

Un laboratorio di ricerca concettuale sul trasporto elettrico nei metalli. Risultati ed implicazioni di ricerca per la didattica

Giuseppe Fera, Marisa Michelini

Unità di Ricerca in Didattica della Fisica – Università di Udine, giuseppe.fera@uniud.it; marisa.michelini@uniud.it

A research conceptual laboratory on electrical transport in metals. Results and implications for education

Una vasta letteratura considera le difficoltà di apprendimento relative ai circuiti elettrici. Numerose ricerche riguardano diversi aspetti del ragionamento degli studenti sul funzionamento dei circuiti: i) differenziazione concettuale di carica, corrente, tensione, energia; ii) collegamento tra elettrostatica e elettrodinamica, iii) collegamento tra livello macroscopico (basato sulle grandezze corrente/tensione) e microscopico (in termini di particelle e interazioni) di descrizione dei processi. In relazione a (iii) manca un' esplorazione delle idee spontanee, che giocano un ruolo rilevante nell'apprendimento. Quindi la presente ricerca ha esplorato i ragionamenti e i modelli di bambini di 10 anni (N = 11) e ragazzi di 13 (N = 35) sui processi microscopici che avvengono in fili conduttori di corrente. La discussione dei dati indica che la riflessione sui processi microscopici aiuta gli studenti a superare il ragionamento locale a favore di una visione del circuito come un sistema di elementi interagenti (ragionamento sistemico).

Parole chiave: idee spontanee, conduzione elettrica, macro-micro

A wide literature regards learning difficulties relating to electrical circuits. Many researches focus on different aspects of student reasoning on circuits functioning: i) the conceptual differentiation of charge, current, voltage, energy; ii) link between electrostatics and electrodynamics, iii) connection between macroscopic (founded on voltage/current) and microscopic (in terms of particles and interactions) level of description of the processes. Regarding the point (iii) an exploration is missing of spontaneous ideas which play an important role in learning. So, this research has explored the reasoning and models of 10 (N = 11) and 13 (N = 35) years old pupils on microscopic processes that occur in conductor wires. The data discussion indicates that reflection on microscopic processes helps students to overcome local reasoning and to gain a vision of the circuit as a system of interacting elements (systemic reasoning).

Keywords: spontaneous ideas, electrical conduction, macro-micro

129

Strategie e metodologie didattiche nell'insegnamento delle discipline

Un laboratorio di ricerca concettuale sul trasporto elettrico nei metalli. Risultati ed implicazioni di ricerca per la didattica

1. Introduzione



I fenomeni elettrici e le relative proprietà di trasporto sono alla base di una vasta gamma di applicazioni e la loro trattazione è inclusa nei curricula a tutti i livelli di studio per l'apprendimento di importanti concetti coinvolti nella loro descrizione quali corrente, campo, potenziale, carica elettrica (Duit, von Rhöneck, 1998). Negli ultimi 40 anni gli approcci hanno per lo più riguardato l'esplorazione sperimentale di semplici circuiti costituiti da pila, batteria e lampadina (Osborne, 1983; Chiu, Lin, 2005). La ricerca didattica (McDermott, Shaffer, 1992; Mulhall et al., 2001; Azaiza, Bar, Galili, 2006) ha ampiamente discusso la trattazione dei circuiti evidenziando che spesso manca: da un lato una integrazione organica e coerente tra i fenomeni elettrostatici ed elettrodinamici (Eylon, Ganiel, 1990), e dall'altro il collegamento tra il livello microscopico e macroscopico di descrizione dei processi (Licht, 1991; Thacker et al., 1999). È stata in particolare sottolineata la necessità di collegare il significato concettuale delle grandezze fisiche (tensione, corrente, ...) con la visione del circuito come sistema di elementi interagenti (Testa, 2008), superando il ragionamento locale secondo cui il cambiamento di un componente del circuito si riflette solo su quel componente. (Psillos, 1997/98). La costruzione del legame tra i livelli macro/micro di descrizione dei processi è risultata essere un aspetto rilevante per l'apprendimento. Molti studi (De Posada, 1997; Tveita, 1997; Chabay, Sherwood, 1999; Wittmann et al., 2002; Hart, 2008; Stockmayer, 2010) sostengono che per una comprensione concettuale completa di circuiti elettrici anche semplici ed anche a livelli iniziali di scolarità è necessario esplicitare un modello interpretativo microscopico per la corrente e la resistenza elettrica. Ciò sembra essere anche una valida alternativa all'analogia idrodinamica ampiamente utilizzata nella didattica dei circuiti pur presentando diversi aspetti critici per l'apprendimento (Fera, 2014).

La conduzione della corrente elettrica è un fenomeno complesso. Wittmann, Steinberg e Redish (2002) sottolineano che i fisici e gli ingegneri usano differenti modelli per descriverla, e spesso questi modelli non sono tra loro coerenti. Si può vedere la conduzione come un fenomeno macroscopico descritto da grandezze quali corrente e tensione. Un'altra prospettiva è la descrizione microscopica della conduzione facendo riferimento al modello di un gas di elettroni liberi in un reticolo di ioni che oscillano intorno a posizioni di equilibrio. Un altro modello utilizza la descrizione della struttura a bande di energia del conduttore basata sulla fisica quantistica e la presenza di elettroni in stati delocalizzati. Tutti questi modelli sono utili e significativi e nel loro insieme offrono interpretazioni funzionali della conduzione elettrica nei solidi. Tuttavia la loro molteplicità è una potenziale fonte di confusione: per poter utilizzare il ruolo interpretativo di un modello scientifico è necessaria una visione generale delle teorie fisiche che è spesso in contrasto con le concezioni degli studenti (Mulhall, McKittrick, Gunstone, 2001). Anche a livelli elevati di scolarità si manifesta

una persistenza dei modelli spontanei della corrente (Shipstone, 1984; Jabot, Henry, 2004). In particolare alcune ricerche (Eylon, Ganiel, 1990; Stocklmayer, Treagust, 1996; Thacker, Ganiel, Boys, 1999) hanno mostrato che gli studenti incontrano difficoltà nel costruire un collegamento tra il concetto (microscopico) di potenziale/campo e (macroscopico) di tensione/corrente, nel giustificare l'esistenza delle particelle (atomi, elettroni, ioni reticolari,...) e delle loro proprietà fisiche e interazioni e nel raccordare la descrizione macroscopica a quella microscopica dei processi di trasporto elettrico. Di conseguenza, la ricerca didattica ha rivolto molta attenzione all'argomento da prospettive diverse, producendo molti lavori sull'insegnamento/apprendimento dei fenomeni elettrici. È stato indagato il ruolo dei contesti informali e dell'operatività nella costruzione del pensiero formale riconoscendo l'educazione informale come strumento e contesto di raccordo tra la ricerca didattica e la scuola, come ponte tra il sapere scientifico e la conoscenza quotidiana (Michelini et al., 2005; Anderson, Lucas, Ginns, 2003; Michelini, 2005).

Le interpretazioni sono sempre presenti nei soggetti che apprendono e restano implicite e radicate se non vengono fatte emergere e discusse per favorire il passaggio verso la visione scientifica. Dunque conviene introdurre molto presto l'educazione scientifica, già a partire dalla scuola dell'infanzia e primaria, come parte integrante, non marginale della formazione di base (Michelini, 2007), insieme alle prime esperienze di osservazione e rappresentazione del mondo circostante. Per attivare il processo di apprendimento è necessario un approccio didattico basato sugli angoli spontanei di attacco allo specifico contenuto (Viennot, 2001), vale a dire che prenda in considerazione la prospettiva dello studente che non sempre coincide con le fasi dell'esposizione ortodossa della disciplina; tener conto delle conoscenze spontanee può dimostrarsi utile e necessario ai fini dell'apprendimento, in quanto consente di strutturare la conoscenza in modo non dogmatico e può suggerire la ricerca di nuovi fatti sperimentali. Appare quindi importante esplorare le idee spontanee e le rappresentazioni con cui i bambini interpretano a livello microscopico le proprietà elettriche dei materiali, il che rappresenta lo scopo della presente ricerca. Collegare la fenomenologia elettrica alla struttura della materia non solo ha rappresentato un importante successo nello sviluppo della fisica, ma appare anche un possibile modo per affrontare le diverse diffuse e persistenti difficoltà che gli studenti incontrano nel comprendere fenomeni quotidiani.



2. Contesto e domande di ricerca

Il contesto dell'indagine è costituito dall'ambiente di apprendimento informale della mostra interattiva Giochi, Esperimenti, Idee (<http://www.fisica.uniud.it/GEI/GEIweb/index.htm>). Realizzata ad Udine dall'Unità di Ricerca in Didattica della Fisica ed esposta con cadenza annuale fin dal 1994, si è affermata sia come ambiente efficace per incoraggiare l'esplorazione qualitativa e quantitativa dei fenomeni fisici nelle aree della meccanica, termodinamica, elettricità, magnetismo da parte di studenti da 6 a 15 anni, sia come un potente strumento di ricerca volto a indagare i ragionamenti spontanei e i modelli mentali utilizzati da bambini e ragazzi per interpretare la fenomenologia osservata. I Laboratori Cognitivi di Esplorazione Operativa (CLOE, Michelini, 2005) sono contesti di apprendimento basati sull'indagine attiva dello studente realizzati nell'ambito

della mostra GEI. La metodologia utilizzata prevede che i bambini, esplorando in prima persona i fenomeni fisici, costruiscano gli elementi necessari per l'acquisizione e la produzione di nuova conoscenza attraverso il loro coinvolgimento diretto sia in termini operativi che in termini di discussione ed apprendimento. All'interno dei laboratori CLOE la produzione di ipotesi del soggetto che apprende si articola in passi concettuali elementari partendo dal bisogno di interpretare una specifica situazione fenomenologica. Nello specifico laboratorio CLOE qui illustrato vi è un'attività condotta da un ricercatore sulla tematica della conduzione elettrica nei metalli, seguendo un protocollo di intervista semi-strutturata che costituisce una traccia di lavoro aperta, attraverso cui vengono seguiti i percorsi concettuali elaborati dai ragazzi sulla base degli stimoli offerti. Il materiale della mostra, che gli studenti possono utilizzare, comprende circuiti realizzati a basso costo, con elementi di facile reperibilità, al fine di promuovere la riproducibilità dell'attività anche nelle classi. Il laboratorio è stato condotto con 46 ragazzi che hanno anche visitato la mostra GEI 2011 (11 bambini di una classe quinta elementare e 35 ragazzi di due classi terza media che hanno operato in sessioni comprendenti ragazzi dello stesso livello scolare) ed i dati raccolti sono stati analizzati per rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- R1. Con quali idee/rappresentazioni spontanee gli studenti correlano la fenomenologia del circuito ai processi microscopici?
- R2. Quali modelli microscopici emergono nei ragionamenti degli studenti sulla conduzione elettrica?
- R3. Come vengono riutilizzati questi modelli per interpretare nuove situazioni?

3. Metodologia

L'attività proposta è stata suddivisa in due fasi: nella prima fase ai bambini viene richiesto di chiudere un circuito costituito da una batteria, dei cavi elettrici ed una lampadina con dei fili metallici: due con uguale lunghezza e sezione ma di materiale differente (rame e costantana); tre dello stesso materiale (costantana) con uguale sezione ma differente lunghezza e due dello stesso materiale (costantana) con uguale lunghezza ma differente sezione. Tale fase è progettata per consentire ai bambini di esplorare il ruolo dei differenti fili nel circuito e di immaginare un modello microscopico che renda conto della corrispondente variazione di luminosità della lampadina, mentre la seconda fase riguarda il riutilizzo del modello microscopico da parte dei bambini per interpretare le nuove situazioni proposte: un circuito con una resistenza variabile, un circuito con tre lampadine in parallelo ed un circuito con tre lampadine in serie, alimentate dalla stessa batteria utilizzata nella fase precedente.

La formulazione delle domande è stata progettata secondo la strategia del ciclo PEC (Previsione Sperimentazione Confronto, White, Gunstone, 1992) affinché il confronto tra la previsione e l'osservazione attivi il cambiamento concettuale. Per stimolare la produzione di rappresentazioni dell'interno del filo sono state fornite ai bambini delle schede su cui vi era lo spazio per disegnare, con il seguente invito: "Immagina di diventare piccolo piccolo da poter entrare nel filo e vedere cosa succede all'interno del filo. Prova a pensare com'è il filo intorno a te. Disegna come ti rappresenti l'interno del filo".



Nella prima fase gli studenti vengono intervistati a piccoli gruppi nel contesto operativo in cui lavorano in autonomia. Le domande dell'intervista strutturata sono:

- D1. Qual è il compito della batteria?
- D2. Qual è il compito dei fili?
- D3. Qual è il compito dell'interruttore?
- D4. Si accende la lampadina chiudendo il circuito con un filo. Cosa immagini sia diverso dentro al filo quando la lampadina è accesa?
- D5. Si usano un filo di rame ed uno di ferro di uguale lunghezza e sezione per chiudere il circuito.
- D5a. Come ti aspetti che cambi la luminosità della lampadina? Motiva la tua previsione.
- D5b. Proviamo. Cosa si osserva? Come mai cambiando il materiale del filo cambia la luminosità della lampadina?
- D6. Si usano un bastoncino di plastica o di rame o di alluminio, una matita in legno, la mina di grafite della matita per chiudere il circuito. Come mai la luminosità della lampadina è diversa? Rispondi indicando cosa immagini sia diverso dentro gli oggetti.
- D7. Si usano fili di ferro con diversa lunghezza e uguale sezione per chiudere il circuito.
- D7a. Come ti aspetti che cambi la luminosità della lampadina? Motiva la tua previsione.
- D7b. Proviamo. Cosa si osserva? Come mai aumentando la lunghezza del filo diminuisce la luminosità della lampadina?
- D8. Si usano fili di ferro con diversa sezione e uguale lunghezza per chiudere il circuito.
- D8a. Come ti aspetti che cambi la luminosità della lampadina? Motiva la tua previsione.
- D8b. Proviamo. Cosa si osserva? Come mai diminuendo la sezione del filo diminuisce la luminosità della lampadina?

Nella seconda fase sono presentate tre nuove situazioni e le relative domande sono:

- D9. Come mai la luminosità della lampadina varia muovendo il cursore?
- D10a. Come ti aspetti che sarà la luminosità delle lampadine in parallelo?
- D10b. Proviamo. Come mai le lampadine in parallelo hanno la stessa luminosità?
- D10c. Come ti aspetti che cambi la luminosità delle lampadine in parallelo svitandone una?
- D10d. Proviamo. Come mai le altre lampadine mantengono la stessa luminosità?
- D11a. Come ti aspetti che sarà la luminosità delle lampadine in serie?
- D11b. Proviamo. Come mai la luminosità delle lampadine in serie è uguale tra loro?
- D11c. Come mai la luminosità delle lampadine in serie è minore di quella della lampadina nel circuito semplice?
- D11d. Come ti aspetti che cambi la luminosità delle lampadine in serie svitandone una?
- D11e. Proviamo. Come mai le altre lampadine si spengono?



4. Analisi dei dati

L'analisi dei dati raccolti in forma scritta e audioregistrata è stata effettuata qualitativamente (Groves et al., 2004) classificando in categorie le risposte orali e i disegni dei singoli studenti.

categorie	esempio	utilizzo
Numerosità particelle	"Il rame ha più particelle che trasmettono l'energia"	3/11
Velocità particelle	"Ci sono particelle molto piccole e velocissime"	3/11
Compattezza materiale	"Il ferro è più compatto e trasmette meno"	2/11
N. R.	-	3/11

Tabella 1. Categorie utilizzate dai bambini (n=11, età=10)

Per rispondere alla domanda: "Come mai la luminosità della lampadina è diversa in fili di differente materiale?" i bambini (età=10) hanno utilizzato le categorie di carattere microscopico rappresentate in Tab. 1 mentre i ragazzi (età=13) utilizzano le loro conoscenze scolastiche sulla struttura particellare della materia organizzandole come descritto in Tab. 2.

La differente luminosità della lampadina è correlata: nei bambini, al numero/velocità/densità delle particelle nelle loro parole "molto piccole e velocissime" che ritengono presenti nei fili o alla compattezza del materiale, restando implicito il modo in cui tale condizione determina il processo osservato; nei ragazzi, al differente stato dinamico delle particelle, che percolano attraverso strutture ordinate.

I bambini non menzionano la carica elettrica ma utilizzano un concetto indefinito di energia ponendolo alla base del loro modello microscopico della conduzione elettrica nel filo, differenziandolo in tre categorie: l'energia è trasportata dal filo (2/11); le particelle trasportano l'energia (4/11); particelle di energia sono nel filo (2/11). Per i ragazzi, invece, il modello microscopico è costituito da piccoli elementi in moto tra ostacoli più o meno numerosi (20/35), più o meno vicini (8/35), più o meno grandi (7/35).

Nei disegni (Tab. 3) i bambini rappresentano elementi astratti usando spontaneamente simboli ai quali attribuiscono specifici significati associati alla loro idea di conduzione; ad esempio, la rarefazione dei simboli corrisponde alla situazione in cui la luminosità della lampadina è minore. In particolare, al crescere della lunghezza oppure al diminuire della sezione del filo, la differente luminosità della lampadina è correlata: nei bambini, alla dispersione dell'energia delle particelle e/o ad analogie con il traffico in cui il filo è visto come una strada e le particelle come auto; nei ragazzi, alla struttura microscopica del filo che ostacola il passaggio delle particelle, oppure alla dispersione delle particelle ("Se il circuito si allunga le particelle devono fare più strada e quindi si disperdono"). I disegni mostrano che l'immagine dell'interno del filo per i bambini si articola in due punti di vista relativi uno ad entità discrete e l'altro all'idea della propagazione. In quest'ultimo caso i bambini associano scariche elettriche e piccoli fulmini all'idea dell'energia trasmessa con disegni che ricordano l'elettrizzazione rappresentata nei cartoni animati. L'energia all'interno dei fili è immaginata come un insieme di particelle microscopiche "che vanno velocissime" nelle parole dei bambini.



categorie	esempio	utilizzo
Capacità del materiale di trasmettere particelle	"atomi più larghi/più stretti", "più/meno atomi", "atomi più lontani/più vicini"	15/35
Numerosità particelle	"passano più/meno elettroni", "nel rame ci sono più elettroni e meno atomi"	9/35
Libertà particelle	"elettroni liberi/pressati"	8/35
Mobilità particelle	"elettroni mobili/fermi"	3/35

Tabella 2. Categorie utilizzate dai ragazzi (n=35, età=13)

La batteria è considerata da tutti i bambini come fonte di energia mentre i ragazzi più grandi la vedono come generatrice di corrente (9/35) o addirittura di elettroni (5/35). Il compito dei fili di trasferire qualcosa è chiaro a tutti anche se è diverso ciò che si immagina sia trasferito, energia e/o particelle. Anche il compito dell'interruttore è chiaro a tutti, far passare o interrompere ciò che sta fluendo nei fili. Due bambini dicono che i terminali del circuito sono calamite che "ricevono l'energia" associando il fenomeno elettrico con quello magnetico come documentato in letteratura (Azaiza et al., 2006).

Chiudendo il circuito con un filo di rame o uno di ferro di uguale lunghezza e sezione la maggioranza dei bambini (8/11) formula ragionamenti che correlano la differenza di luminosità della lampadina alla numerosità e alla velocità delle particelle che trasmettono energia nel materiale oppure alla compattezza del materiale. I bambini fanno emergere una duplice prospettiva interpretativa: strutturale (compattezza) e particellare. La prima resta poco definita, mentre la seconda viene utilizzata per descrivere i processi anche in termini di energia.

Anche nella maggioranza delle risposte dei ragazzi vi è una visione microscopica di particelle, che chiamano elettroni, in moto tra gli atomi del filo, considerati come ostacoli. La possibilità di inserire nel circuito oggetti diversi produce nelle risposte dei ragazzi la formulazione di ben cinque ipotesi sulla dipendenza della luminosità della lampadina da: la capacità del materiale di facilitare la trasmissione degli elettroni, la numerosità degli elettroni, la libertà degli elettroni, la mobilità degli elettroni, l'ordine degli atomi e la relativa difficoltà degli elettroni ad attraversare il materiale (prima idea di resistività). Tutti i bambini motivano la maggiore luminosità della lampadina col filo corto attribuendo ad esso una minore dispersione di energia. I ragazzi riutilizzano il modello degli atomi come ostacoli per spiegare perché la lampadina diminuisce di luminosità aumentando la lunghezza del filo.



<i>categoria</i>	<i>esempio</i>	<i>utilizzo</i>
<i>Fasci di linee sinusoidali o a zigzag</i>		4/11
<i>Cerchietti, crocette o trattini</i>		3/11
<i>Fasci di linee parallele all'asse del filo</i>		2/11
<i>Combinazione</i>		1/11
<i>N. R.</i>	-	1/11

Tabella 3. Categorie utilizzate nei disegni dei bambini

Nella seconda fase del laboratorio gli studenti usano tre nuovi circuiti, uno con una resistenza variabile, un altro con tre lampadine in parallelo e infine uno con tre lampadine in serie. Per spiegare perché la luminosità della lampadina varia muovendo il cursore, i bambini riutilizzano l'idea di dispersione dell'energia correlando la luminosità della lampadina alla vicinanza della batteria ("l'energia deve fare un percorso più breve"; "la fonte di energia è più vicina") mentre i ragazzi riutilizzano il modello relativo alla dispersione delle particelle. Queste stesse idee sono riutilizzate dalla maggioranza dei bambini e dei ragazzi anche per spiegare il comportamento del circuito in parallelo ("La più vicina alla batteria sarà più luminosa"). Pochi ragazzi richiamano il concetto, presentato nell'ambito della scuola media, di invarianza della tensione elettrica ai capi di utilizzatori in parallelo. L'osservazione della luminosità delle lampadine nel circuito in serie è in contrasto con le previsioni secondo cui "le lampadine più vicine assorbono più energia" e di conseguenza nessun bambino fornisce spiegazioni. Chi spontaneamente riutilizza il modello microscopico supera l'idea della corrente consumata. Complessivamente nelle risposte si nota una differenziazione concettuale in riferimento alla corrente elettrica: per i bambini è energia, mentre i ragazzi parlano di flusso di elettroni salvo un caso in cui si afferma che nei materiali isolanti come il legno gli elettroni non sono presenti.

5. Conclusioni

- R1) I bambini usano l'energia come sintesi interpretativa del processo di conduzione. Anche se l'energia di cui parlano rimane un'entità non definita, questo referente è applicato in modo coerente sul piano qualitativo per interpretare i fenomeni, e presenta le caratteristiche di una proprietà quasi fisica che acquista via via la natura di un quadro interpretativo di ampiezza

crescente. Sul piano didattico emerge la necessità di mettere in relazione ciò che si sposta nel filo con la proprietà delle particelle costitutive della materia di possedere una carica elettrica.

- R2) I ragazzi usano atomi ed elettroni come referenti per costruire una rappresentazione organica della struttura interna e del processo di conduzione in termini di interazioni meccaniche tra particelle. La rappresentazione che i ragazzi forniscono per interpretare i fenomeni in termini della struttura e del ruolo di entità microscopiche è talvolta sorprendentemente vicina al punto di vista fisico, per esempio quando richiamano la relativa difficoltà degli elettroni ad attraversare il materiale si avvicinano alla descrizione della resistività in termini di sezione d'urto elettrone-ione reticolare, e realizza il collegamento tra i livelli di descrizione microscopica e macroscopica dei fenomeni auspicato in letteratura (Eylon, Ganiel, 1990).
- R3) I modelli microscopici non sempre vengono utilizzati per interpretare le nuove situazioni proposte nella seconda fase del laboratorio, ma quando ciò avviene si osserva il superamento delle concezioni non scientifiche, quale l'idea della corrente consumata e della batteria come sorgente di corrente.

I ragionamenti prodotti dagli studenti mostrano una importante caratteristica: attribuiscono il cambiamento nel comportamento del sistema al cambiamento delle sue proprietà microscopiche secondo un legame causale. Ciò appare in accordo sia con la forte presenza di spiegazioni causali nel ragionamento spontaneo, spesso assunte come “meccanismo” dei processi fisici (Besson, 2004), ma anche con la teoria fisica del trasporto elettrico.

Il ragionamento degli studenti non è naturalmente legato al livello microscopico, ma le domande e le situazioni proposte hanno stimolato la riflessione sul livello microscopico. L'analisi dati indica che i riferimenti ai processi microscopici sembrano essere una risorsa per gli studenti in quanto li aiuta a superare il ragionamento locale a favore di una visione del circuito come un sistema di elementi interagenti. Di conseguenza, l'indicazione alla didattica scolastica è di focalizzare sulle proprietà delle particelle che favoriscono una lettura parallela dei livelli macroscopici e microscopici di descrizione dei fenomeni. L'idea spontanea degli “scontri” tra particelle nel filo conduttore può essere utilizzata nella pratica didattica per costruire il concetto di resistenza elettrica. Ad esempio, quando si presenta la legge di Ohm, è opportuno evidenziare che non si tratta solo di una relazione fenomenologica tra grandezze macroscopiche tensione/corrente, ma che può essere giustificata in termini di un modello microscopico fondato sulla presenza di particelle cariche e campo elettrico; lo stesso modello può essere utilizzato per rispondere alla domanda: perché la lampadina si accende?, o, a livelli scolari più avanzati, per giustificare la legge di Joule sul riscaldamento del resistore. In sintesi, il processo di apprendimento va pianificato come attraversamento consapevole e sistematico di differenti modelli descrittivi e interpretativi. I modelli dei processi microscopici hanno due ruoli: da un lato forniscono una chiara interpretazione dei fenomeni in accordo con le idee scientifiche, dall'altro sono un potenziale strumento di apprendimento che i bambini esplicitano, elaborano e condividono.



Riferimenti bibliografici

- Anderson D., Lucas K. B., Ginns I. S. (2003). Theoretical Perspectives on Learning in an Informal Setting. *Journal Of Research In Science Teaching*, 40(2), pp. 177-199.
- Azaiza I., Bar V., Galili I. (2006). Learning electricity in elementary school. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 4, pp. 45-71.
- Besson U. (2004). Some features of causal reasoning: Common sense and physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 22(1), pp. 113-125.
- Chabay R. W., Sherwood B. A. (1999). *A unified treatment of electrostatics and circuits*, online <http://matterandinteractions.org/Content/Articles/circuit.pdf>
- Chiu M. H., Lin J. W. (2005). Promoting Fourth Graders' Conceptual Change of Their Understanding of Electric Current via Multiple Analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), pp. 429-464.
- De Posada J. M. (1997). Conceptions of High School Students Concerning the Internal Structure of Metals and Their Electric Conduction: Structure and Evolution. *Science Education*, 81(4) pp. 445-467.
- Duit R., von Rhöneck C. (1997, 1998). Learning and understanding key concepts of electricity. In Andrée Tiberghien, E. Leonard Jossem, Jorge Barojas (eds), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*.
- Eylon B. S., Ganiel U. (1990). Macro-micro relationship: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. *International Journal of Science Education*, 12, 1, pp. 79-94.
- Fera G. (2014). *La didattica in prospettiva verticale delle proprietà di trasporto elettrico nei solidi: i modelli microscopici partendo dalla fenomenologia*. Tesi di dottorato, Università di Udine.
- Groves et al. (eds). (2004). *Methods for Testing and Evaluating Survey Questionnaires*. New York: John Wiley & Sons.
- Hart C. (2008). Models in Physics, Models for Physics Learning, and Why the Distinction may Matter in the Case of Electric Circuits. *Research in Science Education* 38, pp. 529-544.
- Jabot M., Henry D. (2004). Assessing elementary and middle school students' understanding of electric current. In *Proceedings of the National Association of Research in Science Teaching NARST Annual Meeting*.
- Licht P. (1991). Teaching electrical energy, voltage and current: an alternative approach. *Physics Education* 25, pp. 271-277.
- McDermott L. C., Shaffer P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. Part II: Design of instructional strategies. *American Journal Of Physics* 60, 11, pp. 994-1013.
- Michelini M., Bradamante F., Corni F., Santi L., Stefanel A. (2005) Learning physics starting from real world: curricular proposals for didactic innovation using ICT, in proceedings of RIFEFP International meeting on teaching physics and teacher training.
- Michelini M. (2005). *The Learning Challenge: A Bridge between Everyday Experience and Scientific Knowledge*. Talk given at the GIREP Seminar Informal Learning and Public Understanding of Physics, Lubjiana.
- Michelini M. (2007). *Educazione scientifica ed approcci di ricerca in didattica della fisica*. Atti del Seminario di studi "Cultura Scientifica e Ricerca Didattica", Reggio Emilia.
- Mulhall P., McKittrick B., Gunstone R. (2001). A Perspective on the Resolution of Confusions in the Teaching of Electricity. *Research in Science Education*, 31, pp. 575-587.
- Osborne R. J. (1983). Towards modifying children's ideas about electric current. *Research in Science and Technological Education*, 1, 1, pp. 73-82.
- Psillos D. (1997, 1998). Teaching Introductory Electricity. In A. Tiberghien, E. L. Jossem, J. Barojas (eds), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*.
- Shipstone D. M. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6, 2, pp. 185-188.



- Stephens S-A., McRobbie C., Lucas K. (1999). Model-based reasoning in a year 10 classroom. *Research in Science Education*, 29 (2), pp. 189-208.
- Stocklmayer S. (2010). Teaching direct current theory using a field model. *International Journal of Science Education*, 32(13), pp. 1801-1828.
- Stocklmayer S. M., Treagust D. F. (1996). Images of electricity: how do novices and expert model electric current? *International Journal of Science Education* 18(2), pp. 163-178.
- Testa I. (2008). *Electric Circuits for Prospective Elementary Teachers*. Doctoral Thesis, University of Udine.
- Thacker B. A., Ganiel U., Boys D. (1999). Macroscopic phenomena and microscopic processes: Student understanding of transients in direct current electric circuits. *American Journal Of Physics*, 67, pp. S25-S31
- Tveita J. (1997). Constructivistic teaching methods helping students to develop particle models in science. *The Fourth International Seminar on Misconceptions Research*, online http://www.mlrg.org/proc3pdfs/Tveita_KineticParticleModel.pdf
- Viennot L. (2001). *Reasoning in Physics*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- White R., Gunstone R. (1992). *Probing Understanding*. London: Farmer Press.
- Wittmann M. C., Steinberg R. N., Redish E. F. (2002). Investigating student understanding of quantum physics: Spontaneous models of conductivity. *American Journal of Physics* 70(3), pp. 218-226.



