

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Scuola di Scienze
Dipartimento di Fisica e Astronomia
Corso di Laurea in Fisica

ANALISI DELL'EFFICACIA DI
ATTIVITÀ DIDATTICHE LABORATORIALI
TRA PARI SUI CIRCUITI RESISTIVI

Relatrice:
Prof.ssa Olivia Levrini

Presentata da:
Samuele Merola

Correlatrice:
Prof.ssa Patrizia Padovani

Anno Accademico 2022/2023

A chi sceglie di dedicarmi
del tempo con amore

*"È il tempo che hai perduto
per la tua rosa che ha fatto
la tua rosa così importante"
Antoine de Saint-Exupéry*

ABSTRACT

Scopo di questa tesi è monitorare se momenti di laboratorio tra pari per lo studio di circuiti elettrici resistivi siano attività di apprendimento attivo utili ed efficaci per stimolare processi di cambiamento concettuale verso la conoscenza scientifica e accreditata.

Lo studio è stato svolto in una classe del quinto anno del Liceo Scientifico A. Righi di Bologna. Dopo aver osservato gli studenti e dopo aver loro sottoposto un test d'ingresso per rilevare le conoscenze già possedute al momento del nostro intervento, è stata realizzata una sessione di laboratorio lasciando gli studenti liberi di sperimentare, confrontarsi e scambiarsi idee seguendo un tutorial. Dopo il laboratorio gli studenti sono stati coinvolti in una discussione collettiva mirata a riflettere ulteriormente sui nodi cognitivi emersi dal pre-test e dal laboratorio. A conclusione delle attività abbiamo somministrato un post-test per sondare le conoscenze acquisite ed elaborate.

I due test erano analoghi per forma e contenuto delle domande poste, pertanto abbiamo potuto analizzarli e confrontarli.

L'analisi delle risposte ha indicato l'attivazione di un processo di apprendimento significativo, anche se permangono alcune idee profonde e resistenti al cambiamento. In particolare, è stata compresa meglio la necessità della chiusura di un circuito per permettere il passaggio di corrente e sono quindi state abbandonate visioni unipolari o bipolari con correnti antagoniste che escono dai due poli; è stata stimolata una forma di ragionamento sistemica e non locale; tuttavia è rimasta in alcuni studenti l'idea di consumo di corrente.

Indice

INTRODUZIONE	9
CAPITOLO 1 OBIETTIVI E ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO	11
1.1 STATO DELL'ARTE, OBIETTIVI E FASI DELLO STUDIO	11
1.2 STRUMENTI DI INDAGINE	16
1.2.1 DETERMINING AND INTERPRETING RESISTIVE ELECTRIC CIRCUITS CONCEPTS TEST (DIRECT)	18
1.2.2 PRE-TEST	22
1.2.3 TUTORIAL	23
CAPITOLO 2 IL CONTESTO E LA SPERIMENTAZIONE	25
2.1 LA SCUOLA, LA CLASSE E IL BACKGROUND DEGLI STUDENTI	25
2.2 LE ATTIVITÀ SVOLTE IN CLASSE	27
CAPITOLO 3 I RISULTATI	36
3.1 PRE-TEST	36
3.2 POST-TEST	41
3.3 CONFRONTO	46
3.3.1 TRA PRE-TEST E POST-TEST	46
3.3.2 TRA RISULTATI DIRECT NOTI E NEL NOSTRO CAMPIONE	53
CONCLUSIONI	56
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	58
APPENDICE A : Post-Test	60
APPENDICE B : Pre-Test	67
APPENDICE C : Tutorial	72

Lista delle Tabelle

<i>Tabella 1 - Abbinamento quesito di indagine con numero di domanda nel DIRECT</i>	19
<i>Tabella 2 - Abbinamento quesito di indagine con numero di domanda nel pre-test</i>	22
<i>Tabella 3 - Confronto tra i risultati statistici noti e quelli del nostro campione</i>	53
<i>Tabella 4 - Opzioni scelte dal nostro campione di studenti (colonne I) e quello originario (colonne II) per ogni domanda. In verde sono evidenziate le risposte corrette, in rosso le risposte scelte dalla maggior parte degli studenti.</i>	54

Lista delle Figure

<i>Figura 1.1 - Alcuni modelli di corrente diffusi (immagine tratta da (Besson, 2015))</i>	12
<i>Figura 1.2 - elettroni con o senza energia, cedono l'energia al motore ma rimangono in circolo senza disperdersi (immagine tratta da (Danusso & Durpé, 1991))</i>	12
<i>Figura 1.3 - Evoluzione con l'età delle concezioni sui circuiti elettrici: correnti antagoniste (b), modello sequenziale (c), spartizione di corrente (d), scientifica (e) (immagine tratta da (Besson, 2015))</i>	16
<i>Figura 1.4 - Un esempio di domanda: testo semplice, corredato da immagine schematica, 4 opzioni di risposta</i>	20
<i>Figura 1.5 - Risultati del test somministrato in High School in USA</i>	21
<i>Figura 2.1 - La sede del Liceo</i>	25
<i>Figura 2.2 - la classe</i>	25
<i>Figura 2.3 - l'osservazione della quotidianità della classe</i>	27
<i>Figura 2.4 - una studentessa alle prese con il pre-test</i>	30
<i>Figura 2.5 - un gruppo di studenti collabora nel laboratorio</i>	31
<i>Figura 2.6 - alcuni collegamenti che accendono o non accendono la lampadina, disegnati dagli studenti sul tutorial</i>	32
<i>Figura 2.7 - la lezione frontale</i>	33
<i>Figura 2.8 - i tre disegni mostrati alla lavagna su cui abbiamo ragionato nella seconda parte della lezione</i>	34
<i>Figura 3.1 - Distribuzione dei risultati degli studenti (istogramma blu) paragonata a una distribuzione gaussiana (funzione verde)</i>	36
<i>Figura 3.2 - Prospetto delle scelte di ciascuno studente per ogni domanda raggruppate per obiettivo di indagine</i>	37
<i>Figura 3.3 - Istogramma rappresentante la percentuale di risposte corrette per ogni domanda</i>	38
<i>Figura 3.4 - Distribuzione dei risultati degli studenti (istogramma blu) paragonata a una distribuzione gaussiana (funzione verde)</i>	41

<i>Figura 3.5 - Istogramma rappresentante la percentuale di risposte corrette per ogni domanda</i>	42
<i>Figura 3.6 - Prospetto delle scelte di ciascuno studente per ogni domanda raggruppate per obiettivo di indagine</i>	42
<i>Figura 3.7 - Esiti del pre-test (verde) sovrapposti agli esiti del post-test (blu)</i>	46
<i>Figura 3.8 - Paragone dei risultati dei due test per ciascuno studente</i>	47
<i>Figura 3.9 - istogramma che raffigura la percentuale di risposte corrette per ciascuno studente. In verde sono riportati i valori del pre-test e in blu quelli del post-test.</i>	48
<i>Figura 3.10 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al primo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente</i>	49
<i>Figura 3.11 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al secondo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente</i>	50
<i>Figura 3.12 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al terzo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente</i>	51
<i>Figura 3.13 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al quarto quesito di indagine nei due test per ciascuno studente</i>	52
<i>Figura 3.14 - confronto tra le risposte corrette fornite nel post-test (colonne blu) e le risposte corrette al DIRECT nel campione originale (colonne arancioni)</i>	55

Introduzione

*Between the idea
And the reality
Between the motion
And the act
Falls the Shadow.
T.S. Eliot*

*Tra l'idea
e la realtà
Tra il movimento
E l'atto
Cade l'Ombra
T.S. Eliot*

Questa frase di Eliot (Oxford Dictionary of Quotations, 2014) sintetizza l'intero processo del nostro studio: spesso ci sono differenze tra le idee degli studenti e la realtà. La conoscenza di senso comune, le intuizioni che hanno i ragazzi, e le costruzioni mentali che si realizzano possono essere un ottimo trampolino per arrivare alla conoscenza scientifica e accreditata. All'interno del nostro studio abbiamo esaminato questo processo di crescita e cambiamento in un gruppo di studenti liceali: abbiamo osservato e analizzato le conoscenze possedute da ognuno di essi, proposto loro alcune attività laboratoriali tra pari, abbiamo commentato ed esplicitato in classe le difficoltà che i ragazzi hanno incontrato e infine misurato le abilità possedute al termine del percorso, per poi compiere un'analisi paragonando le idee possedute all'inizio con la conoscenza raggiunta alla fine.

Obiettivo principale di questa ricerca è verificare come le attività laboratoriali pratiche, svolte tra studenti senza un rigido controllo e direzione fornita dall'insegnante, siano foriere di un cambiamento concettuale e misurarne l'entità.

Tra la vastità della fisica, abbiamo scelto di collocarci in elettrodinamica, nell'analisi dei fenomeni elettrici in circuiti puramente resistivi alimentati a corrente continua, perché la chiave per comprendere il loro funzionamento e poterlo prevedere, è sviluppare un pensiero sistemico. In ragazzi giovani come quelli del nostro campione d'indagine, è diffusa una visione locale e contingente delle situazioni ed essi sono generalmente portati ad utilizzare un approccio sequenziale alle difficoltà: risulta infatti difficile inserire i problemi in un contesto generale e più ampio. Lo sviluppo di un modello di ragionamento sistemico, necessario nei circuiti elettrici, aiuta a comprendere in modo profondo molti tipi di problemi (anche al di fuori della fisica) e riteniamo sia estremamente importante sviluppare queste abilità nella società attuale.

Lo studio si è svolto in una classe dell'ultimo anno del Liceo Scientifico Righi di Bologna e ha riguardato 20 studenti. Lo strumento principale utilizzato per sondare le loro conoscenze è stato il *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test*, un test ben noto in letteratura e validato da ampie ricerche e sperimentazioni. Quattro sono gli obiettivi di indagine che abbiamo approfondito:

1. gli aspetti fisici dei circuiti elettrici DC (tra cui la costruzione geometrica di lampadine, i collegamenti in serie e parallelo, i cortocircuiti, la chiusura o apertura di un circuito, l'interpretazione di schemi circuitali, ...)
2. il ruolo svolto dall'energia (tra cui il concetto di potenza, la conservazione dell'energia, la regola delle maglie di Kirchhoff, ...)
3. il concetto di corrente elettrica (tra cui la comprensione della conservazione di corrente, il parallelismo tra flusso di corrente e aspetti microscopici legati al campo elettrico, ...)
4. il funzionamento di una differenza di potenziale (tra cui la relazione tra quantità di corrente, differenza di potenziale e resistenza, l'andamento della tensione in circuiti in serie/parallelo, ...)

La letteratura didattica indica che sono molto diffuse due idee di senso comune: la corrente si consuma mentre fluisce attraverso una resistenza e la batteria è una sorgente di corrente costante.

Nel Capitolo 1 presenteremo l'obiettivo della nostra ricerca, riportando i risultati noti da altri studi circa le difficoltà più diffuse tra gli studenti e i diversi modelli di corrente che possono configurarsi nelle loro menti. Successivamente riporteremo i momenti in cui si è articolato il nostro intervento: siamo partiti dallo studio e confronto di diversi testi e questionari, seguito da un'osservazione attenta della classe durante le ore di fisica o matematica, abbiamo poi svolto un pre-test per rilevare le idee degli studenti, per poi arrivare al fulcro dell'intervento ovvero l'attività di laboratorio e il successivo dibattito sulle difficoltà incontrate, terminando così con lo svolgimento di un post-test per raccogliere il livello di conoscenza finale degli studenti e per analizzare l'entità dell'apprendimento. Infine presenteremo anche tutti gli strumenti utilizzati commentandone la relativa implementazione e sviluppo.

Nel Capitolo 2 illustreremo il contesto in cui si è svolta la nostra ricerca: partiremo dalla descrizione della scuola e del background degli studenti, per poi narrare l'osservazione effettuata e lo svolgimento dei test e del laboratorio, analizzando i momenti principali emersi dal diario di bordo che abbiamo tenuto, e commentando le reazioni degli studenti in ogni fase dell'apprendimento.

Nel Capitolo 3 mostreremo i risultati del pre-test e del post-test, faremo considerazioni statistiche e confronteremo gli esiti dei due momenti. Termineremo con un confronto tra i dati raccolti nel post-test effettuato con i nostri studenti e quelli raccolti dallo svolgimento del DIRECT in altre scuole e pubblicati in ricerche e studi precedenti.

Nelle Conclusioni riassumeremo gli esiti principali del nostro studio e risponderemo al nostro obiettivo di ricerca: **le attività laboratoriali tra pari svolte in questo contesto sono risultate efficaci per un apprendimento della conoscenza scientifica dei circuiti resistivi a corrente continua? In quale misura?**

*The greatest enemy of knowledge is not ignorance, it is the illusion of knowledge.
Stephen Hawking*

Il più grande nemico della conoscenza non è l'ignoranza, è l'illusione di conoscere.

Capitolo 1

Obiettivi e articolazione dello studio

1.1 Stato dell'arte, obiettivi e fasi dello studio

Obiettivo del nostro studio è sperimentare una didattica laboratoriale e di apprendimento tra pari al fine di misurarne l'efficacia in termini di cambiamento concettuale negli studenti. Lo studio è stato svolto su un gruppo di alunni dell'ultimo anno del Liceo Scientifico A. Righi di Bologna e ha riguardato i seguenti argomenti: la corrente continua nei circuiti, il ruolo di resistenze disposte in serie o in parallelo, come passare correttamente da uno schema di un circuito all'interpretazione reale dell'oggetto.

Paula Vetter Engelhardt, nella sua tesi di dottorato (Engelhardt, 1997), ha proposto la seguente definizione di "*misconception*", per indicare una visione del mondo, concezione o preconetto che:

- a) è una struttura cognitiva stabile e fortemente sostenuta
- b) differisce dalle concezioni degli esperti
- c) impatta in senso fondamentale il modo in cui gli studenti comprendono i fenomeni naturali e le spiegazioni scientifiche
- d) deve essere superata, evitata o eliminata affinché gli studenti raggiungano una conoscenza esperta

Nella tradizione della ricerca sul cambiamento concettuale, sono state mosse molte critiche a questa visione, per l'ipotesi di coerenza e stabilità che la definizione assume e per l'idea che la conoscenza di senso comune sia da superare in quanto espressione soltanto di concezioni "sbagliate" (cfr. (DiSessa, 2018); (diSessa & Sherin, 1998)). In questa tesi si assume che la conoscenza di senso comune sia molto utile anche come sorgente di idee importanti per l'apprendimento e la costruzione della conoscenza scientifica e accreditata.

Nel campo della ricerca sulla conoscenza scientifica dell'elettrodinamica è noto che gli studenti fanno spesso leva a concezioni riconducibili a cinque modelli diffusi sulla corrente, di cui solo uno accettabile dal punto di vista fisico [Figura 1.1]:

- una concezione *unipolare (unipolar)* con un flusso unidirezionale che viaggia su un unico filo collegato dalla sorgente all'utilizzatore. Non necessita della chiusura del circuito, è favorito dall'asimmetria delle lampadine o delle pile cilindriche. È un modello coerente con l'identificazione di corrente elettrica ed energia come unica grandezza;
- una concezione *bipolare con correnti antagoniste (clashing currents)*, secondo cui occorrono entrambi i poli del generatore da cui escono due flussi (una corrente positiva e una corrente negativa) che si incrociano nell'utilizzatore. Incorpora in sé l'idea di consumo di corrente;
- una concezione *sequenziale di consumo (attenuation)*, che prevede un flusso circolare di corrente che diminuisce dopo l'utilizzatore perché è consumata in parte da esso. Presuppone che la pila eroghi una corrente prefissata e invariante (a volte misurata in volt) e le resistenze non fanno altro che consumarla;
- una concezione *a spartizione di corrente (sharing)*, che ritiene corretti tutti gli assunti del precedente modello e aggiunge che la corrente viene spartita equamente tra gli elementi del circuito, dividendosi in parti uguali in ogni nodo;
- la concezione *scientifica*, quella corretta, che prevede la circolazione senza consumo di corrente.

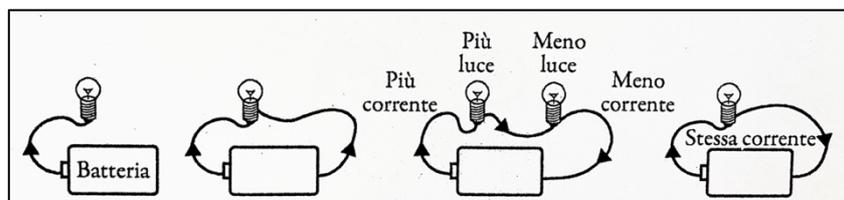


Figura 1.1 - Alcuni modelli di corrente diffusi (immagine tratta da (Besson, 2015))

Un'altra concezione diffusa, che spesso gli studenti mostrano, se sollecitati, riguardo i circuiti a corrente continua, è l'idea che la batteria sia una sorgente di corrente costante: indipendentemente dagli elementi posti nel circuito si tende a pensare che una batteria fornisca sempre la stessa quantità di corrente. Si fatica quindi a cogliere la differenza tra grandezze come voltaggio e corrente e non si riesce a comprendere fino in fondo la prima legge di Ohm.

Un'altra coppia di grandezze che spesso si confondono e di cui non si coglie la differenza sono corrente ed energia elettrica: gli studenti faticano a capire che ci si trova davanti a flussi associati ma distinti, uno di cariche e uno di energia, e raramente nell'insegnamento ci si ferma a riflettere a sufficienza su questa distinzione. Spesso sorgono dubbi sulla conservazione di carica ed energia, fino ad arrivare al punto che alcuni studenti più brillanti possono chiedersi "perché pagare la corrente se poi la dobbiamo restituire e non si consuma?"

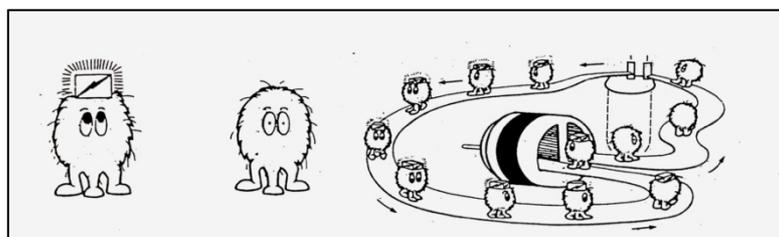


Figura 1.2 - elettroni con o senza energia, cedono l'energia al motore ma rimangono in circolo senza disperdersi (immagine tratta da (Danusso & Durpé, 1991))

Un altro problema riguarda la difficoltà degli studenti nel comprendere i diagrammi utilizzati per rappresentare i circuiti elettrici. Questi diagrammi universalmente utilizzati racchiudono "una comunicazione di informazioni di tipo simbolico, molto astratta e non verbale e il cui linguaggio richiede di essere appreso ed esercitato" (Danusso & Durpé, 1991). Si riscontrano pertanto difficoltà nel costruire la corrispondenza tra il circuito reale e lo schema. Osservare quali rappresentazioni gli studenti creano per i diagrammi aiuta a cogliere quale comprensione hanno dei circuiti: "spesso vedono questi diagrammi come un sistema di tubi in cui scorre un fluido che loro chiamano elettricità" (Johsua, 1984), in questo modo non riescono a capire e applicare il concetto di circuito chiuso e circuito aperto oltre ad avere difficoltà nell'identificare i collegamenti in serie o in parallelo, soprattutto quando la disposizione spaziale differisce da quella standard.

Un'altra difficoltà nota in letteratura nell'apprendimento dei circuiti riguarda il tipo di ragionamento. Closset afferma che il ragionamento degli studenti può essere di tre tipi (Closset, 1983):

- *sequenziale*, il più diffuso, in cui lo studente si concentra su un "prima e dopo", pensando che la corrente giri nel circuito e sia influenzata da ciascun elemento che incontra e che un eventuale cambiamento in un punto non varierebbe la corrente nei tratti precedenti. "Nel ragionamento sequenziale quello che si segue è il destino della

corrente, la quale esce da un polo, procede attraverso i vari elementi del circuito, in ciascuno di essi viene attenuata ("si consuma"), si suddivide in parti uguali alle biforcazioni fino a tornare all'altro polo" (Danusso & Durpé, 1991). Con questo modo di pensare si perde la visione sistemica dell'intero circuito, secondo cui variando le caratteristiche di un elemento si osservano cambiamenti alla corrente nell'intero circuito e non solo a valle dell'elemento variato. Alcune domande tipiche possono essere "*come fa la pila a sapere che una resistenza è cambiata e quindi a determinare la corrente da emettere?*" oppure "*come fa la corrente a sapere cosa c'è dopo una biforcazione?*" o ancora constatazioni come "*siccome per raggiungere una seconda lampada la corrente deve superare la prima lampada che costituisce una resistenza, la corrente perderà energia e la sua intensità sarà minore*". Questi dubbi sorgono dal fatto che molti allievi pongono la corrente come fattore alla base del ragionamento.

- *locale*, cioè lo studente ritiene che la corrente scorra nei fili e si divida in parti uguali ad ogni nodo senza tener conto di ciò che accade altrove o ciò che è presente nel ramo stesso.
- *superposizionale*, gli studenti con quest'idea pensano che se una batteria permette a una lampadina di brillare in una certa misura, due batterie la faranno brillare il doppio, indipendentemente dalla configurazione; si focalizzano quindi sull'osservare la quantità delle grandezze in gioco ignorando la posizione relativa di batterie o resistenze.

Infine, una pratica diffusa negli studenti nella soluzione degli esercizi, non solo in elettrodinamica, consiste nel ricercare il dato quantitativo piuttosto che il ragionamento qualitativo; pertanto, quando vengono messi davanti a problemi di natura qualitativa, essi si mostrano riluttanti a ragionare in questo modo e si riconducono ad approcci quantitativi o tecnici.

Riassumendo, l'analisi della letteratura di ricerca sulle difficoltà degli studenti nell'apprendimento dei circuiti elettrici mostra che i nodi cognitivi più frequenti riguardano:

- a) la concezione di corrente elettrica e il suo fluire
- b) la distinzione tra grandezze come voltaggio e corrente o energia e corrente
- c) la comprensione dei diagrammi utilizzati per rappresentare i circuiti elettrici
- d) il ragionamento utilizzato nell'analisi dei circuiti o nella soluzione di esercizi

Riuscire a sciogliere questi nodi è utile per lo studente non solo al fine dello studio specifico dei circuiti ma anche per risvolti più profondi, in quanto le strategie di ragionamento in gioco sono cruciali anche per lo sviluppo del pensiero sistemico, fondamentale per comprendere e affrontare problemi complessi. Siamo generalmente portati ad avere una visione locale e contingente delle situazioni, mentre l'approccio sistemico alle difficoltà è sempre più importante per una formazione culturale alla cittadinanza. Quindi la comprensione del funzionamento dei circuiti, indagati in un'ottica sistemica, soffermandosi a riflettere sulle cause ed effetti e sulle proporzionalità delle grandezze in gioco, esula da un'operazione fine a sé stessa e alla conoscenza fisica del problema ma permette di apprendere un modello di ragionamento che aiuta a comprendere in modo profondo molti tipi di problemi.

Per agevolare il cambiamento concettuale e favorire il passaggio dalla conoscenza di senso comune alla concezione scientifica, abbiamo articolato la ricerca in diverse fasi.

Fase zero

Inizialmente abbiamo cercato e selezionato strumenti già tarati per il monitoraggio della conoscenza. I test che abbiamo esaminato sono: il test *Inventory of Basic Conceptions - DC Circuits* (IBCDC), il test *Electric Circuits Conceptual Evaluation* (ECCE) e il test *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test* (DIRECT) con le relative ricerche su cui si basano e i risultati che hanno ottenuto.

Il test IBCDC è stato ideato nel 2006 dal professor Ibrahim Halloun dell'Università di Beirut. Le domande del questionario permettono di riflettere sui circuiti reali e i collegamenti tra i fili, partendo da un diagramma, permettono di riflettere sulle manifestazioni della resistenza nei circuiti reali (come lampadina che brilla più o meno intensamente) e permettono di familiarizzare con le differenze tra elementi in serie o in parallelo. Molte domande sono comparative tra situazioni differenti, in modo da far cogliere la proporzionalità che lega le grandezze in questione (spesso la prima Legge di Ohm). Si tratta quindi di un test che fa molto affidamento su una conoscenza di tipo pratico e sperimentale.

Il test ECCE è stato ideato nel 1996 dal professor David Sokoloff dell'Università dell'Oregon. Le domande di questo test permettono di interpretare grafici i-t e V-t abbinati ai diagrammi circuitali, puntando sul ragionamento nel combinare situazioni elementari note per giungere a collegamenti più complessi (mostrando quindi numerosi circuiti in cui gli elementi sono posti in serie ma anche in parallelo rispetto ad altri). In questo test sono presenti anche circuiti RC-RCL e cenni di corrente alternata.

Il test DIRECT nella sua prima versione fu realizzato nel 1995 dalla professoressa Paula Vetter Engelhardt. Permette di riflettere sui collegamenti reali dei fili abbinati a diagrammi circuitali, analizzando anche quali circuiti possano risultare aperti e dove possa passare corrente. Alcune domande sono mirate a riconoscere analogie tra situazioni differenti e ricavare la proporzionalità delle grandezze osservate (soprattutto la Prima Legge di Ohm). Inoltre il test permette di comprendere quali elementi siano posti in serie o in parallelo e come scorre la corrente dopo i nodi.

Per il nostro studio abbiamo scelto di basarci su quest'ultimo: abbiamo realizzato un pre-test con domande analoghe a quelle del DIRECT e abbiamo usato il DIRECT stesso come post-test.

Fase I

Abbiamo osservato per diverse ore gli studenti in classe, ponendo l'attenzione sul loro modo di affrontare la disciplina. Abbiamo quindi somministrato il pre-test, per analizzare le conoscenze degli studenti su diversi aspetti dei circuiti a corrente continua. Esaminandone i risultati, abbiamo mappato le idee di senso comune più diffuse e il livello di partenza del campione.

Nel paragrafo 1.2.2 illustreremo con maggior dettaglio la struttura del test.

Fase II

Il passaggio successivo è stato il più delicato: abbiamo realizzato alcuni esperimenti in gruppo seguendo il tutorial basato su risultati di ricerca, tratto da (McDermott, Shaffer, & Group, 2002). L'obiettivo di questa è guidare gli studenti in attività di apprendimento attivo, durante le quali potessero analizzare il comportamento di semplici circuiti reali da loro assemblati.

Nel paragrafo 1.2.3 illustreremo con maggior dettaglio la struttura di questo tutorial e le modalità di lavoro.

Dopo il momento di apprendimento tra pari seguendo le linee guida del tutorial, abbiamo tenuto una lezione con l'ausilio di dispositivi multimediali, per focalizzare la riflessione sui nodi concettuali e sulle difficoltà emerse durante le ore precedenti.

Le reazioni degli studenti e le attività svolte verranno illustrate nel paragrafo 2.2.

Fase III

Infine abbiamo sottoposto agli studenti un post-test (il DIRECT), utile a sondare nuovamente le conoscenze possedute a fine settimana. Con questo questionario si è voluto misurare l'apprendimento degli studenti e comprendere quali difficoltà siano state superate, quali permangano e con quale efficacia sia stato svolto il tutorial e la lezione frontale. Nel paragrafo 1.2.1 vedremo la forma e il contenuto di questo test.

1.2 strumenti di indagine

Il principale strumento utilizzato per riconoscere la conoscenza degli studenti e misurarne il cambiamento è stato il test DIRECT. Il test è stato sviluppato dalla professoressa Paula Vetter Engelhardt nel corso degli anni Novanta e trova la pubblicazione della sua versione 1.0 nel 1995 (Engelhardt, 1997). L'obiettivo del test è diagnosticare il pensiero degli studenti riguardo circuiti a corrente continua sotto molteplici aspetti, spesso fonte di confusione.

Proprio in quegli anni le rappresentazioni mentali degli studenti sono state studiate approfonditamente, rilevando che i fenomeni elettrici risultano piuttosto difficili da comprendere appieno dagli studenti. *"I fenomeni elettrici sono un qualcosa di non-naturale e [...] non 'appaiono' realmente perché i nostri sensi non sono capaci di percepirli direttamente: noi osserviamo che quando si connette la spina o si inserisce una batteria si sviluppano forze e movimento dai motori elettrici, luce dalla torcia, e in generale sempre anche del calore. Quello che noi recepiamo sono soltanto dei fenomeni meccanici, luminosi o termici che ci interessano per la loro utilità, ed è solo la cultura che ci dice che dietro di essi c'è l'"elettricità" che per tutti questi motivi chiameremmo un fenomeno "secondario" (Danusso & Durpé, 1991).*

Abbiamo già osservato nel capitolo 1.1 quale siano le conoscenze di senso comune più diffuse. Uno studio neozelandese del 1985 (Shipstone, 1985) ha messo in relazione l'evoluzione del pensiero con l'età degli studenti sottolineando come evolvano le concezioni sui circuiti elettrici in base all'età e alle esperienze fatte. In Figura 1.3 si può osservare che l'idea accreditata di corrente tende a prevalere con l'aumento dell'età. Risultati simili sono riportati anche da Closset che nel 1989 ha studiato le concezioni degli studenti dell'ultimo anno della secondaria e il primo biennio universitario.

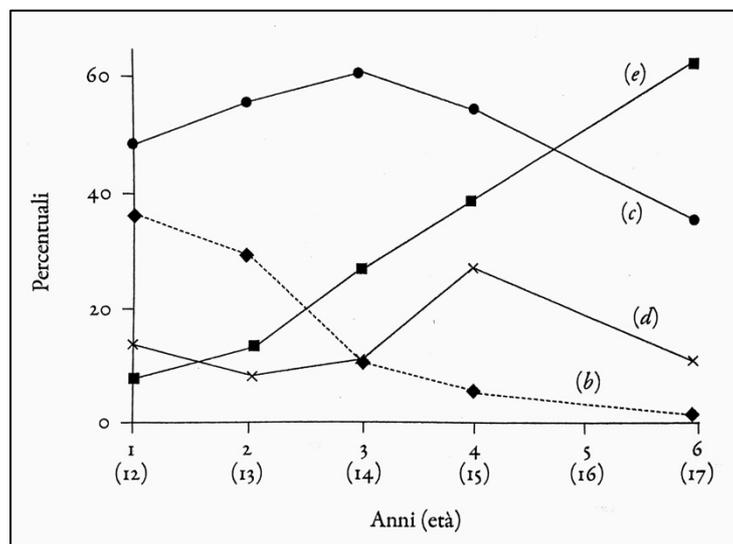


Figura 1.3 - Evoluzione con l'età delle concezioni sui circuiti elettrici: correnti antagoniste (b), modello sequenziale (c), spartizione di corrente (d), scientifica (e) (immagine tratta da (Besson, 2015))

Partendo da queste rilevazioni fatte negli ultimi anni del secolo scorso è stato costruito il questionario DIRECT, che ingloba i risultati progressi con lo scopo di indagarli ulteriormente.

Un altro importante strumento utilizzato è il capitolo "*A model for circuits*" del *Tutorial in Introductory Physics* dell'Università di Washington (McDermott, Shaffer, & Group, 2002), da cui abbiamo tratto spunto per le attività di laboratorio in classe e per alcune domande utilizzate nel pre-test.

Nei seguenti paragrafi descriveremo nel dettaglio questi strumenti.

1.2.1 Determining and Interpreting Resistive Electric circuits Concepts Test (DIRECT)

Engelhardt, basandosi sui risultati precedentemente illustrati, sull'analisi estensiva di numerosi libri di testo e su consultazioni con diversi professori, ha ricavato 11 obiettivi di indagine, e per ciascuno di essi ha formulato 3 domande (condizione per controllare che le risposte non siano casuali ma mostrino idee degli studenti). Dalle 33 domande così ottenute sono state rimosse le 3 domande relative al secondo quesito di indagine, includendole nei quesiti del primo e terzo punto. L'insieme delle domande è stato quindi sottoposto a un gruppo indipendente di ricercatori per validarne la coerenza.

Riportiamo i quesiti di indagine del DIRECT come elencati dall'autrice (Engelhardt, 1997):

Aspetti fisici dei circuiti elettrici DC

1. *Identificare e spiegare un cortocircuito (più corrente segue il percorso con minor resistenza)*
2. *comprendere la duplicità funzionale degli elementi circuitali (gli elementi hanno due possibili punti con cui effettuare una connessione)*
3. *identificare un circuito completo e comprendere la necessità di un circuito completo affinché la corrente possa fluire in uno stato stazionario (alcune cariche sono in movimento ma le loro velocità in qualsiasi punto non cambiano e non c'è accumulo di carica in eccesso in nessun punto del circuito)*
4. *applicare il concetto di resistenza (l'impedimento al flusso di cariche in un circuito) includendo che la resistenza è una proprietà dell'oggetto (geometria dell'oggetto e tipo di materiale di cui è composto l'oggetto) e che in serie la resistenza aumenta man mano che si aggiungono più elementi e parallelamente la resistenza diminuisce man mano che si aggiungono più elementi*
5. *interpretare immagini e diagrammi di una varietà di circuiti tra cui serie, parallelo e combinazioni dei due*

Energia

6. *applicare il concetto di potenza (lavoro compiuto nell'unità di tempo) a una varietà di circuiti*
7. *applicare una comprensione concettuale della conservazione dell'energia includendo la regola delle maglie di Kirchhoff ($\sum V=0$ attorno ad un circuito chiuso) e la batteria come fonte di energia*

Corrente

8. *comprendere e applicare la conservazione della corrente (conservazione della carica in regime stazionario) a una varietà di circuiti*
9. *spiegare gli aspetti microscopici del flusso di corrente in un circuito attraverso l'uso di termini elettrostatici come campo elettrico, differenze di potenziale e interazione delle forze sulle particelle cariche*

Differenza di potenziale (tensione)

10. *applicare la conoscenza che la quantità di corrente è influenzata dalla differenza di potenziale mantenuta dalla batteria e dalla resistenza nel circuito*

11. *applicare il concetto di differenza di potenziale a una varietà di circuiti compresa la consapevolezza che la differenza di potenziale in un circuito in serie si somma mentre in un circuito in parallelo rimane la stessa*

Il gruppo indipendente di esperti ha constatato che alcune domande non erano chiaramente ascrivibili a un unico quesito di indagine. Questo avrebbe determinato una dubbia attendibilità dell'analisi statistica dei risultati. Quindi il test è stato revisionato e modificato, per arrivare alla versione pubblicata del DIRECT. Nella seguente tabella riportiamo la suddivisione delle domande per i quesiti di indagine.

Tabella 1 - Abbinamento quesito di indagine con numero di domanda nel DIRECT

Quesito di indagine	Numero di obiettivo	Numero di domanda
Aspetti fisici dei circuiti elettrici DC	1-5	4, 5, 9, 10, 13, 14, 18, 19, 22, 23, 27
Energia	6-7	2, 3, 12, 21
Corrente	8-9	1, 8, 11, 17, 20
Differenza di potenziale	10-11	6, 7, 15, 16, 24, 25, 26, 28, 29

Le domande sono a scelta multipla, con un numero di opzioni compreso tra 3 e 5. Questa tipologia di esame ha molti vantaggi ma anche alcuni svantaggi. Il questionario a scelta multipla permette di applicare metodi statistici ai dati, permettendo di trarre conclusioni su campioni statisticamente significativi e può, quindi, "permettere un eccellente campionamento del contenuto, che generalmente porta a interpretazioni del punteggio più valide" (Mehrens & Lehmann, 1991). Inoltre, come sottolinea l'ideatrice, "può coprire un'ampia gamma di comportamenti, dal ricordo alle abilità di livello superiore come l'applicazione" (Doran, 1980). Infine, le domande a scelta multipla hanno la potenzialità di fornire un'intuizione diagnostica dei preconcetti che gli studenti potrebbero possedere.

Alcuni svantaggi dell'utilizzo di questa tipologia di test riguardano la possibilità che la risposta corretta sia fornita fortuitamente oppure solo su intuizioni e non rispecchino la conoscenza degli studenti. È noto infatti che i test a scelta multipla sovrastimino la conoscenza posseduta dallo studente: la scelta dell'opzione corretta non è necessariamente correlata a una piena conoscenza del tema in questione.

Oltre al solo questionario a scelta multipla, è risultato per noi utile integrare i dati emersi con domande aperte e discussioni informali con gli studenti in modo da cogliere più profondamente le motivazioni delle loro scelte.

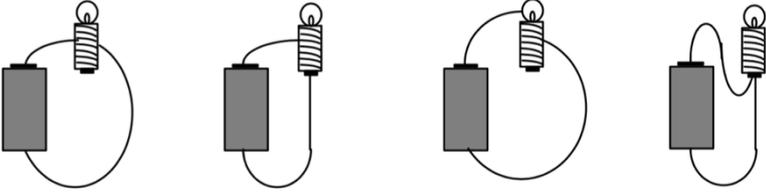
Le domande del questionario sono state ideate per un utilizzo su studenti di scuole superiori con età di 15-20 anni¹, e sono appositamente scritte con un linguaggio che faccia riferimento alla realtà quotidiana e alla conoscenza di senso comune (ad esempio si trova "quale lampadina brilla di più" invece di "quale resistenza è attraversata da maggior corrente"). Spesso i quesiti sono accompagnati da disegni esplicativi. Alcune volte il disegno è costituito dal diagramma elettrico, altre volte da disegni schematici che rappresentano la situazione realistica. Per evitare ogni dubbio di comprensione, a inizio test è riportata una legenda, che ad ogni elemento associa sia il nome del vocabolo, sia il possibile disegno stilizzato, sia il simbolo circuitale universalmente noto.

¹ l'età media del campione originale è 17.9 anni per 783 alunni, che è molto prossima a quella del nostro campione, come descritto in seguito (Capitolo 2.1)

Gli autori hanno compiuto numerosi sforzi affinché le domande non contenessero alcuna indicazione tale da influenzare gli studenti nella scelta della possibile risposta. Per non aggiungere la difficoltà della lingua agli studenti nel nostro campione di indagine abbiamo tradotto il test in italiano cercando di rimanere il più possibile aderenti alla versione originale in modo da non compromettere gli sforzi compiuti dalla professoressa Engelhardt nel creare la versione originale.

Il test è pensato per essere svolto in aula, sorvegliando gli studenti per garantire il lavoro in autonomia e senza ausili di libri di testo o internet. La durata massima concessa è di 60 minuti.

27) Le lampadine avranno tutte la stessa luminosità?



A B C D

(A) Sì, perché hanno tutte lo stesso tipo di collegamento
(B) No, perché solo B si accenderà. I collegamenti di A, C e D non sono corretti
(C) No, perché solo D si accenderà. D è l'unico circuito completo
(D) No, C non si accenderà ma A, B e D si accenderanno

Figura 1.4 - Un esempio di domanda: testo semplice, corredato da immagine schematica, 4 opzioni di risposta

Il DIRECT è stato utilizzato, vagliato e analizzato da numerosi esperti e studiosi del settore: il sito physport.org (PhysPort, 2023) attribuisce a questo test un ranking di *gold star validated* che consiste nel massimo livello di affidabilità e verifica. La stessa autrice dedica un ampio paragrafo della sua tesi (3.3) per riportare i pareri indipendenti di colleghi e istituti di ricerca riguardo la correttezza delle domande del test. In aggiunta sono stati intervistati dall'autrice molti studenti al termine della compilazione del test per cogliere eventuali incomprensioni o strutture migliorabili. Queste considerazioni ci permettono di sottolineare che test da noi somministrato e utilizzato per l'indagine è uno strumento frutto di lunghe ricerche di alto livello.

Riportiamo ora in Figura 1.5 i risultati statistici ottenuti dall'autrice nella somministrazione del DIRECT a studenti di High School negli USA.

Question Number	A	B	C	D	E	Omitted	Point Biserial Correlation	Discrimination	Difficulty
1	0.27	0.04	0.33	0.35	0.00	0.00	0.35	0.27	0.35
2	0.11	0.60	0.29	0.01	0.00	0.00	0.28	0.20	0.60
3	0.06	0.26	0.39	0.06	0.23	0.00	0.29	0.17	0.39
4	0.08	0.05	0.41	0.30	0.16	0.00	0.41	0.27	0.30
5	0.11	0.71	0.17	0.00	0.00	0.00	0.38	0.28	0.71
6	0.15	0.08	0.11	0.20	0.46	0.00	0.37	0.30	0.46
7	0.66	0.11	0.23	0.00	0.00	0.00	0.27	0.17	0.66
8	0.20	0.06	0.73	0.01	0.00	0.00	0.37	0.27	0.73
9	0.17	0.07	0.06	0.69	0.01	0.00	0.31	0.24	0.69
10	0.02	0.01	0.55	0.12	0.30	0.00	0.14	0.07	0.30
11	0.36	0.12	0.17	0.35	0.00	0.00	0.21	0.21	0.36
12	0.45	0.17	0.13	0.14	0.11	0.00	0.34	0.15	0.14
13	0.82	0.09	0.01	0.03	0.05	0.00	0.32	0.24	0.82
14	0.37	0.48	0.15	0.00	0.00	0.00	0.27	0.17	0.48
15	0.41	0.13	0.46	0.01	0.00	0.00	0.28	0.22	0.46
16	0.28	0.25	0.46	0.01	0.00	0.00	0.10	0.05	0.46
17	0.03	0.12	0.19	0.37	0.29	0.00	0.45	0.31	0.37
18	0.01	0.04	0.24	0.70	0.01	0.00	0.15	0.04	0.24
19	0.05	0.18	0.63	0.06	0.08	0.00	0.39	0.33	0.63
20	0.16	0.12	0.55	0.16	0.00	0.00	0.10	0.10	0.16
21	0.06	0.07	0.24	0.50	0.13	0.00	0.42	0.36	0.50
22	0.04	0.17	0.24	0.09	0.45	0.00	0.30	0.19	0.17
23	0.15	0.12	0.32	0.41	0.00	0.00	0.42	0.32	0.32
24	0.47	0.12	0.18	0.18	0.05	0.00	0.38	0.16	0.18
25	0.67	0.05	0.27	0.01	0.00	0.00	0.34	0.33	0.67
26	0.34	0.07	0.11	0.40	0.07	0.00	0.47	0.37	0.40
27	0.13	0.51	0.15	0.20	0.01	0.00	0.34	0.28	0.51
28	0.45	0.06	0.26	0.20	0.00	0.03	0.16	0.07	0.20
29	0.30	0.15	0.22	0.13	0.16	0.03	0.17	0.04	0.15
Average							0.30	0.21	0.43

Figura 1.5 - Risultati del test somministrato in High School in USA

Nei capitoli seguenti (3.3.2) osserveremo se i risultati ottenuti nel contesto della nostra ricerca sono paragonabili con i risultati statistici ottenuti dalla professoressa Engelhardt sul campione originario, molto più ampio del nostro.

L'obiettivo della confrontabilità è stato perseguito con cura anche se il contesto di classe in cui abbiamo somministrato il test ha richiesto una sua riduzione e un suo adattamento, come descriveremo di seguito.

1.2.2 Pre-Test

Il questionario somministrato a inizio delle attività (vedi APPENDICE B) si basa sul DIRECT appena analizzato ma le condizioni al contorno hanno imposto un suo ridimensionamento e una scelta dei quesiti. Il test finale utilizzato da noi è composto da 17 domande di cui 15 a scelta multipla e 2 aperte da svolgere autonomamente, in aula in 30 minuti. Le domande a scelta multipla offrono da 3 a 5 opzioni di risposta a seconda della domanda. Le due domande aperte: "In una lampadina le cariche vengono consumate e convertite in luce? Spiega il tuo ragionamento" (domanda 11) e "Classifica la luminosità delle lampadine e spiega il ragionamento" (domanda 14) sono state aggiunte per riuscire a cogliere, non solo la correttezza o meno della risposta, ma anche la tipologia di ragionamento utilizzato in partenza. Le risposte a queste domande aperte sono state, infatti, le più utili per costruire la lezione frontale con l'intento di sciogliere i nodi cognitivi insiti nei ragionamenti più diffusi. L'aggiunta di queste domande aperte ha permesso di risolvere almeno in parte le difficoltà analizzate nel precedente paragrafo riguardo l'utilizzo di test con domande solo a scelta multipla.

Le domande a risposta multipla sono state tratte dal DIRECT e selezionate sulla base dell'osservazione condotta in classe nella fase zero del lavoro, ogni macro-categoria di quesito è rappresentata da almeno una domanda. Agli argomenti che ci sono sembrati più critici durante l'osservazione degli studenti e dei loro ragionamenti è stata posta più attenzione nel test attraverso una varietà maggiore di domande. Avendo scelto di utilizzare il pre-test abbinato al DIRECT, abbiamo necessariamente realizzato un questionario molto aderente al contenuto, al linguaggio, alla struttura e alla forma presentata nel post-test. Nella tabella seguente è possibile osservare a quali quesiti d'indagine è associata ciascuna domanda.

Tabella 2 - Abbinamento quesito di indagine con numero di domanda nel pre-test

Quesito di indagine	Numero di obiettivo	Numero di domanda
Aspetti fisici dei circuiti elettrici DC	1-5	2, 4, 6, 10, 14, 15
Energia	6-7	1
Corrente	8-9	5, 8, 11
Differenza di potenziale	10-11	3, 7, 9, 12, 13, 16, 17

La forma, che rispecchia la medesima utilizzata dal DIRECT, include domande di tipo qualitativo, semplici immagini o diagrammi (non fraintendibili grazie alla legenda iniziale), e affermazioni basate su elementi di dominio quotidiano e non tecnico.

1.2.3 Tutorial

Come tutorial per l'attività di laboratorio tra pari abbiamo scelto di seguire, riadattandolo opportunamente, il capitolo "*A model for circuits*" del "*Tutorial in Introductory Physics*" dell'Università di Washington (McDermott, Shaffer, & Group, 2002).

Questo tutorial è pensato per essere seguito autonomamente dagli studenti divisi in gruppi di 4-5 membri, e conduce alla formulazione delle leggi fondamentali attraverso ragionamenti ipotetico-deduttivi, basati sull'osservazione e sulle esperienze fatte. Gli studenti possono collaborare e aiutarsi a vicenda per giungere a una conoscenza più rapida e completa.

In appendice si può consultare il tutorial costruito.

La prima sezione, intitolata "*Circuiti completi*", mira a far comprendere agli studenti la differenza tra un circuito aperto in cui non scorre corrente e un circuito "completo", in cui una batteria viene collegata a una lampadina. La sezione pone le basi per conoscere come funzionano una batteria e una lampadina reali e non solo sulla carta. Inizialmente si chiede agli studenti di sperimentare tutti i modi in cui possono collegare una batteria e una lampadina tramite un cavo e di annotare quali modi funzionino e quali no, per notarne le analogie e dedurre gli elementi necessari al funzionamento di un circuito elettrico. In seguito, dopo aver compreso le caratteristiche necessarie per un collegamento funzionante, si chiede di osservare se la temperatura in diversi punti del cavo sia costante o diminuisca, per capire se la corrente rimane costante o viene dissipata. Dopodiché si chiede di osservare il comportamento della lampadina inserendo diversi oggetti nel circuito e cogliere le similitudini dei materiali che lasciano la lampadina accesa, imparando così a distinguere isolanti e conduttori. Infine, si chiede di ipotizzare come sia il collegamento del filamento all'interno della lampadina basandosi sulle osservazioni fatte in precedenza sulla completezza del circuito.

Questa prima sezione mette le fondamenta per studiare alcune leggi e grandezze, imparando che in un circuito completo è necessario che ci sia un flusso da un terminale della batteria, attraverso tutto il circuito, fino all'altro terminale della batteria, e che questo flusso può essere chiamato corrente elettrica. Oltre a questo, si osserva che la luminosità può essere usata come indicatore della quantità di corrente che attraversa la lampadina. Anche il metodo usato è istruttivo e permette di fare esperienza con un metodo scientifico che si basa su un processo di ipotesi e osservazioni necessarie per costruire un modello.

La seconda sezione è intitolata "*Lampadine in serie*" e chiede, come prima cosa, di realizzare un circuito con due lampadine in serie (fornendo il semplice diagramma circuitale). Una volta chiuso il circuito si chiede di paragonare le luminosità relative delle lampadine, per dedurre se nel modello ipotizzato e osservato ci sia consumo di corrente o se la corrente rimanga costante attraversando due lampadine in serie. Inoltre, si chiede di confrontare la luminosità di ciascuna lampadina con la luminosità nel circuito a singola lampadina, per poi trarre le corrette conclusioni per il modello di corrente che si sta costruendo. A questo punto si possono introdurre gli elementi di batteria e resistenza e valutare le relazioni tra queste grandezze. Viene quindi chiesto di formulare leggi per prevedere il comportamento del circuito nel caso in cui venga aumentato o diminuito il numero delle lampadine: viene così introdotto il concetto di resistenza equivalente.

La terza sezione riguarda le "*lampadine in parallelo*". Anche qui come primo passo bisogna costruire fisicamente il circuito rappresentato dal diagramma raffigurato nel tutorial. Osservando e paragonando la luminosità di ciascuna lampadina si chiede di ultimare il modello di corrente includendo un circuito con nodi e rami paralleli. Ci si concentra poi a confrontare la quantità di corrente, tramite le luminosità osservate, in un circuito composto da batteria e singola lampadina e in uno composto dalla stessa batteria e due lampadine in serie. Ora si può

formulare la legge per la resistenza equivalente in presenza di rami paralleli. Oltre a ciò, si chiede di dedurre come la corrente che attraversa la batteria dipende dal numero di lampadine e dalla tipologia della loro connessione. Infine, scollegando una lampadina, si chiede di osservare cosa accade alla corrente che attraversa il ramo con l'altra lampadina.

L'ultima sezione è una composizione delle due sezioni precedenti: si realizza un circuito con tre lampadine sia in serie sia in parallelo e un interruttore che può isolare un ramo (è presente il diagramma da tradurre in modo fisico corretto). Con questo circuito si chiede di prevedere come la luminosità relativa cambi all'apertura o chiusura dell'interruttore.

L'obiettivo dell'intero tutorial è duplice: da una parte far prendere familiarità con il metodo scientifico e la costruzione di un modello basato sull'osservazione dei fenomeni; dall'altra parte sciogliere i dubbi e i nodi cognitivi su modelli di corrente pregressi per cogliere il funzionamento scientifico e reale.

Capitolo 2

Il contesto e la sperimentazione

2.1 La scuola, la classe e il background degli studenti

La nostra ricerca si è svolta presso il Liceo Scientifico Augusto Righi di Bologna.

È un istituto che porta con sé una grande e lunga storia: è il primo Liceo Scientifico bolognese, da cui sono poi nate molte delle attuali scuole, fondato nello stesso anno della Riforma Gentile del 1923 e infatti proprio quest'anno ricorrevano le celebrazioni per il centenario dalla fondazione. Attualmente questa scuola è composta da due sedi: la principale si trova nel plesso storico, vicino a Porta Saragozza, in Viale Pepoli 3; mentre la succursale è sita poco più fuori dal centro storico, in Via Tolmino 7. La scuola offre diversi indirizzi di studio (Liceo Scientifico, Liceo Scientifico con opzione delle Scienze Applicate, Liceo Linguistico) e accoglie più di 1550 studenti distribuiti in 70 classi. Per questa ricerca ci siamo recati in una classe del quinto anno, nella sede di Viale Pepoli.



Figura 2.1 - La sede del Liceo

L'aula è al primo piano, nella sezione di sinistra accanto all'aula magna e si affaccia sul trafficato viale sottostante (causa spesso di rumori o distrazioni). La classe coinvolta nella nostra ricerca è composta da 8 studentesse e 12 studenti, che complessivamente hanno un'età media di 18.3 anni.

I ragazzi hanno avuto continuità didattica nel primo biennio, la docente attuale di fisica insegna anche matematica, segue questa classe dalla terza superiore in fisica e dallo scorso anno in matematica. La classe originariamente era molto più numerosa ma in terza superiore diversi studenti hanno lasciato spontaneamente la scuola. Sulle loro spalle pesa molto l'esperienza di didattica a distanza dei primi due anni (a causa della pandemia), anni in cui non si sono creati legami e relazioni tra il gruppo classe. All'arrivo in terza si sono trovati in presenza con metodo di studio inadeguato, lacune diffuse, alcune anche gravi (infatti negli anni di pandemia non è stato possibile fermare i ragazzi con difficoltà gravi) e questo ha avuto ripercussioni abbastanza pesanti. Tre studenti hanno frequentato il quarto anno all'estero e uno studente ripetente è stato inserito in questa classe l'anno scorso. All'inizio di quest'anno, il quinto, un ragazzo si è trasferito in un'altra scuola, uno è arrivato da un altro liceo scientifico e sono rientrati due dei tre studenti che hanno fatto l'esperienza all'estero. Uno degli studenti è certificato DSA. I professori riferiscono che i ragazzi sono certamente migliorati a livello di gruppo classe ma permangono difficoltà organizzative, di metodo e ordine negli interventi; tendono a essere poco autonomi e si affidano molto al docente. Non consultano spontaneamente il testo per trovare soluzioni alle proprie domande e per integrare i propri appunti. La docente ci riferisce che nota poco interesse



Figura 2.2 - la classe

verso le discipline scientifiche, soprattutto perché non rileva molto impegno, in modo particolare in fisica (materia in cui ci sono maggiori difficoltà), sono soliti imparare a memoria formule senza comprendere il fenomeno che descrivono. Queste peculiarità hanno radici profonde, il rapporto con la disciplina è stato difficile sin dal biennio, anni in cui è stato impossibile affrontare la materia con alcun approccio laboratoriale. Per questo non hanno manualità e conoscenza della realtà che li circonda.

Il rapporto tra gli alunni e il corpo docenti è sempre stato positivo, e i ragazzi sono consapevoli delle loro difficoltà. Manca lo spirito di sana competizione, la maggior parte si accontenta di raggiungere il minimo risultato sufficiente e chi ha i risultati migliori non sprona i compagni. Il livello di apprendimento della classe non è dunque omogeneo, infatti sono presenti alcuni ragazzi molto brillanti nelle materie scientifiche, interessati ad approfondirle anche a livello universitario, altri invece hanno molte difficoltà nella comprensione della matematica e nell'utilizzo dei suoi strumenti.

Anche le abitudini di questi studenti sono piuttosto diversificate: alcuni utilizzano computer o tablet in cui hanno i libri digitali e prendono appunti elettronici, altri studiano su libri e quaderni cartacei. Sono abituati a seguire alcune lezioni tramite lavagna interattiva e altre con l'ausilio della tradizionale lavagna in ardesia e gesso.

2.2 Le attività svolte in classe

Prima di cominciare il lavoro in classe ho incontrato la docente di fisica e matematica diverse volte, per presentarle il progetto e concordare le modalità di attuazione. Lo stile didattico della professoressa mi era già noto, poiché è stata la mia insegnante di matematica e fisica durante gli anni del liceo. Questo ha semplificato molto le interazioni e il confronto. Dopo aver concordato date e orari e definito gli obiettivi di ogni nostra presenza, ho contattato la Presidenza della scuola e la segreteria per adempiere le formalità burocratiche, parallelamente sono stati informati gli studenti e le loro famiglie, che hanno accettato di partecipare a questo studio.

Abbiamo progettato diversi momenti in classe che saranno descritti dettagliatamente nel corso di questo paragrafo:

- una settimana iniziale in cui agire come osservatori, per cogliere le dinamiche tra gli studenti e il loro rapporto con la disciplina e i concetti oggetto della nostra analisi
- una lezione per lo svolgimento del pre-test e presentare il percorso
- una lezione per lo svolgimento delle attività laboratoriali
- una lezione in cui commentare le attività svolte e discuterne assieme, evidenziando gli errori più comuni emersi nel pre-test o le difficoltà emerse nel laboratorio
- una lezione per svolgere il post-test e salutarci

Prima di descrivere l'osservazione, riporto che, al momento del mio ingresso in classe, gli studenti avevano già studiato l'elettrostatica, e le basi di elettrodinamica: i circuiti resistivi con diagrammi e simboli circuitali per resistenze e generatori, le differenze tra collegamenti in serie e parallelo, le Leggi di Ohm e la Legge delle Maglie di Kirchhoff; infine erano stati presentati e introdotti i condensatori e i circuiti RC.

Tra questi temi, solamente sull'elettrostatica erano già state fatte verifiche sia orali sia scritte.

Settimana di osservazione

Durante la prima fase del lavoro, ho potuto assistere a diverse ore sia di matematica sia di fisica, a esercitazioni di classe e a spiegazioni teoriche.



Figura 2.3 - L'osservazione della quotidianità della classe

Per non correre il rischio di dimenticare le mie osservazioni, ho tenuto un diario di bordo in cui annotavo ogni attività svolta, facendo particolare attenzione alle reazioni degli studenti, al *modus operandi* e a frasi o espressioni esplicative. Riporterò in seguito solo gli elementi più significativi.

Il primo giorno, 5 ottobre 2023, la professoressa mi ha presentato alla classe e alcuni studenti mi hanno posto alcune domande sull'Università, sulle opportunità lavorative offerte dallo studio della fisica, sulle differenze tra il corso di laurea in fisica e in ingegneria e tra l'università e il liceo. Questo primo confronto mi ha fatto intuire (e ne ho poi ricevuto conferma in seguito) che alcuni studenti erano interessati a questo genere di discipline e forse sceglieranno matematica/fisica/ingegneria come percorso accademico. Dopo le presentazioni la professoressa ha chiesto se ci fossero esercizi da correggere, infatti il programma di quell'ora prevedeva lo svolgimento di esercizi di fisica in preparazione alla verifica in classe

su resistenze e condensatori. Uno studente in particolare ha chiesto chiarimenti sullo svolgimento di un esercizio sul calcolo della capacità equivalente in un circuito con più maglie. Dopo un rapido confronto collettivo, che ha comportato un aumento di brusio e confusione, la professoressa ha proiettato il testo di un vecchio compito in classe e chiamato alla lavagna uno studente, che aveva manifestato perplessità, per svolgere l'esercizio assieme. Ho osservato che lo studente ha dialogato molto con la professoressa che, a sua volta, lo ha rassicurato nei ragionamenti. Ho assistito ad uno scambio di battute che ritengo utile riportare:

Stud.: "*Ho difficoltà a ricordarmi le formule*"

Prof.: "*Non serve che usi la memoria, bisogna pensarci e le ricaviamo*"

Emerge da queste frasi che alcuni studenti scelgono di affidarsi alla memoria e alle formule più che al ragionamento e all'osservazione del contesto descritto. Questa *lotta* tra l'utilizzo della memoria e del ragionamento è molto pervasiva.

Ho notato alcuni studenti attenti e interessati che prendevano appunti sullo svolgimento corretto, altri studenti disinteressati e distratti, altri procedere in maniera autonoma nello svolgimento dell'esercizio confrontandosi con la lavagna solo di tanto in tanto, e alcuni studenti con lacune anche di geometria fondamentale (ad esempio utilizzando $2\pi r$ o $\pi r^2 h$ per calcolare la sezione di un resistore cilindrico da inserire nella seconda legge di Ohm).

Al termine dell'esercizio la professoressa ha commentato dal fondo dell'aula alcuni passaggi stimolando il ragionamento con domande come "*Raddoppiando [un dato] come cambia il risultato? Quali dipendenze ci sono?*" Ho notato così che la professoressa, consapevole della difficoltà a staccarsi dall'utilizzo della memoria nell'applicare le formule, cercava di indurre un ragionamento sulla proporzionalità tra le grandezze in gioco.

Terminato questo esercizio ne ha proposto uno di tipologia inedita, volendo unire una nuova spiegazione teorica a un esempio concreto e pratico. Una studentessa si è offerta di svolgerlo alla lavagna. L'esercizio presentava un circuito RC in una determinata configurazione e veniva chiesto di ricavare l'intervallo di tempo necessario per rendere l'intensità di corrente pari a un quinto di quella iniziale. Senza riflettere sugli elementi presenti nel circuito ma usando la memoria, la studentessa ha scritto alla lavagna la formula che ipotizzava di dover utilizzare: $I = \Delta V / R$. La professoressa l'ha invitata a ragionare e a notare che in questo contesto la proporzionalità non è diretta ma esponenziale. Con la domanda "a cosa *tende* dopo molto tempo la corrente?" la professoressa ha introdotto l'utilizzo dei limiti e delle equazioni logaritmiche come inverse dell'esponenziale.

Ho colto da questa lezione come gli studenti siano propositivi e desiderosi di fare, alcuni di loro anche molto interessati alla materia e abili nel ragionare. Ho notato però che la classe è molto variegata e infatti sono presenti anche studenti poco interessati o distratti. Inoltre ho visto gli sforzi della professoressa volti a trasmettere un insegnamento interdisciplinare e improntato sul ragionamento e sull'osservazione delle proporzionalità tra le grandezze, ma ho notato anche come diversi studenti siano legati all'utilizzo della memoria a discapito del ragionamento, tanto da non cogliere che la formula che si stava usando per trovare una superficie non aveva le dimensioni di un'area.

Il giorno seguente ho assistito a una lezione di matematica. Anche in questo caso la prima cosa che la docente ha chiesto è se ci fossero esercizi poco chiari da riguardare assieme. Qualcuno ha chiesto un esercizio sul calcolo di un limite. Si è instaurato un dialogo tra la professoressa e gli studenti improntato sul ragionamento e il riconoscimento della situazione rispetto al contesto più ampio. Ho visto una ragazza dal proprio posto simulare con Geogebra ciò di cui si stava discutendo, così da averne una visione più chiara. Nell'esercizio che è stato svolto era presente un'equazione fratta e alcuni studenti hanno mostrato confusione sugli strumenti da utilizzare per analizzarla "*devo fare lo schema dello studio del segno oppure lo schema del sistema?*" facendomi intuire che non avessero compreso l'obiettivo dei due strumenti citati ma che si

limitassero ad applicarli meccanicamente in base alla tipologia di esercizio. Terminato l'esercizio è stato chiesto agli studenti di disegnare un piano cartesiano con eventuali asintoti trovati così da dare un risvolto più reale e grafico. Si è poi proseguito con la scrittura di due nuove definizioni di limite con la notazione epsilon-delta. Uno studente ha notato le somiglianze con il limite finito già visto, la professoressa ha completato il ragionamento sottolineandone anche le differenze. In questi scambi alcune delle domande a cui vengono abituati gli studenti cominciano con *"Cosa significa...? In quale contesto abbiamo già incontrato qualcosa di simile? Quali sono le differenze con...? Cosa dobbiamo fare? Non perdiamo di vista l'obiettivo! È grande o piccolo?"* tutte domande utili a stimolare il ragionamento per classificare analogie e differenze e ricondurre i casi specifici osservati a un ambito più generale e noto. La lezione è proseguita con lo svolgimento di esercizi per consolidare queste nuove definizioni.

La lezione successiva a cui ho assistito è stata una lezione di fisica. L'insegnante ha iniziato disegnando alla lavagna un circuito con cinque condensatori su rami differenti e ha chiesto *"Ragioniamo un po': qual è la capacità equivalente di questo circuito? Quali sono disposti in serie e parallelo? Che strategia usiamo?"* Gli studenti hanno risposto in maniera confusa e divergente, così dopo un po' di ragionamento libero e vari tentativi, la professoressa ha guidato alla risoluzione, suggerendo di tentare a fare un passo alla volta per ridurre il sistema. Con gessi colorati ha raggruppato i condensatori, guidata dagli studenti. Ho notato che alcuni studenti erano in difficoltà e avevano dubbi nel distinguere se le connessioni fossero in serie o in parallelo. Ho notato anche che alcuni studenti si aiutavano con la calcolatrice per fare calcoli quantitativi mentre altri seguivano i ragionamenti qualitativi mostrati alla lavagna. Alcuni studenti a memoria confondevano se in parallelo/serie rimanesse costante Q o ΔV . Ho notato anche che ci sono difficoltà di comunicazione legate alla nomenclatura che ciascuno affida ai concetti che ha in mente. Quando in classe si stava creando troppa confusione perché ciascuno parlava con un compagno per confrontare i dati numerici ottenuti, la professoressa ha chiarito *"più che i calcoli mi interessa il metodo!!"*

Anche da questa lezione ho visto che una parte della classe manifestava fatica nella distinzione e nella corretta applicazione delle proprietà di elementi collegati in serie o in parallelo, e ho colto anche l'attenzione al dato quantitativo piuttosto che al ragionamento qualitativo.

Nella lezione successiva a cui ho partecipato era previsto lo svolgimento di esercizi di matematica in preparazione al compito in classe del giorno seguente. Alcuni studenti hanno chiesto di poter svolgere alcuni esercizi, la professoressa ha acconsentito e ha chiesto che uno di loro andasse alla lavagna a svolgerlo in modo da poter sottolineare alcuni aspetti importanti. La classe però si è mostrata poco interessata e molto distratta. Lo svolgimento è proseguito e alcuni studenti dal posto hanno proposto modi alternativi di svolgimento, la professoressa ha commentato i rischi di alcuni svolgimenti che funzionano in questo caso specifico ma non in generale. Nel continuare lo svolgimento la professoressa ha fatto alcune domande di ragionamento e lasciato ragionare gli studenti interrompendo solo dove rilevava un errore. Dopo questo esercizio una ragazza ha chiesto conferme sull'intuizione del motivo delle differenze di svolgimento rispetto ad altri problemi noti. C'è difficoltà a cogliere la differenza tra limite destro e sinistro di un punto soprattutto laddove il limite sia infinito. Mi sono avvicinato ad una coppia di studentesse che sembrava in difficoltà che mi hanno posto alcune domande. Avevano difficoltà a riconoscere gli asintoti e così ho posto loro alcune domande di ragionamento per arrivare alla conclusione corretta.

Da questa osservazione ho compreso che la classe era molto diversificata e quanto sia difficile portare avanti lezioni che siano utili ai vari livelli di preparazione.

Nell'ultima ora a cui ho assistito come osservatore era prevista una spiegazione di un nuovo argomento di fisica. Ho rilevato come prima di iniziare a parlare di qualcosa di inedito la professoressa preferisca ricollegarsi alle ultime conoscenze, per essere sicura che siano condivise e corrette. Ha iniziato riprendendo il concetto noto di generatore di differenza di potenziale, spesso presente nei circuiti analizzati e ha chiesto di tenere in mente un esempio concreto ben noto: la pila. Ha sottolineato che bisogna osservare quello che si fa e non compiere automatismi, come nel caso di inserire una pila in un telecomando, la quale avendo due poli può essere collegata in due modi ma solo uno è corretto. Gli studenti erano concordi nel ritenere che la pila reale possieda una resistenza interna e questa resistenza può essere collegata in serie o in parallelo nel circuito. A questo punto la professoressa ha chiesto se qualcuno potesse ipotizzare come funzioni il neon, che è un gas e non un metallo come i conduttori già affrontati. Si è instaurato a questo punto un dialogo proficuo con gli studenti che ha permesso alla professoressa di toccare concetti come gas ionizzati, orbitali atomici, eccitazione di elettroni. Ho visto che la maggior parte degli studenti resta attenta e catturata da questi ragionamenti e dal continuo parallelismo di formule e concetti a elementi reali e quotidiani. Ho ricevuto diversi insegnamenti importanti da questa ora, in primo luogo ho visto come la docente abitui gli studenti a collegare i concetti affrontati a elementi concreti e di dominio comune; inoltre come stimoli all'osservazione dei fenomeni e alla formulazione di ipotesi come passo primario verso la conoscenza e formalizzazione di nuove leggi. Tutti elementi che saranno d'aiuto nello svolgere le prossime attività di questa ricerca.

Pre-test

Il giorno del pre-test, prima di somministrare il questionario (descritto nel paragrafo 1.2.2 e allegato in 3.3.2APPENDICE B), ho fatto alcune raccomandazioni: ho suggerito di leggere con attenzione il testo, di non preoccuparsi perché l'esito non avrebbe influenzato l'andamento scolastico e quindi di non copiare da compagni, libri, appunti o internet ma di tentare di svolgere il test in autonomia, considerandolo anche un'autovalutazione delle proprie conoscenze. Dopo aver distribuito il testo a ciascuno ho comunicato il tempo a disposizione (30 minuti) e ho dato il via alla prova. Durante lo svolgimento io e la professoressa abbiamo girato tra i banchi per accertarci che il test fosse svolto nel rispetto delle regole. Alcuni studenti hanno scritto formule su cui riflettere, alcuni hanno usato la calcolatrice per rendere quantitative le domande qualitative, alcuni hanno tentato di ricordare a memoria i casi in cui la corrente rimane costante e quelli in cui è la differenza di potenziale ad esserlo, infine ho visto difficoltà nel comprendere la struttura geometrica interna della lampadina (dove il filamento si collegasse e quali fossero i poli); ho colto però tra gli studenti il desiderio di ragionare e utilizzare le conoscenze possedute per rispondere alle domande poste, infatti la quasi totalità degli studenti non si è limitata ad apporre la crocetta sulla risposta che riteneva giusta ma ha usato fogli di brutta copia oppure lo spazio bianco nei fogli del test per annotare ragionamenti a matita o piccoli "scarabocchi" per fissare le idee. Qualche minuto prima dello scadere del



Figura 2.4 - una studentessa alle prese con il pre-test

tempo, molti studenti hanno terminato e consegnato i fogli e tornando a posto ho constatato il desiderio di confrontarsi con i compagni sulle domande appena svolte ma ho invitato ad aspettare in silenzio per rispettare i compagni che dovevano ancora terminare. Allo scadere del tempo tutti hanno terminato la prova.

A questo punto ho utilizzato il tempo rimanente per chiedere dei feedback agli studenti sull'atteggiamento con cui hanno sostenuto il test e sulle impressioni che hanno avuto. Riportiamo alcune reazioni degli studenti:

"È stato strano. Strano perché ho dovuto ragionare qualitativamente e senza numeri o calcoli"

"Nelle modalità il test è stato insolito, ma la difficoltà nella media"

"Per me è stato difficile -e lo è tutt'ora- cogliere il funzionamento geometrico della lampadina"

"Ho avuto difficoltà nel vedere e riconoscere i circuiti non schematizzati canonicamente, con fili curvi e non angoli retti e elementi diversi dal loro simbolo a cui siamo abituati"

"Secondo me è stato bello perché mi ha fatto ragionare, vorrei rifarlo più spesso"

Ho terminato chiedendo di organizzare autonomamente cinque gruppi omogenei entro la giornata successiva per le attività di laboratorio.

Tutorial di laboratorio

Il giorno seguente è stato dedicato allo svolgimento delle attività di laboratorio in gruppi. Avevamo a disposizione una lezione di 2 ore che ho previsto di dividere in 90 minuti per il laboratorio e i 30 minuti rimanenti per un commento del pre-test.

Sono entrato in aula durante l'intervallo mentre gli studenti erano fuori dalla classe. Ho così



Figura 2.5 - un gruppo di studenti collabora nel laboratorio

avuto modo di preparare sulla cattedra i materiali che avremmo utilizzato: avevo 5 kit² composti da una batteria (4.5V), una bobina di cavo tagliabile (lunga 2m), 3 lampadine, 3 porta-lampadine e 2 interruttori; 1 tutorial per ogni studente e 1 tutorial per ogni gruppo da compilare e riconsegnare. Ho diviso i banchi in 5 isole da 4 banchi ciascuna. Terminato l'intervallo gli studenti sono tornati in classe e ho chiesto loro di dividersi nelle cinque isole in base ai gruppi prestabiliti e concordati con la docente³ e di aiutarmi nella distribuzione del materiale. A questo punto ho richiamato il silenzio e descritto molto brevemente ogni componente del kit: ho cercato di dare informazioni nel giusto equilibrio, evitando di darne troppe in modo che potessero scoprire tramite il tutorial il funzionamento di ciò che avevano davanti, ma nemmeno poche, visto che molti di loro non avevano mai incontrato questi componenti in esperienze così pratico-manuali.

Dopo aver dato inizio al laboratorio, gli studenti hanno seguito le istruzioni riportate nel tutorial

descritto nel paragrafo 1.2.3 e allegato in APPENDICE C. Io e la professoressa abbiamo osservato il loro operato girando tra i gruppi e intervenendo solo in caso di difficoltà insormontabili o in caso di richiesta esplicita di aiuto.

² Ho scelto di utilizzare il Kit Scolastico iniziazione circuiti elettrici di InputMarkers (<https://amzn.eu/d/ivLPoc9>)

³ Ho chiesto alla loro docente di verificare che i gruppi fossero omogenei per competenze e attitudini

Ho notato che il primo scoglio per molti studenti è stato realizzare un circuito chiuso: ho osservato configurazioni alquanto bizzarre ma che mi hanno fatto riflettere e comprendere la concezione di senso comune che gli studenti possiedono: ho visto lampadine avvolte da diversi giri di cavo (ricoperto dalla guaina isolante) collegato poi a un solo polo della batteria; alcuni studenti si sono focalizzati molto sul punto di saldatura, pensando fosse l'unica parte conduttrice della base della lampadina; tantissimi hanno collegato un polo della lampadina a un solo polo della batteria, ignorando il contatto tra gli altri due poli, per poi stupirsi della mancata accensione; alcuni hanno avuto l'idea corretta ma a causa di scarse abilità manuali si sono trovati in difficoltà nel realizzarla. Dopo un po' alcuni studenti hanno avuto intuizioni che hanno portato alle configurazioni corrette che, validate dall'osservazione dell'esperimento, si sono diffuse tra i compagni, agevolando un proficuo scambio tra pari. Già nell'approcciarsi alla seconda sezione del tutorial i gruppi hanno iniziato a diversificarsi: tre gruppi hanno proseguito discretamente, un gruppo molto bene e un gruppo invece ha fatto più fatica a darsi una strategia per proseguire. Ho notato molta curiosità e divertimento nello sguardo di vari studenti e credo che queste emozioni siano il motore fondamentale per l'apprendimento perché indice di un apprendimento attivo. Mi sono avvicinato al gruppo che è rimasto più indietro per dare una mano e aiutarlo a proseguire. Poi mi sono avvicinato al gruppo che era più avanti e ho consegnato loro un multimetro per permettergli di corredare le loro osservazioni qualitative ("più luminoso", "meno luminoso") anche con dei dati quantitativi e in maniera corretta sono riusciti a prevedere la resistenza equivalente dei circuiti realizzati.

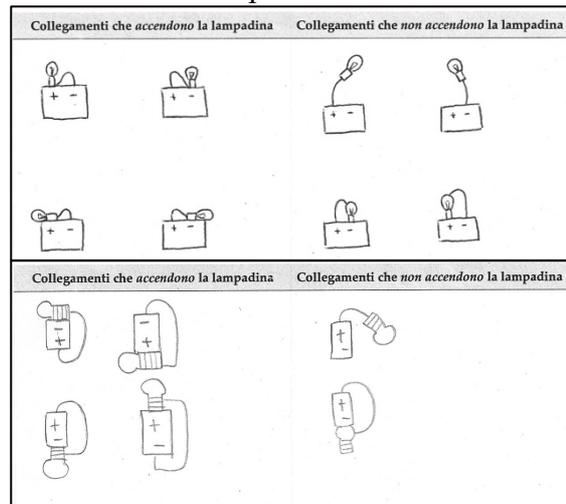


Figura 2.6 - alcuni collegamenti che accendono o non accendono la lampadina, disegnati dagli studenti sul tutorial

Trascorso il tempo prefissato abbiamo terminato la parte di laboratorio: un gruppo ha completato l'intero tutorial e ha continuato a sviluppare con curiosità idee e ragionamenti su quanto avevano appena sperimentato, mentre gli altri gruppi hanno terminato le prime tre sezioni ma non l'ultima. Ho raccolto una copia del tutorial compilata per ciascun gruppo.

A questo punto ho scelto di dedicare i minuti restanti a costruire un dialogo con gli studenti chiedendo feedback sul laboratorio svolto. Le reazioni degli studenti durante lo svolgimento e le espressioni che ho potuto leggere sui loro volti mi hanno fatto intuire che avessero gradito questa attività e che il lavoro di gruppo tra pari sia stato utile per aiutarsi a vicenda a sciogliere dubbi e nodi cognitivi. Una buona parte di studenti ha condiviso che il laboratorio svolto è stato "divertente", un altro studente ha detto "è stato utile. Utile perché mi ha permesso di capire", e sulla stessa onda anche un'altra studentessa ha confermato "Ho riflettuto sui concetti e poi ho agito, così ho capito" e infine un altro ragazzo ha detto "è stato bello perché ho messo in pratica le cose che finora avevamo letto sui libri".

Ho così potuto constatare che questi studenti hanno gradito la laboratorialità tra pari nella didattica, spesso messa in secondo piano in quanto vengono predilette lezioni teoriche, esercitazioni o laboratori dimostrativi, e che il fatto di poter agire manualmente mettendo in pratica le nozioni possedute può aiutare a sedimentarle o dirigerle verso una conoscenza corretta dal punto di vista scientifico.

Lezione frontale

Il giorno seguente, entrando in classe ho fatto tre disegni sulla lavagna (Figura 2.8) e ho proiettato alcune domande del pre-test.

Ho cominciato commentando i risultati generali del pre-test (Capitolo 3.1) e mi sono soffermato a riflettere assieme ai ragazzi solo su alcune domande. La classe era molto silenziosa e attenta e i loro sguardi catturati.

Sono partito dalla domanda n°3, che chiedeva di classificare le differenze di potenziale tra diversi punti in un circuito. La proiezione della domanda ha stimolato un dibattito spontaneo tra gli studenti, che tentavano di difendere la scelta fatta durante il test. Durante il dibattito ho sentito dire *"siccome la corrente incontra prima una resistenza e poi la seguente, nella prima deve esserci ancora più intensità di corrente e quindi più differenza di potenziale"* ma un altro lo ha smentito dicendo *"no! Abbiamo visto anche ieri che le lampadine in serie avevano la stessa luminosità. È la resistenza totale del circuito che conta"*.



Figura 2.7 - la lezione frontale

Ho proiettato anche la domanda n°4, che chiedeva di individuare quali fossero i circuiti corretti per accendere una lampadina. Mentre nel test le risposte sono state molto distribuite tra le diverse opzioni (due di queste mostravano un unico polo della lampadina collegato alla batteria in vario modo) che facevano emergere una *concezione unipolare* diffusa. In questa fase, invece, gli studenti sono sembrati più concordi nel riconoscere le soluzioni corrette grazie all'esperienza fatta il giorno prima durante la fase iniziale del laboratorio.

Ho poi mostrato la domanda n°7, che chiedeva di valutare il cambiamento di tensione tra due punti quando una resistenza collegata in parallelo viene rimossa. Ho notato che alcuni studenti hanno utilizzato lo strumento appena

appreso dei binari equipotenziali per rispondere correttamente.

La domanda n°9 chiedeva di paragonare la luminosità di una lampadina in un circuito con quella di un'altra collegata in serie in un altro circuito. Durante il test questa è stata una domanda a cui la maggior parte degli studenti ha risposto in modo errato ma in questa fase, ricordando le osservazioni fatte il giorno precedente, siamo riusciti assieme a ragionare sul motivo della risposta corretta.

Infine ho mostrato la domanda n°16, molto confusa nel test, che richiedeva di stabilire qualitativamente la differenza di potenziale ai capi di una lampadina in un circuito con diverse lampadine. Ho guidato il ragionamento nel riconoscere dove avvenissero cadute di potenziale e dove la tensione rimanesse costante e così la risposta corretta è emersa quasi spontaneamente dagli studenti.

Chiudendo le domande del pre-test, ho dato alcuni suggerimenti per ricavare la differenza di potenziale e la corrente, richiamando il ragionamento sulla tensione che non varia lungo il filo di un percorso a meno che non ci siano resistenze o generatori e richiamando che la corrente si spartisce ai nodi ma lungo uno stesso ramo non varia e dunque non si *"consuma"* nel passare una resistenza. Dagli sguardi degli studenti ho percepito una maggior confidenza e sicurezza.

A questo punto ho scelto di illustrare loro quali fossero le concezioni più diffuse di circuito e gli studenti mi hanno confermato che la maggior parte di loro prima di queste attività pensava che il modello scientifico fosse quello "sequenziale di consumo" mentre solo dopo il laboratorio hanno superato questo nodo cognitivo. Ho speso qualche parola anche per sottolineare che, proprio perché la corrente non si consuma durante il suo percorso, è importante avere una visione sistemica e ampia, facendo attenzione a tutti gli elementi, e a non affrontarli sequenzialmente in modo settoriale. Essendo un argomento che mi sta particolarmente a cuore ho dedicato ancora qualche minuto per riportare esempi di vita quotidiana, che esulano dalla fisica, in cui per risolvere il problema è necessaria una visione globale e sistemica.

Sono passato poi alla lavagna su cui avevo fatto i tre disegni entrando in aula. Si tratta di

elementi del laboratorio che volevo sottolineare per essere certo che ognuno avesse una visione chiara e che i vari nodi si fossero sciolti. Riferendomi al primo disegno ho chiesto come sono collegati i filamenti all'interno della lampadina, e con soddisfazione ho visto entusiasmo nel rispondere, e le risposte erano corrette. Prendendo spunto dal secondo disegno ho

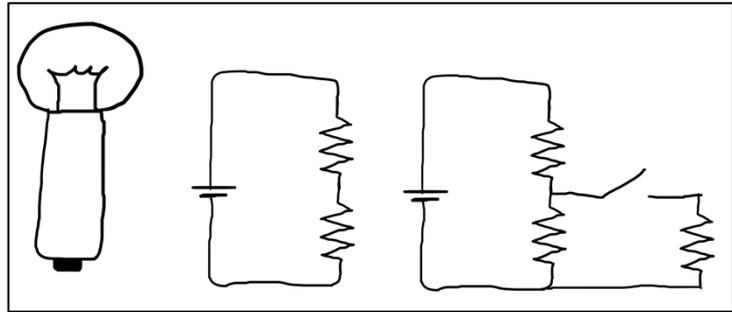


Figura 2.8 - i tre disegni mostrati alla lavagna su cui abbiamo ragionato nella seconda parte della lezione

chiesto se si potesse stabilire il verso della corrente basandosi sulla sola osservazione del circuito, infatti magari vedendo una lampadina meno luminosa si potrebbe dedurre che venga attraversata da meno corrente e quindi per seconda poiché in parte deve essersi dissipata nella prima. Anche in questo caso non sono caduti nel tranello e con energia mi hanno smentito per affermare che la corrente "non si consuma attraversando il circuito". Infine con il terzo disegno ho chiesto la luminosità relativa delle tre lampadine, raccomandando all'unico gruppo che era riuscito a completare questa sezione di non rispondere. Diversi studenti mi hanno formulato ipotesi che sono risultate corrette dal punto di vista fisico.

La lezione a questo punto è terminata e ho comunicato che ci saremmo visti anche il giorno seguente per affrontare il test finale.

Post-test

Come illustrato nel capitolo 1.2.1, come post-test abbiamo deciso di somministrare il DIRECT e per poter essere un'indagine paragonabile ai risultati statistici noti, abbiamo seguito tutte le istruzioni di somministrazione. Quando sono arrivato in aula quindi ho chiesto di separare i banchi così da garantire lo svolgimento individuale, ho distribuito il questionario, letto alcune semplici istruzioni e fatto raccomandazioni analoghe a quelle del pre-test. A questo punto ho dato il via e comunicato che il tempo massimo stabilito era di 60 minuti. Durante lo svolgimento io e la docente abbiamo supervisionato gli studenti nello svolgimento del compito senza intervenire in alcun modo. Ho potuto osservare che tutti gli studenti erano concentrati e desiderosi di dare il meglio. Come per il pre-test ho visto fare molti disegni, scrivere formule e utilizzare carta e penna per aiutarsi nei ragionamenti. Ho visto che per alcune domande venivano seguiti i suggerimenti dati il giorno precedente sulle superfici equipotenziali, inoltre dove i circuiti somigliavano agli esperimenti svolti con le lampadine reali, gli studenti cercavano di ricollegarsi a quelle esperienze fatte per dedurre il comportamento e la risposta corretta da indicare.

Molti studenti hanno iniziato a consegnare i fogli già dal quarantacinquesimo minuto e tutti hanno terminato entro lo scadere del tempo. A questo punto ho ringraziato la classe per l'accoglienza dimostrata nei miei confronti e a loro volta mi hanno ringraziato per averli aiutati

a comprendere meglio il modo con cui approcciarsi alla scienza. Anche la professoressa è stata soddisfatta e felice del percorso svolto assieme. Qui sono terminate le mie attività in classe.

Capitolo 3

I risultati

Illustriamo di seguito i risultati dei test somministrati al campione di studenti nelle modalità indicate nei capitoli precedenti, infine procediamo con un confronto tra i dati ottenuti dal pre-test e quelli ottenuti dal post-test e con un paragone dei dati di quest'ultimo con i dati noti su campioni più ampi.

3.1 Pre-test

Complessivamente le risposte corrette alle domande a scelta multipla presenti nel pre-test sono state scelte nel 45% dei casi.

In particolare, rifacendoci alla classificazione esposta in Tabella 1:

- le domande sul primo obiettivo di indagine hanno ottenuto il 48% di risposte corrette
- le domande sul secondo obiettivo di indagine il 37%
- le domande sul terzo obiettivo di indagine il 24%
- le domande sul quarto obiettivo di indagine il 50%

Come atteso, il livello di preparazione degli studenti è risultato molto diversificato ma sembra coerente con l'ipotesi di una distribuzione normale: uno studente ha risposto correttamente al 13% delle domande (valore minimo di risposte corrette); uno studente ha risposto correttamente all'80% delle domande (valore massimo), con un picco di studenti che hanno risposto a circa la metà delle domande. In Figura 3.1 è rappresentata graficamente la situazione osservata: abbiamo scelto di distribuire le percentuali delle risposte corrette su 10 bin, ciascuno di larghezza 10%. La linea verde rappresenta una distribuzione di tipo gaussiano parametrizzata al valor medio e deviazione standard, pari a $(45 \pm 14) \%$.

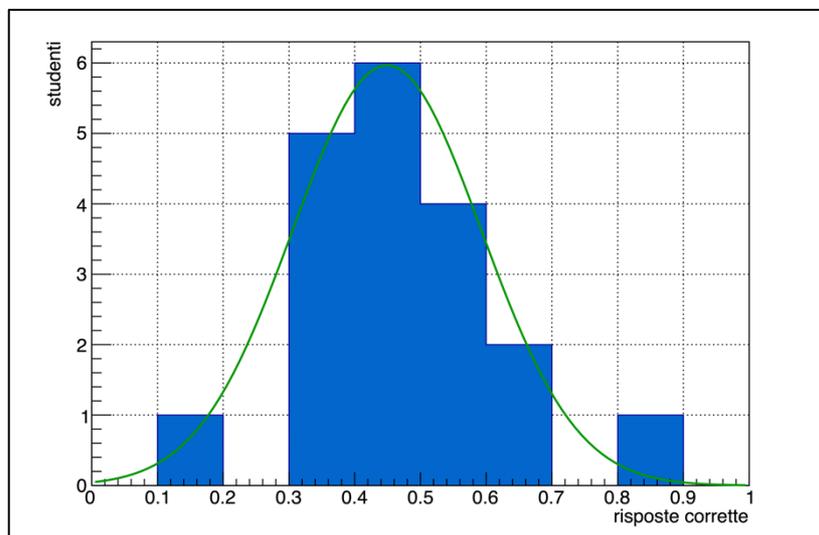


Figura 3.1 - Distribuzione dei risultati degli studenti (istogramma blu) paragonata a una distribuzione gaussiana (funzione verde)

Nell'analisi di questo test abbiamo seguito le metodologie suggerite in (Engelhardt, 1997) per permetterci di confrontare poi gli esiti del nostro studio con gli esiti della ricerca sul campione originale. In Figura 3.2 abbiamo riportato un prospetto completo delle opzioni scelte da ogni studente: ogni riga rappresenta il test svolto da uno studente e ogni colonna una domanda; abbiamo raggruppato le domande per obiettivo di indagine e aggiunto elementi grafici colorati

per evidenziare meglio la diffusione di risposte corrette. Nelle ultime righe abbiamo calcolato la frequenza relativa con cui ogni opzione di risposta è stata scelta (evidenziando in verde la percentuale di ragazzi che ha risposto correttamente e utilizzando il colore rosso se la risposta scelta con maggior frequenza fosse errata), mentre nell'ultima colonna si può osservare la percentuale di risposte corrette scelte da ogni studente.

tipologia numero domanda	I					II	III			IV							
	2	4	6	10	15	1	5	8	3	7	9	12	13	16	17		
S1	D	C	A	B	D	C	A	C	E	B	C	C	D	A	B	53%	
S2	E	E	B	B	A	A	D	C	A	C	A	A	D		C	33%	
S4	D	D	A	B	A	C	A	C	C	B	C	C	D	B	C	60%	
S5	A	B	A	D	B	B	D	C	A	C	C	C	D	A	C	40%	
S6	C	B	A	B	D	C	A	C	E	B	C	C	D	A	C	53%	
S7	D	B	B	B	A	A	A	C	A	C	A	A	D	C	C	47%	
S8	A	B	A	C	A	B	B	C	E	A	B	C	D	A	C	40%	
S9	D	D	A	C	A	A	A	B	A	C	C	C	D	B	B	53%	
S10	D	A	A	B	A	C	C	B	B	B	C	B	D	A	C	33%	
S11	C	D	A	B	A	A	D	C		B	C	C	D	B	C	47%	
S12	D		A	B	D	B		A	E	A	C	A	D	B	C	60%	
S13	E	B	E	C	A	C	B	C	A	A	C	A	D	A	C	13%	
S14	E	B	E	B	A	C	A	C	C	A	C	C	D	A	C	33%	
S15	D	B	D	B	B	B	A	C		A	A	B	D	C	C	47%	
S16	E	A	A	C	D	A	D		E	A	C	B	D	A	C	33%	
S17	E	A	A	B	A	A	D	C	A	B	C	C	D	A	C	33%	
S18	D	A	A	B	A	B	B	C	A	A	A	B	A	A	C	40%	
S19	D	D	A	C	A	B	A	C	A	C	C	C	B	C	C	53%	
S20	D	E	A	B	D	B	B	D	E	C	A	C	D	C	C	80%	
A	0.1	0.2	0.7	0	0.6	0.3	0.4	0.1	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.5	0		
B	0	0.4	0.1	0.7	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1		
C	0.1	0.1	0	0.3	0	0.3	0.1	0.7	0.1	0.3	0.7	0.6	0	0.2	0.9		
D	0.5	0.2	0.1	0.1	0.3	0	0.3	0.1	0	0	0	0	0.9	0	0		
E	0.3	0.1	0.1	X	0	X	X	X	0.3	X	X	X	X	X	X		
Vuote	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0.1	0		

Figura 3.2 - Prospetto delle scelte di ciascuno studente per ogni domanda raggruppate per obiettivo di indagine

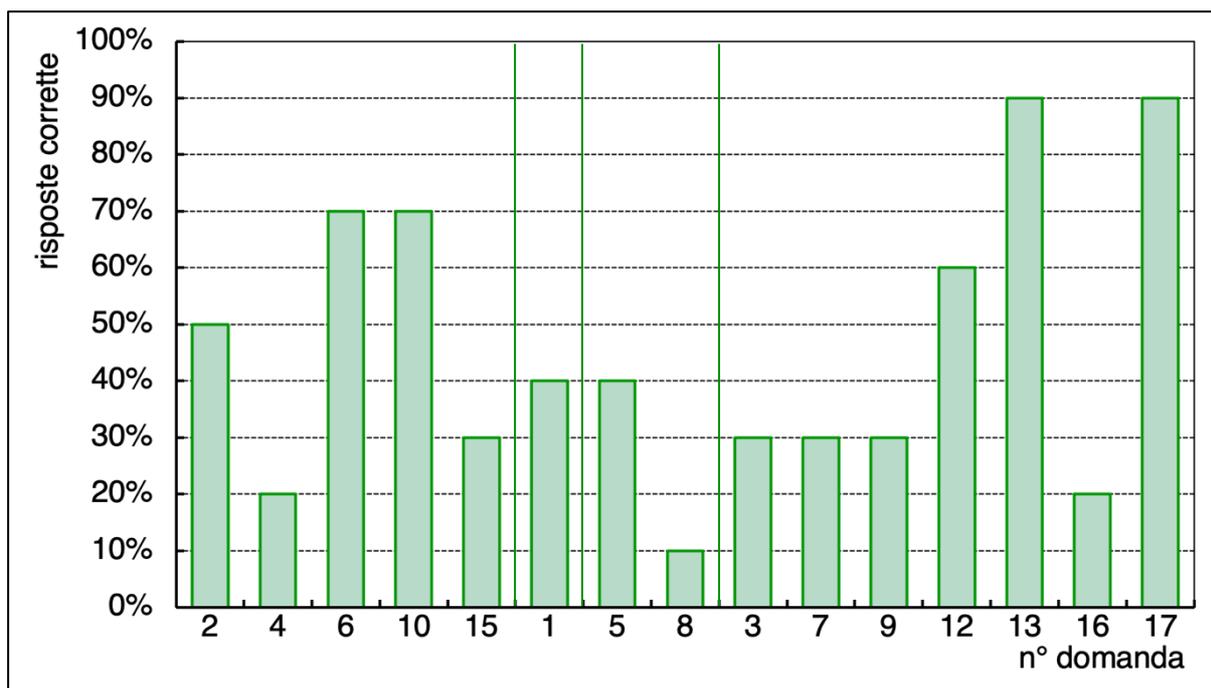


Figura 3.3 - Istogramma rappresentante la percentuale di risposte corrette per ogni domanda

In Figura 3.3, abbiamo riportato, tramite un istogramma, l'andamento della classe in relazione alle diverse domande: in ascissa è riportato il numero di domanda (ordinate e raggruppate per obiettivo di indagine: per il primo obiettivo le domande n° 2, 4, 6, 10 e 15; per il secondo la domanda n°1; per il terzo le n°5 e 8; per il quarto le n°3, 7, 9, 12, 13, 16, 17) e in ordinata la percentuale di risposte corrette fornite dagli studenti.

Commentiamo ora alcune delle domande che hanno mostrato risultati significativi.

Del primo obiettivo di indagine, ovvero gli aspetti fisici dei circuiti DC, sono rilevanti le risposte date alla domanda n°4, 6 e 15 (la n°4 e 15 infatti sono le domande che hanno creato più problema, la n°6 invece è quella meno confusa).

Nella n°4 veniva chiesto di individuare quali collegamenti rappresentati da figure fossero dei circuiti completi che accendessero la lampadina. Osserviamo che solo il 20% degli studenti ha individuato correttamente la struttura fisica dei collegamenti che permette il passaggio di corrente con la conseguente accensione della lampadina: molti ragazzi ignorano la struttura geometrica della lampadina e non individuano correttamente l'esistenza di due poli da mettere a contatto con la batteria, infatti il 40% degli studenti ha scelto una risposta che raffigurava la situazione in cui un unico polo della batteria fosse a contatto di un unico polo della lampadina. Si può quindi dedurre che molti ragazzi si basano su un modello di tipo *unipolare* (come descritto nel Capitolo 1.1).

Nella domanda n°15 veniva chiesto di classificare in ordine decrescente la resistenza di alcune sezioni di circuito. Solo il 30% ha risposto in modo corretto, mentre il 60% degli studenti ha considerato che un ramo aperto avesse resistenza minima e non infinita. Queste risposte hanno evidenziato che il concetto fisico della resistenza non è pienamente compreso dagli studenti: i ragazzi riescono a individuare correttamente le resistenze equivalenti di rami con resistori in serie o in parallelo ma uscendo dalle situazioni più consuete e abituali, hanno fatto fatica ad applicare i concetti posseduti.

Le domande n°6 e 10 hanno creato meno problemi. Nello specifico, nella domanda n°6 veniva chiesto di individuare quale tra i diagrammi proposti rappresentasse meglio il circuito realizzato con elementi realistici disegnati. Notiamo che il 70% degli studenti ha risposto correttamente, riuscendo a passare agevolmente dai diagrammi circuitali canonici a una situazione realistica.

Le risposte errate a questa domanda sono distribuite uniformemente tra le altre opzioni proposte.

Per il terzo obiettivo di indagine è significativa la risposta data alla domanda n°8, attraverso cui volevamo sondare se gli studenti riuscissero a spiegare gli effetti microscopici del flusso di corrente, attraverso le conoscenze già possedute sul campo elettrico. Solo il 10% degli studenti ha individuato correttamente la presenza di un campo elettrico in un conduttore in cui scorre corrente. Questo risultato ci fa intuire che una conoscenza piena e unificante di tutti i fenomeni incontrati è raramente posseduta e molti ragazzi si concentrano a capire e studiare i fenomeni in compartimenti stagni, mostrando difficoltà a cogliere i nessi tra l'elettrostatica e l'elettrodinamica.

Per ciò che riguarda il quarto obiettivo di indagine, cioè l'individuazione corretta delle differenze di potenziale e il loro riconoscimento come forza elettromotrice, sottolineiamo gli esiti delle domande n°3, 7, 9 e 16 perché hanno generato confusione e n°13 e 17 perché sono state le domande comprese meglio.

La domanda n°3 presentava un circuito con due resistori collegati in serie e chiedeva di classificare in ordine decrescente le differenze di potenziale tra alcuni punti segnati. Il 30% degli studenti ha individuato l'ordine corretto, notando che la tensione ai capi dei due resistori doveva essere la medesima (a parità di resistenza). Invece il 40% degli studenti ha risposto che la tensione ai capi della prima resistenza incontrata dalla corrente sia maggiore rispetto a quella incontrata successivamente, probabilmente avendo in mente che la corrente debba dissiparsi e pertanto la relativa tensione debba calare. La parte restante degli studenti si è distribuita uniformemente tra le altre opzioni di risposta o ha lasciato la domanda senza risposta. L'esito di questa domanda ci ha dato un grande aiuto a capire come molti studenti utilizzino un tipo di ragionamento *sequenziale* e non *sistemico* nel risolvere i circuiti e che la concezione più diffusa sia appunto una concezione *sequenziale a consumo di corrente* (si veda capitolo 1.1).

Nella domanda n°7 veniva chiesto di individuare come varia la tensione tra due punti indicati rimuovendo un resistore posto in parallelo. Solo il 30% ha scelto l'opzione corretta, ovvero ha riconosciuto che la tensione non varia togliendo un ramo parallelo a quello considerato. Il 40% degli studenti ha ritenuto che la differenza di potenziale aumenti, probabilmente tratto in inganno dal fatto che la resistenza complessiva diminuisce ma senza tenere un'ottica sistemica e notare che anche la corrente varia. Il 30% restante ha risposto, al contrario, che la differenza di potenziale diminuisce, probabilmente immaginando che togliendo un elemento dal circuito tutto debba diminuire.

Nella domanda n°9 si chiedeva di paragonare la luminosità di una lampadina in un circuito in cui è inserita semplicemente con una in cui è inserita in serie ad un'altra. Il 30% ha risposto correttamente, ovvero che lampadina più luminosa è quella nel primo circuito, a fronte del 70% dei ragazzi che sostengono che la luminosità delle due lampadine sia la medesima, limitandosi ad osservare che le due lampadine sono identiche e quindi che debbano produrre la stessa luce, senza osservare il modo in cui vengono collegate e senza notare quindi che in un circuito con più lampadine in serie la tensione ai capi di ogni lampadina è minore rispetto alla tensione complessiva fornita dalla batteria. Anche questa domanda ci è stata molto utile per confermare come solo una piccola parte degli studenti utilizzi un modo di ragionamento sistemico. Avevamo già previsto e inserito nel tutorial di laboratorio, che i ragazzi avrebbero svolto in seguito, questa stessa configurazione, così da permettere loro di accorgersi dell'errore osservando la situazione reale.

Le domande n°13 e n°17 erano simili e chiedevano anche qui di paragonare la luminosità di lampadine in diverse configurazioni: la n°13 disponeva le lampadine del secondo circuito in parallelo, la n°17 presentava invece due batterie in serie. In entrambe le domande il 90% degli studenti ha risposto correttamente, mostrando quindi che le proporzionalità tra ΔV , R ed I sono note e applicate bene nei casi più semplici e canonici.

Infine nella domanda n°16 si presentava un circuito con tre lampadine, due collegate in serie e la terza connessa parallelamente a una delle precedenti. Con questa configurazione veniva chiesto di classificare la tensione ai capi di una lampadina rispetto al voltaggio della batteria. Solamente il 20% dei ragazzi ha scelto l'opzione corretta a fronte del 50% che ha scelto un'opzione non compatibile con il circuito fornito. Questa domanda ci ha permesso di capire che molti studenti hanno difficoltà a cogliere il comportamento della differenza di potenziale in rami paralleli, non individuando correttamente la dinamica nei nodi e ritenendo che ad ogni nodo anche la tensione debba dividersi.

Il pre-test, come già illustrato, era composto anche di due domande aperte (non incluse nel calcolo del punteggio) utili per capire che tipo di concezione fosse più diffusa e per osservare anche il lessico utilizzato.

Il primo quesito, come già detto, chiedeva "*In una lampadina le cariche vengono consumate e convertite in luce? Spiega il ragionamento.*" Il 30% degli studenti ha lasciato questa domanda vuota, trovandosi forse in difficoltà a dover rispondere a una domanda aperta e a spiegare il proprio ragionamento. Un altro 30% degli studenti ha risposto di sì ovvero che la carica viene consumata/dissipata e includendo nel ragionamento fenomeni fisici come l'Effetto Joule; altri studenti non sono stati in grado di spiegare il ragionamento e si sono limitati a riformulare la domanda sotto forma di affermazione; da altri ancora (2 studenti) invece emergeva che la luce è generata da uno scontro ad alta velocità tra le cariche positive e quelle negative, che annientandosi a vicenda generano la luce, mostrando così di possedere un modello di corrente *bipolare con correnti antagoniste*. Soltanto il 20% dei ragazzi ha correttamente individuato che le cariche non vengono consumate ma viene trasformata l'energia da esse possedute e molti di questi motivano l'affermazione ragionando sul passaggio da energia elettrica a energia termica e infine luminosa. Questi studenti possiedono bene l'idea di conservazione dell'energia e della carica. Infine il 20% restante risulta confuso, rispondendo in modo incerto e senza sbilanciarsi né sulla veridicità né sulla falsità dell'affermazione contenuta nella domanda. Questo risultato conferma l'ipotesi sulla base della quale si era deciso di introdurre la domanda, ovvero l'esistenza di confusione tra i concetti di carica e di energia.

La seconda domanda aperta presentava un circuito con quattro lampadine collegate in modi diversi a una batteria e si chiedeva di classificare la luminosità delle lampadine e spiegare il ragionamento alla base della scelta. Le risposte sono estremamente diversificate e includono quasi ogni possibile permutazione di risposta. Da molti studenti emerge un ragionamento simile: notare l'intensità di corrente che attraversa ogni lampadina, sapendo che ai nodi si divide. Però anche se questo concetto è posseduto correttamente da diversi studenti poi emergono difficoltà nell'applicarlo nella pratica e nell'esempio concreto riportato.

Poiché, come detto precedentemente, il pre-test è stato somministrato prima dell'attività laboratoriale tra pari, ma dopo una serie di lezioni sui concetti del pre-test, è importante sottolineare quanto concetti di base risultino problematici se non trattati con una specifica attenzione. Questi risultati sembrano nello specifico confermare la difficoltà di mettere in relazione elementi di realtà con la loro modellizzazione, così come l'emergere di pattern di spiegazione lineari e non sistemici. Con questi risultati abbiamo infatti ottenuto evidenze che il campione di studenti sia più propenso a utilizzare una concezione di corrente *sequenziale di consumo* e con il relativo modello di ragionamento *sequenziale* o *locale* (si veda Capitolo 1.1).

3.2 Post-test

Complessivamente le risposte corrette alle domande presenti nel post-test sono state scelte nel 58% dei casi⁴.

In particolare, rifacendoci alla classificazione esposta in Tabella 1:

- le domande sul primo obiettivo di indagine hanno ottenuto il 65% di risposte corrette
- le domande sul secondo obiettivo di indagine il 43%
- le domande sul terzo obiettivo di indagine il 51%
- le domande sul quarto obiettivo di indagine il 60%

Come atteso, il livello di preparazione degli studenti segue una distribuzione che sembra essere di tipo gaussiano con un valor medio e deviazione standard di (58 ± 10) %. In Figura 3.4 è rappresentata graficamente la situazione osservata: abbiamo scelto di utilizzare, come nel pre-test, 10 bin, ciascuno di larghezza 10% e la linea verde rappresenta una distribuzione di tipo gaussiano parametrizzata al valor medio e deviazione standard.

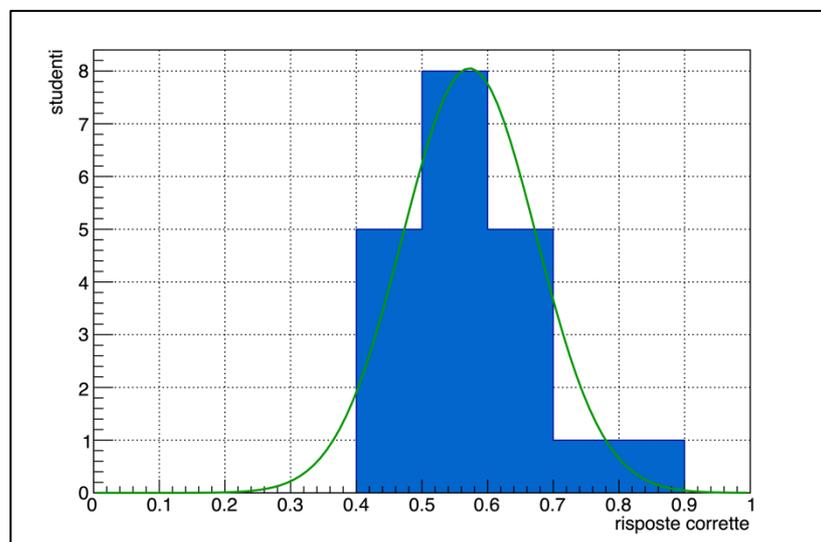


Figura 3.4 - Distribuzione dei risultati degli studenti (istogramma blu) paragonata a una distribuzione gaussiana (funzione verde)

In Figura 3.6 abbiamo riportato un prospetto completo delle opzioni scelte da ogni studente: ogni riga rappresenta il test svolto da uno studente e ogni colonna una domanda; abbiamo raggruppato le domande per obiettivo di indagine e aggiunto elementi grafici colorati per evidenziare meglio la diffusione di risposte corrette. Nelle ultime righe abbiamo calcolato la frequenza relativa con cui ogni opzione di risposta è stata scelta (evidenziando in verde la percentuale di ragazzi che ha risposto correttamente e utilizzando il colore rosso se la risposta scelta con maggior frequenza fosse errata), mentre nell'ultima colonna si può osservare la percentuale di risposte corrette scelte da ogni studente.

⁴ Per l'elaborazione di questi dati sono stati ignorati i risultati ottenuti dallo studente S3 perché assente durante lo svolgimento del pre-test e dell'attività laboratoriale

tipologia	I									II				III				IV													
numero domanda	4	5	9	10	13	14	18	19	22	23	27	2	3	12	21	1	8	11	17	20	6	7	15	16	24	25	26	28	29		
S1	D	B	D	C	A	B	D	C	B	C	B	C	B	A	D	C	C	A	D	D	E	A	C	C	D	A	D	A	E	72%	
S2	E	A	B	E	B	B	D	B	A	B	A	E	A	D	C	C	A	D	A	E	A	B	C	A	A	D	A	A	45%		
S3	E	B	D	E	A	B	C	D	B	C	B	C	E	E	C	D	A	D	C	A	A	A	C	C	A	A	A	A	A	45%	
S4	D	B	D	E	A	A	D	C	B	C	B	B	E	A	D	C	C	A	D	C	D	A	C	A	A	A	D	A	D	62%	
S5	D	B	D	E	A	B	D	C	B	E	A	B	B	C	A	C	D	C	A	C	C	E	A	C	B	A	C	A	A	A	52%
S6	E	B	D	C	A	B	D	C	B	D	B	C	B	A	E	D	C	A	D	D	E	A	C	C	D	A	D	A	C	66%	
S7	D	A	D	E	A	A	D	A	D	A	B	B	C	A	D	C	C	A	C	A	E	A	C	A	D	A	D	B	A	55%	
S8	D	B	D	C	A	A	C	C	B	D	B	B	C	A	A	A	A	C	D	C	E	A	C	A	A	A	D	C	B	59%	
S9	D	B	D	E	A	B	D	E	E	A	D	A	B	A	A	D	C	A	E	C	E	C	C	B	D	C	D	A	A	45%	
S10	D	B	D	D	A	B	D	D	B	A	B	B	E	D	D	C	C	A	C	B	E	C	C	C	D	C	D	A	B	62%	
S11	D	B	D	C	E	A	C	C	E	C	B	A	C	D	D	D	C	A	B	C	A	A	B	C	B	A	A	A	E	52%	
S12	D	B	D	E	A	B	C	C	B	A	B	B	B	C	D	C	C	A	D	D	D	A	C	C	A	A	D	C	69%		
S13	E	B	D	D	A	B	D	C	E	C	B	B	C	B	E	C	C	B	D	D	E	A	C	B	E	A	D	D	C	62%	
S14	E	B	D	E	B	C	D	C	A	A	B	B	E	A	D	C	C	A	D	C	E	A	C	C	A	A	D	A	B	59%	
S15	D	B	D	E	A	A	C	E	B	C	B	B	E	A	D	C	A	D	B	B	D	A	C	C	A	A	C	D	B	59%	
S16	D	B	D	E	A	A	D	D	E	A	D	A	E	A	D	C	D	D	B	E	A	C	C	D	A	D	C	A	A	48%	
S17	E	B	D	C	A	A	D	C	E	A	B	A	A	A	D	B	C	A	D	D	E	A	C	B	A	A	D	A	D	52%	
S18	D	B	D	C	A	B	C	C	B	C	B	B	C	D	D	D	C	A	D	C	E	A	C	C	A	C	D	A	B	83%	
S19	A	B	D	E	E	C	D	D	B	C	B	C	C	A	C	C	A	A	B	C	E	A	C	C	A	A	A	A	A	45%	
S20	D	B	D	C	A	B	D	C	E	A	B	B	C	B	A	C	A	A	E	C	E	A	C	C	E	A	D	A	C	55%	
A	0.05	0.10	0.00	0.00	0.80	0.35	0.00	0.05	0.05	0.50	0.00	0.25	0.05	0.65	0.15	0.05	0.25	0.75	0.00	0.15	0.10	0.90	0.00	0.15	0.55	0.75	0.20	0.70	0.35		
B	0.00	0.90	0.05	0.00	0.10	0.55	0.05	0.05	0.55	0.00	0.90	0.55	0.20	0.10	0.00	0.05	0.00	0.05	0.15	0.15	0.00	0.00	0.10	0.20	0.05	0.00	0.00	0.05	0.25		
C	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	0.10	0.30	0.55	0.00	0.40	0.00	0.20	0.40	0.05	0.15	0.55	0.75	0.05	0.20	0.45	0.00	0.10	0.90	0.55	0.00	0.25	0.05	0.10	0.20		
D	0.65	0.00	0.95	0.10	0.00	0.00	0.65	0.25	0.05	0.10	0.10	0.00	0.00	0.15	0.60	0.30	0.00	0.15	0.55	0.20	0.15	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.75	0.10	0.10		
E	0.30	X	0.00	0.55	0.10	X	0.00	0.10	0.35	X	X	X	0.35	0.05	0.10	X	X	X	0.10	X	0.75	X	X	X	0.10	X	X	X	0.10		
Vuote	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	0.10	0	0	0	0.05	0		

Figura 3.6 - Prospetto delle scelte di ciascuno studente per ogni domanda raggruppate per obiettivo di indagine

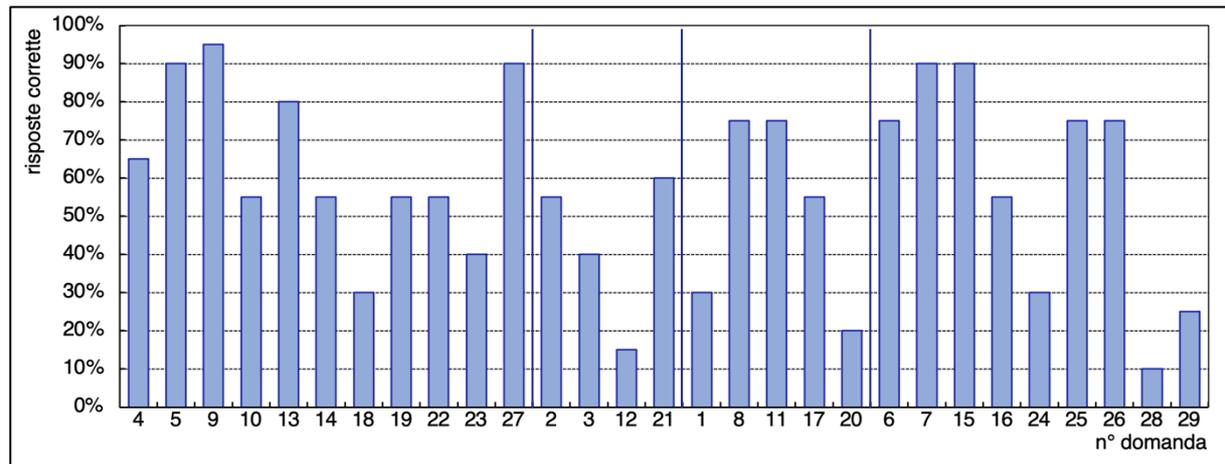


Figura 3.5 - Istogramma rappresentante la percentuale di risposte corrette per ogni domanda

In Figura 3.5, abbiamo rappresentato, tramite un istogramma, l'andamento della classe per ciascuna domanda: in ascissa è riportato il numero di domanda (ordinate per obiettivo di indagine: al primo obiettivo afferiscono le domande n°4, 5, 9, 10, 13, 14, 18, 19, 22, 23 e 27; al secondo le n°2, 3, 12 e 21; al terzo le n°1, 8, 11, 17, 20 e al quarto le n°6, 7, 15, 16, 24, 25, 26, 28 e 29) e in ordinata la percentuale di risposte corrette fornite dagli studenti.

Commentiamo ora alcune delle domande che hanno mostrato risultati significativi.

Del primo obiettivo di indagine, ovvero gli aspetti fisici dei circuiti DC, sono rilevanti le risposte date alle domande n°5, 9, 18, 23 e 27 (le n°18 e 23 infatti hanno generato confusione mentre le altre sono quelle risposte meglio).

La n°5, dati due rami con due resistenze collegate rispettivamente in serie o in parallelo, chiedeva di scegliere quale avesse resistenza minore. Il 90% degli studenti ha correttamente individuato il ramo con la resistenza complessiva minore; solo il 10% ha scelto il ramo sbagliato e nessuno ha sostenuto che fossero equivalenti o ha omesso la risposta. Questo risultato ci ha permesso di capire che la quasi totalità degli studenti riesce a distinguere i collegamenti serie/parallelo in casi semplici e sa come calcolare la resistenza equivalente.

La domanda n°9 proponeva alcuni collegamenti tra lampadina e batteria e chiedeva di individuare quelli funzionanti. Il 95% degli studenti è stato in grado di rispondere in modo corretto. Configurazioni simili sono state sperimentate dai ragazzi durante il laboratorio. Da questo risultato possiamo dedurre che quasi tutti ora conoscono la geometria di una lampadina e il modo per creare un circuito completo chiuso.

La domanda n°18, analogamente alla n°9, mostrava alcune lampadine collegate a batterie e chiedeva di scegliere i circuiti funzionanti. A differenza della domanda n°9, questo quesito si concentrava non sulla geometria fisica della lampadina, ma sul fluire o meno della corrente attraverso i fili. Il 30% dei ragazzi ha scelto l'unica configurazione possibile, mentre il 65% ha scelto un'opzione che comprendeva la configurazione corretta ma anche una configurazione sbagliata in cui la lampadina era posta in parallelo a un filo di resistenza trascurabile. Tutti gli studenti sono stati in grado di riconoscere i circuiti aperti e quindi a resistenza infinita, in cui non poteva scorrere la corrente. Questa domanda poteva essere ambigua e mal compresa senza uno sguardo critico e attento, possiamo comunque notare che quasi tutti hanno individuato la configurazione funzionante.

La domanda n°23 chiedeva come la resistenza di una lampadina variasse dopo l'apertura di un interruttore. Il 40% degli studenti ha risposto correttamente, riconoscendo che la resistenza della lampadina è una caratteristica fisica indipendente dal sistema in cui è inserita e quindi rimane costante. Il 50% ha scelto un'opzione sbagliata sostenendo che la resistenza crescesse. Probabilmente non è stato letto con attenzione il testo: la resistenza complessiva del circuito cresce (e tende a infinito dopo l'apertura dell'interruttore) ma non la resistenza della sola lampadina.

La domanda n°27 insisteva ancora una volta sulla realizzazione di un circuito funzionante mostrando diverse possibilità. Anche in questo caso il 90% degli studenti ha individuato le configurazioni geometriche corrette.

Alla luce delle molteplici domande fatte e dei buoni esiti delle risposte scelte, possiamo affermare che gli studenti sono migliorati in modo significativo circa i loro ragionamenti sugli aspetti fisici dei circuiti a corrente continua. Ora emerge infatti che solo una piccola minoranza di studenti utilizzi una concezione *unipolare* (vedi Capitolo 1.1) nella propria rappresentazione mentale dei circuiti.

Per il secondo obiettivo di indagine, cioè conoscere il ruolo dell'energia nei circuiti, analizziamo le risposte fornite alla domanda n°12, in cui si chiedeva, come da test originale, di scegliere il circuito che riceve meno "potenza" tra i tre proposti. Solo il 15% degli studenti ha risposto correttamente a questa domanda, riconoscendo che due batterie poste in parallelo forniscono la stessa potenza di una singola batteria. Il 65% degli studenti, ha invece scelto il circuito con una singola batteria, limitandosi a osservare un numero minore di generatori di tensione e deducendo quindi che dovesse essere il circuito meno potente, emerge quindi la presenza di una forma di ragionamento *superposizionale* (Closset, 1983). Le altre domande afferenti a questo obiettivo di indagine sono state risposte mediamente bene. Questo risultato mostra una delicatezza sul concetto di potenza che, in effetti, non è stato oggetto significativo delle attività e mette in evidenza quanto la domanda n°12 fosse, da questo punto di vista, diversa dalle altre. Per il terzo obiettivo di indagine, ovvero conoscere il ruolo della corrente nei circuiti, commenteremo i risultati alle domande n°1, 8 e 20 (le risposte alle n°1 e 20 sono state le migliori, quelle alla n°8 invece le peggiori).

La n°1 era una domanda teorica/concettuale che chiedeva se le cariche in una lampadina venissero consumate e convertite in luce e forniva 4 possibili opzioni: due affermative con motivazioni diverse e due negative con motivazioni diverse. L'85% dei ragazzi ha correttamente individuato che la carica viene conservata, ma solo il 30% ha fornito la motivazione più precisa e corretta. Il 55% invece pur riconoscendo che la carica debba conservarsi ha affermato che "*è semplicemente convertita in un'altra forma come calore e luce*", faticando a notare che ciò che

si converte non è la carica ma l'energia da essa posseduta. Dunque, la nozione di conservazione della carica è posseduta dai ragazzi, che però ancora non gestiscono in tutta la sua complessità e delicatezza, in relazione al concetto di energia (come descritto con la Figura 1.2).

La domanda n°8 mostrava un circuito con una sola resistenza e chiedeva di individuare in quale punto la corrente fosse maggiore. Il 75% degli studenti ha correttamente affermato che la corrente è uguale in ogni punto, mostrando di ragionare con un'ottica *sistemica*; invece il 25% restante ha affermato che la corrente è maggiore prima di incontrare la resistenza, utilizzando ancora un modello di corrente in cui essa si consuma passando attraverso le resistenze.

La domanda n°20 proponeva di collegare le conoscenze sulla corrente con quelle sul campo elettrico, chiedendo quanto valesse il campo interno a un filamento attraversato da corrente. Due opzioni proponevano che il campo dovesse essere nullo con due differenti motivazioni e le altre due opzioni sostenevano che il campo dovesse essere diverso da zero con due motivazioni differenti. Il 65% degli studenti ha correttamente individuato che il campo dovesse essere presente a fronte del 30% degli studenti che ha scelto le opzioni con campo nullo. Però solo il 20% è riuscito a cogliere anche la motivazione corretta ovvero l'esistenza di cariche superficiali.

Complessivamente il terzo obiettivo di indagine è stato affrontato in modo soddisfacente ma ha mostrato che alcuni concetti meritano una trattazione più approfondita, specialmente nella collocazione della trattazione dei circuiti nell'ambito più ampio dell'elettromagnetismo e dei concetti di campo, energia e potenza.

Per il quarto obiettivo di indagine, ovvero conoscere il ruolo della differenza di potenziale nei circuiti, meritano attenzione le domande n°7, 15, 24, 28 e 29 (le prime due ci colpiscono positivamente per le risposte date, le ultime tre invece sono state quelle a cui gli studenti hanno risposto peggio).

La n°7 mostrava due circuiti con singola resistenza, uno avente due batterie in serie e uno con una singola batteria, e si chiedeva di scegliere quale lampadina fosse più luminosa. Il 90% degli studenti ha scelto correttamente la configurazione con due batterie come sorgente di maggior differenza di potenziale e quindi, a parità di resistenza, maggior corrente e di conseguenza maggior luce. Solamente il 10% dei ragazzi ha affermato che le due configurazioni fossero analoghe, probabilmente ricordando il caso in cui le due batterie sono collegate in parallelo: non riuscendo a ragionare sulle motivazioni, questi ragazzi probabilmente si affidano solamente alla memoria.

La domanda n°15 presentava un circuito con due lampadine in parallelo e chiedeva di indicare cosa succede alla differenza di potenziale ai capi di una lampadina, rimuovendo l'altra. Anche qui il 90% degli studenti ha affermato correttamente che la tensione rimane uguale, probabilmente ricordando i discorsi fatti a lezione sui "*binari*" equipotenziali. Il 10% restante ha risposto che la tensione diminuisce togliendo una lampadina, probabilmente immaginando che, rimuovendo una resistenza, il voltaggio debba calare essendo legato con una proporzionalità diretta, senza fare attenzione alla configurazione proposta ma basandosi solamente su formule matematiche non applicate correttamente.

La domanda n°24 chiedeva se al raddoppiare della corrente attraverso una batteria raddoppiasse anche la differenza di potenziale ai capi di quest'ultima. Venivano fornite cinque opzioni di risposta con motivazioni differenti. L'opzione scelta dal 55% degli studenti è errata, infatti afferma che la differenza di potenziale raddoppi "*perché la Legge di Ohm dice $V = IR$* ": gli studenti che hanno scelto questa opzione, come nel caso della domanda n°15, tendono a legarsi troppo alla formula matematica senza comprendere come applicarla. Solo il 30% dei ragazzi ha risposto correttamente che la differenza di potenziale non aumenta perché è una proprietà intrinseca della batteria, quindi una piccola parte ha capito che pur rimanendo vera l'uguaglianza $V=IR$, la tensione è la grandezza costante e non la resistenza e dunque raddoppiando la I, non raddoppia la V, ma si dimezza la R.

La domanda n°28 presentava un circuito con un interruttore aperto, in cui erano inserite due resistenze e una batteria da 12V, veniva chiesto di indicare quantitativamente il valore della differenza di potenziale in due punti indicati nel disegno. Solo il 10% degli studenti è riuscito a rispondere correttamente, mostrando di aver capito che se il circuito è aperto allora non c'è passaggio di corrente e dunque ai capi dell'interruttore si misura una differenza di potenziale di 12V, pari a quella della batteria. Il 70% dei ragazzi invece ha ritenuto che la differenza di potenziale dovesse essere pari a 0V, probabilmente ritenendo che, essendo un circuito aperto e quindi con $I = 0$, la V debba necessariamente essere $= 0$ per mantenere valida la Legge di Ohm, non considerando che la R tendeva a infinito. Non si trattava di una domanda banale ma la percentuale di risposte corrette non è soddisfacente.

La domanda n°29 mostrava il circuito più articolato dell'intero test: era presente una resistenza collegata in serie a un sistema composto da due resistenze parallele con un interruttore in uno dei due rami. Chiedeva di valutare la luminosità di due lampadine alla chiusura dell'interruttore. Solo il 25% è riuscito a risolvere correttamente il circuito, osservando che la luminosità di una lampadina aumenta e quella dell'altra diminuisce perché si passa da una configurazione con due lampadine in serie a una con una lampadina in serie a due lampadine parallele. Il 35% non ha colto l'aumento di luminosità della prima lampadina ma ha segnalato correttamente che la seconda diminuisce. La parte restante degli studenti si è distribuita nelle altre opzioni di risposta.

Per questo obiettivo di indagine gli studenti hanno mostrato di possedere bene gli strumenti necessari, seppur una piccola parte di ragazzi faticati ad applicarli, nel complesso comunque ci riteniamo soddisfatti dei risultati ottenuti.

Uno sguardo complessivo mostra, tuttavia, che rimangono aspetti concettuali fortemente resistenti al cambiamento. Facendo riferimento ai risultati di ricerca riportati nel Capitolo 1, il post-test mostra che gli aspetti più delicati per la comprensione rimangono:

- l'utilizzo di una forma di ragionamento *sistemica* e non *sequenziale* o *locale*;
- la rappresentazione mentale di corrente con un modello *scientifico* e non *a consumo*;
- l'utilizzo corretto dei termini *carica/corrente* ed *energia/potenza* con le relative conservazioni, senza fare confusione con grandezze *dissipate*;
- il collegamento tra le conoscenze sui circuiti elettrici e il contesto più ampio dei fenomeni elettromagnetici.

3.3 Confronto

3.3.1 Tra pre-test e post-test

Obiettivo principale di questo paragrafo è valutare l'efficacia dell'attività laboratoriale condotta tra pari, confrontando l'andamento della classe nel pre-test con quello nel post-test.

Come ampiamente sottolineato, il pre-test è stato somministrato prima dell'attività di laboratorio ma dopo che gli studenti avevano studiato in classe i concetti di elettrostatica e le basi di elettrodinamica: circuiti resistivi (diagrammi e simboli circuitali, differenze e analogie tra collegamenti in serie e parallelo, le Leggi di Ohm e la Legge di Kirchhoff) e un accenno ai circuiti RC.

Questo elemento è molto importante per la riflessione sui risultati, sia perché anche il pre-test ha dato risultati comunque di soddisfazione sia, e soprattutto, perché il cambiamento è imputabile più alla modalità di lavoro in classe e al tipo di ragionamento che ha innescato, che all'introduzione di nuovi concetti.

Come descritto nel Capitolo 1.2, abbiamo costruito il pre-test appositamente per poter ottenere dei dati da analizzare e paragonare con quelli del DIRECT svolto al termine delle attività. I questionari sono pertanto confezionati con la medesima forma e struttura e con contenuto analogo, la differenza principale tra i due test è il momento in cui le domande sono state poste: prima o dopo le attività laboratoriali tra pari, quindi il paragone che proponiamo in seguito è pienamente lecito.

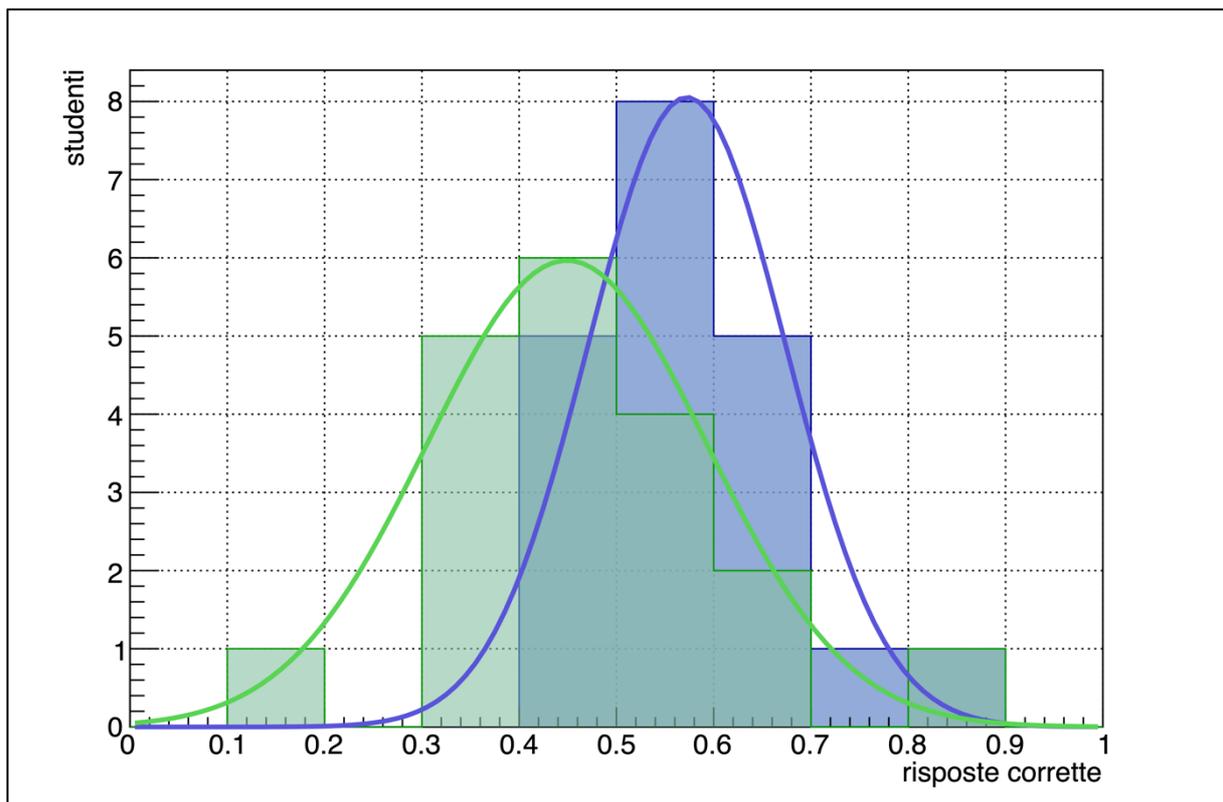


Figura 3.7 - Esiti del pre-test (verde) sovrapposti agli esiti del post-test (blu)

In Figura 3.7 abbiamo sovrapposto i dati già presentati in Figura 3.1 con quelli rappresentati in Figura 3.4. Possiamo osservare in verde il livello di preparazione degli studenti emerso dal pre-test e in blu quello emerso dal post-test, con le relative curve gaussiane. Il valor medio di risposte corrette è passato da $(45 \pm 14) \%$ a $(58 \pm 10) \%$, crescendo di 13 punti percentuali e l'ampiezza della curva gaussiana è diminuita, risultando così maggiormente piccata e meno

dispersa. Complessivamente il percorso svolto in classe è dunque risultato utile per aumentare il livello di preparazione degli studenti riguardo i temi affrontati.

L'efficacia delle attività svolte può essere ancora meglio apprezzata dalla Figura 3.8 e Figura 3.9 in cui abbiamo riportato graficamente gli esiti del test per ciascuno studente: nella prima colonna abbiamo riportato un codice identificativo di ogni studente, nella seconda colonna la percentuale di risposte corrette fornite nel pre-test, nella terza colonna la percentuale di risposte corrette nel post-test, e infine nell'ultima colonna abbiamo calcolato la differenza tra i due valori. Nell'ultima riga abbiamo calcolato la media per ogni colonna.

Il colore di riempimento della tabella ha l'obiettivo di rendere visivamente più chiara la situazione, abbiamo utilizzato una scala in cui il rosso è abbinato a un cattivo esito e il verde a un ottimo esito. Nell'istogramma, come negli istogrammi che seguono, abbiamo utilizzato il colore verde abbinato ai valori del pre-test e quello blu per il post-test

RISULTATI COMPLESSIVI			
Studente	PRE-test	POST-test	Delta
S1	53%	72%	19%
S2	33%	45%	11%
S3		45%	
S4	60%	62%	2%
S5	40%	52%	12%
S6	53%	66%	12%
S7	47%	55%	9%
S8	40%	59%	19%
S9	53%	45%	-9%
S10	33%	62%	29%
S11	47%	52%	5%
S12	60%	69%	9%
S13	13%	62%	49%
S14	33%	59%	25%
S15	47%	59%	12%
S16	33%	48%	15%
S17	33%	52%	18%
S18	40%	83%	43%
S19	53%	45%	-9%
S20	80%	55%	-25%
Media	45%	58%	13%

Figura 3.8 - Paragone dei risultati dei due test per ciascuno studente

In Figura 3.8, come prima cosa si può notare come la situazione della classe fosse meno uniforme (maggior varietà di colori della scala) a inizio attività e più omogenea nel secondo test (i colori si attestano su poche variazioni di verde). Possiamo inoltre osservare che anche se lo studente S4 non è migliorato significativamente, e gli studenti S9, S19 e S20 sono peggiorati (per loro le attività svolte in classe hanno probabilmente generato maggior confusione), a tutti gli altri

studenti il laboratorio è risultato utile per fortificare e aumentare le proprie conoscenze, fino al 49%, come nel caso dello studente S13. In particolare, i test di:

- 3 studenti mostrano un incremento di risposte corrette tra il 5% e il 10%
- 8 studenti mostrano un incremento di risposte corrette tra il 10% e il 20%
- 4 studenti mostrano un incremento di risposte corrette maggiore del 20%

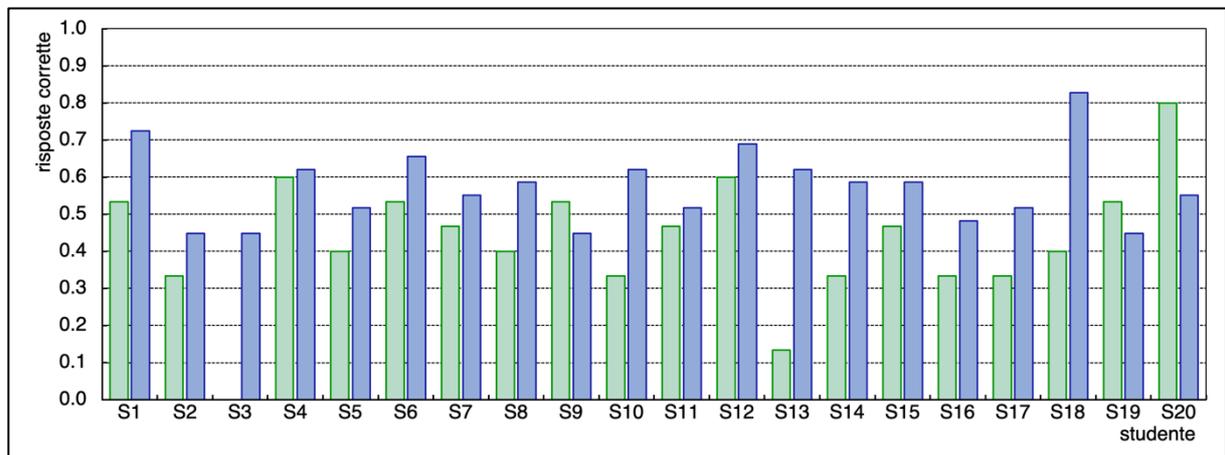


Figura 3.9 - istogramma che raffigura la percentuale di risposte corrette per ciascuno studente. In verde sono riportati i valori del pre-test e in blu quelli del post-test.

Procediamo ora con un confronto tra pre-test e post-test focalizzato per ciascun obiettivo di indagine. I valori che riporteremo sono calcolati come rapporto tra le risposte corrette e il numero di domande appartenenti all'obiettivo in analisi. Abbiamo scelto di perseguire questa modalità di analisi per attenerci a quella suggerita dai ricercatori che hanno formulato e tarato il test (Engelhardt, 1997). Tuttavia siamo consapevoli che l'errore su tali valori è molto consistente visto il numero esiguo di domande afferenti a ciascun obiettivo. Pertanto nel confronto tra gli esiti dei trascureremo variazioni di piccole percentuali.

Abbinando però questi dati quantitativi alle riflessioni qualitative che seguono, si può ottenere un quadro completo e più preciso della situazione del campione nei diversi momenti di indagine.

In Figura 3.10 abbiamo focalizzato il confronto sulle domande del primo obiettivo di indagine. Dal pre-test emerge che gli studenti possedevano una conoscenza degli aspetti fisici dei circuiti resistivi a corrente continua piuttosto scarsa (è diffuso il colore arancione/rosso): lo studente S12 non aveva risposto bene ad alcuna domanda e altri 8 studenti a meno di metà delle domande. Infatti il modo in cui modellizzavano un circuito seguiva frequentemente una *concezione unipolare*. Al contrario nel post-test la situazione è migliorata (i colori si attestano principalmente sul verde).

RISULTATI PRIMO QUESITO			
Studente	PRE-test	POST-test	Delta
S1	80%	80%	0%
S2	20%	40%	20%
S3		80%	
S4	20%	80%	60%
S5	60%	60%	0%
S6	40%	60%	20%
S7	20%	50%	30%
S8	60%	70%	10%
S9	60%	60%	0%
S10	60%	60%	0%
S11	80%	60%	-20%
S12	0%	90%	90%
S13	20%	60%	40%
S14	40%	50%	10%
S15	40%	80%	40%
S16	40%	50%	10%
S17	60%	50%	-10%
S18	60%	90%	30%
S19	80%	60%	-20%
S20	80%	60%	-20%
Media	48%	65%	16%

Figura 3.10 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al primo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente

È interessante notare che, mentre per alcuni studenti la situazione prima e dopo il test non cambi significativamente, altri studenti sono migliorati molto raddoppiando, triplicando o quadruplicando (S4) il risultato, fino ad arrivare al caso eclatante dello studente S12 che non aveva risposto correttamente ad alcuna domanda nel pre-test e che ha poi totalizzato un punteggio pari al 90% in questa sezione del post-test. Inoltre si può osservare che gli studenti che avevano ottenuto un ottimo esito nel pre-test non sono riusciti nella maggior parte dei casi (S11, S19, S20) a raggiungere lo stesso risultato e hanno mostrato un peggioramento pur attestandosi su livelli medio-alti. Complessivamente la classe mostra un miglioramento del 16% alle domande afferenti a questo obiettivo. Il livello raggiunto nel post-test per questo obiettivo di indagine è il migliore (65%) rispetto agli altri obiettivi, il che dimostra un'ottima padronanza della struttura fisica dei circuiti da parte degli studenti, dopo lo svolgimento del laboratorio. Pertanto possiamo confermare che l'attività proposta nel tutorial di laboratorio ha aiutato gli

studenti ad abbandonare una *concezione unipolare* della corrente elettrica e dei circuiti verso la *conoscenza scientifica*.

In Figura 3.11 abbiamo riportato la situazione relativa al secondo obiettivo di indagine, cioè il ruolo dell'energia nei circuiti resistivi a corrente continua. Si può osservare come nel pre-test la classe sia molto polarizzata tra chi conosce e sa ragionare su questo argomento e chi invece non si mostra in grado di comprendere questa grandezza. Dal post test non emerge comunque una uniformità dei risultati, tuttavia essi risultano meno polarizzati e più distribuiti. Questo è l'obiettivo di indagine con il miglioramento minimo (solo il 6%), probabilmente anche a causa del fatto che nel laboratorio il ruolo dell'energia veniva affrontato solo marginalmente. Inoltre nel post-test non è stato raggiunto un livello sufficiente e soddisfacente di conoscenza negli studenti. La rilevanza statistica di questo obiettivo di indagine è limitata dal fatto che le domande afferenti a questo obiettivo di indagine siano in numero esiguo, poiché non abbiamo scelto di focalizzare la nostra ricerca su questi aspetti.

RISULTATI SECONDO QUESITO			
Studente	PRE-test	POST-test	Delta
S1	0%	25%	25%
S2	0%	25%	25%
S3		0%	
S4	0%	50%	50%
S5	100%	50%	-50%
S6	0%	0%	0%
S7	0%	75%	75%
S8	100%	50%	-50%
S9	0%	0%	0%
S10	0%	75%	75%
S11	0%	75%	75%
S12	100%	50%	-50%
S13	0%	50%	50%
S14	0%	50%	50%
S15	100%	50%	-50%
S16	0%	25%	25%
S17	0%	25%	25%
S18	100%	100%	0%
S19	100%	25%	-75%
S20	100%	50%	-50%
Media	37%	43%	6%

Figura 3.11 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al secondo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente

Da questi risultati sembra emergere un miglioramento non così diffuso e accentuato come negli altri quesiti, dunque la difficoltà degli studenti nel capire il ruolo dell'*energia* e distinguerla dalla *corrente* elettrica è resistente al cambiamento e rileviamo che la confusione tra questi termini esposta nel Capitolo 1 sia in parte rimasta anche a seguito del tutorial di laboratorio.

In Figura 3.12 abbiamo rappresentato il paragone tra i risultati alle domande del terzo obiettivo di indagine, quello sul ruolo della corrente nei circuiti resistivi. Questa è stata la sezione con incremento massimo (+27%). La classe è passata da uno stato variegato in cui molti studenti non erano in grado di riconoscere correttamente il ruolo e il funzionamento della corrente, ad una situazione in cui la maggior parte ha acquisito nuove competenze, fino al caso dello studente S6 che ha risposto correttamente a tutte le domande riguardanti la corrente. Solo 4 studenti (S7, S15, S19 e S20) hanno peggiorato il loro rendimento, mentre tutti gli altri hanno avuto un incremento, alcuni anche di entità rilevante.

Da questi risultati possiamo osservare in verde le risposte corrette alle domande di questo obiettivo nel pre-test e in blu quelle del post-test, si osserva un miglioramento nella quasi totalità della classe, il che ci permette di capire che il modello *sequenziale* o *locale* dei circuiti elettrici, posseduti in maniera diffusa prima delle attività laboratoriali siano stati gradualmente abbandonati a seguito dello svolgimento del tutorial.

RISULTATI TERZO QUESITO			
Studente	PRE-test	POST-test	Delta
S1	50%	80%	30%
S2	0%	60%	60%
S3		20%	
S4	50%	60%	10%
S5	0%	60%	60%
S6	50%	100%	50%
S7	50%	40%	-10%
S8	0%	20%	20%
S9	50%	60%	10%
S10	0%	40%	40%
S11	0%	60%	60%
S12	0%	60%	60%
S13	0%	60%	60%
S14	50%	60%	10%
S15	50%	0%	-50%
S16	0%	40%	40%
S17	0%	80%	80%
S18	0%	80%	80%
S19	50%	20%	-30%
S20	50%	20%	-30%
Media	24%	51%	27%

Figura 3.12 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al terzo quesito di indagine nei due test per ciascuno studente

In Figura 3.13 si può osservare la situazione degli studenti riguardo al quarto obiettivo di indagine, ovvero la conoscenza del ruolo e del funzionamento della differenza di potenziale nei circuiti resistivi DC. La situazione di partenza degli studenti era piuttosto scarsa, con una media di risposte corrette del 50% e una concezione *superposizionale* (si veda Capitolo 1) diffusa, invece la situazione rilevata nel post-test si è mostrata più omogenea e attestata su valori più alti. Inoltre possiamo notare che 5 studenti (S1, S10, S13, S14 e S18) hanno incrementato i propri risultati in modo notevole (>30%). Infine si evidenzia che tutti gli studenti carenti (<50%) nel pre-test, sono migliorati portandosi a un livello di conoscenza accettabile ($\geq 60\%$) probabilmente perché hanno frequentato il laboratorio e le attività proposte con maggior apertura mentale e più disposti all'apprendimento; al contrario i ragazzi che partivano già da una buona situazione mediamente hanno avuto miglioramenti di lieve entità o addirittura peggioramenti, forse a causa del fatto che non hanno prestato sufficiente attenzione durante le attività in classe (pensando di possedere già quelle conoscenze) che quindi si sono rivelate poco efficaci. Da questi risultati possiamo notare che mediamente gli studenti abbinati a una colonna verde bassa, hanno poi raggiunto una colonna blu alta, invece chi già possedeva un livello di partenza buono non ha incrementato il proprio esito. Possiamo pertanto affermare che il tutorial è stato utile ad agevolare un cambiamento riguardo la concezione della differenza di potenziale soprattutto in chi aveva una conoscenza diversa da quella scientifica, mentre coloro che avevano già riflettuto e acquisito un modello di ragionamento scientifico tramite le lezioni precedenti al nostro intervento non hanno mostrato cambiamenti evidenti.

RISULTATI QUARTO QUESITO			
Studente	PRE-test	POST-test	Delta
S1	40%	80%	40%
S2	60%	60%	0%
S3		30%	
S4	60%	40%	-20%
S5	60%	30%	-30%
S6	60%	80%	20%
S7	60%	70%	10%
S8	60%	70%	10%
S9	60%	40%	-20%
S10	30%	70%	40%
S11	60%	20%	-40%
S12	60%	60%	0%
S13	30%	70%	40%
S14	40%	80%	40%
S15	40%	70%	30%
S16	40%	70%	30%
S17	40%	60%	20%
S18	30%	70%	40%
S19	40%	60%	20%
S20	90%	70%	-20%
Media	51%	60%	9%

Figura 3.13 - Paragone dei risultati alle domande afferenti al quarto quesito di indagine nei due test per ciascuno studente

3.3.2 Tra risultati DIRECT noti e nel nostro campione

In (Engelhardt, 1997) la *Table 4.4*, riporta le performance degli studenti del campione originario⁵ suddivise per quesito di indagine e queste possono essere paragonate con i risultati degli studenti del nostro campione.

Tabella 3 - Confronto tra i risultati statistici noti e quelli del nostro campione

Quesito di indagine	Numeri di domanda	Risposte corrette del campione originale	Risposte corrette dei nostri studenti	Differenza
Aspetti fisici dei circuiti elettrici DC	4, 5, 9, 10, 13, 14, 18, 19, 22, 23, 27	47 %	65 %	18 %
Energia	2, 3, 12, 21	33 %	43 %	10 %
Corrente	1, 8, 11, 17, 20	40 %	51 %	12 %
Differenza di potenziale	6, 7, 15, 16, 24, 25, 26, 28, 29	44 %	60 %	16 %
Complessivo		43 %	58 %	15 %

Come possiamo osservare in Tabella 3, gli studenti sottoposti al DIRECT nelle *High School* degli Stati Uniti hanno risultati meno soddisfacenti rispetto a quelli ottenuti dagli studenti del nostro campione. Tuttavia si può notare che sia nelle *High School USA* sia nel nostro campione la sezione in cui gli studenti hanno maggiori difficoltà è quella legata all'energia, seguita dalla corrente, poi la differenza di potenziale e infine gli aspetti fisici, indipendentemente dal campione di appartenenza degli studenti.

Confrontando la *Figura 1.5* con la *Figura 3.6*, si possono paragonare le frequenze con cui ogni opzione è stata scelta per ogni domanda per entrambi i campioni. Nella *Tabella 4* riepiloghiamo questi dati. Abbiamo riportato per ogni riga una domanda e nelle colonne le opzioni scelte dagli studenti: nelle colonne indicate con I sono inseriti i dati degli studenti del nostro post-test, nelle colonne indicate con II sono inseriti i dati degli studenti sottoposti al DIRECT negli Stati Uniti. Abbiamo evidenziato in verde le risposte corrette e in rosso le risposte scelte dal maggior numero degli studenti dei rispettivi campioni.

È interessante vedere come in molte domande le risposte scelte dalla maggioranza siano le stesse, indipendentemente dal fatto che si analizzi il campione originale o i risultati dei nostri studenti. Inoltre per molte domande anche le indecisioni sono state le stesse sia nel campione originale sia nel nostro campione: ad esempio alle domande n°12, 18, 20, 24, 28 e 29 la maggior parte degli studenti di entrambi i bacini analizzati ha sbagliato a rispondere e scelto la stessa opzione, mostrando così che il modo di ragionare di questi studenti è analogo. Sono infatti poche (n°1, 10, 22 e 23) le domande in cui la maggioranza dei nostri studenti e degli studenti americani abbia opinioni divergenti.

⁵ si veda descrizione dettagliata al Capitolo 1.2.1

Tabella 4 - Opzioni scelte dal nostro campione di studenti (colonne I) e quello originario (colonne II) per ogni domanda. In verde sono evidenziate le risposte corrette, in rosso le risposte scelte dalla maggior parte degli studenti.

	A		B		C		D		E		Omesse	
	I	II	I	II								
1	0.05	0.27	0.05	0.04	0.55	0.33	0.30	0.35	X	X	0.05	0.00
2	0.25	0.11	0.55	0.60	0.20	0.29	0.00	0.01	X	X	0.00	0.00
3	0.05	0.06	0.20	0.26	0.40	0.39	0.00	0.06	0.35	0.23	0.00	0.00
4	0.05	0.08	0.00	0.05	0.00	0.41	0.65	0.30	0.30	0.16	0.00	0.00
5	0.10	0.11	0.90	0.71	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.10	0.15	0.00	0.08	0.00	0.11	0.15	0.20	0.75	0.46	0.00	0.00
7	0.90	0.66	0.00	0.11	0.10	0.23	0.00	0.00	X	X	0.00	0.00
8	0.25	0.20	0.00	0.06	0.75	0.73	0.00	0.01	X	X	0.00	0.00
9	0.00	0.17	0.05	0.07	0.00	0.06	0.95	0.69	0.00	0.01	0.00	0.00
10	0.00	0.02	0.00	0.01	0.35	0.55	0.10	0.12	0.55	0.30	0.00	0.00
11	0.75	0.36	0.05	0.12	0.05	0.17	0.15	0.35	X	X	0.00	0.00
12	0.65	0.45	0.10	0.17	0.05	0.13	0.15	0.14	0.05	0.11	0.00	0.00
13	0.80	0.82	0.10	0.09	0.00	0.01	0.00	0.03	0.10	0.05	0.00	0.00
14	0.35	0.37	0.55	0.48	0.10	0.15	0.00	0.00	X	X	0.00	0.00
15	0.00	0.41	0.10	0.13	0.90	0.46	0.00	0.01	X	X	0.00	0.00
16	0.15	0.28	0.20	0.25	0.55	0.46	0.00	0.01	X	X	0.10	0.00
17	0.00	0.03	0.15	0.12	0.20	0.19	0.55	0.37	0.10	0.29	0.00	0.00
18	0.00	0.01	0.05	0.04	0.30	0.24	0.65	0.70	0.00	0.01	0.00	0.00
19	0.05	0.05	0.05	0.18	0.55	0.63	0.25	0.06	0.10	0.08	0.00	0.00
20	0.15	0.16	0.15	0.12	0.45	0.55	0.20	0.16	X	X	0.05	0.00
21	0.15	0.06	0.00	0.07	0.15	0.14	0.60	0.50	0.10	0.13	0.00	0.00
22	0.05	0.04	0.55	0.17	0.00	0.24	0.05	0.09	0.35	0.45	0.00	0.00
23	0.50	0.15	0.00	0.12	0.40	0.32	0.10	0.41	X	X	0.00	0.00
24	0.55	0.47	0.05	0.12	0.00	0.18	0.30	0.18	0.10	0.05	0.00	0.00
25	0.75	0.67	0.00	0.05	0.25	0.27	0.00	0.01	X	X	0.00	0.00
26	0.20	0.34	0.00	0.07	0.05	0.11	0.75	0.40	0.00	0.07	0.00	0.00
27	0.00	0.13	0.90	0.51	0.00	0.15	0.10	0.20	X	X	0.00	0.01
28	0.70	0.45	0.05	0.06	0.10	0.26	0.10	0.20	X	X	0.05	0.03
29	0.35	0.30	0.25	0.15	0.20	0.22	0.10	0.13	0.10	0.16	0.00	0.03

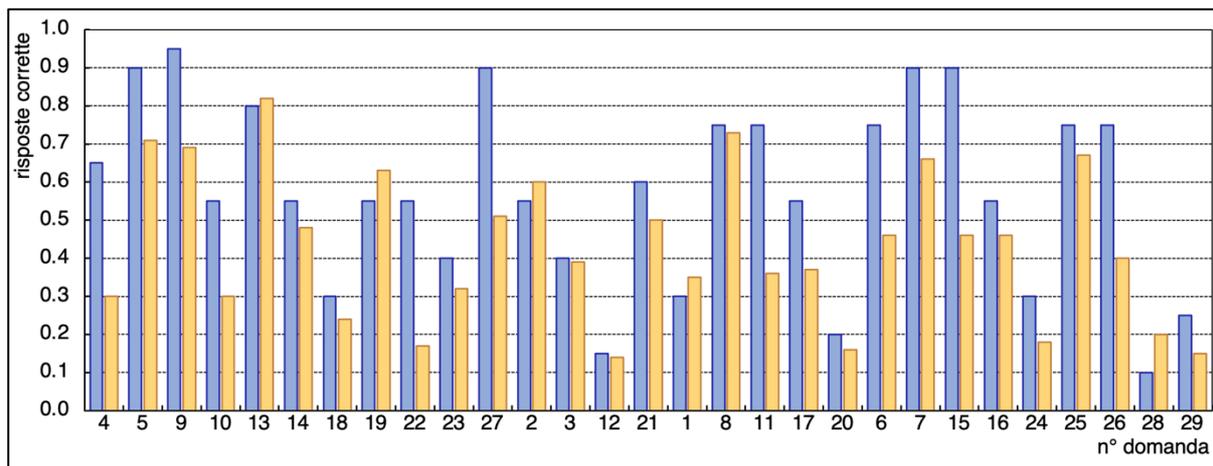


Figura 3.14 - confronto tra le risposte corrette fornite nel post-test (colonne blu) e le risposte corrette al DIRECT nel campione originale (colonne arancioni)

Come già descritto nel corso di questo paragrafo, la Figura 3.14 mostra graficamente la percentuale di risposte corrette per ogni domanda del post-test per il nostro campione con le risposte corrette al DIRECT fornito al campione originale. In molte domande osserviamo che le colonne abbinate al post-test raggiungono un'altezza maggiore delle relative colonne del DIRECT, questo ci permette di affermare che il tutorial, che ha condotto il laboratorio tra pari a cui il nostro campione ha partecipato, ha permesso un apprendimento attivo efficace permettendo alla classe di effettuare un cambiamento concettuale rispetto alla conoscenza posseduta in precedenza derivante dalle lezioni in classe e dalla conoscenza di senso comune.

Conclusioni

Obiettivo dello studio era analizzare come attività laboratoriali tra pari integrate con brevi lezioni frontali incentrate sui nodi cognitivi dei discenti influenzassero l'apprendimento di concetti di base per l'analisi di circuiti resistivi alimentati a corrente continua.

Lo studio è stato condotto con studenti all'ultimo anno di un Liceo Scientifico bolognese.

Nel Capitolo 1.1 sono stati riportati i principali risultati della ricerca in didattica della fisica sulle difficoltà degli studenti ed è stato costruito un quadro di riferimento per la progettazione dell'intervento in classe e l'indagine sulla conoscenza degli studenti.

Successivamente nel Capitolo 1.2, abbiamo mostrato i tre strumenti principali utilizzati nello studio: il Test *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts* (DIRECT) (Engelhardt, 1997), e un tutorial di laboratorio realizzato da ricercatori dell'Università di Washington a Seattle (McDermott, Shaffer, & Group, 2002). Il DIRECT è stato il riferimento per la costruzione del pre-test e del post-test, mentre il tutorial è stato il riferimento per la progettazione dell'intervento in classe.

Nel Capitolo 2, abbiamo descritto il contesto dello studio, presentando la classe, la scuola e lo stato del programma ad inizio intervento. Abbiamo quindi illustrato l'esperienza svolta: dall'osservazione delle abitudini didattiche e pedagogiche, alla somministrazione del pre-test, la supervisione delle attività laboratoriali tra pari, il commento ai nodi cognitivi emersi e infine lo svolgimento del post-test.

Nel Capitolo 3 abbiamo presentato i risultati emersi dai due questionari svolti dagli studenti, mettendo in evidenza i punti critici e anche gli aspetti di maggior cambiamento.

Come illustrato nel Capitolo 3.3.1, possiamo concludere che **attività laboratoriali tra pari⁶, sono una forma didattica molto efficace per l'apprendimento, aiutando gli studenti a passare da idee di senso comune alla conoscenza scientifica e accreditata.**

Grossolanamente, visto il campione di studenti in esame, possiamo dire che questa modalità di insegnamento ci ha permesso di migliorare la percentuale di risposte corrette (da un livello di $(45 \pm 14) \%$ a uno di $(58 \pm 10) \%$).

Dividendo i concetti principali in quattro categorie, osserviamo:

- sugli aspetti fisici di questi circuiti, un passaggio da 48% di risposte corrette a 65%
- sul concetto di energia elettrica, un passaggio da 37% di risposte corrette a 43%
- sul concetto di corrente elettrica, un passaggio da 24% di risposte corrette a 51%
- sul concetto di differenza di potenziale, un passaggio da 50% di risposte corrette a 58%

Uno sguardo complessivo mostra un ampio cambiamento nella rappresentazione mentale di corrente, abbandonando un modello *superposizionale* (Closset, 1983) diffuso nel pre-test verso una forma di ragionamento *sistemica*.

Per quanto riguarda la modellizzazione dei circuiti, tramite il laboratorio sono state smontate le concezioni *bipolare con correnti antagoniste* e quella *unipolare*, entrambe emerse in maniera diffusa nel pre-test. Tuttavia, come è ben noto in letteratura, si tratta di aspetti molto resistenti al cambiamento e alcuni studenti hanno fatto fatica ad abbandonare un modello di corrente *a consumo*.

È emersa una buona padronanza del linguaggio simbolico utilizzato per rappresentare i circuiti in diagrammi, e una buona capacità di effettuare la "traduzione" tra la realtà e il diagramma.

⁶ assumendo e adattando il modello di *Peer Instruction* proposto dal prof. Mazur (Mazur, 2024)

Infine, il laboratorio ha permesso di fare maggior chiarezza sulle diversità e analogie tra differenza di potenziale e corrente elettrica ma rimane difficoltoso distinguere tra energia elettrica e carica elettrica.

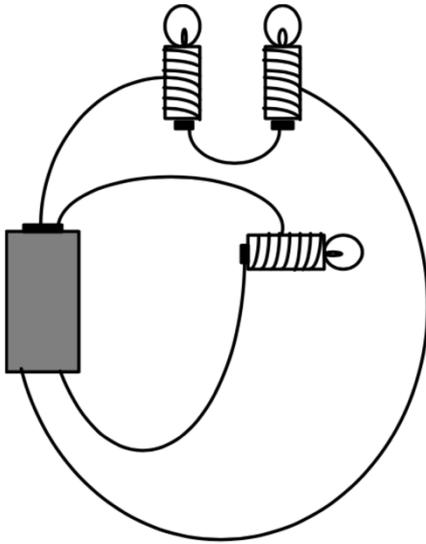
Il nostro studio ci ha anche permesso di osservare che le competenze possedute dai ragazzi del nostro campione fossero maggiori rispetto alle competenze di altri coetanei degli Stati Uniti sottoposti alla stessa tipologia di test, evidenziando però che sia i concetti più chiari che i punti di debolezza nei due campioni di studenti fossero simili.

Questo tipo di esperienza è stata molto gradita dagli studenti perché hanno potuto aiutarsi vicendevolmente nel comprendere meglio ciò che osservavano e hanno messo in pratica le conoscenze acquisite, che invece spesso rimangono solamente illustrate dai libri di testo: è raro infatti che gli studenti possano toccare con mano la realtà fisica dei concetti affrontati. Oltre agli studenti, anche la docente di fisica e matematica e altri docenti della scuola hanno apprezzato il nostro intervento. Per concludere, desidero commentare che anche per il sottoscritto è stata una esperienza molto formativa e mi ha permesso una sperimentazione didattica in un contesto reale e di utilizzare metodologie di insegnamento innovative.

Bibliografia e Sitografia

- Besson, U. (2015). *Didattica della fisica*. Carocci.
- Closset, J.-L. (1983). *Le raisonnement séquentiel en électrocinétique*.
- Danusso, L., & Durpé, F. (1991). L'Elettricità. In G. N. Tomasini, & G. Segrè, *Conoscenze scientifiche: le rappresentazioni mentali degli studenti* (p. 231-249). Firenze: La Nuova Italia Editrice.
- DiSessa, A. A. (2018). *A Friendly Introduction to "Knowledge in Pieces": Modeling Types of Knowledge and Their Roles in Learning*. Berkeley: University of California.
- DiSessa, A. A., & Sherin, B. (1998). What Changes in Conceptual Change? *International Journal of Science Education*.
- Doran, R. (1980). *Basic Measurement and Evaluation of Science Instruction*.
- Engelhardt, P. V. (1997). *EXAMINING STUDENTS' UNDERSTANDING OF ELECTRICAL CIRCUITS THROUGH MULTIPLE-CHOICE TESTING AND INTERVIEWS*. North Carolina.
- Johsua, S. (1984). *Students' interpretation of simple electrical diagrams*.
- Mazur, E. (2024, Febbraio 12). *Mazur Gruop*. Tratto da Harvard University: <https://mazur.harvard.edu/research-areas/peer-instruction>
- McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Group, P. E. (2002). *Tutorials in Introductory Physics*. Whashington: Department of Physics University of Whashington.
- Mehrens, W., & Lehmann, I. (1991). *Measurement and evaluation in Education and Psychology*.
- Oxford Dictionary of Quotations*. (2014). Oxford: Oxford University Press.
- PhysPort. (2023, Dicembre 29). *PhysPort - Supporting physics teaching with research-based resources*. Tratto da PhysPort: <https://www.physport.org>
- Shipstone, D. (1985). *Pupils' understanding of simple electrical circuits. Some implications for instruction*.

APPENDICE A: Post-Test



Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test

Version 1.0

POST-TEST

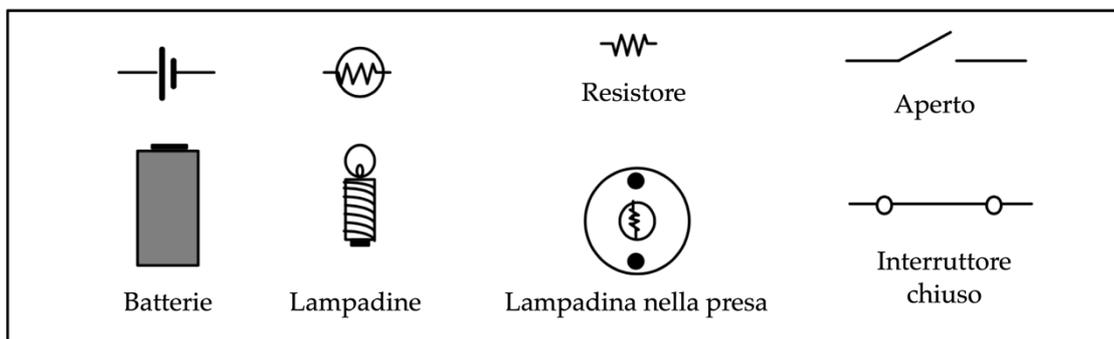
Istruzioni

Attendi finché non ti viene detto di cominciare, poi gira pagina e inizia a lavorare. Rispondi a ogni domanda più accuratamente che puoi. C'è solo una risposta corretta per ogni domanda. Sentiti libero di usare calcolatrice e fogli di brutta se lo desideri.

Avrai circa un'ora per completare il test. Se finisci prima, controlla il tuo lavoro prima di consegnare.

Commenti aggiuntivi sul test

Tutte le lampadine, resistori e batterie devono essere considerati identici se non specificato diversamente. La batteria va assunta come ideale, ovvero la resistenza interna della batteria è trascurabile. Inoltre, assumi che i cavi hanno resistenza trascurabile. Qui sotto vengono riportati alcuni simboli usati in questi test. Studiali bene prima di cominciare.

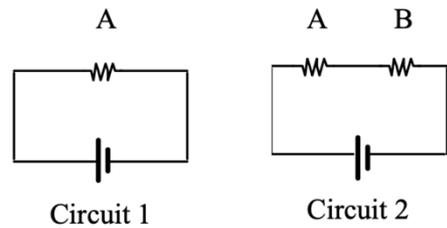


Nome e Cognome: _____

- 1) In una lampadina, le cariche vengono consumate e convertite in luce?
- (A) Sì, le cariche muovendosi nel filamento producono "attrito" che scalda il filamento e genera luce
- (B) Sì, le cariche sono emesse
- (C) No, la carica è conservata. È semplicemente convertita in un'altra forma come calore e luce
- (D) No, la carica è conservata. Le cariche muovendosi attraverso il filamento producono "attrito" che scalda il filamento e produce luce.

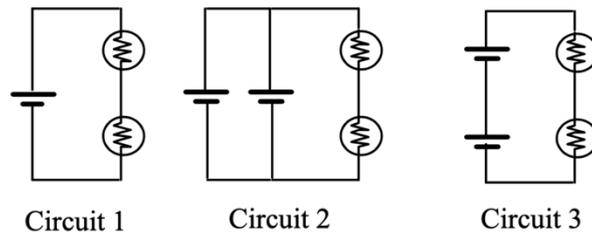
- 2) Come cambia la potenza fornita al resistore A quando viene aggiunto il resistore B come mostrato rispettivamente nei circuiti 1 e 2?

- (A) Aumenta
- (B) Diminuisce
- (C) Rimane uguale



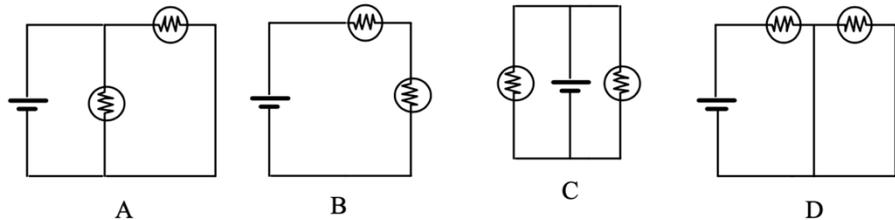
- 3) Considera i circuiti mostrati sotto. Quale/i circuito/i ha il maggior trasporto di energia al secondo?

- (A) Circuito 1
- (B) Circuito 2
- (C) Circuito 3
- (D) Circuito 1 = Circuito 2
- (E) Circuito 2 = Circuito 3



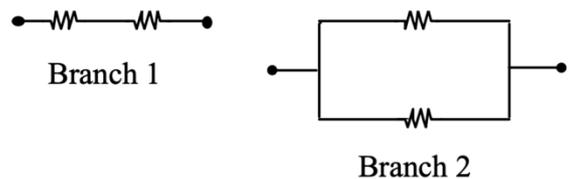
- 4) Considera i circuiti mostrati sotto. Quale/i circuito/i consiste in due lampadine in parallelo con una batteria?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) A e C
- (E) A, C e D



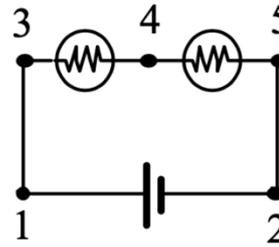
- 5) Compara la resistenza del ramo 1 con quella del ramo 2. Un ramo è una sezione di un circuito. Quale ha la resistenza minore?

- (A) Ramo 1
- (B) Ramo 2
- (C) Nessuno, hanno la stessa



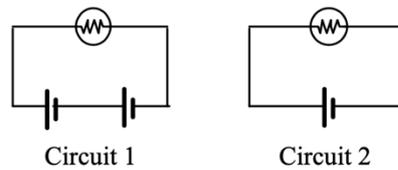
6) Classifica le differenze di potenziale tra i punti 1 e 2, i punti 3 e 4 e i punti 4 e 5 nel circuito mostrato dalla più alta alla più bassa.

- (A) 1 e 2; 3 e 4; 4 e 5
- (B) 1 e 2; 4 e 5; 3 e 4
- (C) 3 e 4; 4 e 5; 1 e 2
- (D) 3 e 4 = 4 e 5; 1 e 2
- (E) 1 e 2; 3 e 4 = 4 e 5



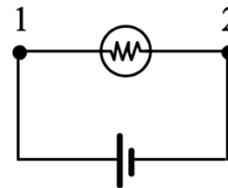
7) Paragona la luminosità della lampadina nel circuito 1 e nel circuito 2. Quale è più luminosa?

- (A) La lampadina nel circuito 1
- (B) La lampadina nel circuito 2
- (C) Nessuna, sono uguali



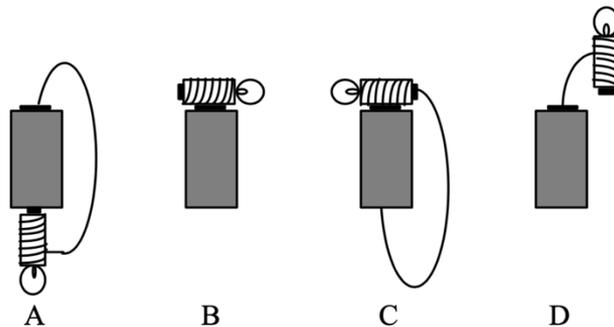
8) Paragona la corrente nel punto 1 con la corrente nel punto 2. Quale punto ha la corrente maggiore?

- (A) Punto 1
- (B) Punto 2
- (C) Nessuno, sono uguali



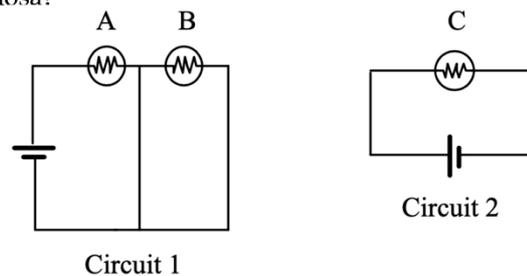
9) Quale/i circuito/i accenderà la lampadina?

- (A) A
- (B) C
- (C) D
- (D) A e C
- (E) B e D



10) Paragona la luminosità delle lampadine A e B nel circuito 1 e la luminosità della lampadina C nel circuito 2. Quale/i lampadina/e è la più luminosa?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) A = B
- (E) A = C

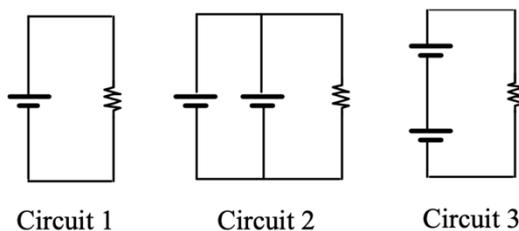


3

- 11) Perché la luce in casa tua si accende quasi istantaneamente?
- (A) Le cariche sono già nel cavo. Quando il circuito è completato c'è una rapida riorganizzazione delle cariche superficiali nel circuito
 - (B) Le cariche immagazzinano energia. Quando il circuito è completo, l'energia viene rilasciata
 - (C) Le cariche nel cavo viaggiano veloci
 - (D) Il circuito in una casa è collegato in parallelo. Quindi una corrente sta già scorrendo.

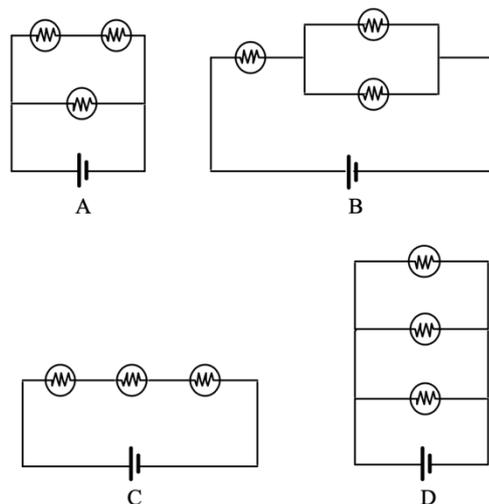
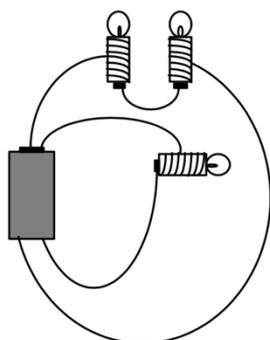
- 12) Considera la potenza trasmessa a ciascun resistore mostrato nel circuito sotto. Quale/i circuito/i riceve meno potenza?

- (A) Circuito 1
- (B) Circuito 2
- (C) Circuito 3
- (D) Circuito 1 = Circuito 2
- (E) Circuito 1 = Circuito 3



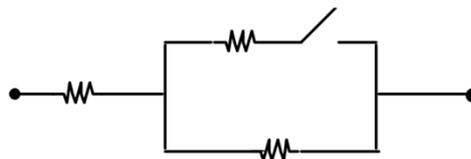
- 13) Quale diagramma schematico rappresenta al meglio il circuito realistico mostrato?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) D
- (E) Nessuno



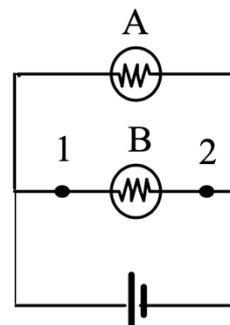
- 14) Come cambia la resistenza tra i capi quando l'interruttore è chiuso?

- (A) Aumenta
- (B) Diminuisce
- (C) Rimane uguale



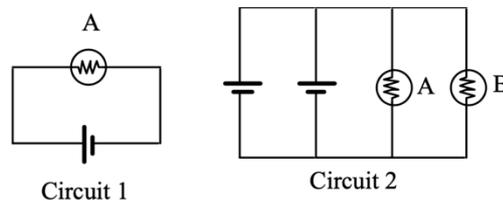
- 15) Cosa succede alla differenza di potenziale tra i punti 1 e 2 se la lampadina A è rimossa?

- (A) Aumenta
- (B) Diminuisce
- (C) Rimane uguale



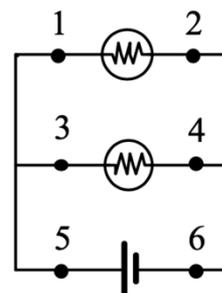
16) Paragona la luminosità della lampadina A nel circuito 1 con la lampadina A nel circuito 2. Quale lampadina è più debole?

- (A) La lampadina A nel circuito 1
- (B) La lampadina A nel circuito 2
- (C) Nessuna, sono uguali



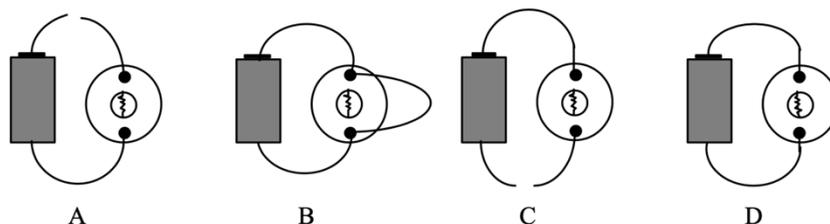
17) Classifica le correnti ai punti 1, 2, 3, 4, 5 e 6 dalla più alta alla più bassa.

- (A) 5, 1, 3, 2, 4, 6
- (B) 5, 3, 1, 4, 2, 6
- (C) 5 = 6, 3 = 4, 1 = 2
- (D) 5 = 6, 1 = 2 = 3 = 4
- (E) 1 = 2 = 3 = 4 = 5 = 6



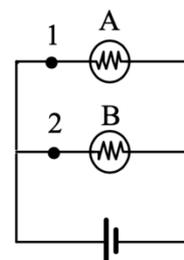
18) Quale/i circuito/i accenderà la lampadina?

- (A) A
- (B) B
- (C) D
- (D) B e D
- (E) A e C



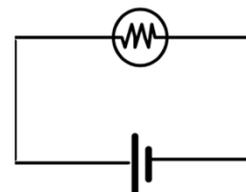
19) Cosa succede alla luminosità delle lampadine A e B quando un cavo è collegato tra i punti 1 e 2?

- (A) Aumenta
- (B) Diminuisce
- (C) Rimane la stessa
- (D) A diventa più luminosa di B
- (E) Nessuna lampadina si accenderà



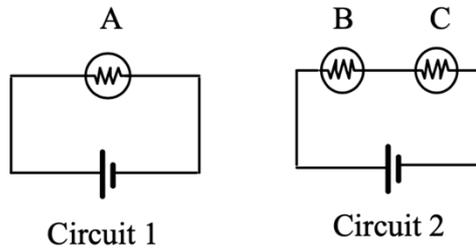
20) Il campo elettrico dentro al filamento di tungsteno della lampadina è nullo o no?

- (A) È zero perchè il filamento è un conduttore
- (B) È zero perchè sta passando corrente
- (C) Non è zero perchè il circuito è completo e la corrente sta scorrendo
- (D) Non è zero perchè ci sono cariche sulla superficie del filamento



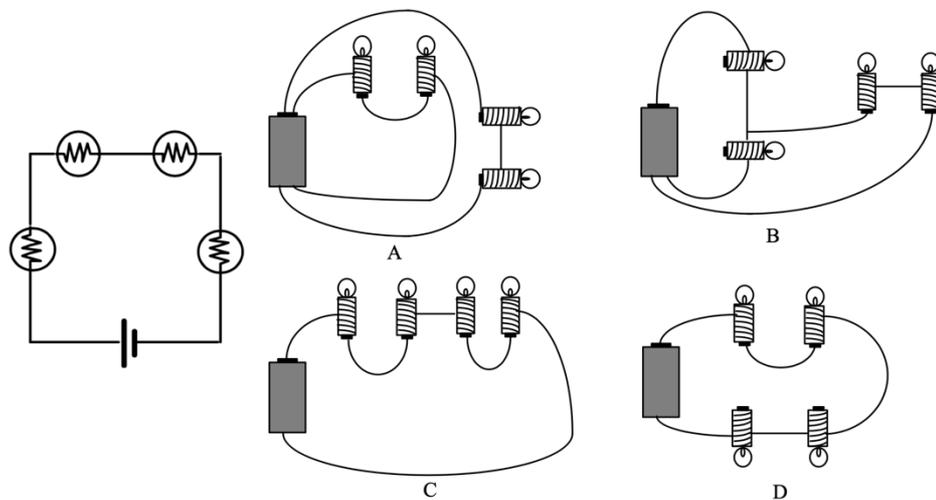
21) Paragona l'energia fornita per secondo alla lampadina nel circuito 1 con l'energia fornita per secondo alle lampadine nel circuito 2. Quale/i lampadina/e ha la minore energia fornita al secondo?

- (A) A
- (B) B
- (C) C
- (D) B = C
- (E) A = B = C



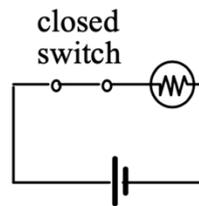
22) Quale/i circuito/i realistico/i rappresenta il diagramma schematico mostrato?

- (A) B
- (B) C
- (C) D
- (D) A e B
- (E) C e D



23) Immediatamente dopo che l'interruttore è aperto, cosa succede alla resistenza della lampadina?

- (A) La resistenza cresce
- (B) La resistenza diminuisce
- (C) La resistenza rimane uguale
- (D) La resistenza va a zero

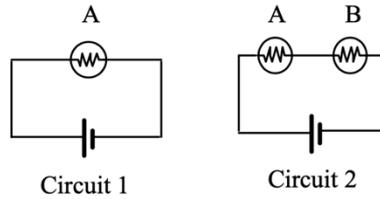


24) Se raddoppi la corrente attraverso una batteria, la differenza di potenziale ai capi della batteria raddoppia?

- (A) Sì, perchè la Legge di Ohm dice $V = IR$
- (B) Sì, perchè come aumenti la resistenza, aumenti la differenza di potenziale
- (C) No, perchè se raddoppi la corrente, la differenza di potenziale dimezza
- (D) No, perchè la differenza di potenziale è una proprietà della batteria
- (E) No, perchè la differenza dei potenziale è una proprietà di ogni elemento nel circuito

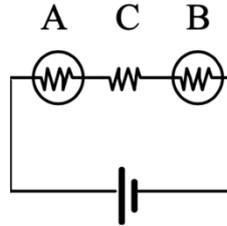
25) Paragona la luminosità della lampadina A nel circuito 1 con la lampadina A nel circuito 2. Quale è più luminosa?

- (A) Lampadina A nel circuito 1
- (B) Lampadina A nel circuito 2
- (C) Nessuna, sono uguali

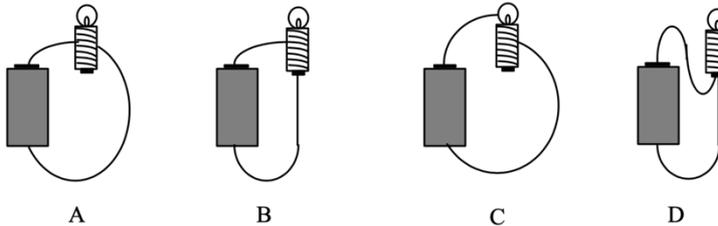


26) Se aumenti la resistenza C, cosa accade alla luminosità delle lampadine A e B?

- (A) A rimane uguale, B diminuisce
- (B) A diminuisce, B rimane uguale
- (C) A e B aumentano
- (D) A e B diminuiscono
- (E) A e B rimangono uguali



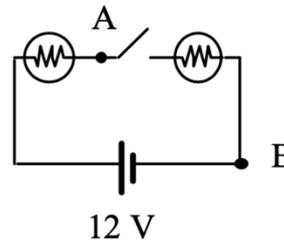
27) Le lampadine avranno tutte la stessa luminosità?



- (A) Sì, perché hanno tutte lo stesso tipo di collegamento
- (B) No, perché solo B si accenderà. I collegamenti di A, C e D non sono corretti
- (C) No, perché solo D si accenderà. D è l'unico circuito completo
- (D) No, C non si accenderà ma A, B e D si accenderanno

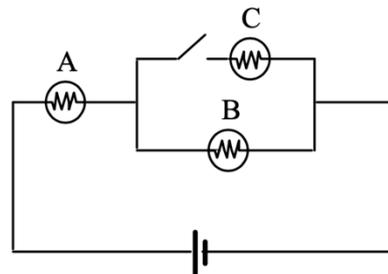
28) Qual è la differenza di potenziale tra i punti A e B?

- (A) 0 V
- (B) 3 V
- (C) 6 V
- (D) 12 V

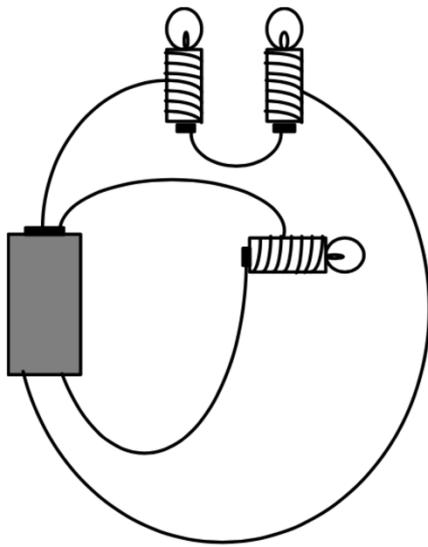


29) Cosa succede alla luminosità delle lampadine A e B quando l'interruttore è chiuso?

- (A) A rimane uguale, B diminuisce
- (B) A aumenta, B diminuisce
- (C) A e B aumentano
- (D) A e B diminuiscono
- (E) A e B rimangono uguali



APPENDICE B: Pre-Test



Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test

Version 1.0

PRE-TEST

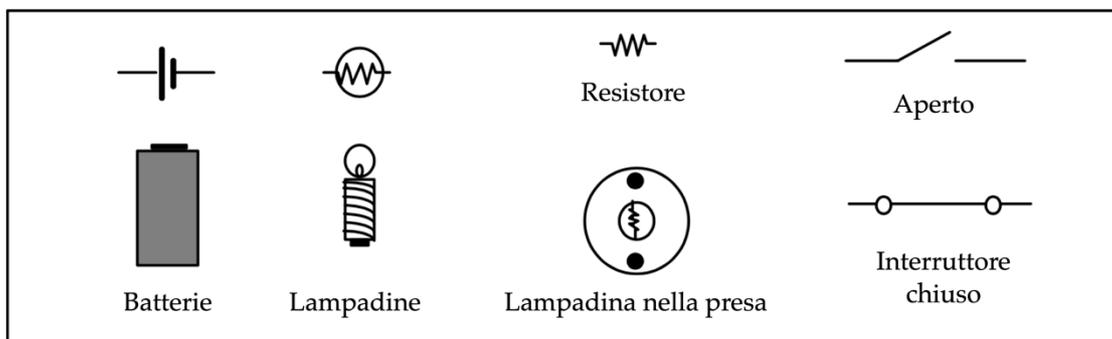
Istruzioni

Attendi finché non ti viene detto di cominciare, poi gira pagina e inizia a lavorare. Rispondi a ogni domanda più accuratamente che puoi. C'è solo una risposta corretta per ogni domanda. Sentiti libero di usare calcolatrice e fogli di brutta se lo desideri.

Avrai circa mezz'ora per completare il test. Se finisci prima, controlla il tuo lavoro prima di consegnare.

Commenti aggiuntivi sul test

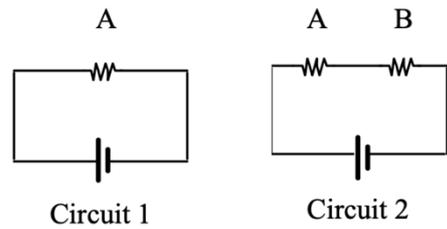
Tutte le lampadine, resistori e batterie devono essere considerati identici se non specificato diversamente. La batteria va assunta come ideale, ovvero la resistenza interna della batteria è trascurabile. Inoltre, assumi che i cavi hanno resistenza trascurabile. Qui sotto vengono riportati alcuni simboli usati in questi test. Studiali bene prima di cominciare.



Nome e Cognome: _____

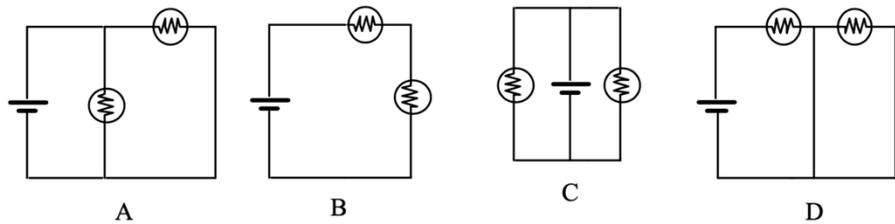
- 1) Come cambia la potenza fornita al resistore A quando viene aggiunto il resistore B come mostrato rispettivamente nei circuiti 1 e 2?

- (A) Aumenta
 (B) Diminuisce
 (C) Rimane uguale



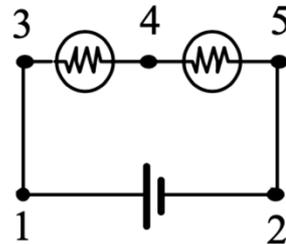
- 2) Considera i circuiti mostrati sotto. Quale/i circuito/i consiste in due lampadine in parallelo con una batteria?

- (A) A
 (B) B
 (C) C
 (D) A e C
 (E) A, C e D



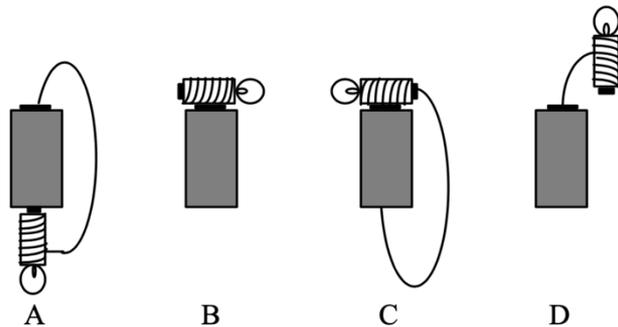
- 3) Classifica le differenze di potenziale tra i punti 1 e 2, i punti 3 e 4 e i punti 4 e 5 nel circuito mostrato dalla più alta alla più bassa.

- (A) 1 e 2; 3 e 4; 4 e 5
 (B) 1 e 2; 4 e 5; 3 e 4
 (C) 3 e 4; 4 e 5; 1 e 2
 (D) 3 e 4 = 4 e 5; 1 e 2
 (E) 1 e 2; 3 e 4 = 4 e 5



- 4) Quale/i circuito/i accenderà la lampadina?

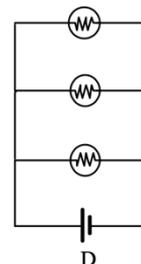
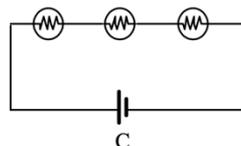
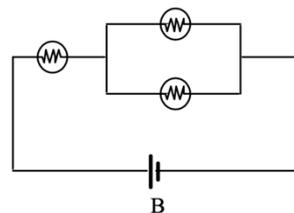
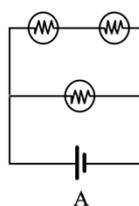
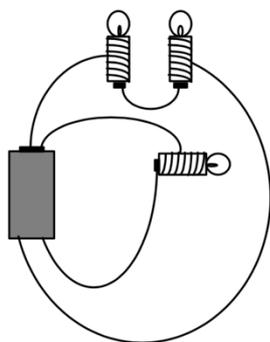
- (A) A
 (B) C
 (C) D
 (D) A e C
 (E) B e D



- 5) Perché la luce in casa tua si accende quasi istantaneamente?
- (A) Le cariche sono già nel cavo. Quando il circuito è completato c'è una rapida riorganizzazione delle cariche superficiali nel circuito
- (B) Le cariche immagazzinano energia. Quando il circuito è completo, l'energia viene rilasciata
- (C) Le cariche nel cavo viaggiano veloci
- (D) Il circuito in una casa è collegato in parallelo. Quindi una corrente sta già scorrendo.

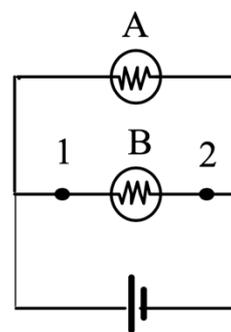
- 6) Quale diagramma schematico rappresenta al meglio il circuito realistico mostrato?

- (A) A
(B) B
(C) C
(D) D
(E) Nessuno



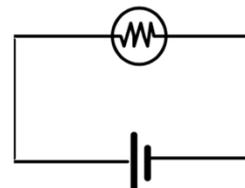
- 7) Cosa succede alla differenza di potenziale tra i punti 1 e 2 se la lampadina A è rimossa?

- (A) Aumenta
(B) Diminuisce
(C) Rimane uguale



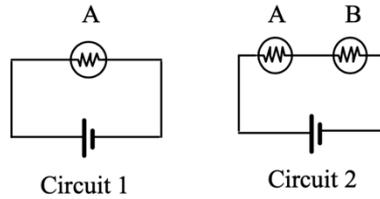
- 8) Il campo elettrico dentro al filamento di tungsteno della lampadina è nullo o no?

- (A) È zero perchè il filamento è un conduttore
- (B) È zero perchè sta passando corrente
- (C) Non è zero perchè il circuito è completo e la corrente sta scorrendo
- (D) Non è zero perchè ci sono cariche sulla superficie del filamento

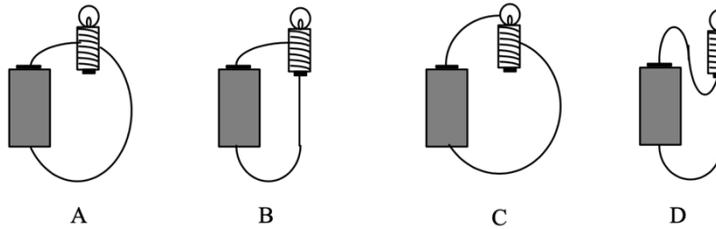


9) Paragona la luminosità della lampadina A nel circuito 1 con la lampadina A nel circuito 2. Quale è più luminosa?

- (A) Lampadina A nel circuito 1
- (B) Lampadina A nel circuito 2
- (C) Nessuna, sono uguali



10) Le lampadine avranno tutte la stessa luminosità?

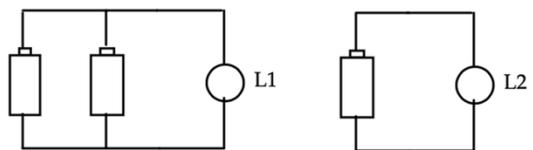


- (A) Sì, perchè hanno tutte lo stesso tipo di collegamento
- (B) No, perchè solo B si accenderà. I collegamenti di A, C e D non sono corretti
- (C) No, perché solo D si accenderà. D è l'unico circuito completo
- (D) No, C non si accenderà ma A, B e D si accenderanno

11) In una lampadina le cariche vengono consumate e convertite in luce? Spiega il tuo ragionamento.

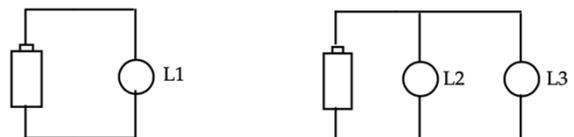
12) Nei circuiti seguenti, le batterie e le lampadine sono identiche. Riferendoci alla luminosità delle lampadine, possiamo dire che:

- (A) L1 brilla meno di L2
- (B) L2 brilla come L1
- (C) L2 brilla meno di L1

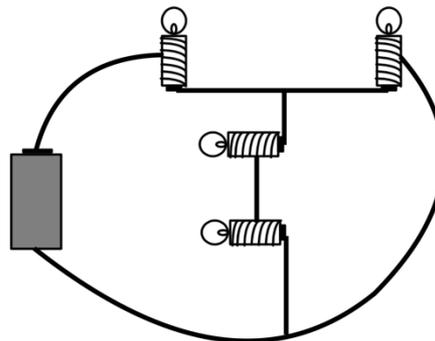


13) Nei circuiti seguenti, le batterie e lampadine sono identiche. Riferendoci alla luminosità delle lampadine, possiamo dire che:

- (A) Tutte brillano uguali
- (B) Solo L1 e L2 brillano uguali
- (C) Solo L1 e L3 brillano uguali
- (D) L2 e L3 brillano meno di L1

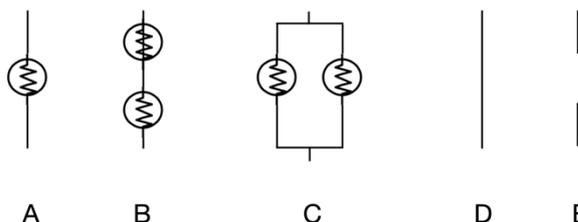


14) Il circuito in figura ha quattro lampadine identiche e una batteria ideale. Classifica la luminosità delle lampadine. Spiega il ragionamento.



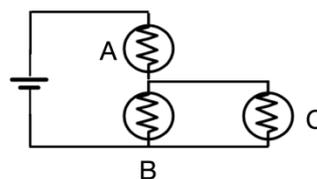
15) Considera i cinque blocchi mostrati. Classificali in base alla resistenza equivalente di ciascuno dalla maggiore alla minore

- (A) B; A; C; D; E
- (B) E; B; C; A; D
- (C) A; B; C; D; E
- (D) E; B; A; C; D
- (E) E; C; B; A; D



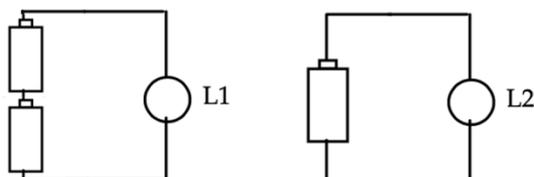
16) Le lampadine nel circuito mostrato sono identiche e la batteria è ideale. La differenza di potenziale ai capi della lampadina A:

- (A) è maggiore di metà voltaggio della batteria
- (B) è uguale a metà voltaggio della batteria
- (C) è minore di metà voltaggio della batteria



17) Nei circuiti seguenti, le batterie e le lampadine sono identiche. Riferendoci alla luminosità delle lampadine, possiamo dire che:

- (A) L1 brilla meno di L2
- (B) L2 brilla come L1
- (C) L2 brilla meno di L1



APPENDICE C: Tutorial

In questo laboratorio, costruiremo un modello di corrente elettrica che possiamo usare per predire e spiegare il comportamento di circuiti elettrici semplici.

CIRCUITI COMPLETI

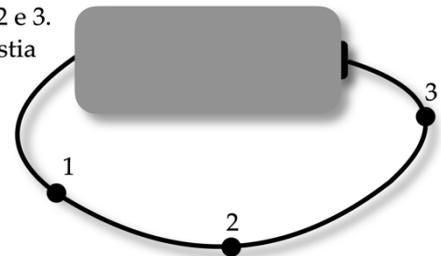
- A. Hai a disposizione una batteria, una lampadina e un cavo. Collegali in diversi modi. Schematizza ogni combinazione qui sotto

Collegamenti che <i>accendono</i> la lampadina	Collegamenti che <i>non accendono</i> la lampadina

Dovresti aver trovato almeno 4 diverse modalità di accendere la lampadina. In cosa sono simili queste combinazioni? In cosa sono differenti rispetto a quelle che non accendono la lampadina?

Elenca i requisiti che devono essere rispettati per accendere la lampadina

- B. Uno studente ha collegato un cavo tra i poli di una batteria finché il cavo diventa caldo. Lo studente scopre che il cavo sembra essere caldo ugualmente nei punti 1, 2 e 3. Basandoti su questa osservazione, cosa potresti concludere che stia succedendo nel cavo in un punto comparato a un altro?



- C. Accendi una lampadina con un cavo. Osserva e registra il comportamento (ad esempio la luminosità) della lampadina quando oggetti di diversi materiali vengono inseriti nel circuito. (Prova materiali come carta, monete, mina di matita, gomma, dita, ...)

Cosa è simile nella maggior parte degli oggetti che lasciano la lampadina accesa?

- D. Esamina attentamente una lampadina. Due fili si estendono dal filamento della lampadina alla base. Probabilmente non puoi vedere dentro la base, ma comunque dovresti essere capace di fare una buona ipotesi di dove questi fili siano attaccati. Descrivi dove si attaccano questi fili. Spiega il ragionamento basandoti sulle osservazioni delle parti A-C.



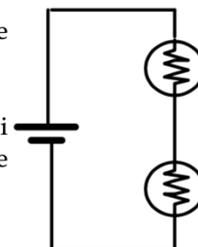
Sulla base delle osservazioni che abbiamo fatto, faremo le seguenti assunzioni:

1. Esiste un **flusso** in un **circuito completo** da un terminale della batteria, attraverso il resto del circuito, fino all'altro terminale della batteria, attraverso la batteria e di nuovo nel circuito. Possiamo chiamare questo flusso *corrente elettrica*.
2. Per lampadine identiche, la **luminosità** della lampadina può essere usata come **indicatore** della quantità di **corrente** che attraversa la lampadina: più è luminosa, maggiore è la corrente.

Partendo da queste assunzioni, svilupperemo un modello che possiamo usare per spiegare il comportamento di circuiti semplici. **La costruzione di un modello scientifico è un processo step-by-step nel quale specifichiamo solo un minimo numero di caratteristiche che sono necessarie per spiegare il fenomeno in considerazione.**

LAMPADINE IN SERIE

Costruisci un circuito con due lampadine identiche collegate una in seguito all'altra come mostrato in figura. Le lampadine connesse in questo modo vengono dette *connesse in serie*.



- A. Paragona la luminosità di una lampadina con l'altra. (Fai attenzione solo a grandi cambiamenti nella luminosità. Potresti notare piccole differenze perchè le due lampadine non sono esattamente identiche.)

Usa le assunzioni che abbiamo fatto sviluppando il modello per la corrente elettrica per rispondere alle seguenti domande:

1. La corrente è consumata nella prima lampadina o la corrente è la stessa attraverso entrambe le lampadine?

 2. Pensi che cambiare l'ordine delle lampadine possa fare qualche differenza? Controlla la tua risposta

 3. In base alle tue sole osservazioni, puoi dire la direzione del flusso attraverso il circuito?
- B. Paragona la luminosità di ciascuna lampadina nel circuito delle due lampadine in serie con quella del circuito con singola lampadina.

Usa le assunzioni che abbiamo fatto sviluppando il modello per la corrente elettrica per rispondere alle seguenti domande:

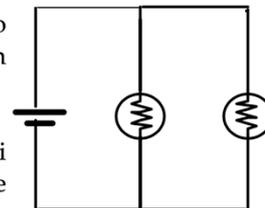
1. Come scorre la corrente attraverso la lampadina in un circuito con lampadina singola paragonata alla stessa lampadina quando è connessa in serie con una seconda lampadina? Spiega.

2. Cosa implica la tua risposta alla domanda 1 su come la corrente attraversa la *batteria* in un circuito a lampadina singola e come la corrente attraversa la *batteria* in un circuito a due lampadine in serie? Spiega.

- C. Possiamo pensare a una lampadina come un ostacolo, o *resistenza*, alla corrente nel circuito.
1. Considerando la lampadina in questo modo, aggiungendo più lampadine in serie si otterrebbe un ostacolo complessivo al flusso, o *resistenza equivalente*, questa aumenta, diminuisce o rimane invariata aggiungendo resistenze?
 2. Formula una legge per prevedere come la corrente attraverso la batteria cambierebbe (ad esempio aumentare, diminuire, rimanere costante) se il numero di lampadine connesse in serie viene accresciuto o diminuito.

LAMPADINE IN PARALLELO

Costruisci un circuito con due lampadine identiche collegate in modo che i loro terminali siano connessi assieme come mostrato in figura. Le lampadine connesse in questo modo vengono dette *connesse in parallelo*.



- A. Paragona la luminosità di una lampadina con l'altra. (Fai attenzione solo a grandi cambiamenti nella luminosità. Potresti notare piccole differenze perchè le due lampadine non sono esattamente identiche.)
1. Cosa puoi concludere dall'osservazione sulla corrente che attraversa ciascuna lampadina?
 2. Descrivi la corrente nell'intero circuito. Basa la tua risposta sulle tue osservazioni. In particolare, come sembra dividersi e ricombinarsi la corrente alle giunzioni dei due rami paralleli?
- B. La luminosità di ciascuna lampadina nel circuito con due lampadine in parallelo è maggiore, minore o uguale a quella del circuito con singola lampadina?

Confronta la quantità di corrente attraverso una batteria collegata a una singola lampadina con la corrente attraverso una batteria collegata a un circuito con due lampadine in parallelo. Spiega basandoti sulle tue osservazioni.

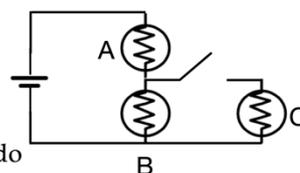
- C. Formula una legge per prevedere come la corrente attraverso la batteria cambierebbe se il numero di lampadine connesse in parallelo aumentasse o diminuisse. Basa la tua risposta sull'osservazione del comportamento del circuito con due lampadine in parallelo e sul modello di corrente.

Cosa puoi dedurre sulla resistenza totale del circuito quando il numero di rami viene aumentato o diminuito?

- D. La quantità di corrente che attraversa la batteria sembra dipendere dal numero di lampadine nel circuito e come sono connesse?
- E. Scollega una delle lampadine dal circuito con due lampadine in parallelo. Questo cambio modifica significativamente la corrente che attraversa il ramo che contiene l'altra lampadina?

LIMITAZIONI: IL BISOGNO DI ESTENDERE IL MODELLO

- A. Il circuito a destra contiene tre lampadine identiche e una batteria ideale. Assumi che la resistenza dell'interruttore sia trascurabile quando chiuso. Usa il modello che abbiamo sviluppato per:



- prevedere le luminosità relative delle lampadine del circuito quando l'interruttore è chiuso. Spiega.
 - prevedere come la luminosità della lampadina A cambi quando l'interruttore è aperto. Spiega
- B. Mostra come una semplice applicazione del modello di corrente che abbiamo sviluppato finora è inadeguata per determinare come cambia la luminosità della lampadina B quando l'interruttore viene aperto.

