

**Analogie in fisica:
un equilibrio tra intuizioni, sfide
e apprendimento**
Materiale didattico

Annapaola Ginammi
Domenico Brunetto
Giovanni Valente

18 Marzo 2025



POLITECNICO
MILANO 1863



effediesse=f(s)
Laboratorio di Formazione e Sperimentazione Didattica



DIPARTIMENTO
DI
MATEMATICA

Progetto finanziato dall'Unione Europea e dal Ministero dell'Università e della Ricerca attraverso il programma di ricerca e innovazione NextGeneration EU, nell'ambito del progetto PRIN 2022 n. 2022F4Z8YH, Analogical Reasoning in Contemporary Physical Theories, nonché dal laboratorio FDS (Formazione e Sperimentazione Didattica) del Politecnico di Milano.



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



Ministero dell'Università e della Ricerca

Indice

1	L'insegnamento per analogia	3
1.1	L'insegnamento per analogia secondo la scienza cognitiva	4
1.2	Analoghi efficaci	4
1.3	La presentazione delle analogie	5
1.4	Aiutare gli studenti a “vedere” l’analogia	6
1.5	I limiti dell’analogia	7
1.6	L'insegnamento per analogia passo dopo passo	7
2	Insegnare i circuiti elettrici usando l’analogia gravitazionale	9
2.1	Passo 1: Richiamo delle conoscenze pregresse	9
2.2	Passo 2: Descrivere la fonte tramite enunciati osservativi selezionati	10
2.3	Passo 3: Spiegare la fonte connettendo gli enunciati osservativi ai termini teorici	11
2.4	Passo 4: Presentare fonte e bersaglio in parallelo	12
2.5	Passo 5: Descrivere il bersaglio tramite enunciati osservativi selezionati	12
2.6	Passo 6: Spiegare il bersaglio connettendo gli enunciati osservativi ai termini teorici	13
2.7	Passo 7: Sottolineare le corrispondenze rilevanti	14
2.8	Passo 8: Sfruttare le disanalogie	15

Introduzione

Il concetto di voltaggio (tensione o differenza di potenziale elettrico) è fondamentale nell'insegnamento dei circuiti elettrici. Tuttavia, essendo un concetto astratto, può risultare particolarmente difficile da comprendere per gli studenti. L'insegnamento per analogia aiuta a costruire modelli mentali efficaci dei circuiti elettrici, incluso il concetto di voltaggio.

L'analogia più comune per spiegare i circuiti elettrici è quella idraulica, in cui un circuito elettrico viene paragonato a un sistema di tubi in cui scorre l'acqua. Sebbene utile per introdurre diversi aspetti dell'elettricità, questa analogia fallisce proprio nel chiarire il concetto di voltaggio. Infatti, nell'analogia idraulica, il voltaggio è rappresentato dalla pressione dell'acqua, un'altra grandezza astratta con cui gli studenti, in genere, non hanno esperienza diretta. Di conseguenza, il concetto di voltaggio rimane oscuro.

Un'alternativa più efficace è l'analogia con la meccanica gravitazionale, in cui il voltaggio è rappresentato da una palla che rotola giù da una collina. Questa immagine, essendo familiare agli studenti, rende il concetto di voltaggio più concreto e accessibile, facilitandone la comprensione.

Questo materiale è rivolto agli insegnanti di fisica per aiutarli a progettare un percorso didattico sul concetto di voltaggio in modo intuitivo per gli studenti. Al termine di questo itinerario, gli studenti avranno sviluppato un modello mentale dei concetti basilari dei circuiti elettrici, con particolare attenzione al voltaggio. Questa lezione è particolarmente adatta a chi si avvicina per la prima volta a questi concetti.

Questa introduzione fornisce una base solida per la comprensione dei circuiti elettrici, che potrà poi essere ampliata con altri approcci e analogie, come quella idraulica.

Il primo capitolo offre una sintesi dei principali concetti da considerare nell'insegnamento per analogia. Il secondo capitolo presenta un percorso didattico per introdurre il concetto di voltaggio.

Vi chiediamo di inviarci il vostro feedback sul materiale proposto, seguendo le indicazioni che trovate alla fine di questo documento.

1

L'insegnamento per analogia

Chi ragiona per analogia attinge alle conoscenze pregresse in un dominio familiare per comprendere meglio un dominio sconosciuto. Per questo motivo, l'analogia è uno strumento prezioso tanto nell'apprendimento quanto nell'insegnamento.

La struttura di base di un argomento analogico è:

S è simile a T sotto certi aspetti (noti).

S possiede una certa caratteristica Q.

Pertanto, T *potrebbe* possedere anche una caratteristica Q* simile a Q.

S e T sono rispettivamente indicati come dominio di origine (*source*; anche “dominio sorgente” o “fonte”) e dominio di destinazione (*target*; anche “bersaglio”). Un dominio è un insieme di cose, con le loro proprietà, relazioni e funzioni, e di affermazioni considerate valide su di esse.

È importante notare che la conclusione di un argomento analogico non segue necessariamente dalle sue premesse. Per questo motivo, essa rimane sempre un'ipotesi da verificare.

Il problema centrale del ragionamento analogico è: come distinguere le buone analogie da quelle cattive? Questo aspetto è cruciale tanto nell'euristica e nella giustificazione scientifica quanto nell'insegnamento della scienza.

Nell'insegnamento, la domanda su come distinguere le buone analogie dalle cattive si traduce in: cosa rende un'analogia efficace nel migliorare le competenze degli studenti? In questo capitolo esamineremo la risposta fornita dalla scienza cognitiva a questa domanda. Inoltre, analizzeremo quali aspetti considerare nella presentazione delle analogie in classe.

1.1 L'insegnamento per analogia secondo la scienza cognitiva

L'uso delle analogie nell'insegnamento è ampiamente studiato nella scienza cognitiva. La concezione predominante è la *Structure-mapping theory* (SMT; Teoria della Mappatura Strutturale) di Dordre Gentner, professoressa di Psicologia e Pedagogia alla Northwestern University.

Secondo la SMT di Gentner, **una buona analogia si basa sulle somiglianze strutturali tra i domini**, piuttosto che sul numero complessivo di somiglianze o su caratteristiche superficiali (Gentner, 1983). La somiglianza strutturale riguarda il modo in cui gli elementi di un sistema si relazionano tra loro, piuttosto che le loro proprietà individuali.

Ad esempio, un'analogia classica è quella tra il sistema solare e un atomo. Una somiglianza superficiale è che pianeti ed elettroni sono entrambi oggetti rotondi. Una somiglianza relazionale, e quindi l'aspetto fondamentale dell'analogia, è che in entrambi i sistemi un oggetto più piccolo (elettrone/pianeta) orbita attorno a un oggetto centrale più grande (nucleo/Sole) a causa di una forza dominante (forza elettromagnetica/gravità).

Nelle buone analogie, **le relazioni chiave coinvolgono cause ed effetti**. Nell'analogia tra il sistema solare e l'atomo, la principale somiglianza relazionale è che una forza centrale governa il moto orbitale (gravità nel sistema solare, forza elettromagnetica nell'atomo). Questa relazione causale è ciò che rende l'analogia significativa.

La chiave per apprendere da un'analogia didattica è innanzitutto comprendere *perché* il sistema di origine si comporta in un certo modo e poi trasferire questa conoscenza al sistema di destinazione. Comprendere la struttura causale del sistema di origine permette agli studenti di fare inferenze significative sul sistema di destinazione, rendendo l'analogia uno strumento potente nel ragionamento e nell'educazione.

1.2 Analoghi efficaci

Poiché il ragionamento analogico procede dal conosciuto allo sconosciuto, per sfruttarlo appieno è fondamentale avere una buona conoscenza della sorgente. Un'analogia efficace si basa su una sorgente **familiare e visibile**. Idealmente, dovrebbe appartenere all'**esperienza fisica diretta**, consentendo una comprensione non metaforica, poiché radicata nelle attività quotidiane. Queste caratteristiche favoriscono rappresentazioni neurali più ricche e distribuite, rendendo l'analogia più efficace nell'apprendimento (Gray e Holyoak, 2021; Binder, 2016).

Numerosi studi hanno dimostrato che le analogie sono **particolarmente utili**

per gli individui con un elevato livello di conoscenze pregresse (si veda le referenze in Gray e Holyoak, 2021). È quindi fondamentale tenere presente che non tutti gli studenti potrebbero possedere le conoscenze pregresse necessarie per comprendere appieno un'analogia presentata in classe.

Se possibile, è vantaggioso valutare le conoscenze della sorgente attraverso test preliminari, che possono anche contribuire a migliorare i risultati dell'apprendimento (Richland, Kornell e Kao, 2009). L'educatore può garantire che tutti gli studenti abbiano una comprensione di base della fonte, spiegando la fonte in modo completo e mettendo in evidenza esplicitamente i componenti rilevanti, nonché quelli salienti ma irrilevanti, per l'analogia.

1.3 La presentazione delle analogie

Sebbene l'uso dell'analogia per sfruttare le conoscenze pregresse possa essere utile in molte circostanze, è importante tenere in considerazione che può anche essere svantaggioso se non presentata nel modo giusto. In particolare, le analogie dovrebbero essere presentate in modo da **facilitare il confronto** e **ridurre il carico cognitivo** del processo di comparazione (Gray e Holyoak, 2021).

Per un apprendimento efficace tramite analogia, è essenziale procedere dal sistema di origine, più familiare e ben compresa, verso il sistema di destinazione meno chiaro. Se i sistemi di origine e di destinazione vengono presentati insieme, gli studenti tendono a concentrarsi spontaneamente sul target, poiché il loro obiettivo è comprenderlo. Pertanto, per sfruttare al meglio le conoscenze pregresse, è utile spiegare a fondo il sistema di origine, evidenziandone la struttura causale, prima di introdurre il sistema di destinazione.

La *Cognitive Load Theory* (Teoria del Carico Cognitivo), sviluppata dallo psicologo dell'educazione John Sweller (1988), suggerisce che la nostra memoria di lavoro ha una capacità limitata e che i metodi didattici dovrebbero **evitare di sovraccaricarla** per massimizzare l'apprendimento. La presentazione consecutiva aumenta il carico cognitivo, poiché gli studenti devono mantenere in memoria la fonte mentre elaborano il bersaglio. Gli studenti con risorse cognitive limitate possono trarre svantaggio dalle analogie educative quando vengono presentate in modo consecutivo (Gray e Holyoak, 2021).

Una soluzione efficace sembra essere quella di **presentare prima la fonte** in modo completo, **per poi introdurre il bersaglio in parallelo** ad essa.

Gli **indizi visivi** possono svolgere un ruolo cruciale nell'aiutare gli studenti a comprendere le analogie, evidenziando le somiglianze e guidando la loro attenzione verso le relazioni chiave. Alcune strategie visive efficaci sono:

- usare colori coerenti per evidenziare gli elementi corrispondenti nella fonte e nel bersaglio.

- allineare spazialmente gli elementi comparabili per rendere le connessioni più chiare;
- etichettare le caratteristiche cruciali nei diagrammi per enfatizzare le somiglianze strutturali;
- usare le frecce per indicare relazioni di causa ed effetto in entrambi i domini.

1.4 Aiutare gli studenti a “vedere” l’analogia

In generale, le analogie fornite nelle situazioni didattiche hanno un significato chiaro e fisso dalla prospettiva di chi le propone (insegnanti, autori di libri di testo). Questi significati spesso non sono condivisi dagli studenti. In più, la scienza cognitiva ha dimostrato che gli studenti spesso percepiscono cose diverse dai loro insegnanti, anche quando osservano lo “stesso” oggetto (si veda le referenze in Duit et al., 2001). Pertanto, gli studenti potrebbero non “vedere” affatto l’analogia. Se l’insegnamento e l’apprendimento per analogia devono essere efficaci, deve esistere **intersoggettività** tra insegnanti (fornitori di analogie) e studenti.

Un modo per evitare di presupporre troppa teoria durante la spiegazione della fonte è utilizzare gli *enunciati osservativi* di Quine (1993; cfr. Duit et al., 2001). Questi enunciati sono **indipendenti da teorie o interpretazioni** e sono legati strettamente all’esperienza immediata. Per esempio:

“Il cielo è blu.”

“L’acqua scorre.”

“C’è un oggetto rosso sulla tavola.”

“La luce è accesa.”

Nella spiegazione dell’analogia, è importante selezionare gli enunciati osservativi in base all’obiettivo: scegliere quelli che evidenziano le **corrispondenze rilevanti** tra fonte e bersaglio, e quelli che successivamente **portano alla costruzione di enunciati teorici** scientificamente corretti.

Inoltre, gli enunciati osservativi possono essere utilizzati per guidare l’attenzione degli studenti sugli **indizi visivi**, progettati per aiutarli a individuare le somiglianze rilevanti tra fonte e bersaglio. Ad esempio:

“Il colore di questa parte della fonte corrisponde a quello di questa parte del bersaglio.”

“Queste parti della fonte e del bersaglio sono allineate.”

“Questi elementi sono collegati da frecce.”

...

1.5 I limiti dell'analogia

Infine, nella quasi totalità dei casi, l'analogia non sarà perfetta. Alcuni aspetti della fonte potrebbero non avere elementi corrispondenti nel bersaglio e, di conseguenza, non dovrebbero essere trasferiti.

Per evitare che conoscenze pregresse inappropriate conducano a concezioni errate, è consigliabile **indicare esplicitamente i limiti dell'analogia**, ossia precisare quali aspetti della fonte sono irrilevanti.

È inoltre consigliabile **incoraggiare un confronto attivo** tra la fonte e il bersaglio. Questo può essere fatto attraverso domande sulla corrispondenza tra la fonte e il bersaglio, come ad esempio:

“Quali differenze noti e perché sono importanti?”

“Quali elementi sono allineati e quali non corrispondono del tutto?”

“Nota come questa parte della fonte non corrisponde completamente al bersaglio - cosa potrebbe implicare?”

“Se questa parte della fonte non si applica, possiamo adattare l'analogia per renderla più accurata?”

Inoltre, si possono presentare **diverse analogie** per un sistema di destinazione e chiedere agli studenti di confrontarle.

1.6 L'insegnamento per analogia passo dopo passo

Nell'insegnamento per analogia è utile seguire i seguenti passi:

1. Richiamo delle conoscenze pregresse;
2. Descrivere la fonte tramite enunciati osservativi selezionati;
3. Spiegare la fonte connettendo gli enunciati osservativi ai termini teorici;
4. Presentare fonte e bersaglio in parallelo;
5. Descrivere il bersaglio tramite enunciati osservativi selezionati;
6. Spiegare il bersaglio connettendo gli enunciati osservativi ai concetti tecnici;
7. Sottolineare le corrispondenze rilevanti;
8. Sfruttare le disanalogie.

2

Insegnare i circuiti elettrici usando l'analogia gravitazionale

In questo capitolo proponiamo una lezione introduttiva sul concetto di voltaggio, noto anche come tensione o differenza di potenziale elettrico. La spiegazione si baserà su un'analogia con la differenza di altezza: così come un oggetto tende a cadere da un'elevazione maggiore a una minore, allo stesso modo la corrente elettrica scorre in un circuito da un potenziale più alto a uno più basso. Poiché le differenze di altezza e il loro effetto sul movimento degli oggetti sono esperienze fisiche concrete, visibili e familiari per gli studenti, questa analogia risulta particolarmente efficace.

Al termine della lezione, gli studenti avranno sviluppato un modello mentale del concetto di voltaggio, ponendo le basi per la comprensione dei principi fondamentali dei circuiti elettrici.

2.1 Passo 1: Richiamo delle conoscenze pregresse

Come primo passo, richiamiamo i **concetti fondamentali della meccanica gravitazionale**, collegandoli a esperienze concrete degli studenti. In particolare, vogliamo introdurre in modo intuitivo, visibile e familiare le seguenti nozioni:

- Punti alti e bassi nello spazio;
- Gravità;
- Lavoro;
- Attrazione e repulsione.

I primi tre concetti si possono richiamare così (cfr. Rothkopf, 1995):

Lascia cadere un libro dalla scrivania e chiedi alla classe: “Perché cade?” La risposta sarà: “A causa della gravità, una forza attrattiva tra i corpi.” Solleva di nuovo il libro e posalo sulla scrivania, quindi chiedi: “C'è lavoro svolto?” La risposta

è sì, perché l'insegnante ha dovuto usare i muscoli per sollevare il libro. Lascia cadere il libro su un oggetto fragile che si danneggia, dimostrando che, cadendo, il libro ha svolto del lavoro.

Questo dovrebbe rendere chiaro che, se nulla lo impedisce, gli oggetti tendono a cadere, cioè a muoversi da punti più alti verso punti più bassi nello spazio. La causa di questa caduta è la gravità, una forza attrattiva tra i corpi. Portare un oggetto da un punto basso a uno più alto richiede lavoro. Un oggetto in una posizione elevata può cadere e, cadendo, svolgere lavoro.

Per introdurre i circuiti elettrici, è utile anche richiamare la differenza tra **forze attrattive e repulsive**, utilizzando un esempio visibile come quello dei magneti. Si può mostrare e discutere come i poli magnetici opposti si attraggano, mentre i poli simili si respingano a vicenda.

È importante sottolineare che questa dinamica è **diversa dalla gravità**, che è una forza esclusivamente attrattiva.

2.2 Passo 2: Descrivere la fonte tramite enunciati osservativi selezionati

A questo punto, **introduciamo un'immagine di un sistema gravitazionale**, che servirà come base per l'analogia con i circuiti elettrici nell'introduzione del concetto di voltaggio (per un esempio, si vedano le diapositive di questo corso). Ad esempio, una collina con una palla che rotola dalla cima al fondo. Descriviamo questo sistema utilizzando gli **enunciati osservativi** di Quine, per evitare di introdurre troppa teoria in questa fase.

In particolare, desideriamo focalizzare l'attenzione degli studenti sui seguenti aspetti della fonte:

- I punti alti e bassi della collina;
- La gravità come forza motrice;
- Lavoro compiuto;
- La resistenza lunga la discesa.

I seguenti sono esempi di enunciati osservativi su una collina con una palla che rotola dalla cima al fondo, selezionati con l'obiettivo di focalizzare l'attenzione degli studenti sulle proprietà del sistema rilevanti per l'analogia. In altre parole, si tratta delle proprietà di questo sistema che corrispondono a quelle di un circuito elettrico.

“La palla scende lungo la collina.”

“La cima della collina è più alta rispetto al fondo.”

“La velocità con cui la palla scende aumenta all'aumentare dell'altezza della collina.”

2.3. PASSO 3: SPIEGARE LA FONTE CONNETTENDO GLI ENUNCIATI OSSERVATIVI AI TERMINI

“Il movimento della palla può essere utilizzato per mettere in movimento una turbina.”

“La rugosità della superficie della collina rallenta la palla.”

“Gli ostacoli lungo la discesa rallentano la palla.”

“La palla non può salire senza l’aiuto di una forza esterna.”

2.3 Passo 3: Spiegare la fonte connettendo gli enunciati osservativi ai termini teorici

Adesso collegiamo gli enunciati osservativi sulla fonte con i **termini teorici**. In particolare, vogliamo introdurre:

- Punti in un campo gravitazionale;
- Energia potenziale gravitazionale.

Descrivendo la fonte, riformuliamo gli enunciati osservativi presentati nel secondo passo utilizzando i termini teorici appropriati. Ad esempio:

“La palla scende lungo la collina.” \Rightarrow “La palla si muove dalla zona di alta *energia potenziale gravitazionale* a quella di bassa *energia potenziale gravitazionale*.”

“La cima della collina è più alta rispetto al fondo.” \Rightarrow “La cima della collina è il punto di *energia potenziale gravitazionale* più alta rispetto al fondo.”

“La velocità con cui la palla scende aumenta all’aumentare dell’altezza della collina.” \Rightarrow “Più ripida è la collina, maggiore è la *forza* che agisce sulla palla.

“Il movimento della palla può essere utilizzato per mettere in movimento una turbina.” \Rightarrow “L’energia può essere estratta dal movimento della palla per compiere del *lavoro*.”

“La rugosità della superficie della collina rallenta la palla.” \Rightarrow “L’accelerazione della palla dipende dalla *resistenza*.”

“Gli ostacoli lungo la discesa rallentano la palla.” \Rightarrow “L’accelerazione della palla dipende dalla *resistenza*.”

“La palla non può salire senza l’aiuto di una forza esterna.” \Rightarrow “Per portare la palla in una posizione di *energia potenziale gravitazionale* più alta, è necessaria l’applicazione di un *lavoro* esterno.”

Inoltre, può essere utile richiamare l’esempio utilizzato nel primo passo e descriverlo utilizzando i termini teorici. Ad esempio, il libro sulla scrivania *potrebbe* cadere, e cadendo *potrebbe* compiere lavoro. Pertanto, in quel punto nello spazio (cioè, sulla scrivania) possiede il *potenziale* di compiere lavoro. Cadendo, il libro si sposta dalla zona di alta energia potenziale gravitazionale (sulla scrivania) a quella di bassa energia potenziale gravitazionale (per terra).

Adesso abbiamo stabilito **perché la fonte si comporta in un certo modo**: in un campo gravitazionale, gli oggetti tendono a muoversi nella direzione in cui il potenziale gravitazionale diminuisce più rapidamente. Una collina offre alla palla un percorso lungo il quale può passare da una zona a potenziale gravitazionale più alto a una a potenziale più basso. Di conseguenza, la gravità agisce sulla palla e la mette in movimento lungo la collina; l'energia cinetica risultante può essere sfruttata per compiere lavoro, mentre la resistenza incontrata durante la discesa può rallentarne il moto.

2.4 Passo 4: Presentare fonte e bersaglio in parallelo

Adesso che abbiamo introdotto la fonte e spiegato le relazioni di cause ed effetto rilevanti per l'analogia, si può introdurre il bersaglio, cioè il circuito elettrico. Il bersaglio va presentato in parallelo alla fonte, in modo da **facilitare il confronto e ridurre il carico cognitivo** del processo di comparazione.

I seguenti **indizi visivi** possono aiutare gli studenti a comprendere l'analogia, mettendo in evidenza le somiglianze strutturali tra una palla che rotola giù da una collina e il movimento delle cariche in un circuito elettrico:

- Rappresentare gli elettroni come palle (con la stessa forma, lo stesso colore, la stessa dimensione e allineati);
- Rappresentare il movimento degli elettroni in parallelo alla discesa della palla;
- Rappresentare la fonte di tensione (la batteria) come una differenza di altezza (una collina);
- Allineare la cima della collina con il polo negativo della batteria e il fondo della collina con il polo positivo;
- Associare le diverse resistenze alle variazioni di inclinazione della collina;
- Etichettare la differenza di altezza sulla collina (Δh) e il voltaggio (V) nello stesso modo, con lo stesso colore e allineati.

Inoltre, gli enunciati osservativi possono essere utilizzati per guidare l'attenzione degli studenti sugli **indizi visivi**, progettati per aiutarli a individuare le somiglianze rilevanti tra fonte e bersaglio.

2.5 Passo 5: Descrivere il bersaglio tramite enunciati osservativi selezionati

Similmente a quanto fatto nell'introduzione della fonte, in questa fase descriviamo il circuito elettrico utilizzando gli **enunciati osservativi** di Quine, in modo da evitare di introdurre troppa teoria fin dall'inizio.

In particolare, vogliamo guidare l'attenzione degli studenti sui seguenti aspetti chiave del circuito:

2.6. PASSO 6: SPIEGARE IL BERSAGLIO CONNETTENDO GLI ENUNCIATI OSSERVATIVI AI T

- Il voltaggio, rappresentato come la differenza tra punti alti e bassi;
- La batteria, vista come la sorgente della differenza di potenziale elettrico;
- La differenza di potenziale elettrico come forza motrice del circuito.

I seguenti sono esempi di enunciati osservativi su un circuito elettrico, selezionati con l'obiettivo di focalizzare l'attenzione degli studenti sulle proprietà del sistema che corrispondono a quelle della fonte:

“Gli elettroni si muovano dall'alto al basso.”

“La batteria ha due estremità: una contrassegnata con un segno più e l'altra con un segno meno.”

“La batteria corrisponde al punto con la più grande differenza di altezza.”

“Ai piani intermedi c'è meno differenza di altezza con il fondo rispetto alla cima.”

“La discesa totale è uguale alla somma delle discese individuali lungo il percorso.”

“Tutti i percorsi iniziano e finiscono alla stessa altezza.”

“Le cariche elettriche non possono spostarsi autonomamente dal basso al alto.”

2.6 Passo 6: Spiegare il bersaglio connettendo gli enunciati osservativi ai termini teorici

Adesso colleghiamo gli enunciati osservativi sul circuito elettrico ai **termini teorici**. In particolare, vogliamo introdurre:

- Punti alti e bassi in un campo elettrico;
- Differenza di potenziale elettrico;
- Caduta di tensione.

Descrivendo il circuito elettrico, riformuliamo gli enunciati osservativi presentati nel quinto passo con i termini teorici appropriati. Ad esempio:

“Gli elettroni si muovano dall'alto al basso.” \Rightarrow Gli elettroni si muovano dal punto dal *potenziale elettrico* più alto al punto di *potenziale elettrico* più basso.”

“La batteria ha due estremità: una contrassegnata con un segno più e l'altra con un segno meno.” \Rightarrow “La batteria ha due *poli*: una positiva e una negativa.”

“La batteria corrisponde al punto con la più grande differenza di altezza.” \Rightarrow “La *differenza di potenziale elettrico* nel circuito viene generata dalla batteria.”

“Ai piani intermedi c'è meno differenza di altezza rispetto alla cima.” \Rightarrow “ogni resistore sottrae una porzione della *differenza di potenziale elettrico*.”

“La discesa totale è uguale alla somma delle discese individuali lungo il percorso.” \Rightarrow “In un circuito in serie, la *caduta di tensione* totale è uguale alla somma delle *cadute di tensione* individuali nel circuito.”

“Tutti i percorsi iniziano e finiscono alla stessa altezza.” \Rightarrow “In un circuito parallelo, la *caduta di tensione* è la stessa in tutti i rami.”

“Le cariche elettriche non possono spostarsi autonomamente dal basso all'alto.” \Rightarrow “Le cariche elettriche non possono muoversi da un punto a *basso potenziale* a uno ad *alto potenziale* senza l'energia fornita da una *fonte di tensione*, come una batteria.”

2.7 Passo 7: Sottolineare le corrispondenze rilevanti

Sulla base dei passaggi precedenti, possiamo ora sottolineare esplicitamente le corrispondenze tra la fonte e il bersaglio dell'analogia. In questo modo, possiamo introdurre altri concetti fondamentali relativi ai circuiti elettrici:

- La corrente;
- Il lavoro svolto dal sistema;
- La resistenza e il suo effetto sul flusso di carica.

Esempi di frasi con cui possiamo sottolineare le corrispondenze rilevanti sono:

“Tra i due poli della batteria c'è una differenza di potenziale elettrico, proprio come c'è una differenza di altezza tra la cima e il fondo di una collina.”

“Se un oggetto si trova in cima a una collina, può scendere verso il basso. Allo stesso modo, la differenza di potenziale elettrico induce il movimento delle cariche nel circuito.”

“La collina rappresenta un potenziale di energia che può trasformarsi in movimento della palla lungo la discesa. Allo stesso modo, la batteria fornisce energia che viene trasferita alle cariche, facendole muovere attraverso il circuito.”

“Più alta è la collina, maggiore è la velocità che la palla acquisisce durante la discesa. Analogamente, una maggiore differenza di potenziale tra i poli di una batteria provoca un flusso più intenso di cariche nel circuito.”

“La velocità della palla dipende dalla pendenza della collina e dalla resistenza lungo il percorso. Analogamente, l'intensità della corrente che scorre nel circuito dipende dalla tensione applicata e dalla resistenza del circuito.”

“Quando la palla raggiunge il fondo della collina, ha perso tutta la sua energia potenziale e ha acquisito energia cinetica. In modo simile, le cariche elettriche perdono energia potenziale mentre si muovono nel circuito, trasformandola in altre forme di energia, come la luce o il calore.”

“La palla non può salire senza l'aiuto di una forza esterna. Così, le cariche elettriche non possono salire da un punto di basso potenziale a uno di alto potenziale senza l'energia fornita da una fonte di tensione, come una batteria.”

Al terzo passo abbiamo stabilito *perché* la fonte si comporta in un certo modo: in un campo gravitazionale, gli oggetti tendono a muoversi nella direzione in cui il potenziale gravitazionale diminuisce più rapidamente. Una collina offre alla palla un percorso lungo il quale può passare da una zona a potenziale gravitazionale più alto a una a potenziale più basso. Di conseguenza, la gravità agisce sulla palla e la mette in movimento lungo la collina; l'energia cinetica risultante può essere sfruttata per compiere lavoro, mentre la resistenza incontrata durante la discesa può rallentarne il moto.

Questa struttura causale si **traduce** al circuito elettrico nel modo seguente: in un campo elettrico, le cariche si muovono sotto l'azione del campo: le positive verso potenziali più bassi, le negative verso potenziali più alti. Un circuito offre un percorso lungo il quale le cariche possono fluire, generando corrente elettrica. Il campo elettrico mette in movimento le cariche lungo il circuito; l'energia elettrica associata a questo movimento può essere sfruttata per compiere lavoro, mentre la resistenza presente nel circuito può ridurre l'intensità della corrente. Adesso abbiamo chiarito *perché* il circuito elettrico si comporta in un determinato modo.

La **somiglianza strutturale** tra i due sistemi, che è fondamentale per spiegare il concetto di voltaggio, è la seguente: la differenza di potenziale (gravitazionale, elettrico), crea le condizioni per il movimento (della palla, delle cariche).

L'analogia gravitazionale, dunque, presenta il voltaggio (la tensione, la differenza di potenziale elettrico) come il modo in cui descriviamo la differenza tra i punti alti e bassi in un sistema elettrico. Questo chiarisce anche perché il voltaggio (come la differenza di potenziale gravitazionale) rappresenti essenzialmente una differenza e perché sia definito per unità di carica: in sostanza, stiamo semplicemente parlando di **punti alti e bassi in un campo elettrico**.

2.8 Passo 8: Sfruttare le disanalogie

Infine possiamo sfruttare le disanalogie tra la fonte e il bersaglio per chiarire l'analogia ulteriormente. In particolare, vogliamo sottolineare:

- L'importanza di avere un sistema chiuso;
- Il voltaggio come forza motrice.

Per cominciare, una dissomiglianza importante tra la fonte (ossia, la palla che scende da una collina) e il bersaglio (il circuito elettrico) dell'analogia è che **il flusso di cariche richiede un sistema chiuso**, mentre una palla su una collina non sembra richiedere niente del genere per mettersi in movimento.

Questo offre un'ulteriore opportunità per sottolineare che il voltaggio (la tensione, o differenza di potenziale elettrico) riguarda i "punti alti" e "punti bassi" nel campo elettrico. L'analogia può essere utilizzata in questo modo:

La differenza di altezza (cioè la differenza di potenziale gravitazionale) esiste

anche in assenza di una superficie materiale, come una collina. Allo stesso modo, la differenza di potenziale elettrico esiste anche in assenza di un percorso conduttore per le cariche (cioè di un circuito chiuso).

Dunque, si può dire che la superficie della collina “viene creata” soltanto nel momento in cui il circuito elettrico è chiuso.

Un'altra dissomiglianza importante tra la fonte (ossia, la palla che scende da una collina) e il bersaglio (il circuito elettrico) dell'analogia è che, a causa della gravità, **la velocità della palla aumenta progressivamente** mentre scende per la collina, mentre la carica fluisce a un tasso costante attraverso un circuito. Una collina più ripida fa aumentare l'accelerazione della palla; un voltaggio più alto, invece, porta a una maggiore corrente (assumendo che la resistenza rimanga costante).

Questa disanalogia può essere utilizzata per sottolineare il punto centrale dell'analogia: *non* stiamo allineando i movimenti della palla e delle cariche, ma i punti nello spazio in un campo gravitazionale e quelli in un campo elettrico.

Per affinare l'analogia, si può aggiungere:

“Un voltaggio più alto è come una collina più ripida, ma anziché far aumentare l'accelerazione della palla, aumenta la quantità di movimento (il numero di palle che passano attraverso il circuito) man mano che più cariche vengono spinte attraverso il circuito.”

Richiesta

Basandovi sul materiale presentato oggi, preparate una lezione introduttiva sui circuiti elettrici usando l'analogia gravitazionale.

Fateci sapere:

- Come avete usato il materiale?
- Avete apportato modifiche rispetto alla lezione proposta?
- Quali difficoltà avete incontrato?
- Avete fatto dei test di verifica? Come sono andati?
- Avete notato differenze rispetto agli anni precedenti?
- Come ci consigliate di modificare il materiale?

Inviateci le vostre risposte via email a: domenico.brunetto@polimi.it.

18 2. *INSEGNARE I CIRCUITI ELETTRICI USANDO L'ANALOGIA GRAVITAZIONALE*

Fonti e riferimenti

- Binder, Jeffrey R (2016). “In defense of abstract conceptual representations”. In: *Psychonomic bulletin & review* 23, pp. 1096–1108.
- Duit, Reinders et al. (2001). “Fostering conceptual change by analogies—between Scylla and Charybdis”. In: *Learning and Instruction* 11.4-5, pp. 283–303.
- Flick, Larry (1991). “Analogy and metaphor: Tools for understanding inquiry science methods”. In: *Journal of Science Teacher Education* 2.3, pp. 61–66.
- Gentner, Dedre (1983). “Structure-mapping: A theoretical framework for analogy”. In: *Cognitive science* 7.2, pp. 155–170.
- Gentner, Dedre e Arthur B Markman (1997). “Structure mapping in analogy and similarity.” In: *American psychologist* 52.1, p. 45.
- Gray, Maureen E e Keith J Holyoak (2021). “Teaching by analogy: From theory to practice”. In: *Mind, Brain, and Education* 15.3, pp. 250–263.
- Hewitt, Paul G (2002). *Conceptual physics*. Pearson Educación.
- Nappo, Francesco (2024). *L’analogia nell’indagine scientifica: a difesa della funzione induttiva*. Franco Angeli.
- Quine, Willard Van (1993). “In praise of observation sentences”. In: *The Journal of Philosophy* 90.3, pp. 107–116.
- Richland, Lindsey E, Nate Kornell e Liche Sean Kao (2009). “The pretesting effect: Do unsuccessful retrieval attempts enhance learning?” In: *Journal of Experimental Psychology: Applied* 15.3, p. 243.
- Rothkopf, Elliot M (1995). “Teaching for understanding-analogies for learning in electrical technology”. In: *Proceedings Frontiers in Education 1995 25th Annual Conference. Engineering Education for the 21st Century*. Vol. 1. IEEE, 2b4–9.
- Sweller, John (1988). “Cognitive load during problem solving: Effects on learning”. In: *Cognitive science* 12.2, pp. 257–285.
- Zook, Kevin B (1991). “Effects of analogical processes on learning and misrepresentation”. In: *Educational Psychology Review* 3, pp. 41–72.