

QUESTIONE DI **ATTRAZIONE** 'FISICA'

minerali, forse il più famoso, è la **magnetite**, un particolare ossido di ferro dal colore nero e dalla struttura cristallina spontaneamente presente in natura. In termini 'chimici', gli ossidi sono molecole ottenute dalla reazione tra un metallo e l'ossigeno; un'altra forma di ossido di ferro, ad esempio, è quella chiamata comunemente 'ruggine'. Le sostanze come la magnetite fanno parte dei cosiddetti **magneti naturali**, nome dato in contrapposizione ai **magneti artificiali**, che vengono prodotti invece in fabbrica con appositi processi industriali.

ANATOMIA DI UN MAGNETE

Le proprietà dei **magneti** sono, sotto certi aspetti, analoghe a quelle che caratterizzano il mondo dell'elettrostatica (ossia l'insieme dei fenomeni fisici che coinvolgono le cariche elettriche immobili nello spazio). Come nel caso delle cariche elettriche positive e negative, infatti, anche nel magnetismo troviamo **due sorgenti di forze** opposte che in questo caso, però, prendono convenzionalmente

il nome di **polo Nord** e di **polo Sud**. Proprio tra questi due punti si genera il cosiddetto **campo magnetico**. Per capire meglio di cosa si tratta possiamo ricorrere a un esperimento classico, per il quale sarà sufficiente recuperare una calamita, un foglio di carta leggera e della limatura di ferro. Per prima cosa appoggia la calamita su un tavolo e sovrappone il foglio di carta. Infine, 'spolvera' la limatura di ferro nel punto del foglio sotto al quale hai appena posto il magnete. Ti accorgerai di come i granuli di ferro non si dispongano casualmente, ma si configurino seguendo disegni ben definiti.

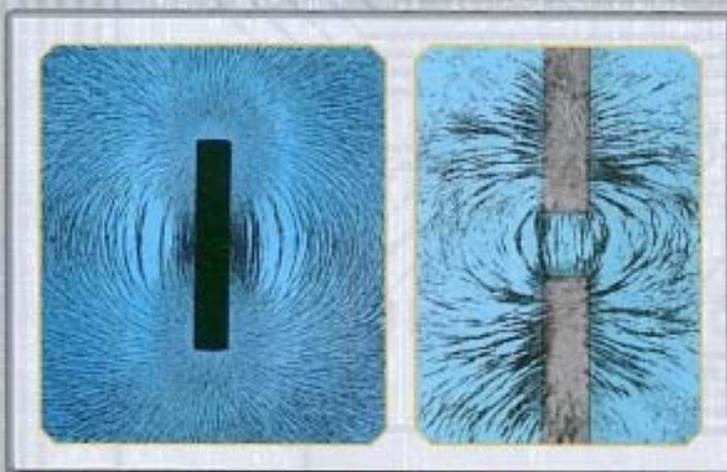
I fenomeni magnetici sono tra gli eventi fisici più noti e presenti nella nostra vita quotidiana. Dai semplici magneti decorativi ai motori, le forze magnetiche rivestono un ruolo fondamentale in moltissimi campi.

I fenomeni magnetici sono noti fin dall'antichità: già alcuni secoli prima della nascita di Cristo gli antichi greci avevano osservato come alcuni minerali fossero in grado di attirare spontaneamente i materiali ferrosi. Uno di tali

Un campione di magnetite, un particolare ossido di ferro che ha proprietà magnetiche naturali.



In particolare, noterai come la limatura crei una serie di linee curve che uniscono le due estremità della calamita senza mai incrociarsi. Quelle appena evidenziate sono alcune delle **linee di forza** del campo magnetico, descrittive dell'andamento delle varie forze magnetiche che agiscono nello spazio circostante la calamita. Per convenzione, la fisica applica anche un orientamento a tali linee, indicandole come **uscanti dal polo Nord** ed **entranti nel polo Sud**. La loro forma, inoltre, è legata in maniera rigorosa al numero e alla disposizione delle sorgenti di campo presenti. Ma come si comportano due calamite poste in prossimità l'una dell'altra? Anche in questo caso vi è una stretta analogia tra i fenomeni magnetici e quelli di tipo elettrostatico. In modo analogo a quanto avviene nel mondo elettrico, dove si possono osservare effetti di attrazione tra cariche di segno opposto e di allontanamento tra quelle di segno uguale, anche nel caso dei magneti si rileva un **comportamento repulsivo** tra **poli concordi** e **attrattivo** tra quelli **opposti**. Come nell'interazione elettrostatica, inoltre, anche le forze di tipo magnetico si indeboliscono in maniera inversamente proporzionale al quadrato della distanza di applicazione. Proprio l'impiego controllato dei principi del magnetismo è alla base della realizzazione di alcuni dei componenti elettromeccanici più diffusi, come ad esempio i motori elettrici, su cui ci soffermeremo più approfonditamente in futuro.



LE LINEE DI FORZA»»

I campi magnetici possono essere rappresentati tramite l'uso delle **linee di forza**. Esse sono linee immaginarie costruite in maniera da essere sempre tangenti alle forze agenti lungo di esse (ove presente, il campo magnetico ha effetto secondo precisi valori di direzione e intensità, una caratteristica tipica dei cosiddetti campi vettoriali). Le linee di forza dei campi magnetici sono caratterizzate da tre precise proprietà:

- ▶ sono definite come **uscanti dal polo Nord** ed **entranti nel polo Sud**;
- ▶ sono tutte **linee chiuse** (vanno sempre da polo a polo) o, al più, si allontanano fino all'infinito;
- ▶ due linee di forza differenti **non si intersecano mai**.

Nella foto in alto a sinistra sono visualizzate, tramite l'esperimento della limatura di ferro, le linee di forza prodotte da un magnete di forma cilindrica. Nella foto appare evidente il rispetto delle proprietà descritte. Accanto, invece, è mostrato il campo generato da una coppia di calamite poste con i poli opposti ravvicinati.

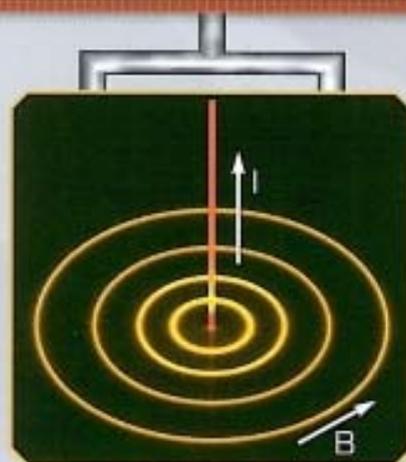
L'ELETTROMAGNETISMO»»»

Il legame tra magnetismo ed elettricità, tuttavia, non si limita a una semplice serie di analogie o di comportamenti più o meno simili. Il primo a intuirlo fu, nel 1820 e in maniera quasi casuale, il fisico danese **Hans Christian Ørsted**, mentre era intento a preparare alcuni strumenti di laboratorio da utilizzare durante una lezione. Tutto accadde quando, avvicinando per caso una bussola a un filo percorso

da corrente, osservò l'ago magnetico della bussola stessa cambiare repentinamente direzione. Stupito da questo fenomeno, ritentò l'esperimento (adesso noto con il nome di **esperimento di Ørsted**) più e più volte. Queste prove non solo produssero risultati sempre simili, ma misero in evidenza come con l'aumentare dell'intensità della corrente che attraversava il filo, l'ago della bussola tendesse a disporsi in direzione sempre

più perpendicolare al filo stesso. Ciò che Ørsted aveva appena scoperto sperimentalmente era che **un conduttore attraversato da una corrente elettrica produce attorno a sé un campo magnetico**. Nel caso specifico, il filo elettrico aveva generato un **campo di forma cilindrica**, ossia un campo le cui linee di forza sono circonferenze aventi il centro in corrispondenza del filo elettrico e alle quali viene attribuito un **orientamento di tipo destrorso**, o (in altre parole) che rispettano **'la regola della mano destra'**, detto in relazione al verso della corrente. Il modo di dire 'regola della mano destra' è direttamente collegato a una regola mnemonica ampiamente diffusa e utilizzata in fisica e nelle operazioni con i vettori. Vediamo come si applica nel caso appena citato. Prima

di tutto si considera un tratto del filo conduttore e si identifica il verso convenzionale del flusso della corrente elettrica (ossia dal polo '+' al polo '-'). Fatto ciò si pone la mano destra aperta con il pollice orientato in modo da essere concorde al verso della corrente. Mantenendo immobile il pollice, infine, chiudiamo le rimanenti quattro dita: il movimento di chiusura corrisponde all'orientamento delle varie linee di forza. Il diffondersi delle notizie riguardanti l'esperimento di Ørsted fu il punto di partenza per studi più approfonditi a proposito dei fenomeni elettromagnetici. Il merito della formulazione delle prime leggi matematiche spetta ad **André-Marie Ampère**, lo stesso fisico a cui è stato dedicato il nome dell'unità di

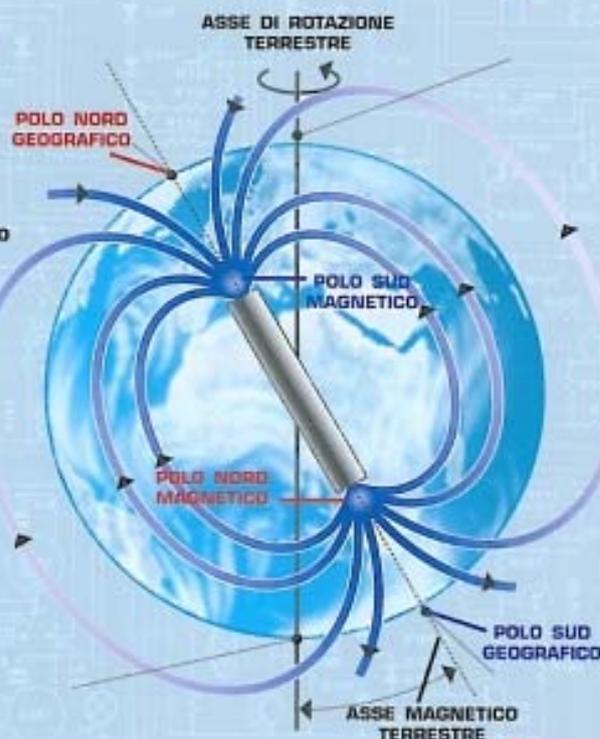


Un filo elettrico percorso da corrente produce attorno a sé un campo magnetico con linee di forza circolari il cui orientamento è definito rispetto al verso convenzionale della corrente con il 'criterio della mano destra'.

misura dell'intensità di corrente elettrica. Proprio ad Ampère si deve una delle più importanti leggi dell'elettromagnetismo, la **legge di Ampère**, appunto, la quale offre una descrizione in termini matematici del legame

IL CAMPO MAGNETICO TERRESTRE»»

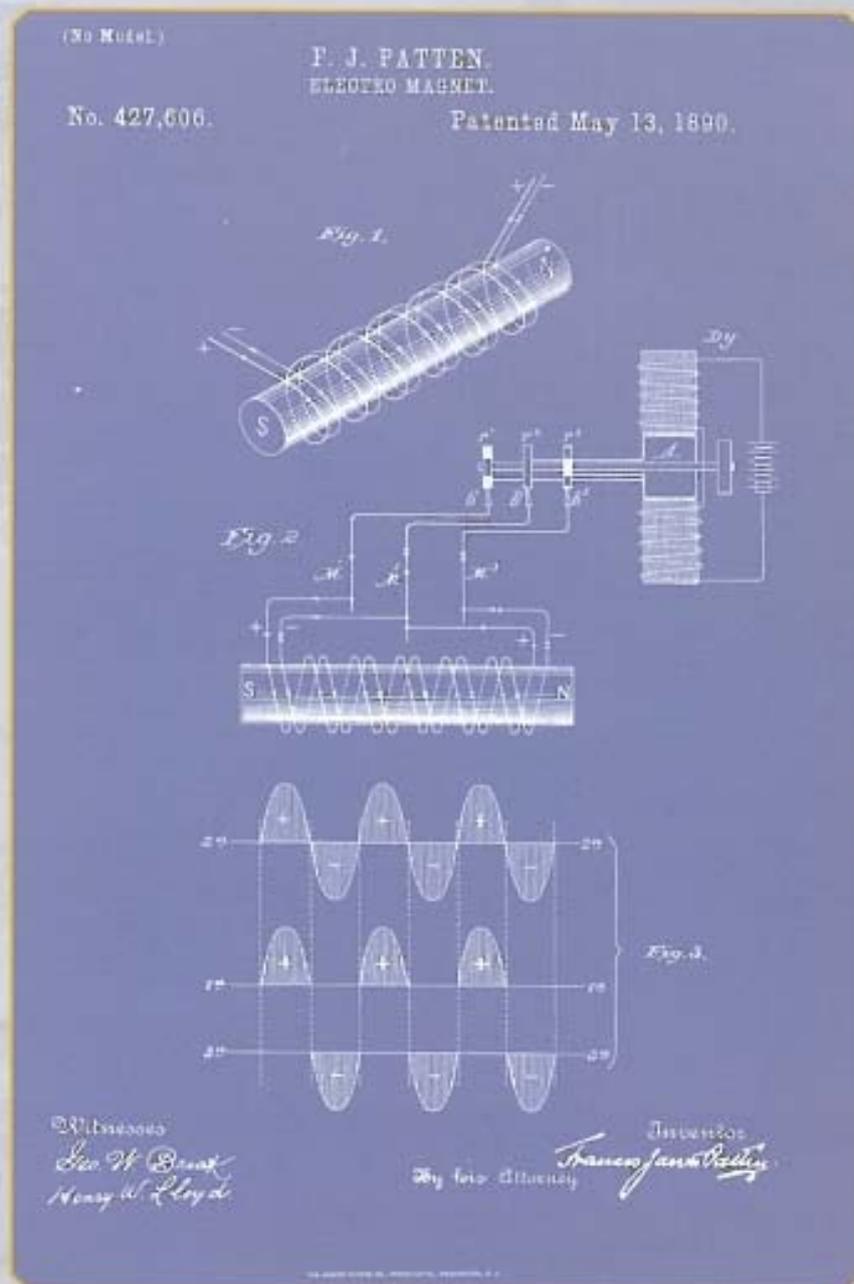
Il magnetismo è un fenomeno che coinvolge anche il nostro pianeta. La Terra, infatti, è dotata di un proprio campo magnetico, studiato e descritto, tra gli altri, da **Karl F. Gauss** nei primi decenni del XIX secolo. È proprio questa caratteristica fisica che ha reso (e rende) possibile il funzionamento di uno degli strumenti più utili per l'esplorazione umana: la **bussola**. Essa non è altro che un semplice ago magnetizzato in grado di allinearsi con le linee di forza del campo magnetico terrestre ruotando senza attrito rispetto al proprio asse. Proprio la presenza del campo magnetico terrestre ha dato origine ai nomi assegnati ai poli dei magneti: il polo Nord della calamita punta verso il Nord della Terra e viceversa per il polo Sud. Ricordiamo che il fenomeno di attrazione magnetica avviene tra poli opposti: ciò vuol dire, quindi, che il Nord geografico terrestre corrisponde in realtà al Sud del 'magnete' Terra e, ovviamente, al contrario, il Sud geografico corrisponde al Nord.



che intercorre tra le correnti e i campi magnetici prodotti. Anche se non presenteremo in maniera esplicita la formula matematica associata alla legge di Ampère (per la comprensione della quale sarebbero richieste conoscenze avanzate di analisi matematica e calcolo vettoriale), mostreremo una delle sue conseguenze più interessanti sotto il profilo pratico.

L'ELETTROCALAMITA

Abbiamo accennato prima al comportamento magnetico di un conduttore filiforme con geometria rettilinea attraversato da corrente. Vediamo ora cosa accade in presenza di un'altra configurazione tipica, il **'solenoid'**. Si chiama solenoide la struttura ottenuta avvolgendo un filo conduttore in modo da formare una bobina (ogni singolo 'anello' dell'avvolgimento prende tecnicamente il nome di **'spira'**). La principale peculiarità elettromagnetica della forma solenoidale si osserva nel momento in cui la bobina viene percorsa da una corrente elettrica: la specifica disposizione del filo, infatti, fa sì che si venga a creare un **campo magnetico nullo all'esterno del solenoide**. Al contrario, al suo **interno** si genera un **campo costante** e orientato in **direzione parallela all'asse della bobina** stessa. Proprio la legge di Ampère fornisce la possibilità di quantificare l'intensità di questo campo (ne tralasciamo, in ogni caso, la dimostrazione). Se utilizziamo le lettere **'B'** per indicare il campo magnetico, **'I'** per l'intensità di corrente e **'n'** per la 'densità di spire' (ossia il



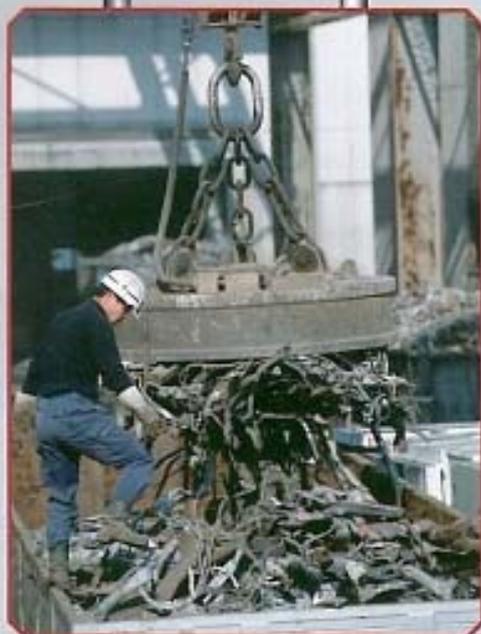
rapporto tra il numero di avvolgimenti e la lunghezza del solenoide), l'intensità del campo prodotto dal solenoide è data dall'equazione:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I$$

In un solenoide percorso da corrente, quindi, il campo magnetico è tanto più intenso quanto maggiori sono la corrente elettrica passante e la densità delle spire che lo compongono. E μ_0 cosa indica?

Un'elettrocalamita in un brevetto USA depositato nel 1890. Negli schemi sono evidenti il nucleo e l'avvolgimento solenoidale.

Il simbolo μ_0 prende il nome di **costante di permeabilità magnetica del vuoto** ed è una delle costanti fondamentali della fisica. La permeabilità magnetica, comunque, è una caratteristica che non è propria solo del vuoto, ma di qualsiasi



C *Elettromagneti di grandi dimensioni sono utilizzati come strumenti per la separazione dei materiali ferrosi nelle discariche, ma anche come utensili per il sollevamento dei rottami metallici.*

materiale, anche se in misura differente. Nel caso di materiali diversi dal vuoto, la permeabilità viene indicata genericamente dal simbolo μ . Essa fornisce un indice numerico della tendenza specifica di ogni sostanza a reagire ai campi magnetici 'facendosi magnetizzare'. Ne deriva che se introduciamo nel solenoide un qualsiasi corpo avente una costante di permeabilità magnetica maggiore rispetto a quella del

vuoto (cioè tale che $\mu > \mu_0$), il campo magnetico prodotto sarà superiore. Proprio su questo principio nasce l'**elettrocalamita** (o **elettromagnete**), che potrai costruire seguendo le istruzioni di pagina 10 e 11. Realizzando elettromagneti diversi, potrai sperimentare quanto la forza di attrazione sia effettivamente influenzata dal tipo di materiale sul quale sono avvolte le spire di conduttore.

L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

Esiste anche un legame tra magnetismo ed elettricità di tipo inverso rispetto a quello che abbiamo appena presentato: se è vero che il passaggio

di cariche in un conduttore produce attorno a esso un campo magnetico, è anche vero che è possibile 'muovere' cariche elettriche sfruttando la presenza di forze magnetiche. Questo fenomeno fisico è noto con il nome di '**induzione elettromagnetica**' e fu scoperto nel 1831 dal fisico inglese **Michael Faraday**, 'co-titolare' anche di un'importante legge (di **Faraday-Neumann-Lenz**). Faraday si accorse che se si sottopone un circuito elettrico a un campo magnetico variabile nel tempo, si produce un moto di cariche (e quindi una corrente elettrica) la cui intensità è direttamente proporzionale alla velocità di variazione del campo. Questo principio ha trovato una enorme quantità di applicazioni pratiche nella società moderna, alcune delle quali vengono quotidianamente sperimentate da chiunque. Ne sono un esempio le dinamo, oppure gli alternatori usati nelle auto, i trasformatori di corrente, come anche i rilevatori tachimetrici usati in robotica.

MAGNETI A TUTTA VELOCITÀ...

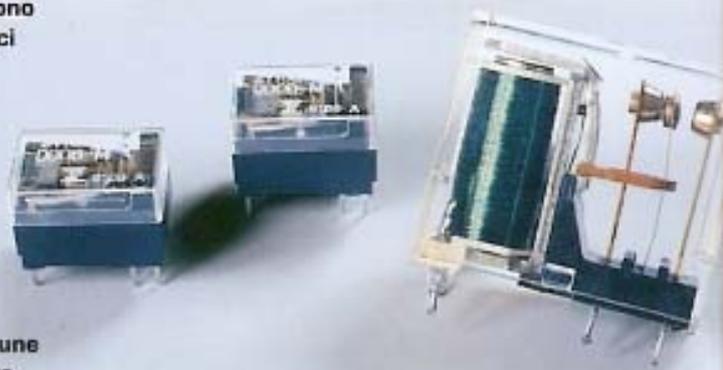
Una delle più recenti e avanzate applicazioni delle forze magnetiche è la **levitazione magnetica**, nota anche con il nome '**maglev**'. Essa è una tecnologia che si basa, fondamentalmente, sullo sfruttamento delle forze prodotte dall'attrazione e dalla repulsione dei 'supermagneti' che assumono, così, il ruolo di strumenti per il sollevamento e la propulsione. A oggi, i risultati più interessanti sono stati ottenuti nel campo ferroviario (a lato il JR-Maglev che può raggiungere i 580 km/h).



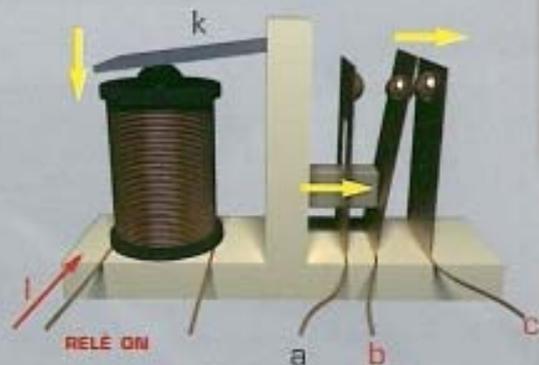
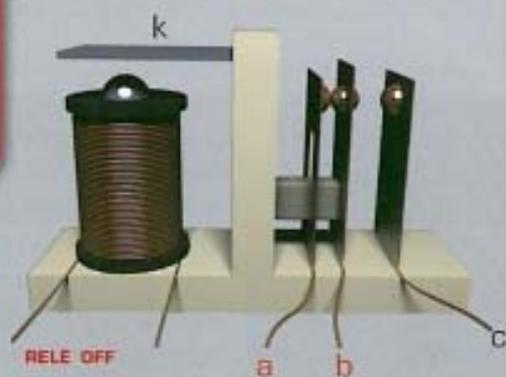
FOCUS ON

I RELÈ: INTERRUTTORI MAGNETICI ▶▶

Una delle caratteristiche che distinguono i dispositivi elettronici da quelli elettrici di altro tipo è l'utilizzo di tensioni e correnti sostanzialmente ridotte. Nella pratica, però, è molto frequente che vi sia la necessità di affiancare a circuiti elettronici che lavorano a 5 o 6 volt apparati elettrici o elettromeccanici che, invece, operano con tensioni anche 100 volte superiori. I relè (nella foto a destra) offrono una soluzione ad alcune delle problematiche derivanti da queste esigenze tecniche e in particolare a quelle legate all'accensione e allo spegnimento dei circuiti. Sebbene in commercio siano presenti una grande quantità di tipologie di relè, i più diffusi rimangono probabilmente quelli ad **attuazione elettromagnetica**. Essi operano per mezzo di un **elettromagnete** che viene attivato dal passaggio di corrente elettrica nei suoi avvolgimenti. Non appena si verifica questo passaggio, l'elettrocalamita produce un campo magnetico che attira a sé una piccola **struttura ferrosa** la quale, per mezzo di un gioco di 'leve' meccaniche, muove una serie di **contatti metallici**. La funzione di tali contatti è quella di indirizzare il flusso di corrente nel circuito 'pilotato'. I relè, quindi, sono concettualmente molto simili a **interruttori**.



Anche tra i relè elettromagnetici, così come per tutte le altre tipologie, vi sono distinzioni tecniche in funzione delle caratteristiche elettriche di funzionamento (tensione e corrente di attivazione del relè, potenza massima supportata...) e meccaniche (dimensioni, numero di contatti...). Nelle immagini sottostanti viene mostrata la struttura interna semplificata di un relè. A sinistra, il relè in condizioni di inibizione mette a contatto le lamelle da cui fuoriescono i fili **a** e **b**. Con il passaggio della corrente **I** (a destra), l'elettromagnete aziona il meccanismo di leve (attirandone la prima, indicata nell'immagine con la lettera **k**), che a sua volta sposta la lamella **b**, creando così il contatto tra i punti **c** e **b**.



L'ELETTROCALAMITA ▶▶

Nelle due pagine che seguono, potrai mettere in pratica i principi dell'elettromagnetismo costruendo un'elettrocalamita. Per realizzarla saranno necessari i seguenti elementi:

- 1 filo elettrico smaltato per avvolgimenti
- 2 piccoli oggetti metallici per testare l'elettromagnete
- 3 un portatile (con capienza a scelta)
- 4 una breadboard
- 5 un nucleo di materiale ferroso (ad esempio un bullone o una vite)
- 6 batterie (meglio se ricaricabili)



Prima di procedere è meglio spendere qualche parola per introdurre alcuni semplici concetti. Iniziamo dall'unico elemento che finora non abbiamo mai incontrato: il **filo smaltato**. Quando si parla di fili elettrici siamo abituati a considerare quei cavi composti da un'**anima metallica** rivestita da una

guaina isolante (ad esempio in PVC). Il filo smaltato per avvolgimenti, al contrario, è caratterizzato da una struttura differente: innanzitutto ha un'anima 'rigida' (in sostanza formata da un unico filo di rame e non da molti fili sottili intrecciati), e, in secondo luogo, la gomma è sostituita da un sottilissimo strato di vernice isolante. Lo troverai in vendita in negozi specializzati in elettricità ed elettronica, classificato in base alla sua sezione. Un altro consiglio che ti diamo è quello di procurarti 'nuclei' diversi da inserire nella tua elettrocalamita, differenti sia nel tipo di materiale sia nelle dimensioni. Così facendo, potrai sperimentarne i rispettivi comportamenti.

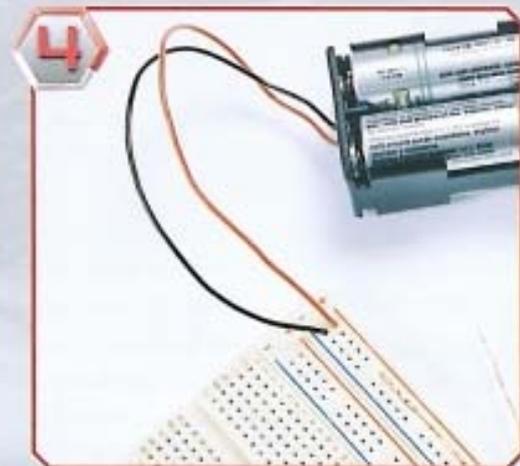
Per prima cosa prendi uno degli oggetti che hai deciso di utilizzare come nucleo metallico per la tua elettrocalamita (nel nostro caso abbiamo deciso di utilizzare una grossa vite). Prendi anche il filo smaltato e inizia ad avvolgerlo attorno all'oggetto che hai scelto. Stringi sempre le spire in maniera da mantenerle il più possibile aderenti alla superficie e, soprattutto, non cambiare mai il verso dell'avvolgimento. Cerca anche di concentrare le spire in una superficie ristretta.



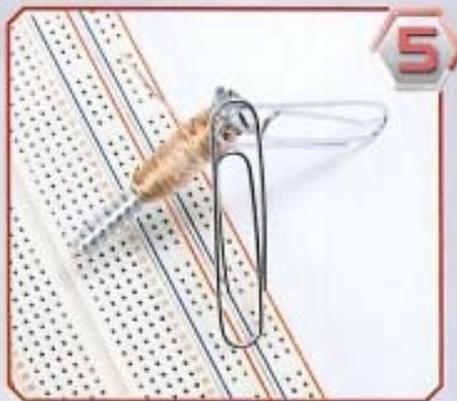


Ora hai preparato l'elettrocalamita. Tuttavia, come detto in precedenza, il filo smaltato risulta ancora ricoperto di materiale 'isolante' che lo rende inutilizzabile. Con l'aiuto di un cacciavite o di un taglierino rimuovi delicatamente lo smalto dalle estremità dei cavi. Eventualmente, se vuoi assicurarti di aver eliminato correttamente l'isolante, puoi utilizzare il tuo tester e misurare la resistenza elettrica tra i due terminali

appena ripuliti. Se la resistenza rilevata è nulla (o quasi), l'elettrocalamita è pronta per l'uso. Se non dovesse essere tale, dovrai ripetere l'operazione di pulitura.



Inserisci i terminali del portapile nelle piste di alimentazione della breadboard. Come già fatto negli esperimenti precedenti, collega il filo rosso alla pista positiva, e il nero a quella negativa (come mostrato nell'immagine).



Collega, infine, i due terminali dell'elettrocalamita alle piste di alimentazione della breadboard (uno alla pista '+', l'altro alla pista '-'). Il magnete è ora in funzione e puoi testarne la capacità di attrarre piccoli oggetti metallici come graffette, spilli, chiodi o viti.



WARNING

Attenzione: la resistenza del filo di rame smaltato è estremamente ridotta. Una volta collegato al portapile tramite la breadboard, quindi, genera un flusso di corrente piuttosto elevato che da un lato favorisce la creazione di un campo magnetico intenso, ma dall'altro tende a surriscaldare le spire e il nucleo ferroso (effetto Joule). Per questa ragione, **NON LASCIARE COLLEGATO IL CIRCUITO PER PIÙ DI QUALCHE SECONDO** o potrebbe scaldarsi eccessivamente. Inoltre, prima di toccare il nucleo dell'elettrocalamita dopo aver spento il circuito, lascia passare un breve periodo di tempo in maniera da far raffreddare il tutto. Per ridurre l'effetto termico, senza però rinunciare alla forza magnetica, potrai inserire un resistore all'interno del circuito (limitando così il flusso di corrente) e aumentare il numero di spire attorno al nucleo.