere l'effetto pinning e l'effetto Meissner.

La strategia adottata consisteva nell'attivazione della costruzione di modelli mediante analogia emergente confrontando la levitazione superconduttiva e altre situazioni come, ad esempio, due magneti vincolati con poli opposti di fronte, un oggetto diamagnete ordinaria e un magnete, la caduta di un magnete su / dentro un conduttore ordinario. I concetti di campo, la sua rappresentazione formale da linee di campo, il concetto magnetizzazione e il dipolo vettore magnetico sono stati ricostruiti attraverso e per l'analisi delle interazioni che avvengono tra sistemi ordinari. Lo scopo del presente lavoro è studiare come gli studenti usano questi concetti come riferimento concettuale nell'analisi del Meissner e gli effetti pinning.

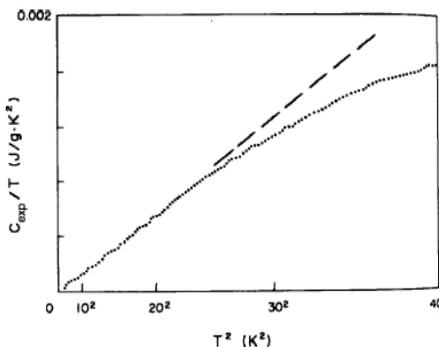
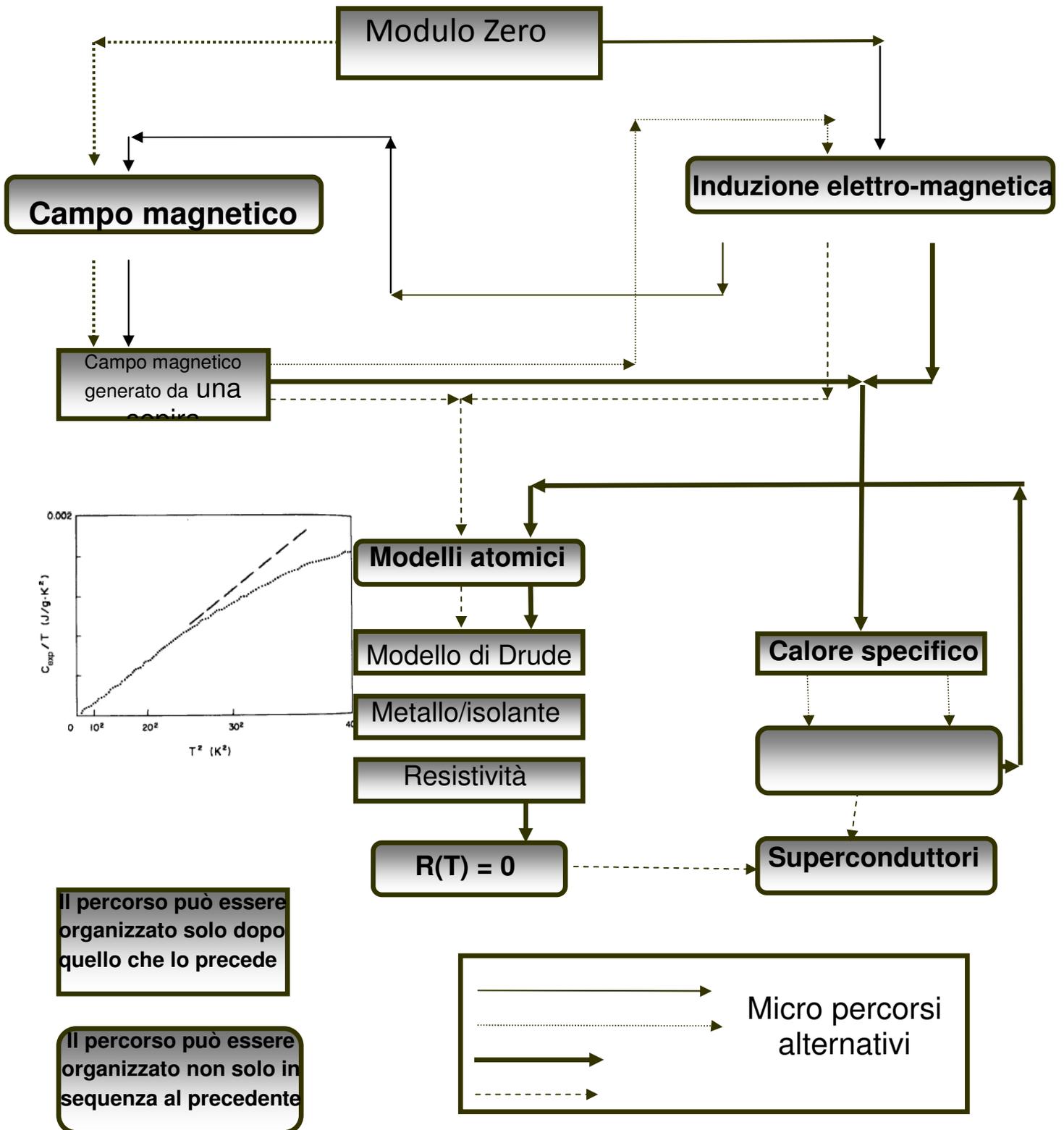
La strategia proposta consiste di una sequenza di micro - step concettuali di un percorso disciplinare attraverso le proposte della mappa. In ogni singola esperienza si chiede agli allievi di vivere un'esperienza in forma di gioco, verbalizzando tutte le proprie osservazioni e poi di esplicitare le proprie convinzioni e ricostruire il lavoro svolto prima di formalizzarlo. Ogni gioco coinvolge gli studenti e prevede un momento di gruppo.

6.5 Mappe concettuali e procedurali

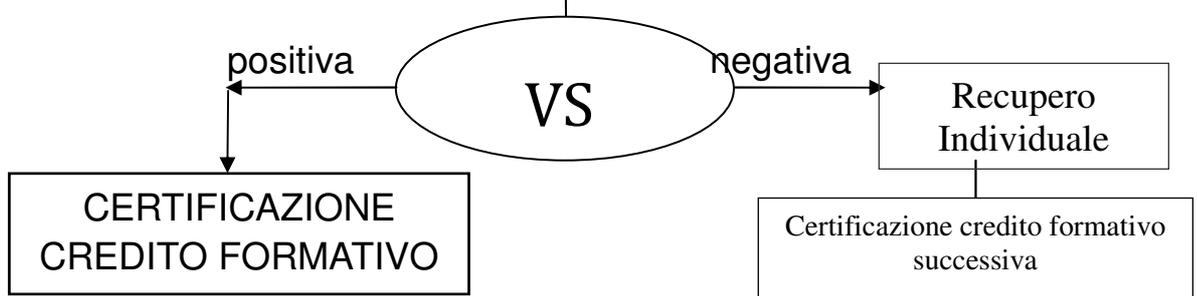
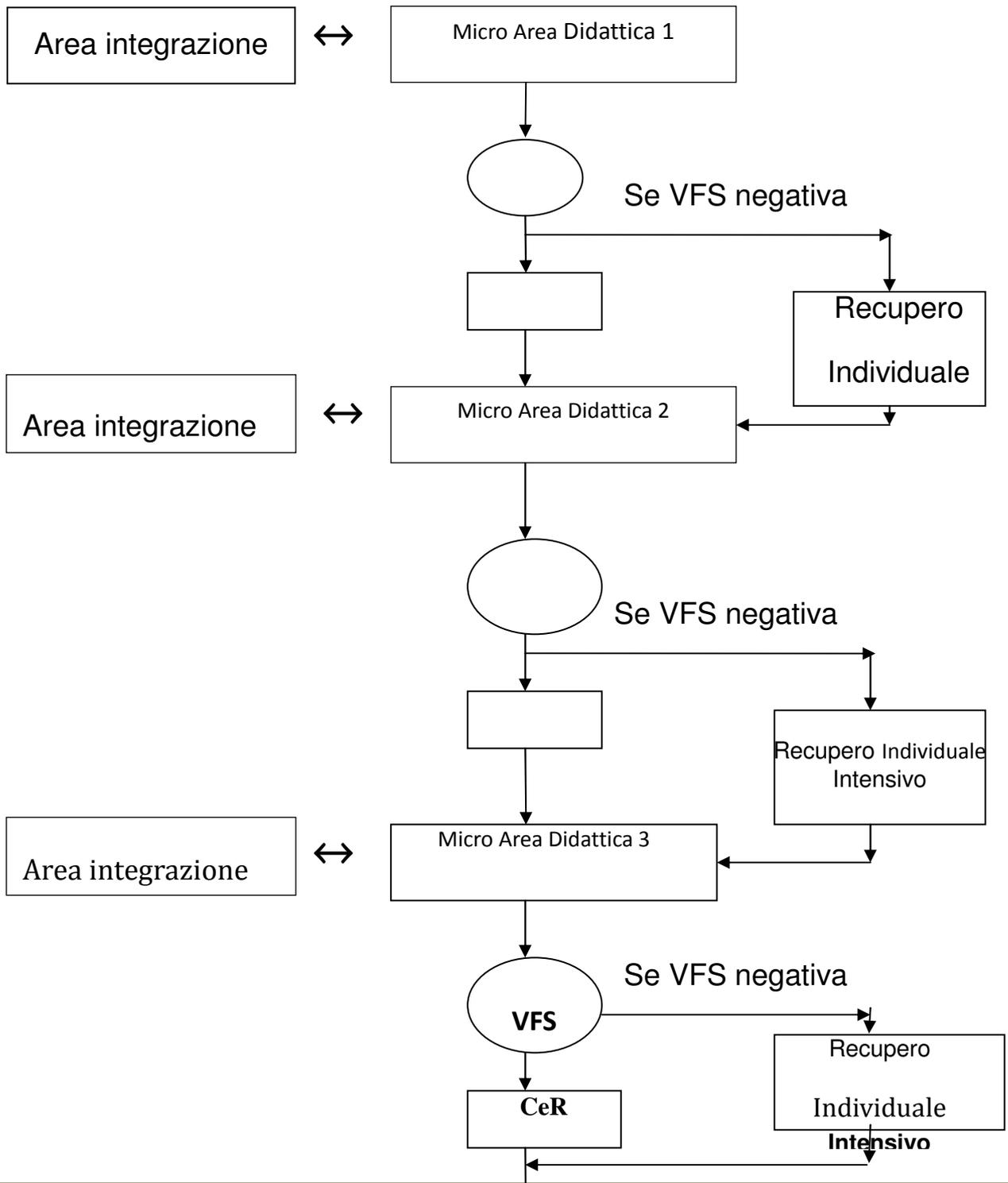
Due mappe illustrano rispettivamente l'organizzazione dei concetti e quella delle proposte di attività. Esse sono il riferimento per l'insegnante che seguendo i passi concettuali degli studenti organizzano percorsi differenziati per la costruzione concettuale.

- Le meraviglie della levitazione e concettualizzazioni
- Mappa dei primi passi nei fenomeni superconduttivi: isola concetti/senso

ORGANIZZAZIONE DELLA STRUTTURA DIDATTICA



PERCORSO: FENOMENI SUPERCONDUTTIVI



SUPERCONDUTTIVITA'

si manifesta tramite

un chiaro effetto quantistico

caratterizzata da

RESISTIVITA' QUASI NULLA
 $\rho = 0$ $\rho_{lim\ inf} = 10^{-23} \Omega \cdot cm$

EFFETTO MEISSNER
espulsione delle linee del campo magnetico da un campione superconduttivo

che può rendere visibile tramite l'utilizzo di azoto liquido la cosiddetta

LEVITAZIONE MAGNETICA

contraddistinta da tre parametri critici

Superconduttori di II tipo

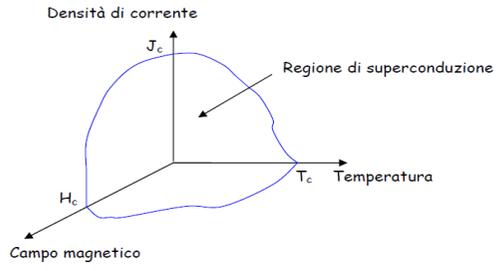
Piombo (Pb) **Mercurio (Hg)**

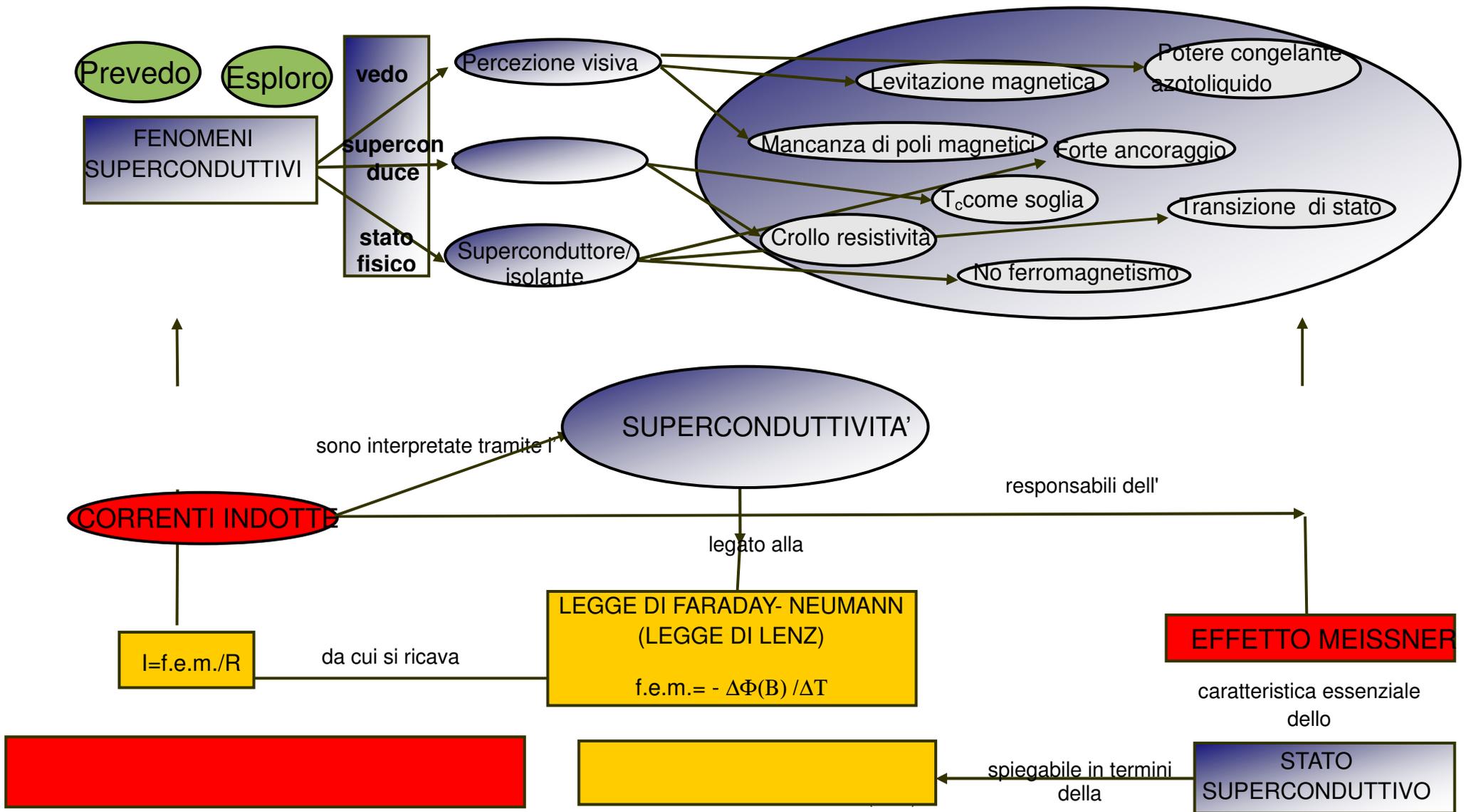
Temperatura campo magnetico e densità di corrente critica terna di variabili (T_c, H_c, J_c)

materiali ceramici come

$YBa_2Cu_3O_7$

superconduttore del II tipo





6.6 Materiali didattici e strumenti di monitoraggio

Il percorso didattico progettato prevede l'utilizzo degli esperimenti presentati nel capitolo 4. Sono inoltre state messe a punto alcune proposte innovative per dare risposta alle richieste stesse degli studenti. In particolare l'esplorazione fenomenologica della superconduttività è stata condotta utilizzando il kit High Tech e LowTech Kit sviluppato nei progetti Mosem (fig.1) .



Figura 6.1. L'HTK del progetto Mosem e alcuni esempi di materiali per effetto Meissner, levitazione magnetica, modello MAGLEV.

Il coinvolgimento personale degli studenti è stato attivato tramite l'uso di fogli di lavoro IBL tutoriali (WS di seguito), progettati in precedenti ricerche [19] e modificati per adattarsi seguito il percorso formativo (in fig. 2 un esempio). Questi sono stati progettati per attuare il razionale del percorso presentato nella sezione precedente, attraverso domande e compiti legati alla micro-concettuali aperti. Sotto sarà presentato i nodi proposti agli studenti in due WS (WS1 e WS2) qui analizzati, le situazioni analizzate dagli studenti, le domande sono pregati di rispondere, e le domande di ricerca connesse a fuoco. Proprietà WS1a-magnetiche dei materiali - Una esplorazione preliminare sul magnetismo nella materia ed elettromagnetismo trovato la seguente interpretazione della superconduttività e quindi sono qui inclusi mira a studenti modi di guardare alla proprietà magnetiche dei materiali ordinari e la relativa rappresentazione linee di campo. Gli studenti, considerando un oggetto immerso nel campo magnetico prodotto da un magnete sono pregati di rispondere alle seguenti domande: tenendo conto della rappresentanza linee del campo, i vettori dipolo, il comportamento osservato in esplorazione sperimentale, cercando di giustificare il comportamento osservato in caso di a) ferromagnetico; b) paramagnetico; c) gli oggetti diamagnetici. Il focus è rivolto ad analizzare il modo in cui gli studenti caratterizzano i diversi materiali ed i quadri concettuali di riferimento usati.

Proprietà WS1b-magnetiche di YBCO a $T = T_{env}$. Analizzando l'interazione di un magnete e un disco fisso YBCO alle estremità di un giogo sospeso, gli studenti sono tenuti a classificare operativamente le proprietà magnetiche del YBCO. Il focus è su: come gli studenti caratterizzano le proprietà magnetiche di YBCO? quello concettuale di riferimento hanno usato?

Una seconda fonte di dati utile per acquisire informazioni sul modo in cui gli studenti organizzano le loro conoscenze sui materiali superconduttori è fornita dall'analisi di una composizione scritta individualmente assegnata per casa effettuata rispondendo alle seguenti domande aperte: "Per quanto riguarda l'effetto Meissner:

A) Cosa avete osservato?

B) Spiegare in termini di linee di campo e / o magnetico di dipolo vettore momento ".

Il terzo strumento di monitoraggio è il test utilizzato come pre test e post test.

Le schede ed il test sono riportate all'interno dell'appendice numero 1.

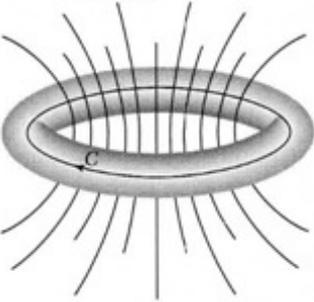
6.7 PERCORSO : FENOMENI SUPERCONDUTTIVI

La proposta didattica messa a punto per la sperimentazione di ricerca in superconduttività consiste in un percorso sperimentale di tipo esplorativo in cui le situazioni di studio vengono offerte sotto forma di attività hands on inquiry. Durante quest'ultime gli studenti conducono indagini con materiali di studio provenienti dal mondo reale. Le attività di ricerca hands-on possono variare dall'estrapolazione(" capture") senza alcuna riuscita di features della scienza autentica al catturarne tutte le caratteristiche essenziali. I semplici esperimenti concettuali presenti nei libri di testo sono una forma importante di inchiesta hands-on e questi compiti condividono poche o nessuna delle caratteristiche tipiche della autentica ricerca scientifica.

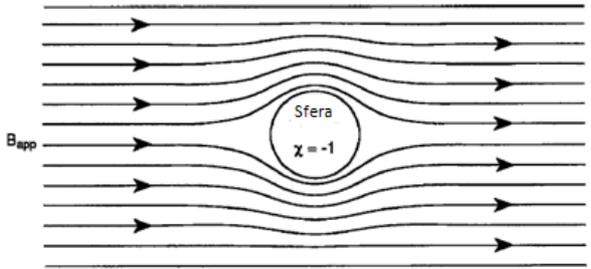
Punti di forza Le libere attività di inchiesta hands-on risultano particolarmente indicate a favorire inventiva proprie degli studenti, ad incoraggiare il controllo complesso della competenza di valutare grandezze fisiche mutevoli nel tempo e il ripensamento critico in merito a difetti metodologici.

Si illustra qui il percorso utilizzando le domande di ricerca (DR) che ci si è posti in relazione alle diverse situazioni (S).

Situazioni problematiche (S).	domande di ricerca (DR)
1. CAMPO MAGNETICO E SUE CONFIGURAZIONI	
1. Avvicinare un magnete ad un altro magnete: interazione tra due dipoli	1 – Si tratta di una regione di spazio tridimensionale reale o si considera la necessità di una forza?
S2. Quesito iniziale: disponendo in laboratorio di un magnete e di un altro cilindro metallico molto simili tra loro, avendo appurato che una volta avvicinati, si osserva che prima si attirano e poi si attaccano l'uno all'altro, si pone la seguente domanda: la procedura in base alla quale si stabilisce se entrambi i cilindri sono due magneti	2 - Vengono individuati i diversi tipi di interazione tra due magneti? 3 – E' preferita una descrizione in termini di forza oppure di campo vettoriale? 4 – Vengono individuate le analogie fra campo elettrico e magnetico?
S3. Esaminando l'interazione a distanza che si sperimenta con diversi esploratori nello spazio circostante il magnete si individuano le linee di campo	4 - Viene riconosciuto che le linee di campo sono una struttura simmetrica tridimensionale?
S4. Linee di campo in casi opposti: • poli omologhi affacciati; • poli diversi affacciati	5 – Viene richiamato all'attenzione l'intervento del campo magnetico terrestre nel delineare il campo risultante? 6 - Gli studenti descrivono le linee e/o le confrontano in diverse situazioni?
Rappresentazione, per ognuna delle due situazioni, in	

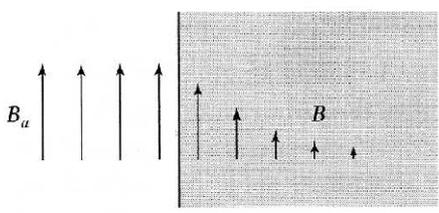
<p>termini di vettori di dipolo e di linee di campo.</p>	<p>Viene riconosciuto che la configurazione delle linee di campo permette una previsione sul tipo di interazione tra i dipoli?</p>
<p>S5. Possibile sospensione di un magnete sull'altro</p> <p>Rappresentazione in termini di vettori di dipolo e di linee di campo.</p> <p style="text-align: center;">Linee di flusso del campo magnetico</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura.6.3 Linee di flusso del campo magnetico per un anello</i></p>	<p>7 - Viene riconosciuta l'impossibilità di sospendere un magnete sull'altro a meno di introdurre un vincolo?</p> <p>8 - Gli studenti si mantengono su un piano descrittivo o raggiungono un livello anche interpretativo?</p> <p>9 - Viene usata una descrizione in termini di dipoli?</p> <p>10 - Vengono usate le linee di campo magnetico per spiegare la fenomenologia?</p>

2. RISPOSTA AD UN CAMPO MAGNETICO ESTERNO

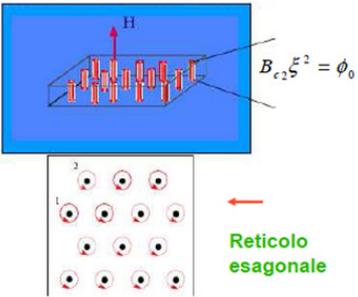
<p>S6. Interazione tra un magnete e oggetti di diverso materiale avvicinando il magnete a:</p> <p>S6.1. una graffetta o una sferetta: ferromagnetismo</p> <p>S6.2. una bilancia di torsione [solfato di rame e acqua] o [polvere di alluminio e acqua] o [solfato di rame e olio]: para e diamagnetismo</p> <p>S6.3. sottile mina di grafite pirolitica: diamagnetismo</p> <p>Rappresentazione, per ognuna delle tre situazioni, in termini di vettori di dipolo e di linee di campo.</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura.6.4 Curvatura delle linee del campo magnetico in prossimità di una sfera superconduttrice in un campo applicato costante</i></p>	<p>11 - Viene utilizzata la descrizione in termini di dipoli e di linee di campo per rappresentare le situazioni esaminate?</p> <p>12 - Gli studenti si mantengono su un piano descrittivo o raggiungono un livello anche interpretativo? Quali modelli interpretativi emergono per la fenomenologia osservata?</p> <p>13 - Vengono riconosciute le analogie e le differenze tra le varie situazioni?</p> <p>14 - Viene riconosciuto che gli oggetti presi in considerazione si comportano come dei dipoli, indotti dal campo magnetico esterno?</p> <p>15 - L'esplorazione viene fatta avvicinando uno solo o entrambi i poli del magnete?</p>
---	---

<p>S7. Analisi della possibilità di sospendere una sottile sfoglia di grafite pirolitica su un magnete</p>	<p>6 - Vengono individuate analogie e differenze col caso della sospensione di un magnete sull'altro?</p> <p>17 - Viene riconosciuta la necessità di un vincolo per avere sospensione?</p>
<p>S8. Esplorazione dell'interazione tra un magnete e un campione di YBCO (YBa2Cu3O7 - superconduttore del II tipo con debole pinning) per determinare il tipo di materiale.</p>	<p>18 - L'esplorazione è basata su ipotesi esplicite/ implicite?</p>

3. LE LINEE DI CAMPO

<p>S9. Analisi delle linee di campo all'interno e fuori dai materiali</p>  <p><i>Figura 6.5 Penetrazione di un campo magnetico applicato in un superconduttore semi infinito. La lunghezza caratteristica viene detta di penetrazione λ entro cui il campo diminuisce di un fattore e^{-1}.</i></p> <p>S9.1. Analisi della possibilità che la presenza di un materiale in un campo magnetico costante ed uniforme possa modificare il campo magnetico risultante</p> <p>S9.2. Analisi di come si modifica il campo magnetico risultante se un materiale ferromagnetico, paramagnetico, diamagnetico viene immerso in un campo magnetico uniforme, tenendo conto della rappresentazione per linee di campo, di quelle per vettori di dipolo e del comportamento osservato nella esplorazione sperimentale.</p> <p>S9.3. Configurazione delle linee di campo del sistema magnete + YBCO (a T ambiente)</p>	<p>19 - Viene tenuto conto del principio di sovrapposizione di campi? Sia dentro che fuori il materiale?</p> <p>20 - Viene data una descrizione/ interpretazione in termini di dipoli e/o di linee di campo?</p>
<p>S10. Esplorazione del comportamento del sistema magnete +YBCO (superconduttore del II tipo con debole pinning) all'abbassarsi della temperatura (raffreddando con azoto liquido): effetto Meissner ed effetto pinning</p>	<p>21 - Gli studenti riconoscono pienamente che si tratta di una transizione di fase??</p> <p>22 - Vengono utilizzati quadri di riferimento interpretativi o puramente descrittivi?</p> <p>23 - Viene utilizzata una descrizione in</p>

 <p>Figura.6.6 Schema di una levitazione di un magnetino al di sopra di un superconduttore YBCO immerso in azoto liquido</p>	<p>termini di linee di campo?</p>
---	-----------------------------------

<p>S11. Confronto e descrizione in termini di dipoli per ciascuno dei casi:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) due magneti 2) magnete e grafite pirolitica 3) superconduttore e magnete <p>Mentre nel caso della grafite pirolitica il diamagnetismo evidenzia come si realizza una sospensione non di equilibrio della grafite pirolitica, il superconduttore sembra essere in equilibrio.</p> <p style="text-align: center;">Vortici di <u>Abrikosov</u></p>  <p>Figura.6.7 Reticolo esagonale tipico coinvolto nei cosiddetti "Vortici di Abrikosov"</p>	<p>24 - Viene utilizzata una descrizione in termini di dipolo?</p> <p>25 - Quali modelli interpretativi emergono per spiegare l'effetto pinning?</p>
---	--

4. EFFETTO PINNING E TRENO MAGLEV

<p>S12. Esplorazione dell'interazione tra un magnete ed un campione di YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$ - superconduttore del II tipo) per determinare il tipo di materiale.</p> <p>Le linee di campo del sistema magnete + YBCO (a T ambiente)</p> <p>S13. [Raffreddamento con campo magnetico] detto FC Field Cooling</p> <p>Esplorazione del comportamento del sistema magnete + YBCO (superconduttore del II tipo con forte pinning) all'abbassarsi della temperatura nei due casi:</p> <p>S14.1. magnete poggiato sul disco di YBCO</p> <p>S14.2. con uno oggetto di plastica interposto</p> <p>Configurazione delle linee di campo dei sistemi dopo la</p>	<p>26 -In base a considerazioni di tipo teorico viene individuato e compreso l'insorgere di un legame particolare che si instaura tra magnete e superconduttore?</p> <p>27 - Quali modelli interpretativi emergono per giustificare la differenza di intensità di tale legame rispetto al caso precedente?</p>
---	--

<p>transizione.</p>	
<p>S15. [Raffreddamento in assenza di campo magnetico] detto ZFC ovvero Zero Field Cooling</p> <p>Raffreddare il campione di YBCO e poi provare ad avvicinare il magnete.</p> <p>S16. Un magnete in levitazione su un superconduttore YBCO (del II tipo con debole pinning) - il contributo della legge di Faraday- Neumann- Lenz in alcuni fenomeni connessi alla levitazione magnetica:</p> <p>S12.1. il magnete resta in levitazione e non cade sul superconduttore</p> <p>S12.2. per il magnete in levitazione esiste un unico asse di rotazione permesso, l'asse N-S magnetico del magnete</p>	<p>28 –In quale modo gli studenti riescono a spiegare i comportamenti osservati?</p>

5. MISURA DELLA RESISTIVITA' DI UN SUPERCONDUTTORE

<p>S17. Misura diretta della resistività di un campione di YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$ - superconduttore di II tipo) .</p>	<p>29 - Quali modelli interpretativi emergono per giustificare il crollo improvviso della resistività?</p>
--	--

CAPITOLO 7

Le sperimentazioni di ricerca sull'apprendimento della Sc nella scuola superiore

7.1 Introduzione

Si presentano qui i contesti in cui sono state condotte le sperimentazioni con gli studenti, discutendo le diverse modalità di lavoro con cui è stata implementata in classe la proposta didattica progettata.

7.2 I diversi contesti scolastici in cui sono state effettuate le sperimentazioni di ricerca con gli studenti

Il tema della superconduttività è stato proposto in sei classi del salernitano ed una della provincia di Udine. Nei quattro istituti statali del Salernitano Liceo Da Procida, Liceo Severi, Liceo Gatto di Agropoli e Liceo Da Vinci con due gruppi di studenti di classi V coinvolgendo 145 studenti e 4 insegnanti. Le lezioni erano di tipo espositivo con la dimostrazione l'ausilio di audiovisivi della levitazione ed esercizi per gli studenti. Tali interventi hanno avuto natura esplorativa in merito a come un testo divulgativo sul modo in cui la superconduttività attiva una comprensione efficace negli studenti di scuola superiore.

7.2.1. Il Liceo Scientifico Statale "A.Gatto" di Agropoli

Il Liceo Scientifico Statale "A.Gatto" di Agropoli è un istituto con una tradizione scolastica lunga e collaudata. Sorto come sezione abbinata al liceo classico, diventa autonomo nel 1972 e nel 1998 gli viene annesso il Liceo Classico, la cui istituzione risale agli anni '45/'46. Da allora tale Liceo è stato sempre un solido punto di riferimento culturale per tutto il territorio cilentano.

In questi anni, accanto alla normale attività didattica, che ha consentito a molti giovani diplomati di conseguire lusinghieri risultati negli studi universitari e nel mondo del lavoro, i Licei hanno promosso una serie di valide iniziative di carattere culturale che hanno coinvolto alunni e docenti, ricevendone pubblici ed apprezzati riconoscimenti.

Il bacino d'utenza dei Licei di Agropoli si identifica quasi completamente con il territorio del Distretto Scolastico n.58. Esso comprende paesi situati sulla costa e paesi delle zone interne, per cui si trova ad operare in un contesto socioeconomico e culturale eterogeneo, tale da influenzare l'attività educativa e didattica.

In particolare, sul territorio esistono tre macro-aggregati relativi ai Comuni di Agropoli, Capaccio e Castellabate e molti micro-aggregati relativi alle zone interne, che, nella maggior parte dei casi, contano

anche meno di 1000 abitanti e presentano strutturali difficoltà per raggiungere la sede dell'istituto, soprattutto in orario pomeridiano.

L'economia, essenzialmente rurale nelle zone interne, si fonda, in quelle costiere, soprattutto sul terziario; i contatti e gli scambi culturali, diffusi nella fascia costiera, grazie ad un'intensa e vivace attività turistica, da qualche anno stanno producendo, nelle aree più interne, un fiorire di iniziative culturali tese al recupero ed alla valorizzazione delle tradizioni e delle notevoli potenzialità ambientali, esaltate anche dalla recente istituzione del Parco Nazionale del Cilento e Vallo di Diano.

La programmazione didattica tiene opportunamente conto di tali rilievi, in particolare per alcune discipline, quali Lingue, Scienze, Storia e Storia dell'Arte ed attraverso attività curriculari e complementari, recepisce i nuovi bisogni formativi, anche in vista di opportunità alternative per l'inserimento nel mondo del lavoro. Negli ultimi anni si è registrata una sensibile crescita degli iscritti che oggi ammontano complessivamente a 1137 allievi, con un conseguente aumento delle classi, che sono arrivate alle attuali 53.

7.2.2 Il Liceo scientifico "Francesco Severi

Il Liceo scientifico "Francesco Severi" istituito negli anni sessanta sorse per rispondere alle crescenti esigenze culturali della zona Orientale della città di Salerno ed è una delle scuole storiche della città che oggi conta più di 1400 alunni e 51 classi.

Il terremoto del 1980 rese inagibile la sede e iniziò così per la comunità scolastica un lunghissimo periodo di tribolazioni. Il prefabbricato, finalmente ottenuto, sembrò una vittoria ma presto si rivelò per quello che effettivamente era: una sede temporanea di emergenza.

Con la consegna della sede definitiva nel novembre 1994 e con l'inaugurazione della nuova Palestra e dell'Auditorium, possiamo essere fieri di avere un vero e proprio campus studentesco pienamente rispondente alle esigenze dell'utenza e alla normativa sulla sicurezza.

Il Liceo prende il nome da Giovanni Da Procida, illustre figlio di Salerno, nato intorno al 1210 al sedile Portanova. Medico famoso già a trent'anni, definito negli atti ufficiali con il titolo *Da Procida*, per un feudo nell'isola di Procida intestatogli dal padre, Giovanni Da Procida colloca la sua esperienza di vita sullo sfondo di uno straordinario momento della storia del Mezzogiorno d'Italia e dell'Europa: Federico II, Manfredi, la Scuola Medica Salernitana.

7.2.3 Il Liceo scientifico " Da Procida"

Il Da Procida, dopo il Tasso, è il Liceo più antico di Salerno. Vanta ottantadue anni di storia (1), contraddistinta dal succedersi di molte generazioni di studenti, che qui si sono formate al rigore degli studi umanistici e scientifici, sotto la guida di educatori illuminati, di grande spessore professionale, culturale ed umano, mostrando forte senso di appartenenza, consapevolezza civica e critica, capacità di performances significative e di brillanti percorsi universitari e professionali. Un impegno continuo e condiviso ha portato il Da Procida a raggiungere, negli anni, elevati standard di qualità, riconosciuti e certificati, grazie anche alla particolare attenzione alla ricerca, all'innovazione ed alla sperimentazione.

La storia è importante, ma non può essere rendita parassitaria. La comunità scolastica è ben consapevole di questo. Il Liceo Scientifico Giovanni Da Procida non nasconde l'ambizioso obiettivo di svolgere un ruolo di orientamento e magistero culturale per i giovani e meno giovani di Salerno e provincia. Il Liceo è impegnato nel governare la difficile transizione della scuola italiana attraverso l'autonomia ed ora anche attraverso le trasformazioni introdotte dal riordino dei Licei. Gli obiettivi che intende raggiungere il Liceo sono :

- qualificare l'intervento didattico - educativo, puntando sulla qualità dell'insegnamento, sulla serietà della scuola, sull'efficienza dei servizi e sul rispetto delle regole di buona educazione e di civile convivenza democratica;
- sostenere le motivazioni personali degli allievi, sollecitandone lo studio, la frequenza scolastica e la partecipazione alla vita della scuola;

- fare gruppo, fare comunità, partecipando, confrontandosi, collaborando; guardare sempre più avanti, sempre più in alto, senza accontentarci di quanto già possediamo e senza pretendere di essere sempre nel giusto;
- migliorare l'organizzazione dei servizi scolastici ponendo al centro dell'attenzione l'utenza, nella logica gestionale della cultura organizzativa basata sul successo formativo;
- coniugare cultura e vita e offrire a tutti la possibilità di essere se stessi, di potersi esprimere secondo le proprie capacità, favorendo iniziative ed opportunità.

Tabella oraria di ciascuna sperimentazione

Istituto superiore	Numero complessivo di ore	Numero di incontri	Docente ospite
Liceo Scientifico Da Procida	10 ore	quattro incontri	Si
Liceo Scientifico Severi	6 ore	due incontri	Si
Liceo Scientifico Gatto di Agropoli	6 ore	due incontri	Si

I problemi di ricerca per queste sperimentazioni sono stati i seguenti:

RQ1 che caratteristiche devono avere i materiali divulgativi per essere proposti agli studenti?

RQ2. Quale ruolo può giocare un testo di divulgazione scientifica nell'apprendimento degli studenti di contenuti scientifici innovativi come quello della superconduttività?

E' stato predisposto un " testo studente" con una presentazione di tipo divulgativo della superconduttività E' stata esposta un'introduzione per rivedere alcuni aspetti riguardanti la conoscenza richiesta per apprendimento significativo delle proprietà di base di superconduttori : un modello di metallo , corrente elettrico , Ampere di legge e legge di Faraday - Lenz .

L' idea che sta dietro pone l'accento sulla differenza tra " superconduttore e conduttore perfetto ". Nel testo vengono presentate le loro diverse risposte all'applicazione di un campo magnetico esterno : superconduttori reagiscono ai campi magnetici statici (effetto Meissner), mentre i conduttori perfetti reagiscono solo ai cambiamenti in flusso magnetico (legge di Faraday - Lenz) . I passaggi di stato vengono resi evidente tramite l'uso ed il confronto tra i diagrammi stato di un sistema gas - liquido - solido con diagramma di stato di un superconduttore che presenta due stati: normale e superconduttore.

Questo viene fatto in modo qualitativo al fine di aiutare gli studenti a riguardare i contenuti già noti (cambiamento di stato) da un nuovo punto di vista e confrontare l'organizzazione molecolare acqua lar in ogni stato con il più alto grado di organizzazione elettronico che si verifica nel passaggio tra stato normale a stato superconduttivo. La levitazione viene resa palese anche qualitativamente attraverso l'uso di immagini e specchietti esplicativi.

7.2.4. Liceo Scientifico statale "Marinelli" di Udine

La scuola in cui è stata effettuata la sperimentazione nella provincia di Udine è il Liceo Marinelli, una delle più importanti scuole superiori di Udine e di più alto livello secondo i dati PISA e Invalsi.

Le sperimentazioni effettuate nelle scuole della provincia di Udine, hanno avuto la natura di sperimentazioni di ricerca per lo studio dei percorsi di apprendimento degli studenti.

In particolare è stata condotta una sperimentazione con 16 studenti (18 anni) di una classe di un liceo scientifico di Udine in 10 ore di attività di laboratorio svolte.

Più specificamente le domande di ricerca a cui si è cercato di dare risposta sono:

RQ1. Come studenti caratterizzano la levitazione SC e l'effetto Meissner?

RQ2. Quali riferimenti concettuali vengono utilizzati nella descrizione? Dipendono tali riferimenti dai contesti esplorati?

RQ3. Come si differenziano i modelli degli studenti nella descrizione dell'effetto Meissner e in quella dell'effetto pinning?

La sperimentazione è stata condotta nell'ambito del progetto IDIFO4 come parte del progetto di dottorato di ricerca ed è stato integrato e implementato nell'arco di una settimana scolastica ordinaria di un insegnante ospite in una classe composta da 15 studenti (13 femmine e 2 maschi). Nella valutazione del docente, effettuata secondo gli strumenti standard di monitoraggio la classe era stata valutata di livello medio in Fisica. Prima della sperimentazione gli studenti avevano seguito un corso ordinario triennale di fisica (3 ore a settimana) a base di insegnamento tradizionale e alcune sessioni di esperienze di laboratorio dimostrativo.

Gli studenti hanno affrontato il percorso sulla superconduttività dopo un'introduzione sulla interazione magnetica, campo magnetico e il flusso, le proprietà magnetiche dei materiali, induzione elettromagnetica e la legge di Faraday- Neumann-Lenz guidati dal loro insegnante di classe. Le attività di laboratorio didattiche sono stati condotti utilizzando 4 fogli di lavoro IBL tutoriali in 7,5 ore e 2 ore è stata dedicata alla prova di pre / post.

7.3 La struttura della sperimentazione di ricerca condotta nelle scuole di Udine

È stata condotta una sperimentazione con 16 studenti (18 anni) di una classe di un liceo scientifico di Udine in 10 ore di attività di laboratorio svolte.

Nella seguente tabella è presentata la struttura della proposta didattica sperimentata nelle classi di quinta liceo scientifico. Viene presentata sinteticamente qui sottolineando i concetti cardine via via sviluppati, le attività proposte agli studenti per focalizzarli su tali concetti, i problemi di ricerca che hanno costituito da un lato obiettivo per gli studenti e guida per la conduzione delle attività in classe e per l'analisi dati condotta successivamente all'intervento didattico.

Concetti	Attività	RQ
1. Magnetizzazione	Esplorazione interazione di un magnete con oggetti di materiali diversi	Come vengono riconosciute e distinte le diverse proprietà magnetiche dei materiali? Come viene interpretato lo stato magnetizzato? Come viene distinta la proprietà magnetica, dallo stato di magnetizzazione?
2. Campo magnetico	Esplorare lo spazio attorno ad un corpo magnetizzato, le interazione tra corpi magnetizzati. Misurare il campo magnetico	Come viene descritta l'interazione tra corpi magnetizzati? b) Come viene riconosciuta e descritta la natura vettoriale del campo magnetico?
3. Le linee di campo	Costruzione linee di campo con esploratore	Con quali criteri gli studenti costruiscono le rappresentazioni a linee campo? Che ruolo hanno nella loro costruzione concettuale? (rappresentazioni iconiche, strumenti formali?)
4. Deformazione delle linee di campo in presenza di ferromagneti	Analisi di come si modificano le linee di campo in presenza di un oggetto ferromagnetico	Quale ruolo viene attribuito agli oggetti ferromagnetici?
5. Attrazione/repulsione e rotazione	Esplorare lo spazio attorno	Come vengono descritte le diverse interazioni? Quale ruolo hanno campo magnetico, linee di campo, magnetizzazione in tali descrizioni?
6. Instaurarsi delle correnti indotte	Esplorazione dell'effetto che ha un magnete su una bobina quando lo si avvicina, lo si ruota, lo si fa aumentare di intensità	Come gli studenti riconoscono le correnti indotte? In quali situazioni le riconoscono? Quale ruolo gioca il flusso? la sua

		variazione nel tempo?
7. Effetto induttivo e condizioni dinamiche [levitazione Meissner]	Simulazione dell'esperienza della caduta di un magnete in un tubo metallico	Come viene in termini di variazione di flusso e forza di Lorentz? Quali spiegazioni microscopiche vengono date al fenomeno osservato? [perché in termini microscopici?]
8. Dipendenza della resistività dalla temperatura e breakdown della resistività nei SC	Misura della variazione di resistività di un superconduttore immerso in azoto liquido	Come viene descritta? Quali modelli vengono attivati? Vengono legate proprietà magnetiche ed elettriche degli SC?

Più specificamente le domande di ricerca a cui si è cercato di dare risposta sono:

RQ1. Come studenti caratterizzano la levitazione SC e l'effetto Meissner?

RQ2. Quali riferimenti concettuali vengono utilizzati nella descrizione? Dipendono tali riferimenti dal contesto esplorato?

RQ3. Come si differenziano i modelli degli studenti nella descrizione dell'effetto Meissner e in quella dell'effetto pinning?

La sperimentazione è stata condotta nell'ambito del progetto IDIFO4 da uno di noi come parte del suo progetto di dottorato di ricerca ed è stato integrato e implementato nel tempo settimana scolastica ordinaria di un insegnante che ha collaborato in un ultimo grado classe composta da 15 studenti (13 femmine e 2 maschi). Nel precedente valutazione del docente, effettuata secondo gli strumenti di monitoraggio standard, la classe è stata valutata di livello medio in Fisica. Prima della sperimentazione gli studenti hanno fatto un corso ordinario triennale di fisica (3 ore a settimana) a base di insegnamento tradizionale e alcune sessioni di esperienze di laboratorio dimostrativo. Gli studenti hanno affrontato il percorso sulla superconduttività dopo un'introduzione sulla interazione magnetica, campo magnetico e il flusso, le proprietà magnetiche dei materiali, induzione elettromagnetica e la legge di Faraday-Neumann-Lenz guidati dal loro insegnante di classe. Le attività di laboratorio didattiche sono stati condotti utilizzando 4 fogli di lavoro IBL tutoriali in 7,5 ore e 2 ore è stata dedicata alla prova di pre / post. Strumenti e metodi

CAPITOLO 8

Analisi dati

8.1 Introduzione

Nel presente capitolo viene analizzata in dettaglio la sperimentazione di ricerca condotta in Udine. Viene presentato lo schema di attuazione del percorso e il contesto. Viene discussa la metodologia di analisi dei dati. Vengono quindi presentati e discussi i dati. In conclusione di riepilogano i principali risultati ottenuti.

8.2 Il percorso didattico attuato

Il percorso didattico attuato ha tradotto operativamente quello progettato secondo lo schema sotto riportato.

NUMERO ORE PREVISTE: 10 (1 ora L.F. + 1 ora EXP.+ 2 ore L.I. + 4 ore LAB. + 2 ore QU.)

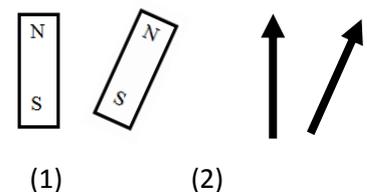
Fasi	Articolazione dell'attività didattica	Strategie	ore
1	Somministrazione questionario iniziale- Concetto di campo magnetico e relative modalità di rappresentazione - Uso della bussola –	<u>QU.+LAB.</u> : Tramite l'uso della bussola si traccia il disegno su un foglio A4 delle linee del campo magnetico generato da un magnetino GeoMag – Stesso procedimento per quello generato da due magneti con poli opposti e poli omologhi affacciati	2
2	Visualizzazione linee campo magnetico <i>Crucialità</i> differenza tra linee di forza \vec{B} vettore di dipolo – Materiali dia para e ferromagneti - <i>Esperienza:</i> Magnete in caduta libera e discussione forza elettromotrice indotta e ruolo correnti indotte	<u>L.I. + EXP.</u> : Si utilizzano gli evidenziatori: limatura di ferro, matrice ad aghi e lamina verde a gel per risaltare l'andamento di un campo magnetico – Esplorazione comportamento paramagneti e diamagneti tramite magnete su di un giogo montato <u>LAB</u> : Registrazione dei tempi di caduta di un magnete in tubi di diverso materiale: rame puro, ottone ed alluminio.	2
3	Definizione del comportamento superconduttivo – Campione superconduttivo di YBCO - Effetto Meissner e Levitazione	<u>L.F. + LAB</u> : Si introduce il concetto di superconduttività assenza di resistività e campo magnetico nullo - Uso dell'azoto liquido <u>Lavoro per casa</u> : redigere una relazione scritta su Effetto Meissner e levitazione magnetica in	2

	magnetica	modalità: vedo-osservo-spiego	
4	Discussione sull'Effetto pinning + Treno MagLeve sue caratteristiche	<u>L.I. + LAB.:</u> Si mettono in pratica delle tecniche efficaci di ancoraggio tra magnete e superconduttore - effetti della presenza di difetti e di impurezze – Visione di un campione tipico di trenino MagLev	2
5	Misura della resistività di un campione superconduttivo + Somministrazione questionario finale <i>Crucialità</i> visione diretta  netta transizione di stato	<u>LAB. + QU.:</u> Tramite il SW in dotazione si prendono in visione direttamente sul computer gli andamenti resistenza-temperatura per un campione di YBCO in salita ed in discesa	2

Più in dettaglio questa è stata la sequenza degli incontri svolti, dei temi trattati è di seguito specificato:
Primo incontro

1° h somministrazione agli allievi divisi in tre gruppi abbastanza omogenei tra di loro del questionario iniziale

1 h Rivisitazione di concetti di magnetismo ed elettromagnetismo (già introdotti dal docente con della classe con approccio tradizionale). Introduzione del concetto di campo magnetico come regione di spazio tridimensionale in cui si manifestano degli effetti magnetici e modi alternativi di rappresentazione tramite l'esplorazione del campo magnetico prodotto da magneti singoli e copie di magneti per costruirne la rappresentazione attraverso le linee di campo magnetico e l'idea di sovrapposizione di campi



Analisi delle proprietà magnetiche dei magneti e loro caratterizzazione tramite i vettori di dipolo magnetico (fig. 2).

Si propone la seguente situazione: disponendo in laboratorio di un magnete e di un altro cilindro metallico molto simili tra loro, avendo appurato che una volta avvicinati, si osserva che prima si attirano e poi si attaccano l'uno all'altro, si pone la seguente domanda: la procedura in base alla quale si stabilisce se entrambi i cilindri sono due magneti.

Si mira a far riconoscere la presenza dei poli magnetici in un magnete permanente e l'insorgere di tali poli in un oggetto ferromagnetico in presenza di un magnete.

Uso della bussola come strumento per esplorare il campo magnetico e individuare la direzione nord-sud tramite un ago calamitato e sua proprietà di allinearsi lungo le linee magnetiche del campo magnetico terrestre

Analogie fra campo elettrico e magnetico (quali) e differenze (non esistenza dei monopoli magnetici).

Esperienza di Oersted - bussola posta vicino ad una filo percorso da corrente che evidenzia l'esistenza del campo magnetico generato da una corrente elettrica

Concetto di flusso magnetico esplorato

Il flusso magnetico è una grandezza scalare, definita come flusso dell'induzione magnetica. Essa dipende dall'angolo d'incidenza delle linee di campo, dal valore della permeabilità magnetica e dall'area della superficie stessa.

Secondo incontro

Esplorazione delle linee di campo magnetico prodotto da un magnete utilizzando tre diversi esploratori: limatura di ferro; matrice ad aghi lamina verde a gel e indicatori ferromagnetici.

Costruzione delle linee di campo magnetiche tramite l'ausilio delle bussole poste su un foglio da disegno del campo magnetico generato da: un singolo magnete, due magneti con poli omologhi ed opposti affacciati.

Diverso comportamento dei materiali all'applicazione di un campo magnetico esterno e relativa suddivisione in ferromagneti, paramagneti e diamagneti. Per evidenziare i piccoli effetti di interazione tra magneti e oggetti paramagnetici e diamagnetici ordinari si sospendono questi ultimi su un gioco sospeso a un filo realizzando un pendolo di torsione. Si esplora il comportamento di:

Cilindretti di ottone; Cilindretti di Alluminio; Vecchie monete da 200 lire; un tubicino di rame; due boccette riempite una di acqua ed un'altra di alcool denaturato; tubicino di stagno; due boccette una vuota e l'altra riempita da polvere di alluminio.

Inoltre separatamente si potevano rinvenire anche la limatura di bronzo; mine di grafite semplice; sottile strato di grafite pirolitica.

In particolare con quest'ultima la grafite pirolitica si osserva la levitazione su un supporto fatto da un quadrupolo magnetico.

Alla fine di questa lunga fase di esplorazione delle proprietà di risposta dei materiali all'applicazione di un forte campo magnetico si richiede agli allievi di classificare secondo le modalità viste in precedenza il comportamento di un materiale nuovo: l'YBCO una lega di Y Ba Cu ed O e ne è stata accertata la sua natura paramagnetica.

Esplorazione del comportamento dell'YBCO a T ambiente e all'abbassarsi della temperatura tramite l'uso di azoto liquido.

L'evidente fenomeno di levitazione caratterizza la natura diamagnetica dell'YBCO. Si esplorano diverse configurazioni per osservare le modalità in cui avviene la levitazione del magnetino al di sopra del superconduttore immerso in azoto liquido.

Si esplora il comportamento magnetico dei materiali superconduttori.

Misura dei tempi di caduta di un magnete all'interno di tubi di diverso materiale: rame puro, ottone e alluminio, per riconoscere l'insorgenza delle correnti parassite e il ruolo della resistività del materiale nel determinarne la diversa intensità.

Terzo incontro della sperimentazione in superconduttività

1° ora continuazione scheda 2 sull'esplorazione sperimentale del comportamento dei materiali ferro, para e diamagnetici e del comportamento di un campione di superconduttore YBCO ($YBa_2Cu_3O_7$) con l'ausilio di azoto liquido. [cioè cosa si esplora? per fare che cosa? per imparare che cosa?]

In seguito agli allievi è stata proposta un'attività in cui un rappresentante di ogni gruppo illustrasse in modo chiaro tutte le fenomenologia fin qui vista in un percorso di idee di tipo esplorativo.

Dall'assunzione che l'YBCO si comporta da paramagnete successivamente (aspetto visto poi nella pratica) passando per la levitazione del magnetino al di sopra di un superconduttore (effetto Meissner) alla differenza tra quest'ultimo fenomeno e la levitazione della grafite pirolitica al di sopra di un quadrupolo magnetico.

In seguito è stata sollevata una questione non di poco conto: che la levitazione fosse appannaggio di tutti i materiali diamagnetici e non degli altri.

Per questo motivo è stata proposta un'esplorazione in senso contrario per accertarsi che solamente l'YBCO si comporta in modo previsto

- paramagnete a temperatura ambiente
- diamagnete al di sotto della sua temperatura critica.

La discussione è andata avanti passando in rassegna l'altro fenomeno visto in precedenza: la caduta di un magnete all'interno di tubi di diverso materiale: rame, ottone ed alluminio e discussione sul ruolo delle correnti superficiali in un superconduttore.

2° ora Visione di una breve presentazione (file.ppt)

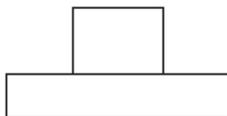
superconduttività, fenomenologia, differenze tra superconduttore e conduttore perfetto, due categorie dei superconduttori, correnti superficiali, parametri critici di un superconduttore, Cosa succede microscopicamente in un superconduttore? e cenni di teoria BCS.

Nell'ultima parte dell'ora sono state provate alcune tecniche di impinnaggio efficaci.

COMPITO A CASA: redigere singolarmente una relazione scritta sull'effetto Meissner che dà vita alla levitazione di un magnetino al di sopra di un superconduttore secondo una modalità consolidata: cosa faccio; cosa osservo; come lo spiego.

Quarto incontro della sperimentazione in superconduttività (orario 11.10-12.05) al liceo G. Marinelli in Udine (15 allievi divisi in tre gruppi di lavoro) esplorazione sperimentale in un campione di superconduttore YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) con l'ausilio di azoto liquido alla ricerca dell'effetto pinning e di ben determinate procedure per metterne in risalto la sua diversa natura rispetto all'effetto Meissner.

1° procedura: preso un recipiente di polistirolo ed una pasticca di YBCO a forte pinning



è stato indagato il comportamento del materiale dopo aver versato azoto liquido. Buona parte degli allievi è rimasta meravigliata non vedendo l'insorgere del Meissner ma invece l'instaurarsi di un vincolo forte tra magneti e YBCO.

2° procedura: stesso procedimento di prima ma in modo separato (è da notare che tutto ciò è stato suggerito da un'allieva).

Prima si versa l'azoto liquido si attende che il sistema transisca verso la fase superconduttiva ed in seguito provando ad avvicinare il magnetino si osserva che esso viene in ogni caso respinto, quindi l'insorgere del Meissner.

Su invito di un allievo è stato successivamente provato a spingere con forza il magneti sulla faccia superiore dell'YBCO e si è notato il manifestarsi dell'effetto pinning.

Da tutte queste prove è stato mostrato che Meissner e pinning sono complementari ma non antagonisti ed esistono ben definite procedure per metter in risalto o l'uno o l'altro.

In seguito è stato mostrato in miniatura il treno Mag Lev ossia una rotaia ed un vagoncino mobile al di sopra.

Da questo esempio si nota in pieno l'importanza dell'effetto pinning, in quanto cercando di spostare a destra e a sinistra o capovolgendo il vagoncino esso rimane sempre ancorato sulla rotaia.

8.3 Metodologia di analisi

Gli apprendimenti degli studenti sono stati monitorati con le schede di lavoro e il test (pre/post test) descritti nel precedente capitolo e riportate in appendice.

L'analisi delle risposte aperte è stata eseguita secondo i criteri di analisi qualitativa (Citare), individuando qualitativamente i differenti modi alternativi in cui gli studenti concettualizzano il fenomeno della superconduttività, nella prospettiva della metodologia di analisi fenomenografica di Marton (1986). Le categorie sono state costruite identificando:

- le risposte interpretative (quali modelli scientifici o elementi di tali modelli sono inclusi? Qual è il raggio di coerenza rispetto all'insieme dei fenomeni esplorati?)
- le risposte in cui si esprimono modelli descrittivi (quali aspetti si focalizzano)
- le risposte naive (le tipiche risposte degli studenti)

Gli aspetti che sono stati privilegiati durante la fase analisi hanno riguardato il modo in cui come gli studenti analizzano l'interazione magneti-superconduttore a T ambiente e a $T = T_{NL}$, come caratterizzano lo stato superconduttivo, l'effetto Meissner, l'effetto pinning e come lo distinguono dall'effetto Meissner?

8.4 Analisi dei dati

Di seguito vengono presentati e discussi i dati raccolti dai tre strumenti di monitoraggio qui presi in considerazione per ogni nodo concettuale specifico esposto.

WS1a proprietà magnetiche dei materiali. Dopo una libera esplorazione dell'interazione di un forte magnete con barre fatte da alluminio, rame, ferro, legno ..., studenti richiesta di classificare le proprietà magnetiche dei materiali. Sono classificati in queste proprietà in base a tre criteri: A - Proprietà assunto nei confronti di un magnete si avvicina: "diventare" buono o non buono magneti (7/15 - Ferro "diventare buoni magneti, l'attrazione è forte", para-"che rimanga debole magnete ", dia-" debole campo magnetico "); B esplicazione degli effetti (attrazione / repulsione) e l'integrazione delle linee di campo e le rappresentazioni dipolo magnetico vettoriali (4/15, come nella figura riportata 4); C - Tipo di interazione con un magnete (4/15 - "attrazione, attrazione debole, repulsione").

L'attenzione, nel caratterizzare univocamente il tipo di materiale, sia su un singolo aspetto una parte da 1/4 studenti (criteri B) fenomeno collega, modello di interazione, proprietà magnetiche.

WS1b proprietà magnetiche di un YBCO a $T = T_{env}$ stato proposto Tenv.The classificazione del YBCO a $T = T_{env}$ analizzando l'interazione di un magnete e YBCO dischi sospesi all'estremità di un giogo.

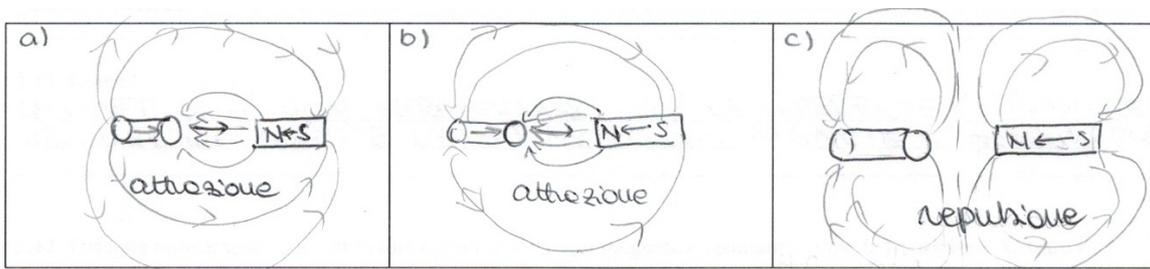


Figura 8.1 Esempio di criterio B della classificazione delle proprietà magnetiche: le linee di campo e di rappresentanza vettore impulso magnetico è accompagnato dal fenomeno osservato (attrazione, attrazione, repulsione, rispettivamente).

Tutti gli studenti classificano l'YBCO a T_{env} come un materiale paramagnetico rispondendo in due modi:

A) l'interazione con un magnete e una linee di campo vicino (8/15), come nel seguente esempio: "il materiale in sospensione in una struttura idonea è paramagnetica (attratto dal magnete) e lascia le linee del campo passano ".

B) il cambiamento di comportamento magnetico con la temperatura (7/15), essendo un materiale "variabile magnetismo", perché "dipende dalla temperatura": ". Alla T_{env} ha un comportamento paramagnetico diventa diamagnetico a basse temperature".

WS1C-Magnete e YBCO a $T = T_{env}$: Rappresentazione linee di campo. Tutti gli studenti rappresentano le linee di campo fuori del magnete, compresa la zona interna dell' YBCO. Nella maggior parte dei casi l' YBCO non influenza il campo (11/15 - fig 5a), in alcuni casi, influenzare il campo, causa la presenza di un vettore di magnetizzazione indotta nel materiale (3/15 - Fig.5b).

2.7. - Disegna le linee di campo del sistema



Figura 8.2 Un magnete poggiato su un disco YBCO a temperatura ambiente: Esempi di linee di campo.

Si può osservare che gli studenti non implicano alcuna linee del campo all'interno del magnete, coerentemente con il fatto che la continuità delle linee di campo all'interno del magnete non emergono dalla fenomenologia, pur essendo legate alla natura dipolare di magneti. WS1d-e-f - magnete su un disco YBCO a $T = T_{NL}$. Studenti esplorato l'interazione tra un piccolo magnete e un disco YBCO, quando viene raffreddato in azoto liquido ($T = T_{NL}$). Hanno risposto a tre domande: 2.8 Descrizione del fenomeno osservato. 2.9 Come cambiare l'interazione? 2.10 come e perché cambiare le proprietà magnetiche del YBCO?. Gli studenti risposte possono essere divisi in tre gruppi: A) (9/15) c'è un "forte repulsione" (2,8: "La risposta del materiale all'avvicinarsi del magnete è una forte repulsione, infatti si verifica la levitazione"), e quindi YBCO è cambiato "2.9: da paramagnete a diamagnete ". Tre diversi vengono fornite spiegazioni: perchè 2.10: E non è più attraversato da linee di campo, è possibile visualizzare attraverso l'esperimento con magnete e l'anello ferromagnetico "(5/9)," cambiare i domini di Weiss, ma non so come "(2/9) o semplicemente" diventa un diamagnete "(2/9). B) (3/15) il YBCO acquisire proprietà diamagnetici (2.8: "Il campione di YBCO diventa diamagnete e un piccolo magnete posto sopra rimane sospesa"), 2,9: "Ha cambiato la sua resistività", 2.10: "cambiare la sua temperatura", "diventa un superconduttore".

C) (3/15) 2.8: "i magnetica attrazione aumenti", 2.9: "Le proprietà della crescita magnete" (2/3), le proprietà dei cambiamenti YBCO (1/3), 2.10: "Le proprietà di YBCO cambiate, agisce come uno schermo magnetico ", "diventa diamagnetico ".

Studenti prevalentemente (Cat. A) sottolineano il tipo di interazione ("forte repulsione"), l'assenza di linee di campo attraverso un disco YBCO a T_{NL} e giustificare questo con una variazione delle proprietà magnetiche del YBCO. In alcuni casi (cat B) attribuiscono il fenomeno classificare le nuove proprietà magnetiche del materiale che collegano proprietà magnetiche ed elettriche. Il restante (cat. C), rispondendo a 2,9 domanda, non lo stress sulla evidente effetto repulsivo, ma piuttosto sottolineare la presenza di un effetto attrattivo, effettivamente presente in questo tipo di superconduttori come pinning residua, in alcuni casi aggiungendo che anche l' proprietà del magnete vengono migliorate. Per questi studenti sembra che la stabilità di levitazione è un problema cruciale, piuttosto li la repulsione evidente in sé. L'analisi delle condizioni di stabilità di levitazione è importante ma presenta aspetti geometrici / contestuale non cruciali per comprendere il processo alla base della superconduttività. Per costruire un modello concettuale in grado di descrivere i fenomeni, è necessario distinguere i due processi diversi fenomeni dell'effetto Meissner e dell'effetto pinning e il ruolo dei due effetti in relazione al tipo di superconduttore coinvolti. Due diversi percorsi di ragionamento potrebbero essere individuate su come gli studenti collegano fenomeni e modelli: il fenomeno guidare il modello (cat A prevalentemente - proprietà diamagnetico di YBCO è legato al riconoscimento dell'effetto repulsivo, che è associato a un comportamento diamagnetico); Il modello guidare l'analisi del fenomeno (cat B e C - il riconoscimento delle proprietà diamagnetici spiegare la levitazione osservata).

Il 1/3 del campione evocando le variazioni della resistività del YBCO e nei domini di Weiss superiore al semplice descrizione fenomenologica suggeriscono possibili modelli interpretativi. Attività di modellazione può aiutarli a chiarire la coerenza dei propri modelli. Queste attività sono utili per tutti gli studenti di superare l'approccio descrittivo fenomenologico puro evidenziato in 2/3 del campione e distribuito sui tre gruppi.

Inizio lavori risposta alle domande: Per quanto riguarda l'effetto Meissner: A) Cosa avete osservato? B) Spiegare in termini di linee di campo e / o di moto dipolo magnetico.

Gli studenti analizzano la situazione a $T = T_{NL}$, nei seguenti modi:

A) cambiate nel YBCO proprietà secondo la catena: osservazione di levitazione proprietà diamagnetici («La levitazione osservati indicano che le repulsione proprietà di YBCO vengono modificate come l'effetto è repulsiva ne consegue che è diventato diamagnetico.») (6/15);

B) levitazione, pari al YBCO secondo la YBCO connessione diventa diamagnete diventa diamagnetico e questa è l'origine del fenomeno della levitazione del magnete (5/15), in 3/5 casi, aggiungendo anche che $R = 0$.

C) secondo una frase come "YBCO respinge il magnete con una forza che è uguale alla forza peso" (2/15) o il "YBCO diventa diamagnetico" (2/15).

Un totale di 12/15 studenti sottolineano l'diamagnetismo di YBCO.

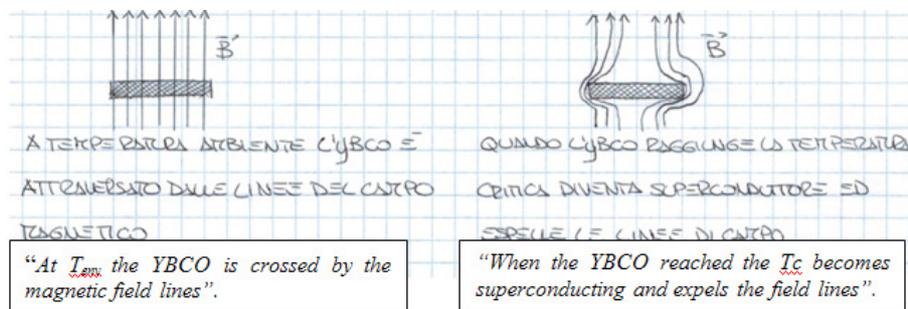


Figura 8.3 Tipico disegno che fa uso dei criteri A e B.

Una spiegazione è stata inclusa da 12/15 studenti, più spesso in termini di linee di campo (8/12): l' YBCO a $T = T_{env}$ è stata accerchiato dalle linee del campo (era paramagnetica) in T_{NL} espelle le linee di campo, in 3 casi aggiungendo che ciò è dovuto alle correnti superficiali (5/8); le linee di campo non attraversano la YBCO, il YBCO proiettato le linee di campo (2/8); linee di campo intrappolati (1/8). In alcuni casi si tratta solo di ricordare: "diventa diamagnetica" (3/12) o semplicemente che «questo effetto [levitazione] chiama effetto Meissner» (1/12). I rimanenti 3/15 degli studenti descrivono solo l'effetto repulsivo tra il magnete e il superconduttore.

Post test. Qui è considerato solo come 11/5 studenti nel post-test rappresentano le linee di campo e spiegare il caso di un disco con resistenza nulla inserita in un campo omogeneo

A) "Avendo resistività nulla possiamo dire che il materiale è un superconduttore. Ciò significa che realizza un perfetto diamagnetismo: genera quindi un momento magnetico che si oppone al campo magnetico esterno, in modo da espellere completamente. All'interno non sono presenti linee di campo" - in originale in fig.8 (6/15)

B) "Un materiale che presenti resistività nulla è un corpo in cui tutti i domini sono orientati verso il campo magnetico in cui è immerso e poi il campo magnetico risultante è uguale alle linee esterne e dirigendosi verso destra il polo nord del corpo sarà al fianco e il sud a destra. il dipolo magnetico vettore avrà una direzione parallela al campo magnetico e la direzione opposta" (2/15).

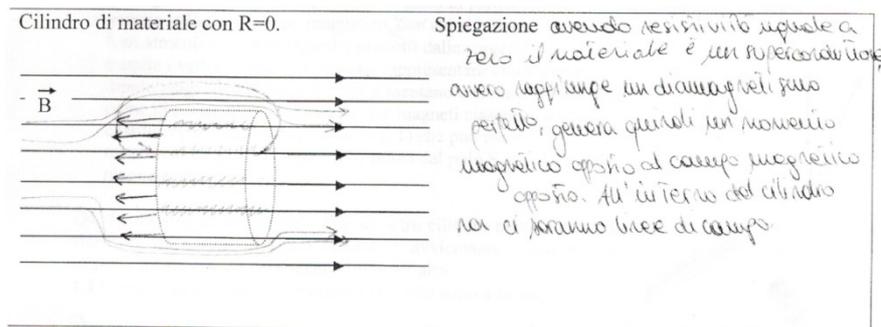


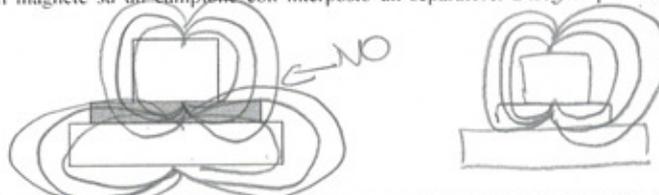
Figura 8.4 Risposta alla domanda presente nel post test

C) "Non avendo resistività esso non interagisce con il campo".

Le risposte di tipo A) e B) confermano la prova del legame tra proprietà elettriche e magnetiche dell' YBCO. Le prove di questo tipo avvalorano l'idea di un collegamento tra resistenza e l'assenza di attriti meccanici presenti all'interno, assenza di resistenza/assenza di interazione, emerse in altro studio (3/15).

WS2 - effetto pinning. Tutti gli studenti caratterizzati l'effetto pinning, evidenziando che "il magnete rimane attaccato all'YBCO", differenziandolo nella maggioranza dei casi (12/15) dall'effetto Meissner come tale si manifesta sempre in una repulsione, sia quando il magnete è inizialmente YBCO, sia se si è portato dopo $T = T_{NL}$. Nel YBCO evidenziando effetto pinning, se viene raffreddato lontano dal magnete, viene respinto dalla YBCO, altrimenti rimane "attaccato". 12/15 studenti sottolineano inoltre che l'effetto Meissner è ancora presente, ma l'effetto pinning prevale. Se gli studenti distinguere i due effetti nella loro descrizione, la rappresentazione del campo di linee di evidenza che gli studenti non hanno elaborato un modello indipendente per spiegare l'effetto pinning, come emerge in figura 7.

3.6. A temperatura ambiente, poggia il magnete su un campione con interposto un separatore. Disegna qui sotto il campo magnetico.



3.7. Raffredda versando azoto liquido, aspetta la fine dell'ebollizione. Dopo aver rimosso il separatore prova ad allontanare il magnete. Ci riesci? | Si | No Perché, secondo te? Prova a dare una spiegazione

Se ho il YBCO potenziato non riesco a separarli perché prevale il pinning. Al contrario con il YBCO normale riesco a staccarli perché prevale l'effetto Meissner.

Figura 8.5 Rappresentazione delle linee di campo nel caso dell'effetto pinning.

8.5 Risultati ottenuti

Dai dati emerge che in prevalenza (12/15) gli studenti caratterizzano la levitazione SC come conseguenza delle proprietà diamagnetiche acquisite dal YBCO spiegando anche che in alcuni casi il campione diventa un superconduttore o che la sua resistenza scende a zero. In alcuni casi (3/15) rimangono a individuante livello fenomenologico solo il sistema di forze che può garantire la condizione levitazione (YBCO respinge il magnete con una forza che è uguale alla forza peso). Per alcuni studenti il problema della stabilità è cruciale e sottolineano la presenza dell'effetto pinning residua anche quando l'effetto Meissner è prevalente. Ciò

indica la necessità di sottolineare la presenza dei due effetti nel caso del superconduttore ad alta temperatura come YBCO, ma allo stesso tempo di distinguere tra i due effetti e costruire un semplice approccio interpretativo ai fenomeni. (RQ1)

Gli studenti utilizzano come riferimento concettuale nella loro descrizione dell'interazione prevalentemente il concetto di campo. Per quanto riguarda la descrizione delle proprietà magnetiche, l'esplorazione sistematica del meccanismo per cui un magnete interagisce con oggetti diversi attiva un uso prevalente della rappresentazione del vettore di dipolo magnetico, aspetto non è emerso in precedenti ricerche.

Le due descrizioni sono del tutto equivalenti, ma vengono utilizzate dagli studenti in contesti diversi (RQ2). Come emerso in precedenti studi [15], alcuni studenti indicano che un conduttore con resistenza zero è completamente trasparente al campo magnetico. Questo tipiche idee, testimoniate dagli studenti prima di analizzare i fenomeni superconduttivi permangono tuttavia anche dopo l'esplorazione personale in laboratorio quando gli studenti dimostrano di non legare assieme le proprietà magnetiche a quelle elettriche in materiali superconduttivi quali l'YBCO (RQ2).

Infine gli studenti sono stati in grado di distinguere a pieno l'effetto Meissner e l'effetto pinning ma non risultano in grado di costruire modelli in cui si evinca l'utilizzo di un quadro interpretativo caratterizzante l'effetto pinning (RQ3).

8.6 Conclusioni

Nella prospettiva di rinnovare i programmi della scuola secondaria superiore, la superconduttività è un contesto fenomenologico impegnativo, che può essere avvicinato da attività IBL nell'ambito della scuola, importante sia per le applicazioni tecnologiche, sia dal punto di vista teorico che nell'ottica di colmare il gap esistente tra fisica classica e fisica quantistica.

E' stato progettato ed implementato un percorso didattico integrando lo studio della superconduttività ad argomenti curriculari legati all'elettromagnetismo classico, utilizzando un approccio fenomenologico basato su attività pratiche di tipo esplorativo ed esperimenti elementari. E' stata eseguita una prova di fattibilità con più di 350 studenti appartenenti alle ultime classi di istituti superiori in scuole italiane.

Al fine di evidenziare i modelli attivati dagli studenti di fronte alla fenomenologia dei superconduttori è stato portato a termine un esperimento di ricerca all'interno di una classe composta da 16 studenti (18 anni) di un Liceo scientifico di Udine nell'arco di 10 ore di attività di laboratorio. Sono stati utilizzati fogli di lavoro IBL Stimoli e test inseriti in pre-post test al fine di monitorare lo sviluppo concettuale di apprendimento degli studenti.

È emerso che gli studenti prevalentemente attivano il legame tra la comparsa dello stato superconduttivo e le proprietà diamagnetiche acquisite dall'YBCO al di sotto della temperatura critica. Per spiegare questo cambiamento gli studenti cercano un'interpretazione appellandosi anche ad un legame tra proprietà magnetiche ed elettriche di superconduttore, ma è emerso che non collegano questi concetti in modo generalizzato.

Nel complesso il modello teorico utilizzato dagli studenti si rifà alla presenza delle linee di campo magnetico o di un vettore di dipolo magnetico secondo una prospettiva culturale in cui si riferiscono rispettivamente:

- A) la levitazione di un superconduttore nella sua evidenza fenomenologica;
- B) i cambiamenti nelle proprietà dell' YBCO non appena viene raffreddato in azoto liquido.

Esclusivamente da un punto di vista fenomenologico è possibile distinguere l'effetto pinning dal Meissner, anche se gli studenti non fanno derivare le loro affermazioni da un modello teorico indipendente capace di spiegarne le differenze. Questo punto sarà particolarmente esplorato in future ricerche da un lato di individuare le difficoltà di apprendimento degli studenti e il percorso di apprendimento e modificare il percorso di focalizzazione sul effetto pinning. Dal presente lavoro emerge la necessità di sottolineare la presenza del Meissner e l'effetto pinning. Allo stesso tempo, nel caso del superconduttore ad alta temperatura come YBCO, ma allo stesso tempo di distinguere tra i due effetti e costruire una semplice approccio interpretativo ai fenomeni.

Cap. 9 Riflessioni conclusive

La ricerca discussa in questa tesi verte sulla ricostruzione didattica (MRE, cap. II) delle tematiche riguardanti la superconduttività e in particolare le proprietà dei materiali superconduttori. Il progetto di ricerca si è incentrato sullo sviluppo di una proposta didattica sull'insegnamento/apprendimento dello specifico argomento qui considerato realizzato secondo la *Design Based Research*. Sperimentazioni di ricerca sono state realizzate per studiare la progressione degli apprendimenti degli studenti.

Scopo della ricerca è stato quello di chiarire gli elementi dell'insegnamento/apprendimento della superconduttività nella scuola superiore. Alla luce di questa finalità sono stati utilizzati quadri di riferimento teorici, conoscenze disciplinari e dati empirici in quanto utilizzabili nella progettazione didattica. In questi termini si sono affrontati le sfide poste dalla progettazione di un percorso da utilizzare in contesti scolastici. In questo senso la ricerca illustrata in questa tesi fornisce quindi un esempio di come la progettazione può contribuire a ridurre il gap tra teoria e pratica didattica, che è uno degli aspetti considerati nel quadro di riferimento della *Design Based Research*.

Il lavoro di ricerca è stato organizzato secondo le tre componenti principali della *Design Based Research*:

- 1) analisi preliminare;
- 2) ciclo di progettazione, sperimentazione, valutazione, revisione;
- 3) costruzione di conoscenza didattica dell'argomento in termini di un percorso.

L'approccio *DBR* adottato nella ricerca intreccia la riflessione disciplinare, la ricerca in contesto sull'interazione tra i processi di insegnamento e apprendimento, lo sviluppo di curricolo su piccola scala, consentendo di discutere le domande di ricerca attraverso un collegamento sistematico tra teoria e prassi didattica che ha rafforzato coerenza e flessibilità del processo progettuale.

1) Analisi preliminare

La progettazione didattica ha avuto come punto di partenza una analisi disciplinare, storica, epistemologica, e pure della letteratura di ricerca didattica sulla superconduttività. L'analisi disciplinare ha individuato come nuclei concettuali rilevanti:

- a) la natura diamagnetica dei superconduttori;
- b) Le peculiari modalità con cui un superconduttore interagisce con in magnete;
- c) la intrinseca connessione tra proprietà elettriche e magnetiche nei superconduttori.

Dalla discussione della letteratura didattica è emerso:

- a) la validità didattica dell'approccio laboratoriale allo studio dei materiali superconduttori che consente di fondare i concetti partendo dalla fenomenologia,
- b) la necessità di potenziare l'aspetto interpretativo per chiarificare le relazioni tra proprietà elettriche e magnetiche.

Elementi chiave per aiutare gli studenti a superare le difficoltà di apprendimento sono:

- a) la legge dell'induzione elettromagnetica come quadro concettuale preminente per interpretare l'effetto Meissner il quale nei modelli macroscopici basati sulle proprietà elettriche assume un ruolo centrale in quanto determina la risposta dei materiali superconduttori all'applicazione di un campo magnetico esterno,
- b) campo elettrico non solo come ente responsabile del movimento dei portatori di carica, ma anche come vettore del trasferimento di energia nel circuito, che rende conto della caratteristica del circuito di essere un sistema di elementi interagenti.

Questi elementi sono importanti anche per la comprensione dei fenomeni della conduzione elettrica da parte degli studenti. Infatti i corsi liceali forniscono relazioni matematiche (ad esempio per quanto riguarda la legge di Lenz o la legge di Joule) che gli studenti manipolano formalmente, senza guadagnare una comprensione concettuale profonda e articolata anche sul piano microscopico dei contenuti fisici sottostanti (Stocklmayer & Treagust, 1996).

2) Ciclo di progettazione, sperimentazione, valutazione, revisione

Sulla base degli aspetti individuati nella fase di analisi preliminare, sono state progettate le attività per gli studenti e per gli insegnanti. In questa fase empirica della ricerca sono state studiate: le strategie di ragionamento degli studenti di scuole superiori impegnati in contesti formali e informali nelle attività progettate. In funzione delle differenti necessità e scenari della ricerca sono state adottate modalità di analisi qualitativa dei dati raccolti.

I dati analizzati provengono dalle schede compilate dagli studenti, dalla osservazione diretta dei processi di insegnamento/apprendimento e dalla loro discussione. L'analisi dei dati ha fornito gli elementi per la valutazione dei processi di apprendimento e delle attività, delle strategie quali ciclo POE e inquiry guidato, dei materiali a supporto della didattica, e ha consentito la conferma/disconferma delle ipotesi preliminari e la formulazione di nuove ipotesi progettuali che hanno attivato un nuovo ciclo di progettazione, sperimentazione, valutazione, revisione.

La valutazione dei risultati delle sperimentazioni effettuate in termini di confronto tra gli apprendimenti attesi ed ottenuti da parte degli studenti hanno permesso di consolidare l'utilizzo di esperimenti, simulazioni e strategie come strumenti che sostengono efficacemente l'approccio adottato.

3) Percorso

Il percorso (cap. VII) promuove la comprensione concettuale unitaria delle caratteristiche elettriche e magnetiche dei materiali superconduttori presentando elementi innovativi quali l'interpretazione in chiave induttiva partendo dalla fenomenologia dei modelli macroscopici e microscopici.

Sebbene l'approccio adottato nella ricerca descritta in questa tesi sia centrato sulle proprietà magnetiche in termini di entità astratte quali particelle e campi, la fenomenologia gioca un ruolo essenziale: gli studenti hanno bisogno di essere coinvolti in esperimenti e attività laboratoriali per suscitare interesse e facilitare il ragionamento.

Tradizionalmente gli studenti intendono l'esperimento come verifica di leggi note e, per questo motivo, ritengono più significativi gli esperimenti quantitativi. Essi vedono l'esperimento come una riproduzione controllata di un fenomeno eseguita per determinare correlazioni tra grandezze. Per superare questa visione si è scelto di inserire nel percorso degli esperimenti di carattere qualitativo che stimolano il ragionamento sui concetti fisici.

L'approccio basato sulla fenomenologia facilita i ragionamenti degli studenti al livello interpretativo, in particolare su:

a) differenza tra sospensione e levitazione;

b) differenza tra effetto pinning ed effetto Meissner.

Ciò consente agli studenti di superare alcune lacune concettuali per la visione "separatista" dei fenomeni e distinguere tra tipi di interazione tra un magnete e un superconduttore;

Gli studenti hanno superato gradualmente il livello della descrizione formulando previsioni e producendo spiegazioni basate su interpretazioni dei fenomeni osservati in termini fisici, non limitandosi a dedurre le osservazioni dalla teoria.

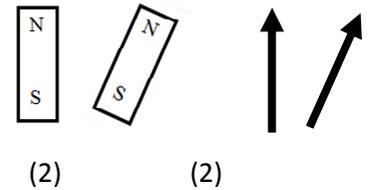
Appendici

Questionario utilizzato come pre test/post test nelle sperimentazioni di ricerca

Nel presente questionario vengono proposte diverse situazioni relative a fenomeni magnetici ed elettromagnetici. Nei quesiti Q3-Q11 vengono in particolare richieste due tipi di rappresentazioni:

A) tramite le linee di campo magnetico, con cui si possono rappresentare visivamente e anche formalmente i campi magnetici prodotti dalle sorgenti

B) tramite i vettori con cui si possono rappresentare i momenti di dipolo magnetico dei sistemi che presentano una magnetizzazione, come illustrato a lato nel caso di due magneti ciascuno dei quali costituisce un dipolo magnetico (fig. 1) che può essere rappresentato con una freccia che punta dal polo S al polo N del magnete stesso (fig. 2).



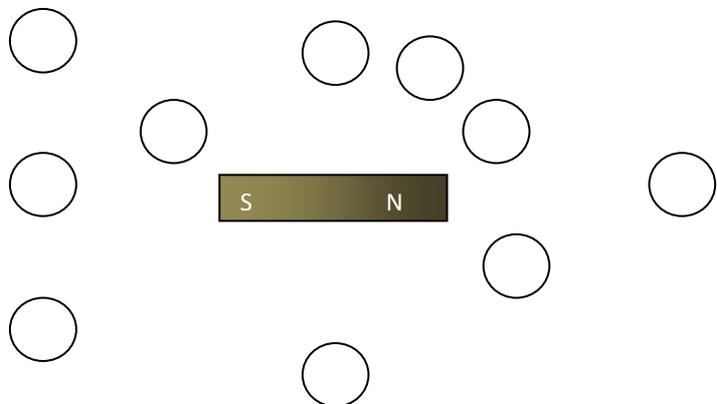
Q1. Si dispone di un magnete e di un altro cilindro metallico molto simili tra loro, come in Figura. Quando si avvicinano, si osserva che prima si attirano e poi si attaccano l'uno all'altro.



1.1 Come si fa a stabilire se entrambi i cilindri sono due magneti?

1.2. Nel caso in cui si trovi che solo uno dei due cilindri è un magnete, come si fa a stabilire quale dei due è il magnete? Spiegare la procedura.

Q2. Alcune bussole sono disposte vicino ad un magnete, come illustrato in Figura.

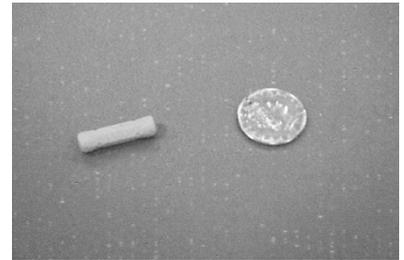


2.1 Si tracci come ci si può aspettare che si orientino gli aghi delle diverse bussole.

2.2 Spiegare con che criterio sono state tracciate tali orientazioni.

2.3 Cambierebbe l'orientazione delle bussole se le si considerasse in un altro piano rispetto a quello della Figura ruotato intorno all'asse del magnete (es. un piano ortogonale a quello della Figura passante per l'asse del magnete)

Q3. Un magnete viene avvicinato a una moneta di Fe-Ni, come illustrato in Figura.



3.1 Disegnare sulla Figura le forze agenti.

3.2 Spiegare con che criterio sono state disegnate tali forze

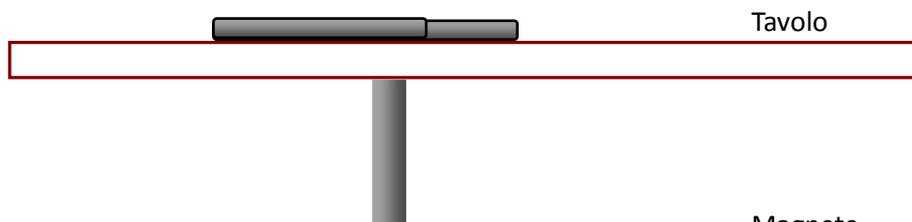
3.3 Si rappresenti la situazione del magnete vicino a una moneta di Fe-Ni rispettivamente:

...in termini di dipoli magnetici	...in termini di linee di campo magnetico

Q4. Un magnete è posto sotto a un tavolo su cui è appoggiata una graffetta ferma fogli, come in Figura a destra. Il magnete resta attaccato al tavolo. Quando si sposta il magnete anche la graffetta si sposta.



4.1 Rappresentare le linee di campo magnetico, nella Figura sottostante, dove è rappresentata in sezione la stessa situazione.



4.2 Le linee di campo vanno rappresentate anche all'interno di qualcuno o di tutti i tre sistemi raffigurati (magnete, tavolo, graffetta)? Spiegare.

Q5 Si dispone di due magneti cilindrici uguali.

Quando si avvicinano i due magneti uno all'altro, in quanti e quali modi interagiscono fra loro? Per ciascuna situazione individuata la si illustri, se ne descriva il fenomeno atteso, la si rappresenti con i vettori di dipolo magnetico e tramite le linee di campo magnetico.

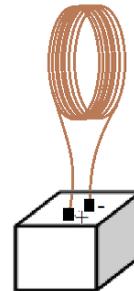
5.1. Illustrazione delle diverse situazioni	5.2. Descrizione del fenomeno atteso	5.3. Rapp. con i vettori di dipolo magnetico	5.4. Rapp. in termini di linee di campo B.

5.5. La configurazione dei vettori di dipoli magnetici e quella delle linee di campo permettono di effettuare delle previsioni sugli esiti del fenomeno atteso? Spiegare

Q6. Si dispone di due magneti cilindrici uguali. È possibile realizzare la situazione in cui un magnete è in sospensione (ossia fluttua sopra all'altro senza toccarlo)? Spiegare.

Q7. Quando si pone una bussola vicino ad una filo percorso da corrente si evidenzia l'esistenza del campo magnetico generato dalla corrente elettrica (esperienza di Oersted).

7.1 Come si orienta l'ago della bussola quando essa viene posta vicino a una bobina alimentata con un batteria, come quella rappresentata in Figura? Scelte le posizioni più significative, inclusa quella in cui la bussola è dentro alla bobina, si rappresentino le orientazioni dell'ago della bussola.

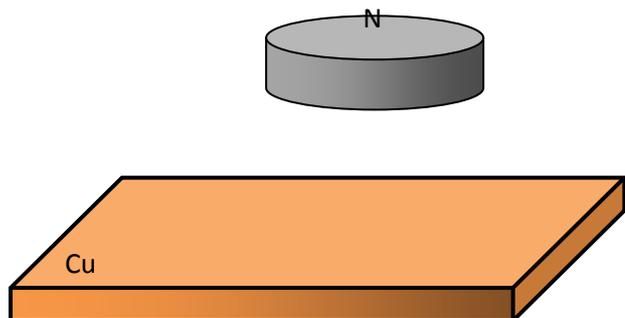


7.2 Si illustri la struttura delle linee del campo magnetico prodotto dalla bobina.

7.3 Si usi una penna di colore diverso per rappresentare il vettore che rappresenta il dipolo magnetico della bobina.

Q8. Un magnete a disco, come quello illustrato in Figura, viene fatto cadere sopra a una spessa lastra di rame.

8.1 Il moto di caduta del magnete sarà influenzato dalla presenza della lastra di rame? Spiegare.



8.2. Rappresentare in Figura i momenti di dipolo magnetico eventualmente presenti nei due sistemi.

8.3. È possibile che per qualche opportuna geometria della lastra di rame e del magnete, ovvero per un opportuno magnete si possa realizzare la situazione in cui il magnete si fermi e resti sospeso sopra alla lastra? Spiegare la risposta.

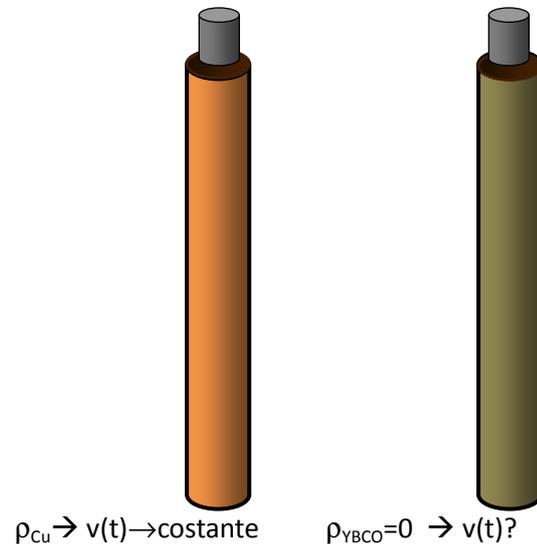
8.4. Che cosa cambierebbe se al posto della lastra di rame si ponesse una lastra di diverso materiale (ad es. di Al o di Ag.)?

8.5. Cambierebbe qualche cosa se invece della lastra di rame si ponesse una lastra di resistenza nulla?

Q9. Quando un cilindro magnetico viene fatto cadere dentro a un tubo conduttore (es. un tubo di rame - Cu), dopo una breve fase accelerata, scende con velocità costante.

9.1 Come si può spiegare questo fenomeno?

9.2 Cambierebbe qualche cosa se il conduttore avesse resistenza nulla? Spiegare

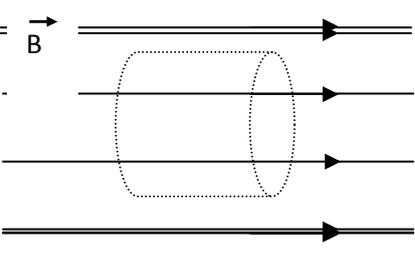
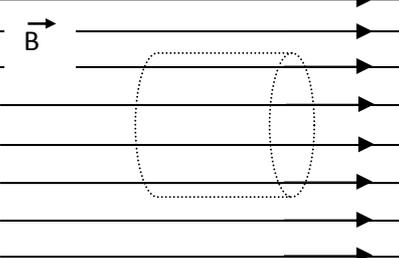
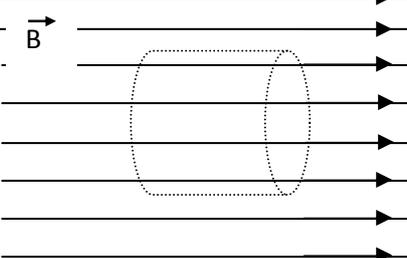


Q10. Si possono classificare fenomenologicamente le proprietà magnetiche dei materiali, osservando come gli oggetti composti di detti materiali interagiscono con un magnete: A) Se si osserva: una forte attrazione, come nel caso di un cilindro di ferro, il materiale è ferromagnetico; B) se si osserva una debole attrazione (es. un cilindro di alluminio), il materiale è paramagnetico; se l'interazione è sistematicamente repulsiva (es. una goccia d'acqua), il materiale è diamagnetico.

Nelle figure sono raffigurate le linee di un campo magnetico uniforme prodotto ad esempio dalle espansioni polari di un grosso magnete.

10.1. Si disegni con una penna blu, come vengono modificate le linee del campo magnetico risultante, quando si pongono all'interno di detto campo magnetico cilindri uguali in forma, ma costituiti di materiali con diverse proprietà magnetiche varie.

10.2 Per ciascuna situazione si tracci con una penna rossa l'eventuale dipolo magnetico che si viene a formare nel cilindro.

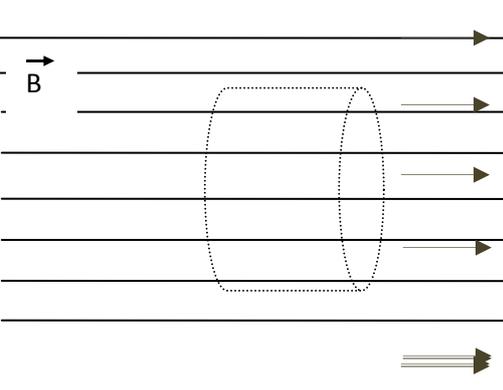
Cilindro ferromagnetico	Cilindro paramagnetico	Cilindro diamagnetico
		
Spiegazione	Spiegazione	Spiegazione

Q11. Si consideri il caso in cui all'interno di un campo magnetico uniforme si inserisce un cilindro composto di materiale la cui resistività è nulla.

Si disegni:

12.1 con una penna blu, la configurazione del campo magnetico risultante;

12.2 con una penna rossa. l'eventuale dipolo magnetico del cilindro.

Cilindro di materiale con $R=0$.	Spiegazione
	

APPENDICE B

SCHEDA 1

ESPLORARE LA SUPERCONDUTTIVITÀ.

SCHEDA 1

1. INTERAZIONE TRA DIPOLI

1.1. Progetta come esplorare l'interazione tra due magneti come quelli che hai a disposizione:

Azione Obiettivi

1.2. Prova. Discuti la fenomenologia osservata

1.3. Appoggia un magnete sul tavolo. Avvicina ad uno dei suoi poli l'altro magnete in modo da affacciare prima uno poi l'altro polo. Descrivi i comportamenti che osservi

Il dipolo presente in ciascun magnete può essere rappresentato come in (1) o con un vettore, per convenzione dal N al S come in (2):

(1) (2)

1.4. Utilizzando la rappresentazione vettoriale schematizza tutte le situazioni che hai provato e i corrispondenti effetti:

Situazione Effetti

1.5. Esaminando l'interazione a distanza che sperimenti con diversi esploratori nello spazio circostante il magnete si individuano le linee di campo:

1.6.1. - 1.6.2. Facendo l'ipotesi che gli oggetti rappresentativi siano dei vettori, allora vale il principio di sovrapposizione locale produce una linea globale, che risulta tangente ai singoli vettori in ogni punto nel piano dello spazio di osservazione.

Come risulterebbe la configurazione delle linee di campo nei due casi

a) poli omologhi affacciati

b) poli diversi affacciati

Fai un disegno qui sotto e riporta l'effetto conseguente:

a)	b)
----	----

1.7. Riepiloga le tue considerazioni nella tabella seguente:

Situazione	Fenomeno	Come posso descriverlo in termini di vettori di dipolo	A cosa corrisponde in termini di linee di campo
Poli omologhi affacciati			
Poli opposti affacciati			

--	--	--	--

1.8. La configurazione delle linee di campo ti permette di prevedere l'effetto sui dipoli? Spiega:

1.9. È possibile mantenere in sospensione due magneti uno sull'altro affacciando poli omologhi?

Prova. Scrivi i risultati:

1.10. Come spieghi i risultati ottenuti?

1.11. Vincola i magneti infilandoli in un tubicino di plexiglas in modo che affaccino poli omologhi.

Disegna e descrivi ciò che osservi nella tabella seguente:

Situazione	Fenomeno	Come posso descriverlo in termini di vettori di dipolo	A cosa corrisponde in termini di linee di campo
------------	----------	--	---

Magneti vincolati: sospensione magnetica			

SCHEDA 2

2.1. - 2.2. - 2.3. Consideriamo un oggetto che viene immerso in un campo magnetico. Tenendo conto della rappresentazione per linee di campo, di quelle per vettori di dipolo e del comportamento osservato nella esplorazione sperimentale, prova a giustificare il comportamento osservato nel caso dei:

a) ferromagnetici, b) paramagnetici, c) diamagnetici,

--	--	--

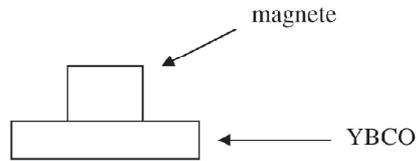
2.4. Hai a disposizione un campione di superconduttore YBCO ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$).

Hai il compito di classificarlo. Fai una proposta operativa.

2.5. Prova.

2.6. Che tipo di materiale é?

2.7. - Disegna le linee di campo del sistema



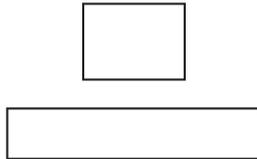
2.8 Esploriamo il suo comportamento all'abbassarsi della temperatura. Versa dell'azoto liquido sul sistema YBCO-magnete e aspetta che la temperatura si abbassi. Descrivi cosa osservi

2.9. Come te lo spieghi? Fai delle ipotesi e prova a spiegare cosa è cambiato anche aiutandoti con un disegno

2.10. Secondo te, l'YBCO ha cambiato le sue proprietà?

2.11. Come?

2.12.Disegna nuovamente qui sotto i due oggetti e il campo magnetico risultante, dopo la transizione. Questo è chiamato Effetto Meissner



2.13.Cosa puoi concludere?

L'YBCO è un materiale che, al di sotto di una certa temperatura, detta temperatura critica, acquista delle particolari proprietà elettriche e magnetiche(diamagnetismo perfetto), per le quali viene detto superconduttore.

2.14.Confronta ciò che hai osservato in questo esperimento e negli altri riguardanti materiali diamagnetici (grafite pirolitica): è lo stesso tipo di comportamento? Cosa c'è di uguale e cosa di diverso?

2.15.1. -2.15.2. – 2.15.3.Disegna qui sotto la descrizione in termini di dipoli per ciascuno dei casi:

1) due magneti2) magnete e grafite pirolitica3) superconduttore e magnete

--	--	--

--	--	--

2.16. Mentre nel caso della grafite pirolitica il diamagnetismo evidenzia come si realizza una sospensione non di equilibrio, il superconduttore sembra essere in equilibrio. Verifica questa ipotesi: prova a spostare leggermente il magnete. Cosa noti? Resta in equilibrio?

SCHEDA 3 EFFETTO PINNING

3.1. Disegna qui sotto il campo magnetico del sistema:



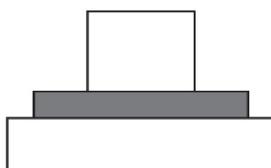
3.2. Versa dell'azoto liquido sul sistema YBCO-magnete e aspetta che la temperatura si abbassi. Descrivi cosa osservi

3.3. Prova ad allontanare il magnete. Ci riesci? Sì No Perché, secondo te? Prova a dare una spiegazione

3.4. Tra il superconduttore e il magnete si è instaurato il vincolo dell'Effetto pinning, In questo esperimento non potrebbe instaurarsi effetto Meissner secondo te? Spiega:

3.5. Disponi di due campioni di YBCO di differente fabbricazione, azoto liquido e vari tipi di magneti. Hai il compito di prevederne l'evoluzione in Meissner o pinning. Descrivi una procedura efficace

3.6. A temperatura ambiente, poggia il magnete su un campione con interposto un separatore. Disegna qui sotto il campo magnetico.



3.7. Raffredda versando azoto liquido, aspetta la fine dell'ebollizione. Dopo aver rimosso il separatore prova ad allontanare il magnete. Ci riesci? Sì No Perché, secondo te? Prova a dare una spiegazione

3.8.1. -3.8.2. – 3.8.3.Disegna qui sotto la descrizione del fenomeno in termini di vettori di dipolo per ciascuno dei seguenti casi 1) magneti e grafite pirolitica2)superconduttore e magnete 3) due superconduttori

--	--	--

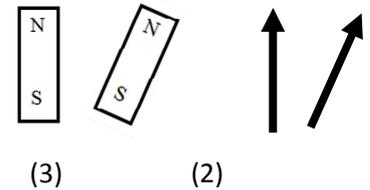
ed in termini di variazione di flusso

--	--	--

Questionario iniziale

Nel presente questionario vengono proposte diverse situazioni relative a fenomeni magnetici ed elettromagnetici. Nei quesiti **Q3-Q11** vengono in particolare richieste due tipi di rappresentazioni:

- C) tramite le linee di campo magnetico, con cui si possono rappresentare visivamente e anche formalmente i campi magnetici prodotti dalle sorgenti
- D) tramite i vettori con cui si possono rappresentare i momenti di dipolo magnetico dei sistemi che presentano una magnetizzazione, come illustrato a lato nel caso di due magneti ciascuno dei quali costituisce un dipolo magnetico (fig. 1) che può essere rappresentato con una freccia che punta dal polo S al polo N del magnete stesso (fig. 2).



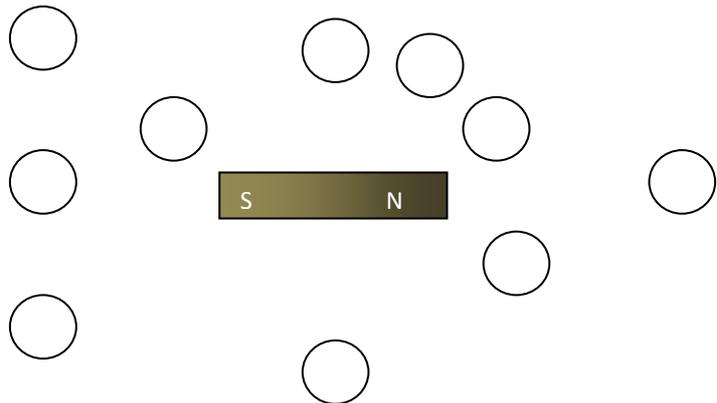
Q1. Si dispone di un magnete e di un altro cilindro metallico molto simili tra loro, come in figura. Quando si avvicinano, si osserva che prima si attirano e poi si attaccano l'uno all'altro.



1.1 Come si fa a stabilire se entrambi i cilindri sono due magneti?

1.2. Nel caso in cui si trovi che solo uno dei due cilindri è un magnete, come si fa a stabilire quale dei due è il magnete? Spiegare la procedura.

Q2. Alcune bussole sono disposte vicino ad un magnete, come illustrato in figura.



2.1 Si tracci come ci si può aspettare che si orientino gli aghi delle diverse bussole.

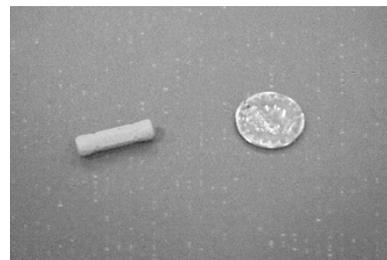
2.2 Spiegare con che criterio sono state tracciate tali orientazioni.

2.3 Cambierebbe l'orientazione delle bussole se le si considerasse in un altro piano rispetto a quello della figura ruotato intorno all'asse del magnete (es. un piano ortogonale a quello della figura passante per l'asse del magnete)

3. Un magnete viene avvicinato a una moneta di Fe-Ni, come illustrato in figura.

3.1 Disegnare sulla figura le forze agenti.

3.2 Spiegare con che criterio sono state disegnate tali forze

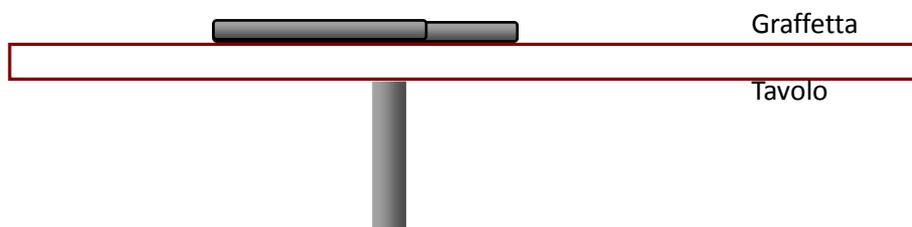


3.3 Si rappresenti la situazione del magnete vicino a una moneta di Fe-Ni rispettivamente:

...in termini di dipoli magnetici	...in termini di linee di campo magnetico

Q4. Un magnete è posto sotto a un tavolo su cui è appoggiata una graffetta fermafogli, come in figura a destra. Il magnete resta attaccato al tavolo. Quando si sposta il magnete anche la graffetta si sposta.

4.1 Rappresentare le linee di campo magnetico, nella figura sottostante, dove è rappresentata in sezione la stessa situazione.



Magnete

4.2 Le linee di campo vanno rappresentate anche all'interno di qualcuno o di tutti i tre sistemi raffigurati (magnete, tavolo, graffetta)? Spiegare.

Q5 Si dispone di due magneti cilindrici uguali.

Quando si avvicinano i due magneti uno all'altro, in quanti e quali modi interagiscono fra loro? Per ciascuna situazione individuata la si illustri, se ne descriva il fenomeno atteso, la si rappresenti con i vettori di dipolo magnetico e tramite le linee di campo magnetico.

5.1. Illustrazione delle diverse situazioni	5.2. Descrizione del fenomeno atteso	5.3. Rapp. con i vettori di dipolo magnetico	5.4. Rapp. in termini di linee di campo B.

--	--	--	--

5.5. La configurazione dei vettori di dipoli magnetici e quella delle linee di campo permettono di effettuare delle previsioni sugli esiti del fenomeno atteso? Spiegare

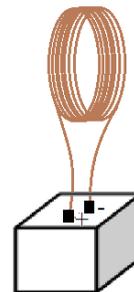
Q6. Si dispone di due magneti cilindrici uguali. È possibile realizzare la situazione in cui un magnete è in sospensione (ossia fluttua sopra all'altro senza toccarlo)? Spiegare.

Q7. Quando si pone una bussola vicino ad una filo percorso da corrente si evidenzia l'esistenza del campo magnetico generato dalla corrente elettrica (esperienza di Oersted).

7.1 Come si orienta l'ago della bussola quando essa viene posta vicino a una bobina alimentata con un batteria, come quella rappresentata in figura? Scelte le posizioni più significative, inclusa quella in cui la bussola è dentro alla bobina, si rappresentino le orientazioni dell'ago della bussola.

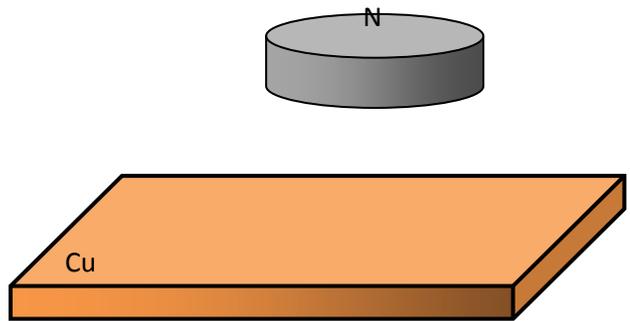
7.2 Si illustri la struttura delle linee del campo magnetico prodotto dalla bobina.

7.3 Si usi una penna di colore diverso per rappresentare il vettore che rappresenta il dipolo magnetico della bobina.



Q8. Un magnete a disco, come quello illustrato in figura, viene fatto cadere sopra a una spessa lastra di rame.

8.1 Il moto di caduta del magnete sarà influenzato dalla presenza della lastra di rame? Spiegare.



8.2. Rappresentare in figura i momenti di dipolo magnetico eventualmente presenti nei due sistemi.

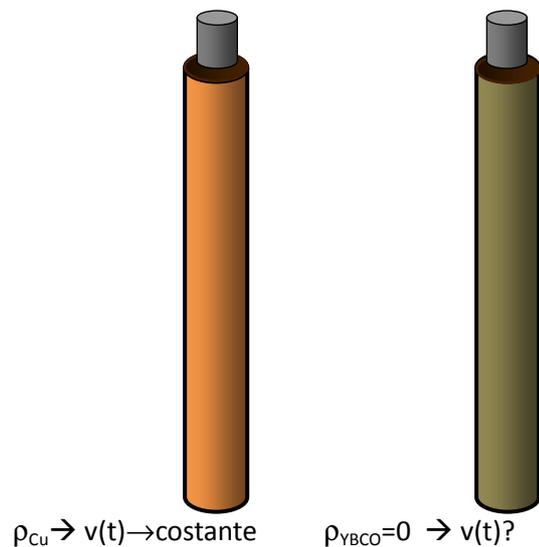
8.3. È possibile che per qualche opportuna geometria della lastra di rame e del magnete, ovvero per un opportuno magnete si possa realizzare la situazione in cui il magnete si fermi e resti sospeso sopra alla lastra? Spiegare la risposta.

8.4. Che cosa cambierebbe se al posto della lastra di rame si ponesse una lastra di diverso materiale (ad es. di Al o di Ag.)?

8.5. Cambierebbe qualche cosa se invece della lastra di rame si ponesse una lastra di resistenza nulla?

Q9. Quando un cilindro magnetico viene fatto cadere dentro a un tubo conduttore (es. un tubo di rame - Cu), dopo una breve fase accelerata, scende con velocità costante.

9.1 Come si può spiegare questo fenomeno?



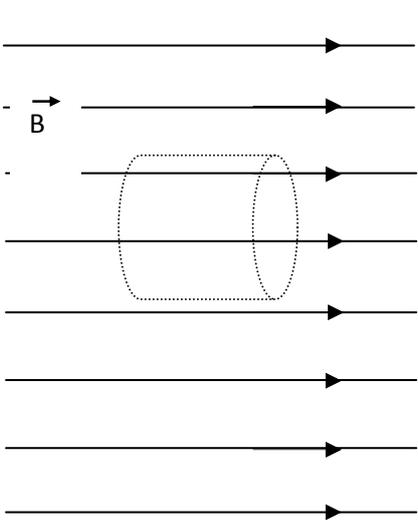
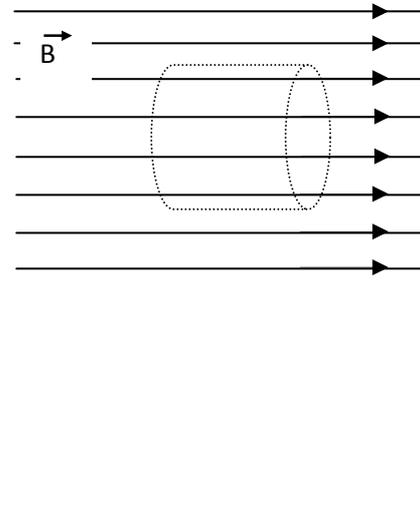
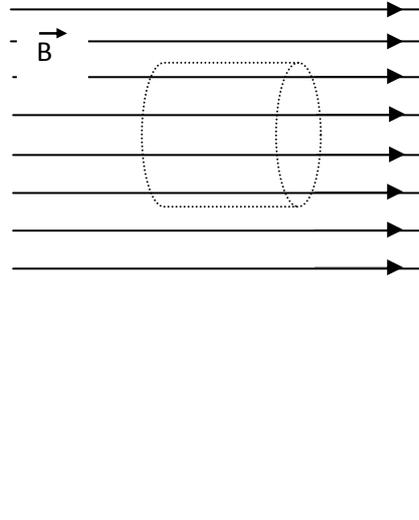
9.2 Cambierebbe qualche cosa se il conduttore avesse resistenza nulla? Spiegare

Q10. Si possono classificare fenomenologicamente le proprietà magnetiche dei materiali, osservando come gli oggetti composti di detti materiali interagiscono con un magnete: A) Se si osserva: una forte attrazione, come nel caso di un cilindro di ferro, il materiale è ferromagnetico; B) se si osserva una debole attrazione (es. un cilindro di alluminio), il materiale è paramagnetico; se l'interazione è sistematicamente repulsiva (es. una goccia d'acqua), il materiale è diamagnetico.

Nelle figure sono raffigurate le linee di un campo magnetico uniforme prodotto ad esempio dalle espansioni polari di un grosso magnete.

10.1. Si disegni con una penna blu, come vengono modificate le linee del campo magnetico risultante, quando si pongono all'interno di detto campo magnetico cilindri uguali in forma, ma costituiti di materiali con diverse proprietà magnetiche.

10.2 Per ciascuna situazione si tracci con una penna rossa l'eventuale dipolo magnetico che si viene a formare nel cilindro.

Cilindro ferromagnetico	Cilindro paramagnetico	Cilindro diamagnetico
		
Spiegazione	Spiegazione	Spiegazione

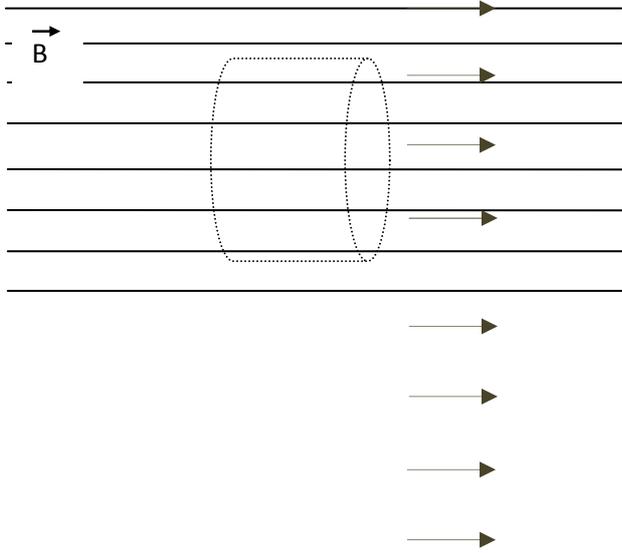
--	--	--

Q11. Si consideri il caso in cui all'interno di un campo magnetico uniforme si inserisce un cilindro composto di materiale la cui resistività è nulla.

Si disegni:

12.1 con una penna blu, la configurazione del campo magnetico risultante;

12.2 con una penna rossa. l'eventuale dipolo magnetico del cilindro.

Cilindro di materiale con $R=0$.	Spiegazione
	

Bibliografia

- [1] Aubrecht G.: Redesigning courses for the 21st century. *AJP*, 57 (1989)p. 352-359.
- [2] Gil D. P., Solbes. J.: The introduction of modern physics. *IJSE*, 15, (1993) p.255-260.
- [3] Hake R.R.: Is it Time to Implement Curriculums? *AAPT Ann.* 30(4) (2000), p. 103.
- [4] Badía-Majós A.: *AJP* 74 (12) (2006), p. 1136-1142.
- [5] Ostermann F., Ferreira L.M., Cavalcanti C.J.H.:Tópicos de física contemporânea no ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 20 (1998), p. 270-288.
- [6] Ostermann F., Moreira M.A.: Física Contemporânea em la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 18 (2000). p. 391-404.
- [7] Guarner E., Sánchez A.M.:The SC bird. *The Phys. Teach.*,30 (1992), p. 176-179.
- [8] Gough C.: High temperature SC take off. *Phys. Educ.*, 33 (1998), p. 38-46.
- [9] Brown R.: *The Physics Teacher*, 38 (3) S. (2000),p. 168.
- [10] Strehlow C. P., Sullivan M. C.: *AJP* 77 (2009), p. 847-851.
- [11] González-Jorge H., Domarco G.: *Phys. Educ.* 39(2004), p. 234 198.
- [12] Corni F., Michelini M., Santi L., Stefanel A., Viola R.: Curricular Paths in the Supercomet2 Experimentation in Italy. In *Physics Curr. Desig. Ed.Constantinou CP, Papadouris N (2009)* <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>.
- [13] Viola R., Michelini M., Santi L., Corni F.: The secondary school experimentation of Supercomet in Italy. In *Frontiers of Physics Education. Ed. Rajka Jurdana-Sepic et al., p.190-196. Girep-Epec, Zlatni. Rijeka (CRO), (2008). ISBN 978-953-55066-1-4.*
- [14] Gervasio, M., Michelini, M.: A USB probe for resistivity versus temperature, [http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm\(2010\)](http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm(2010)).
- [15] Stefanel A., Michelini M., Santi L.: High school students analyzing the phenomenology of SC. In sel. Paper of WCPE. Ed, Tassar F. (in publication).
- [16] Aiello Nicosia M.L., et al.; Teaching mech. oscill. using an integrate curriculum. *IJSE*, 2 (1997).
- [17] Greczylo T., Bouquet F., Ireson G., Michelini M., Engstrom V.: High-Tech Kit, *Il Nuovo Cimento C*, (33) 3 (2010), p. 221-229.
- [18] Kedzierska E. et al.: *Il Nuovo Cimento*, 33 (3) (2010), p. 65-74.
- [19] Michelini M., Viola R.: Esplorare la SC. in *Proposte didattiche su fis. mod. Ed. Michelini M. p. 279-295. MIUR-UniUD, Udine, (2010). ISBN 978-88-97311-04-1.*
- [20] Erickson, F.: Qualitative research methods for Sci. Educ. In *Int.H. of Sci. Educ.. Part 2. Ed Fraser B. J., Tobin K. G., p. 1155-1174. Dordrecht, Kluwer Ac. Publ., (1998).*
- [21] Niedderer, H.: Qualitative and quantitative methods of investigating alternative frameworks of students. Paper presented to the AAPT-AAAS meeting (1989).
- [22] Stephanou A.: The Meas.of Conc. Understanding in Phys., Early conf., (1999).
- [23] Marton F.:Phenomenography—describing conceptions of the world around us. *Instructional Science*, 10(1981), p. 177-200.

- [1] Chang, C.-Y., Cheng, W.-Y. (2008). *International Journal of Science Education*, 30(9), 1183-1200
- [2] Mitchell, S. N., Hoff, D. L. (2006). *Electronic Journal of Science Education*, 11(1), 10-21
- [3] Murphy, P. K., Alexander, P. A. (2008). The role of knowledge, beliefs, interest in the conceptual change process. In S. Vosniadou (Ed.), *Int. handbook of res. on conc. change* (pp. 583-616). NY: Routledge
- [4] Swarat, S. (2008). *Electronic Journal of Science Education*, 12(2), 66-93
- [5] Tesch, M., Euler, M., Duit, R. (2004). Towards improving the quality of physics instruction. In M. Michelini (Ed.), *Quality development in teacher educ. and training*. Udine: Forum, 302-306.
- [6] OECD (2010). *PISA 2009 Results*. <http://browse.oecdbookshop.org/oecd/pdfs/browseit/9810071E.PDF>
- [7] Bybee, R., McCrae, B., & Laurie, R. (2009). PISA 2006. *J.R.Sci.Teach.*, 46, 8, 865 – 883
- [8] Special Issue (2011) Students' Interest in Science across the World. *IJSE*, 33: 1, 73 — 95
- [9] TIMSS (2007) <http://www.timss.bc.edu/>, <http://nces.ed.gov/Timss/>
- [10] Angell C. (2011) *TIMSS Advanced*, Girep-Epec 2011, Jyväskylä, Finland 1.-5. August 2011.
- [11] Bybee, R., & McCrae, B. (2011). Scientific literacy and student attitudes. *IJSE*, 33, 1, 7-26.
- [12] Kolstø, S. D. (2001): Scientific literacy for citizenship: tools. *Science Education* 85 (3), 291-310.
- [13] Bruguière C., Tiberghien A. & Clément P. (Eds.), *E-Book - ESERA 2011 Conference: Science learning and Citizenship*. Lyon, France: ESERA. <http://www.esera.org/publications/esera-conference>
- [14] Kjærnsli, M., & Lie, S. (2011). Students' preference for science careers. *IJSE*, 33, 1, 121-144.
- [15] Anderson, R. D. (2010). Inquiry as an organizing theme for science curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education*, (pp. 807-830). NY: Routledge
- [16] Berger H., Eylon B-S., Bagno E. (2008) *J. Sci Educ Technol*, 17:399-409
- [17] Klein E. J. (2007) Rethinking Professional Development, *The New Educator*, 3:179-197.
- [18] Borko, H. (2004). Professional development and teacher learning. *Educational Researcher*, 33(8), 3-15.
- [19] Aubrecht, G. (1989). Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. *AJP*, 57, 352-359.
- [20] Gil, D. P., Solbes., J. (1993). The introduction of modern physics. *IJSE*, 15, 255-260.
- [21] Hake R.R. (2000). Is it Finally Time to Implement Curriculums?, *AAPT Announcer* 30(4), 103.
- [22] Ostermann F., Moreira M.A. (2004). *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 190-201.
- [23] Hobson A (2010) Teaching “modern” physics in introductory courses, *The Physics Teacher*, 38 (7), 388
- [24] Zollman D. A., Rebello N. S. and Hogg K. (2002) *Am. J. Phys.* 70 (3) 252- 259
- [25] McDermott, L.C., Shaffer, P.S., & Constantinou, C. P. (2000) *Physics Education*, 35, 411-416.
- [26] Michelini, M. (2010). Building bridges between common sense ideas and a physics description of phenomena, In Menabue L, Santoro G eds. *New Trends in STE*, vol. 1. Bologna: CLUEB, 257-274.
- [27] Johansson KE, Nilsson Ch (2000), *Experiments in modern physics*, *Phys. Educ.* 35 (4) 256-262
- [28] Brown, R. (2000). Demonstrating the Meissner Effect, *The Physics teacher*, 38 (3) S. 168.
- [29] González H., Domarco G. (2004) SC cylinders aid understanding current induction, *Phys. Educ.* 39, 234
- [30] Engstrom V, Ireson G, Latal H, Mathelisch L, Michelini M, Peeters W, Rath G (2008) The Supercomet 2 Project: teacher seminar, in FFP9, Sidharth B. G. et al. eds., AIP 1018, Melville-New York.,221-224.
- [31] Michelini M, Viola R, Engstrom V (2008) Superconduttività: esperimenti e modelli, in *Didamatica 2008 - Informatica per la didattica*, parte I, Andronico A et al eds., Laterza ed., Bari, 110-114
- [32] Michelini M, Viola R (2008) Gli strumenti multimediali della sperimentazione Supercomet, in *Didamatica 2008 - Informatica per la didattica*, Andronico A et al eds., Laterza ed. Bari, 975
- [33] AAVV (2010) MOSEM teacher guide, Simplicatus AS, Norway
- [34] AAVV (2011) MOSEM2 teacher guide, Simplicatus AS, Norway
- [35] Kedzierska E. et al. (2010), *Il Nuovo Cimento*, 33 (3) 65-74
- [36] Greczylo T, Ireson G, Michelini M, Engstrøm V (2010). *Il Nuovo Cimento*, 33 C, 3. 221-229.
- [37] Lijnse P. L. (1995) . *Science Education*, 79 (29), 189-199
- [38] Beichner R. J. (2006). *European Journal of Engineering Education*, 31 (4), 383-393.
- [39] Wang, F. & Hannafin, M.J. (2005). *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- [40] Anderson T. e Shattuck J. (2012) *Design- Based Research: A decade of progress in education research?* American Educational Research Association.
- [41] Duit R. (2006) Science Education Research – An Indispensable Prerequisite for Improving Instructional Practice. Paper presented at Summer School, Braga. 1-15.
- [42] Shulman L. S. (1986) *Those Who Understand*. *Educational Researcher*, 15 (2) 4-14.
- [43] Nava F., Tu K.N., Mazzega E., Michelini M., Queirolo G. (1986) *J. Appl. Phys.* 61(3),1987,1085.
- [44] Bardeen J., Cooper L.N., Schrieffer J. R. (1957), *Phys. Rev.* 108, 1175-1204
- [45] Sconza A, Torzo G, Michelini M (1995). *La Fisica nella Scuola*, XXVIII, 2,83

- [46]Gervasio M, Michelini M (2010) An usb probe for resistivity versus temperature and hall coefficient, <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>
- [47]Gervasio M., Michelini M., Viola R (2009). Postepy Fizyki, Tom 60, Zeszyt 6, pp. 249-254.
- [48]Gervasio M, Michelini M, Stefanel A (2012) *Computer on-line systems for innovative Labs in Secondary School*, in *IYPT book*, Izadi D ed
- [49]Greczyło T, Michelini M, Santi L, Stefanel A (2010). Il Nuovo Cimento, 33 C (3).147-155.
- [50]Michelini M ed. (2010) *Proposte didattiche sulla fisica moderna, Strumenti per una didattica laboratoriale*, MIUR-PLS-UniUD, Udine [ISBN 978-88-97311-04-1]
- [51]Viola R. (2010) Innovazione didattica nella Scuola Secondaria: una proposta curricolare sulla superconduttività, unpublished PhD Thesis, University of Udine, pp.171-173.
- [52]Engstrom V, Karwasz G, Michelini M, Peeters W, Viola R (2009). LFNS, XLII, 3-sup, pp.120-128
- [53]Karwasz G, Engstrom V, Michelini M, Viola R (2009). LFNS, XLII, 3-sup, pp.140-150.
- [54] Michelini M, Viola R (2009) Esperimenti semplici hands/minds-on di EM, LFNS, XLII, 3-S, 151-157.
- [55]Viola A, Gervasio M, Michelini M (2009) Discovering Electromagnetic Induction, MPTL14 Proceeding, CD-ROM and <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>
- [56]Michelini M, Viola R (2009) A proposal for a curricular path about induction, In Physics Curriculum Design, Constantinou CP, Papadouris N eds, Cyprus <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>
- [57]Michelini M, Viola R (2010). La Fisica nella Scuola, XLIII, sup.4, pp.155-160
- [58]Michelini M, Viola R (2009) Blended Modality in Implementing an European Project on Curricular Innovation, MPTL14 Proceeding, CD-ROM and <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>
- [59]Michelini M, Viola R (2011). Il Nuovo Cimento, 34 (5), pp. 255-275
- [60]Michelini M, Viola R (2010) *Modelli per la formazione degli insegnanti*. in *La Fisica a Udine*. Michelini M ed., Lithostampa, Pasian di Prato (Udine) pp.121-130
- [61] Corni F, Michelini M, Santi L, Stefanel A, Viola R (2009) Curricular Paths in the Supercomet2, in Physics CD, Constantinou CP, Papadouris N eds, <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>
- [62] Michelini M, Stefanel A, Santi L (2014) High school students analyzing the phenomenology of superconductivity and constructing model of the Meissner effect, in Tasar M. F. (ed.), Proceedings of The WCPE 2012, Istanbul: Pegem Akademi, 1253-1266.
- [63] Marisa Michelini, Lorenzo Santi, Alberto Stefanel (2013) Modelli sulla superconduttività di studenti di scuola secondaria, in LFnS (in pubblicazione).

AAVV (2007) Supercomet 2 teacher guide, Simplicatus AS, Norway

AAVV (2010) MOSEM teacher guide, Simplicatus AS, Norway

AAVV (2011) MOSEM2 teacher guide, Simplicatus AS, Norway

Abd-Shukor, R., Lee, K. H. (1998): High temperature superconductor levitation motor. Physics Education, 33, 47-50.

Arkadiev V. (1947). A floating magnet, Nature, 160, 330.

Aubrecht, G. (1989). Redesigning courses and textbooks for the twenty-first century. AJP, 57, 352-359.

Badía-Majós A (2006) Understanding stable levitation of superconductors, AJP 74 (12), 1136-1142.

Borges, A. T., Gilbert. J. K. (1998). Models of Magnetism, IJSE, 20 (3), 361-378.

Brown, R. (2000). Demonstrating the Meissner Effect and Persistent Current, The Physics teacher, 38 (3) S. 168.

Corni F, Michelini M, Santi L, Stefanel A, Viola R (2009) Curricular Paths in the Supercomet2 Experimentation in Italy, in Physics Curriculum Design, Constantinou CP, Papadouris N eds, <http://lsg.ucy.ac.cy/girep2008/intro.htm>

Erickson, F. (1998). Qualitative research methods for Science Education. In B. J. Fraser, Tobin, K. G. (Ed.), International handbook of Science Education, Part 2, Dordrecht: Kluwer, 1155-1174.

Galili, I. (1995). Mechanics background influences students' conceptions in electromagnetism, IJSE, 17 (3), 371-387.

Gervasio, M., Michelini, M. (2010). A USB probe for resistivity versus temperature, <http://www.fisica.uniud.it/URDF/mptl14/contents.htm>

Gil, D. P., Solbes, J. (1993). The introduction of modern physics. IJSE, 15, 255-260.

González-Jorge H., Domarco G. (2004). Superconducting cylinders aid in an understanding of current induction, Phys. Educ. 39, 234

Gough, C. (1998). High temperature superconductors take off. Phys. Educ., 33, 38-46.

Greczylo, T., Bouquet, F., Ireson, G., Michelini, M., Engstrom, V. (2010). High-Tech Kit, Il Nuovo Cimento C, (33) 3, 221-229.

- Guarner, E., Sánchez, A.M. (1992). The superconducting bird: a didactical toy. *The Physics Teacher*, 30, 176-179.
- Haber-Scaim U, et al. (1995), *Fisica a cura del PSSC 2*, Zanichelli Bologna, it. ed. p. 303
- Tipler P A (1991). *Invito alla fisica 3*, Zanichelli Bologna, it. ed., p. 661
- Hake R.R. (2000). Is it Finally Time to Implement Curriculums?, *AAPT Announcer* 30(4), 103.
- Kedzierska E. et al. (2010). *Il Nuovo Cimento*, 33 (3) 65-74
- Michelini M, Viola R (2011). Research-oriented training for Italian teachers involved in European MOSEM Project, *Il Nuovo Cimento*, 34 (5), pp. 255-275
- Ostermann, F. (2000). Contemporary physics topics in high schools and in the teacher preparation. Unpublished PhD Thesis.
- Ostermann, F., Ferreira, L.M., Cavalcanti, C.J.H. (1998). Tópicos de física contemporânea no ensino médio: um texto para professores sobre supercondutividade. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 20, 270-288.
- Ostermann, F., Moreira, M.A (2000a). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, 5, 1-28.
- Ostermann, F.; Moreira, M.A. (2000b). Física Contemporânea em la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 18, 391-404.
- Ostermann, F., Moreira, M.A. (2004). Updating the physics curriculum in high schools, *Revista de Enseñanza de las Ciencias*, 3 (2), 190-201.
- Nersessian N. J. (1989) Conceptual change in science and in science education, *Synthese* 80 (1), 163-183.
- Park, J., Kim, I., Kim, M., Lee, M. (2001). Analysis of students’ process of confirmation and falsification, *Int. J. Sci. Educ.*, 23 (12), 1219-1236.
- Perkins, D.N., & Grotzer, T.A. (2000). Models and moves: Focusing on dimensions of causal complexity to achieve deeper scientific understanding. AERA Conference, New Orleans, LA.
- Schneider, W., et al. (1991). Weitere Unterrichtsversuche zur Hochtemperatur-Supraleitung. *Didaktik der Physik-Vorträge*, 622 – 627.
- Schorn, B., et al. (2008). *SUPERCOMET 2*, E. van den Berg, et al., Amsterdam: University of Amsterdam, 915-919.
- Strehlow, C. P., Sullivan, M. C. (2009). A Classroom Demonstration of Levitation, *AJP* 77, 847-851.
- Taşar, M.F. (2009). In *The International History, Philosophy*, South Bend, IN.
- Viola R: (2010) *Innovazione didattica nella Scuola Secondaria: una proposta curricolare sulla superconduttività*, unpublished PhD Thesis, University of Udine, pp.171-173.
- Windschitl, M.A. & Thompson, J.J. (2004). Using scientific models to frame inquiry. Paper presented at AERA, San Diego, CA.
- Zwittlinger, K. H. (2006). Herstellung von Hochtemperatur-Supraleitern. *PdN*, 55 (1), 29-31.

Stefanel A, Michelini M, Santi L (2014) *High school students analyzing the phenomenology of superconductivity and constructing model of the Meissner effect*, in Tasar F.ed., *Proceedings of The World Conference on Physics Education 2012*, Pegem Akademi [ISBN 978-605-364-658-7], pp..1253-1266.