# L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

# E5

## Dentro la dinamo

Recupera da un meccanico di biciclette una dinamo rotta, di quelle con l'involucro di plastica, e prova a smontarla.

• All'interno, cerca di individuare l'avvolgimento di filo di rame e un grosso magnete montato su di un asse, che gira sopra l'avvolgimento quando la dinamo è in funzione: prova a immaginare cosa succede quando spingi sui pedali in bicicletta...

Guarda l'esperimento e prova a farlo tu.
online.zanichelli.it/amaldi

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

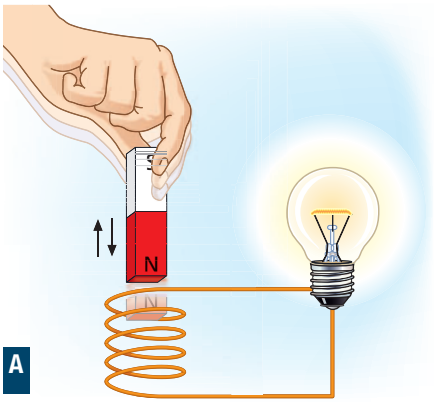
online.zanichelli.it/amaldi
**ANIMAZIONE**
- La corrente indotta (3 minuti)

# 1. LA CORRENTE INDOTTA

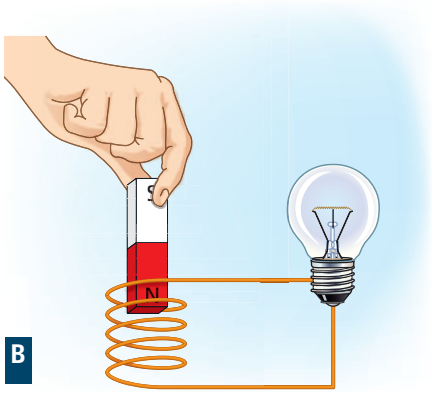
Sappiamo che una corrente elettrica genera un campo magnetico. Al contrario, può un campo magnetico generare una corrente elettrica? Una semplice esperienza mette in luce che questo è possibile.

Muoviamo rapidamente una calamita dentro una bobina collegata a una lampadina.

▶ Mentre la calamita si muove in su e in giù, la lampadina si accende: nel circuito circola una corrente.




▶ Invece, se la calamita è ferma, la lampadina non si accende; quindi nel circuito non c'è corrente.



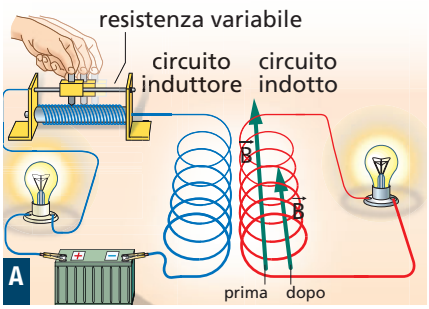

La corrente non è creata da una pila o da una batteria, ma dal movimento della calamita. All'interno della bobina, il campo magnetico della calamita diventa intenso quando la calamita è vicina e ritorna debole quando essa è lontana.

Un campo magnetico che varia genera una **corrente indotta**.

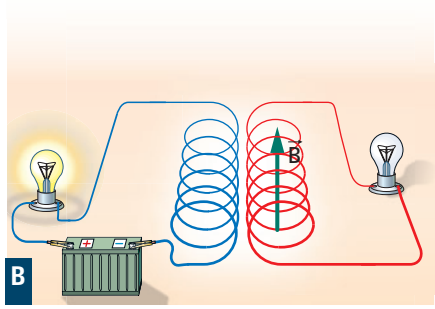
Si può far variare il campo magnetico all'interno del circuito anche in altri modi. Per esempio, mettiamo vicino a questo circuito senza batteria (*circuito indotto*) un secondo circuito (*circuito induttore*), nel quale facciamo variare la corrente diminuendo o aumentando la sua resistenza con una resistenza variabile.

- Quando la resistenza è piccola, nel circuito induttore circola una corrente intensa, che genera un forte campo magnetico nella bobina del circuito indotto.
- Quando la resistenza è grande, il campo magnetico nella bobina del circuito indotto è piccolo.

▶ La variazione della corrente nel circuito induttore genera una corrente indotta nel circuito senza batteria, perché il campo magnetico che lo attraversa varia.




▶ Invece, se la corrente nel circuito induttore resta uguale, nell'altro circuito non circola una corrente indotta, perché il campo magnetico che lo attraversa non varia.



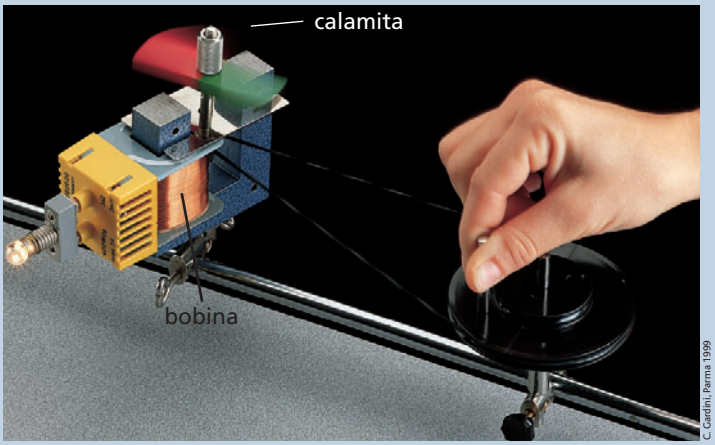


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Quindi, ogni volta che, per qualche ragione, in un circuito varia il campo magnetico esterno, si genera una corrente indotta.

**DOMANDA**

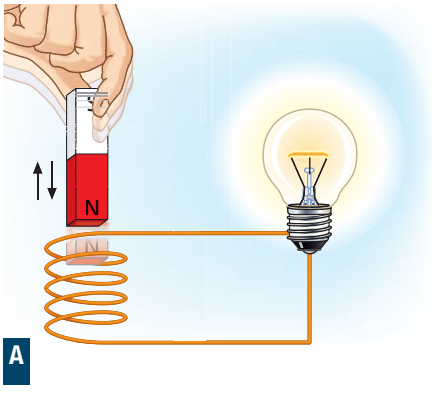
▶ Perché, mentre la calamita ruota, nel circuito si accende la lampadina?



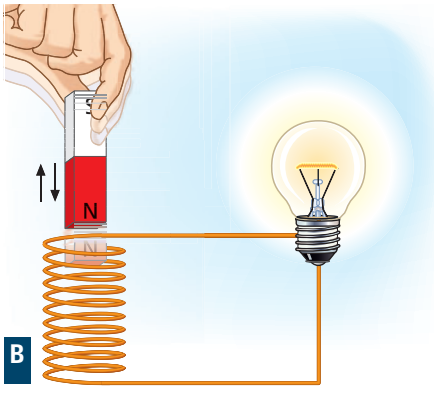

## 2. IL FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO

L'intensità della corrente indotta dipende da tre grandezze: la variazione del campo magnetico esterno, l'area del circuito indotto e il suo orientamento. Si verifica che la corrente indotta è più intensa quando:

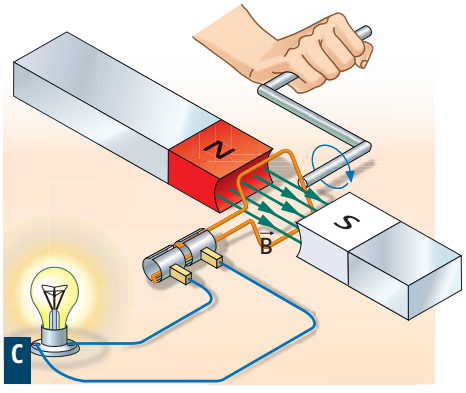
▶ muoviamo con maggiore rapidità la calamita, per ottenere un campo magnetico che varia più velocemente;




▶ la bobina ha un maggior numero di spire, così che l'area del circuito è più grande;




▶ cambiamo più rapidamente l'orientazione del circuito rispetto alle linee del campo magnetico.




### La definizione del flusso

Definiamo una nuova grandezza, il *flusso del campo magnetico*, che dipende sia dal campo magnetico, sia dall'area del circuito, sia da come questa è orientata rispetto a $\vec{B}$.

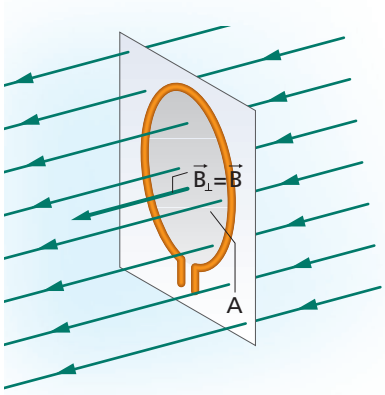
Il **flusso del campo magnetico** attraverso il circuito è uguale al prodotto dell'area $A$ del circuito per il modulo $B_\perp$ del vettore componente del campo magnetico perpendicolare al circuito:

$$\Phi = AB_\perp$$

flusso (Wb) — area ($m^2$) — componente di $\vec{B}$ perpendicolare al circuito (T)

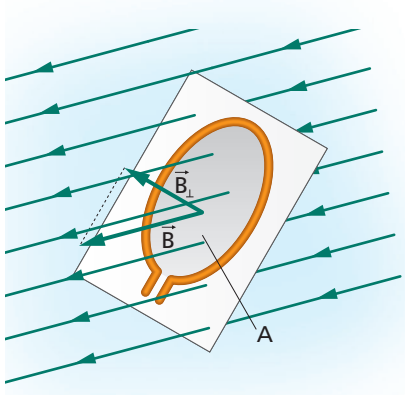
Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

▶ Quando il campo magnetico è perpendicolare alla spira, si ha $B_\perp = B$: il flusso del campo magnetico ha valore massimo.



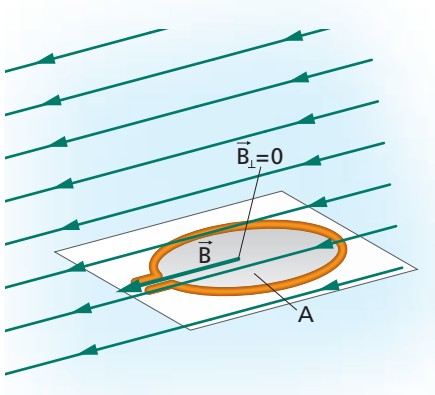

**A** $\vec{B}$ perpendicolare alla superficie

▶ Quando il campo magnetico è obliquo rispetto alla spira, $B_\perp$ è minore di $B$. Quindi il valore del flusso è minore rispetto al caso precedente.

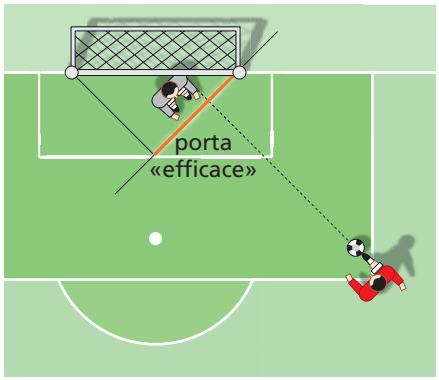



**B** $\vec{B}$ obliquo rispetto alla superficie

▶ Quando il campo magnetico è parallelo alla spira, si ha $B_\perp = 0$: in questo caso il flusso del campo magnetico è nullo.




**C** $\vec{B}$ parallelo alla superficie




Il flusso del campo magnetico esprime con un numero la «facilità» con cui le linee del campo magnetico attraversano la superficie. Come in un tiro in porta (figura a sinistra), la facilità è massima quando il tiro è perpendicolare alla porta e diminuisce sempre di più quando l'angolo tra la porta e la direzione del tiro diminuisce.

L'unità di misura del prodotto $AB_\perp$ è tesla per metro quadrato ($T \cdot m^2$). Nel Sistema Internazionale questa unità è detta anche weber (simbolo Wb):

$$1\ Wb = 1\ T \cdot m^2.$$

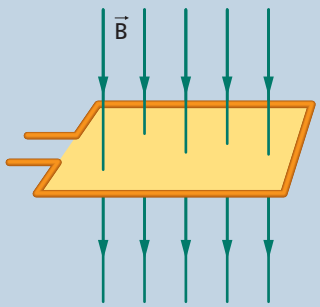
## Il segno del flusso

Per decidere se $\Phi$ è maggiore o minore di zero, dobbiamo scegliere qual è la faccia «positiva» della superficie. Per fissare le idee, possiamo immaginare di colorare di giallo la faccia scelta.

Per definizione, è positivo il flusso $\Phi$ di un campo magnetico le cui linee *escono* dalla faccia positiva della superficie.

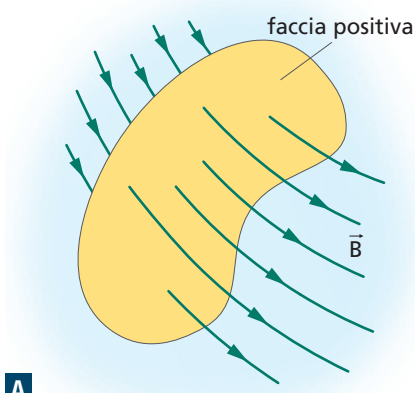
**DOMANDA**

Un campo magnetico di 0,021 T entra nella faccia positiva di un circuito di area 7,6 $cm^2$.



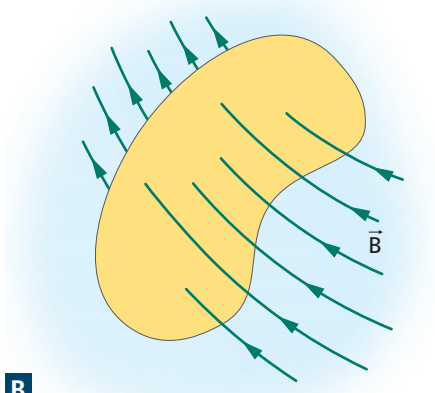

▶ Calcola il flusso del campo magnetico.

▶ In questo caso $\Phi$ è positivo, perché le linee di campo magnetico *escono* dalla faccia positiva della superficie.




**A** flusso positivo

▶ Invece, $\Phi$ è negativo quando le linee del campo magnetico entrano nella faccia positiva ed escono da quella negativa.




**B** flusso negativo



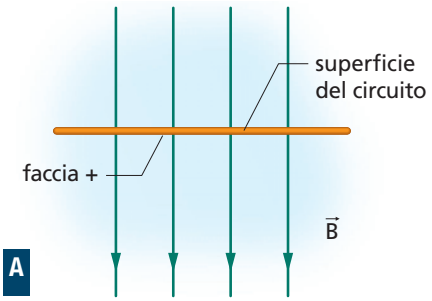
Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

## 3. LA LEGGE DI FARADAY-NEUMANN

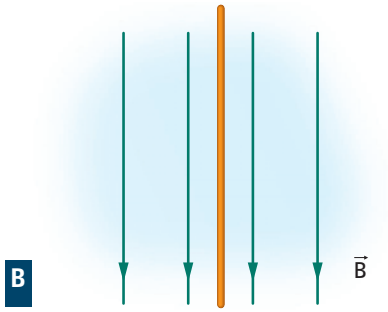
Nasce una corrente indotta ogni volta che si ha una variazione del flusso magnetico attraverso la superficie di un circuito. Per esempio,

- quando si muove in su e in giù una calamita in una bobina, la variazione del campo magnetico della calamita fa variare il flusso;
- quando si ruota un circuito in un campo magnetico, il flusso è:

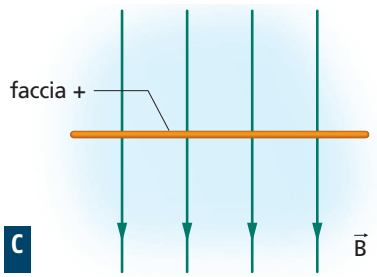
▸ positivo e massimo, quando le linee del campo escono perpendicolari dal circuito;




▸ zero, quando le linee del campo sono parallele alla superficie del circuito;




▸ negativo e minimo, quando le linee del campo entrano perpendicolari nel circuito.




Se c'è una corrente indotta, ci deve essere una forza elettromotrice (indotta) che la produce. Molti esperimenti, condotti alla metà dell'Ottocento, hanno portato alla legge dell'induzione elettromagnetica, detta **legge di Faraday-Neumann**:

il valore della **forza elettromotrice indotta** è uguale al rapporto tra la variazione del flusso del campo magnetico e il tempo necessario per avere tale variazione:

forza elettromotrice indotta (V) — variazione del flusso (Wb)

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

intervallo di tempo (s)

Se la resistenza elettrica del circuito è $R$, la prima legge di Ohm ci permette di calcolare anche l'intensità della corrente indotta:

$$i = \frac{f_{em}}{R} = \frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Muovere un magnete, variare una corrente, deformare un circuito oppure ruotarlo sono operazioni diverse che generano in un circuito una variazione del flusso di $\vec{B}$ e, quindi, una corrente indotta.

La legge dell'induzione elettromagnetica semplifica il quadro: essa afferma che, indipendentemente dai dettagli, la sola cosa che conta è la rapidità con cui varia il flusso del campo magnetico attraverso il circuito.

Pertanto, per avere correnti indotte intense occorre variare il flusso di molto in poco tempo, per esempio cambiando velocemente il campo magnetico nella zona dove si trova il circuito, oppure variando rapidamente l'orientazione del circui-to rispetto alle linee del campo.

Burndy Library

**Franz Ernst Neumann** (1798-1895), fisico tedesco. Ha espresso in forma matematica la legge dell'induzione elettromagnetica.

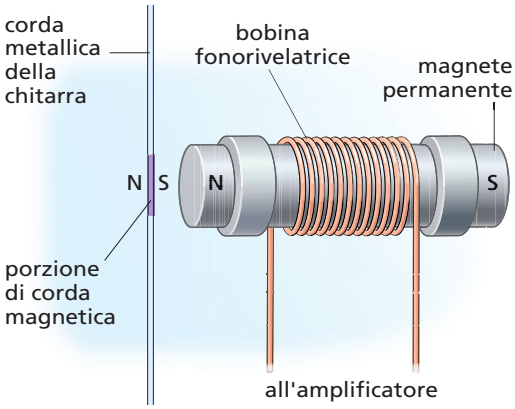
**CHE COSA DICE LA FORMULA**

Per generare una grande forza elettromotrice indotta occorre avere una grande variazione di flusso magnetico, che avviene in un tempo piccolo. Se aumenta $\Delta\Phi$ la forza elettromotrice indotta diventa più grande; se aumenta $\Delta t$ diventa più piccola.

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Shutterstock, I. Sapiro

Il fenomeno dell'induzione elettromagnetica è alla base del funzionamento del *pick-up* delle chitarre elettriche (fotografia a lato). Come è mostrato nella figura seguente, esso è composto da un magnete permanente attorno a cui è avvolta una bobina.



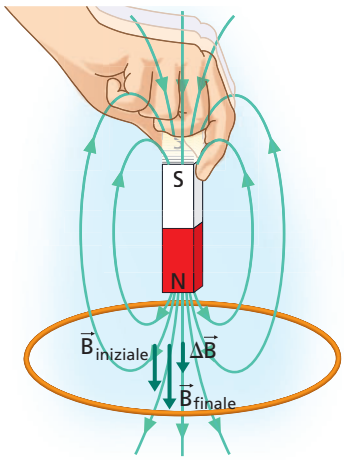

Le corde della chitarra sono costruite con un materiale adatto, che viene magnetizzato. Così l'oscillazione della corda crea un campo magnetico variabile nella bobina che, a sua volta, genera una corrente elettrica che riproduce il movimento della corda. È questo il segnale che viene inviato all'amplificatore e che genera il caratteristico suono della chitarra elettrica.

**DOMANDA**

In 0,025 s il flusso magnetico attraverso un circuito passa da $2,3 \times 10^{-4}$ Wb a $6,8 \times 10^{-4}$ Wb.

▶ Calcola il valore della forza elettromotrice indotta nel circuito nell'intervallo di tempo.

## 4. IL VERSO DELLA CORRENTE INDOTTA



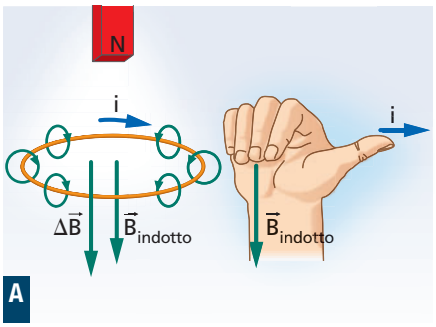

Quando una calamita si avvicina a un circuito (figura a sinistra), il campo magnetico prodotto dalla calamita sulla superficie del circuito aumenta. Chiamiamo $\Delta\vec{B}$ questa variazione del campo magnetico $\vec{B}$ in un punto generico della superficie del circuito: $\Delta\vec{B} = \vec{B}_{finale} - \vec{B}_{iniziale}$.

La variazione del flusso magnetico produce una corrente indotta che, a sua volta, genera un proprio campo magnetico. Ci sono quindi due campi magnetici:

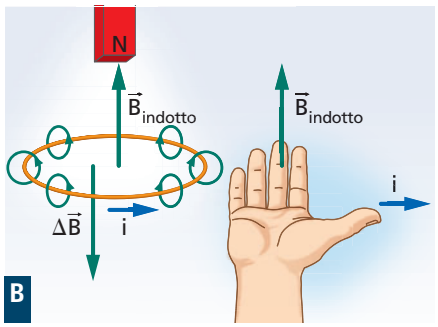
- il campo magnetico della calamita $\vec{B}$, che crea la variazione di flusso,
- il campo magnetico $\vec{B}_{indotto}$ dalla corrente indotta.

Qual è il verso della corrente indotta? Tenendo conto che questi due campi si sommano come vettori esaminiamo le due possibilità:

▶ se la corrente indotta circola in senso orario, $\vec{B}_{indotto}$ è diretto verso il basso e rinforza l'aumento di $\vec{B}$ ($\Delta\vec{B}$);




▶ se invece la corrente indotta va in senso antiorario, $\vec{B}_{indotto}$ è diretto verso l'alto e contrasta l'aumento di $\vec{B}$ ($\Delta\vec{B}$).




**Verso delle linee di campo**

Per trovare il verso delle linee di campo circolari:

- si punta il pollice della mano destra nel verso della corrente;
- le dita si chiudono attorno al filo nel verso del campo magnetico.



Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

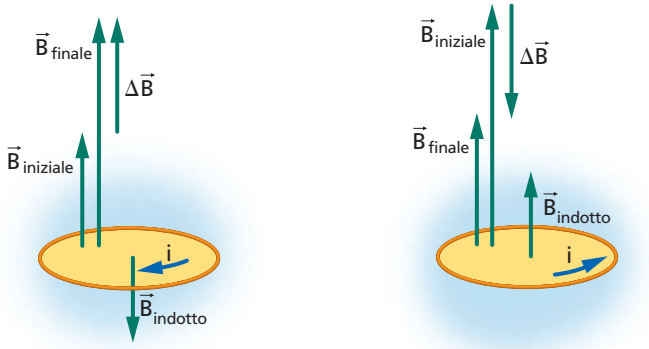
Nel primo caso, il campo indotto accentuerebbe l'aumento del flusso totale, il quale, a sua volta, creerebbe una corrente indotta più intensa e quindi un nuovo campo magnetico indotto, innescando un processo senza fine. Si otterrebbe così una corrente elettrica, e cioè energia elettrica, gratis, in contrasto con il principio di conservazione dell'energia.

Poiché questo non è possibile, la corrente indotta deve circolare in senso antiorario, in modo da contrastare l'aumento del campo della calamita.

Quindi il principio di conservazione dell'energia determina il verso della corrente indotta. Secondo la **legge di Lenz**:

> il **verso della corrente indotta** è sempre tale da opporsi alla variazione di flusso che la genera.

Questa legge, che prende il nome dal fisico russo Emilij Kristianovič Lenz (1804-1865) (figura a sotto), dice che




- una corrente indotta, causata da un *aumento* del flusso di un campo magnetico esterno $\vec{B}$ (figura sopra a sinistra: $\Delta B > 0$), genera un proprio campo magnetico indotto, $\vec{B}_{indotto}$, che ha verso opposto a quello di $\vec{B}_{iniziale}$;
- una corrente indotta, causata da una *diminuzione* del flusso di un campo magnetico esterno $\vec{B}$ (figura sopra a destra: $\Delta B < 0$), genera un proprio campo magnetico indotto, $\vec{B}_{indotto}$, che ha lo stesso verso di $\vec{B}_{iniziale}$.

online.zanichelli.it/amaldi
**ANIMAZIONE**
- La legge di Lenz (3 minuti)

## L'autoinduzione e la mutua induzione

Fino a questo momento abbiamo sempre esaminato il caso di un circuito indotto che risente dell'azione di un campo magnetico esterno, generato per esempio da un magnete permanente.

Però un circuito percorso da corrente produce un campo magnetico che, a sua volta, genera un flusso magnetico attraverso il circuito stesso. Quando la corrente varia il flusso cambia e si ha il fenomeno dell'**autoinduzione**.

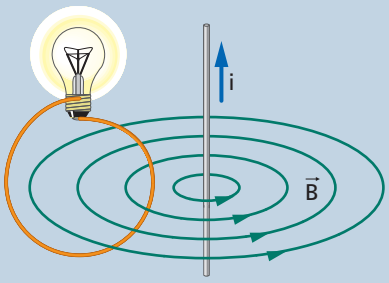
Inoltre, due circuiti vicini possono produrre campi magnetici che generano flussi magnetici nell'altro circuito; allorché la corrente in uno dei circuiti varia si osserva il fenomeno della **mutua induzione**.

online.zanichelli.it/amaldi
**APPROFONDIMENTO**
- L'autoinduzione e la mutua induzione (3 pagine)

**DOMANDA**

La corrente che fluisce nel filo rettilineo della figura sotto diminuisce nel tempo.

▶ Qual è il verso della corrente indotta nella spira circolare a sinistra del filo?




Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

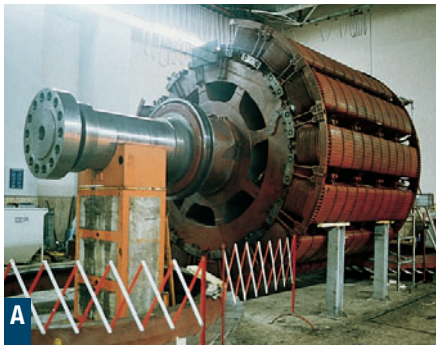
## 5. L'ALTERNATORE

La corrente elettrica che usiamo nelle nostre case è generata nelle centrali elettriche dagli *alternatori*, che sono un'applicazione della legge sperimentale dell'induzione elettromagnetica.

Un **alternatore** è un dispositivo che trasforma energia cinetica in energia elettrica.

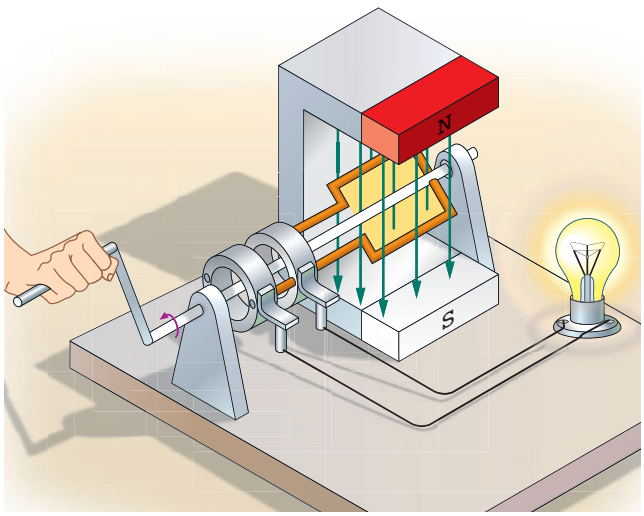
Vi sono alternatori grandi come quelli di una centrale elettrica e piccoli come la dinamo della bicicletta.

▶ In una centrale elettrica l'alternatore è mantenuto in movimento dalla rotazione di una turbina.



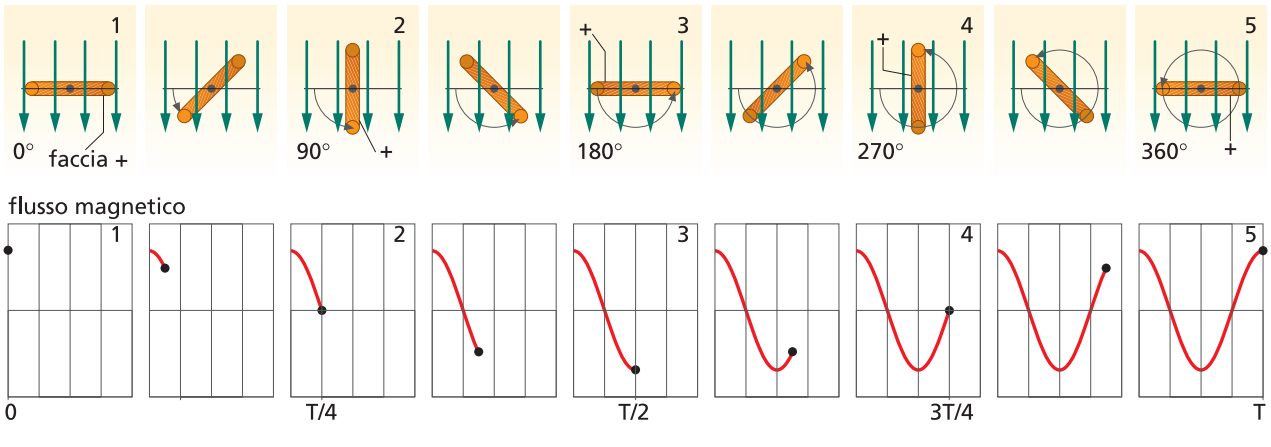

▶ L'alternatore di un'automobile, che alimenta la batteria, è mantenuto in movimento dal motore.

▶ La dinamo di una bicicletta, che fa accendere le luci, è mantenuta in movimento dal moto della ruota.




In linea di principio un alternatore è costituito da una spira che viene fatta ruotare all'interno di un campo magnetico (figura a sinistra). La diversa orientazione della spira fa sì che il flusso magnetico vari continuamente, generando così una corrente indotta. Per la legge di Faraday-Neumann, più rapidamente muoviamo la spira, maggiore è la forza elettromotrice e quindi anche la corrente indotta nella spira. Seguendo il moto della spira, vista in sezione nella figura sotto, il flusso:

1) all'inizio è massimo quando l'angolo tra il campo $\vec{B}$ e la perpendicolare della spira vale 0°,
2) è uguale a zero a 90°,
3) diventa minimo (cioè negativo) a 180°, perché le linee del campo magnetico entrano nella faccia positiva,
4) si annulla di nuovo a 270°,
5) torna massimo a 360° nella posizione di partenza.






Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Il flusso magnetico che varia, come mostrato nella figura della pagina precedente, produce una **tensione alternata**, che cambia continuamente valore, ma si ripete sempre uguale dopo un periodo $T$, che è il tempo impiegato dalla spira a fare un giro completo.

Questa tensione alternata provoca una **corrente alternata** che scorre con intensità variabile, per metà periodo in un senso e per l'altra metà periodo nel senso opposto.

## Il valore efficace della tensione

Di solito si dice che nell'impianto elettrico domestico si ha una *tensione* (cioè una forza elettromotrice) di 220 V. Che cosa significa questo numero visto che il valore della forza elettromotrice alternata varia continuamente?

Il valore di 220 V è, in realtà, una quantità convenzionale che si chiama *valore efficace* della tensione.

**Generatore ideale**
Per semplicità, consideriamo nulla la resistenza interna dell'alternatore. In questo modello semplificato forza elettromotrice e tensione coincidono.

Il **valore efficace di una tensione alternata** è il valore di una tensione continua che, circolando attraverso una resistenza, fornirebbe la stessa energia ottenuta mediante la tensione alternata.

Per esempio realizziamo lo stesso riscaldamento sia collegando una stufetta elettrica alla tensione *alternata* dell'impianto elettrico di casa, sia collegando la stessa stufa a una tensione *continua* di 220 V.

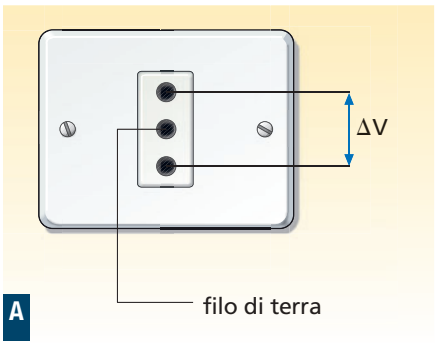
Si dimostra che, in una corrente alternata, il valore massimo $V_0$ della tensione e il suo valore efficace $V_{eff}$ sono legati dalla relazione

$$V_{eff} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}.$$

Quindi, se il valore efficace della tensione è 220 V, significa che la tensione tra i due conduttori delle prese elettriche ha un valore massimo

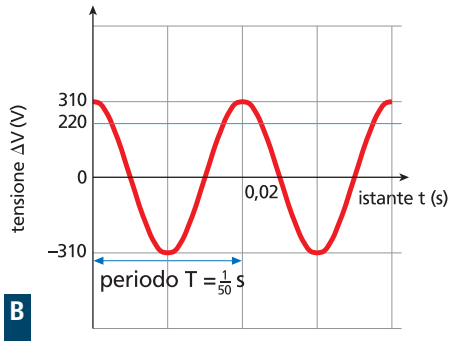
$$V_0 = \sqrt{2}\, V_{eff} = \sqrt{2} \times 220\ \text{V} = 310\ \text{V}.$$

▶ Ai capi di una presa dell'impianto elettrico la tensione alternata $\Delta V$ varia continuamente da +310 V a −310 V.



A

▶ Essa varia con un periodo di 1/50 s. Quindi gli alternatori nelle centrali ruotano alla frequenza di 50 giri al secondo.



B

## Il valore efficace della corrente

Il **valore efficace di una corrente alternata** è l'intensità di una corrente continua che, circolando attraverso una resistenza, fornirebbe la stessa energia liberata dalla corrente alternata.

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**Ampiezza**
Il valore massimo della forza elettromotrice alternata o della corrente alternata è detto anche «ampiezza».

Se indichiamo con $i_0$ il valore massimo di una corrente oscillante e con $i_{eff}$ il suo valore efficace, vale la relazione

$$i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}.$$

Per un resistore di resistenza $R$ attraversato da una corrente alternata vale la prima legge di Ohm, che si può esprimere in due modi:

- in ogni istante la tensione $V$ e l'intensità di corrente $i$ sono direttamente proporzionali: $V = Ri$;
- la tensione efficace è direttamente proporzionale alla corrente efficace: $V_{eff} = R\, i_{eff}$.

In maniera analoga a quanto accade con la corrente continua, la potenza *media* erogata da una corrente alternata, che circola attraverso una resistenza $R$, vale $i_{eff}\, V_{eff}$ e può essere scritta nella forma

potenza media (W) — $P = R\, i_{eff}^2$ — resistenza Ω; corrente efficace (A)

online.zanichelli.it/amaldi

**APPROFONDIMENTO**

- **Il circuito capacitivo in corrente alternata** (3 pagine)

**DOMANDA**

Una corrente alternata oscilla tra un valore massimo di 1,18 A e un valore minimo di −1,18 A.
► Qual è il valore efficace della corrente?

## Il condensatore e la corrente alternata

In corrente continua, un condensatore di capacità $C$ assorbe corrente fino a quando non si è caricato, dopo di che si comporta come un circuito aperto.

In corrente alternata, invece, un'armatura del condensatore è collegata a un estremo del generatore che si comporta in modo alterno come polo positivo o negativo. Così, nel tratto di filo che collega l'alternatore con l'armatura si ha sempre un movimento di cariche in un verso e poi nel verso opposto.

In un circuito che contiene soltanto un generatore (con frequenza $f$ e tensione efficace $V_{eff}$) e un condensatore (di capacità $C$), ciò determina l'esistenza di una corrente alternata con valore efficace

$$i_{eff} = 2\pi C f\, V_{eff}$$

# 6. LE CENTRALI ELETTRICHE

La tensione alternata che giunge nelle nostre case è prodotta dalle centrali elettriche.

Una **centrale elettrica** è un impianto che trasforma in energia elettrica altre forme di energia.

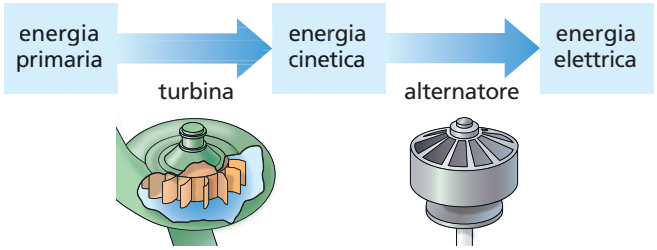
Una centrale è caratterizzata dalla sua *energia primaria*, cioè dal tipo di energia che essa ha a disposizione per la produzione di energia elettrica. Possiamo quindi distinguere:

- centrali **idroelettriche**, che utilizzano come energia primaria l'energia potenziale gravitazionale immagazzinata in bacini pieni d'acqua e posti ad alta quota;
- centrali **termoelettriche**, che utilizzano l'energia prodotta dalla combustione di vari tipi di combustibili (gasolio, metano, carbone, biomassa, rifiuti…);
- centrali **nucleari**, che utilizzano l'energia liberata dalla fissione (cioè dalla rottura) di nuclei di uranio;
- centrali **geotermiche**, che utilizzano il calore prelevato direttamente dal sottosuolo;
- centrali **solari a specchi**, che utilizzano l'energia radiante del Sole;


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

- centrali **fotovoltaiche**, che sfruttano direttamente la luce del Sole;
- centrali **eoliche**, che utilizzano l'energia del vento.

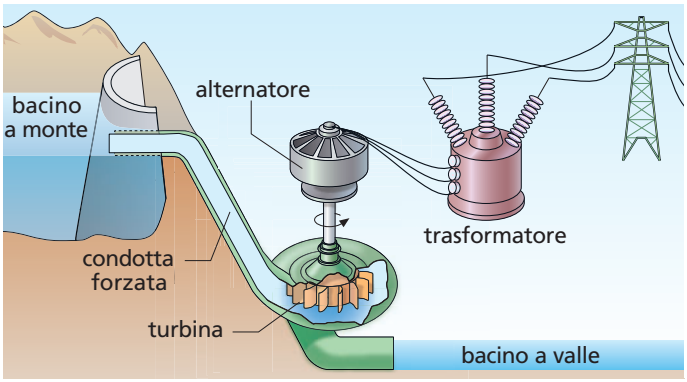
Tutte queste centrali (tranne quelle fotovoltaiche) hanno una struttura simile (figura sotto): trasformano l'energia primaria in energia cinetica di rotazione di una turbina, che è una ruota a cui sono agganciate delle pale su cui è inviato un getto d'acqua o di vapore. A sua volta, la turbina fa ruotare l'alternatore che produce l'energia elettrica.




## Centrali idroelettriche

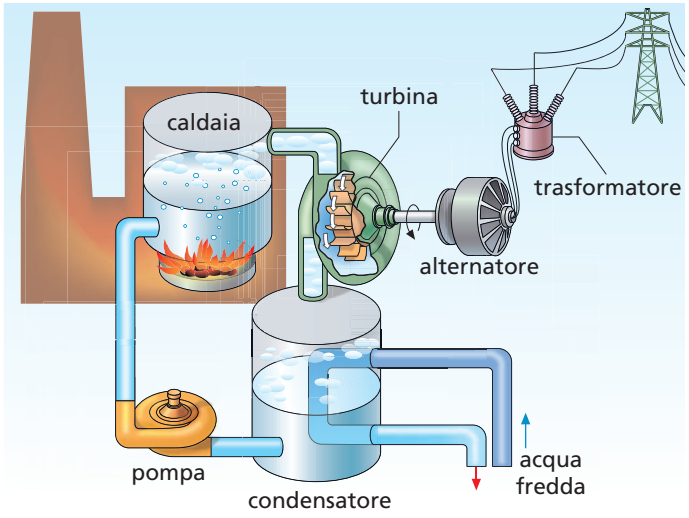
L'acqua, che si trova in un bacino a monte della centrale (figura sotto), è immessa nelle condotte forzate, dove acquista un'alta velocità. Nella centrale, il flusso d'acqua mette in rotazione una turbina, a cui è collegato l'alternatore che produce energia elettrica. Tipicamente una grande centrale idroelettrica produce una potenza di 1 gigawatt (1 GW = $10^9$ W).

Joe Gough/Shutterstock




## Centrali termoelettriche

In una centrale termoelettrica la turbina è messa in moto da un getto di vapore, che si ottiene riscaldando dell'acqua in una caldaia (figura sotto). Nella caldaia si brucia petrolio, metano o carbone.

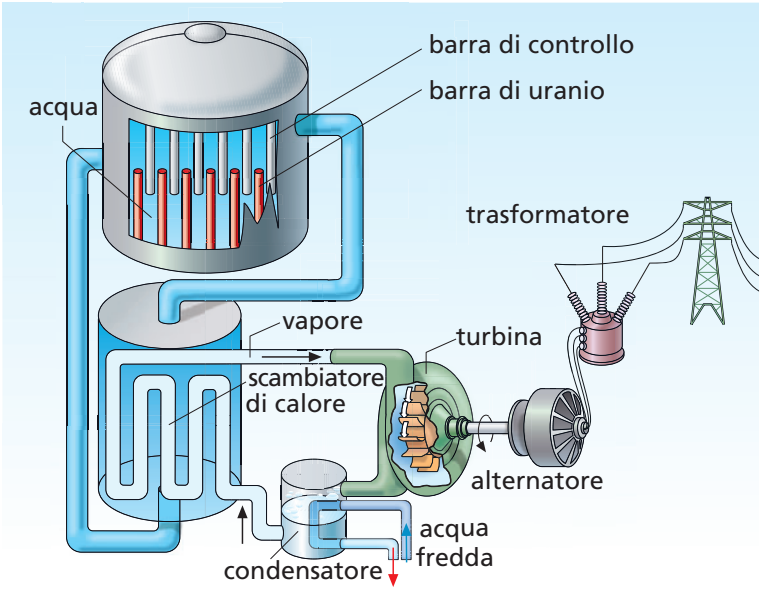



Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

All'uscita della turbina, il vapore passa in un condensatore, dove è raffreddato e torna allo stato liquido. Infine, l'acqua ritorna nella caldaia, dove ricomincia il ciclo. La necessità di raffreddare il vapore mediante acqua fredda fa sì che le centrali termoelettriche siano poste vicino ai fiumi o al mare. Una grande centrale termoelettrica policombustibile produce quasi 3 GW.

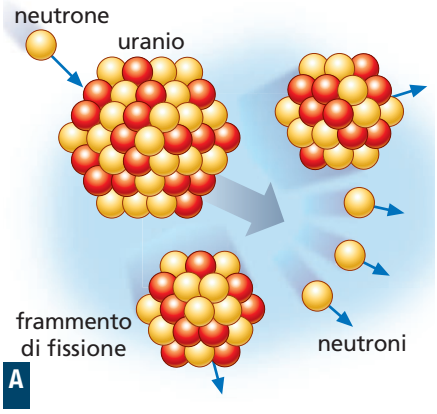
## Centrali nucleari

Anche in una centrale nucleare la turbina è messa in moto da un getto di vapore che si ottiene riscaldando dell'acqua (figura sotto). Tuttavia, a differenza delle centrali termoelettriche, non c'è niente che brucia: il calore esce dalle barre di uranio, al cui interno hanno luogo reazioni nucleari di fissione.

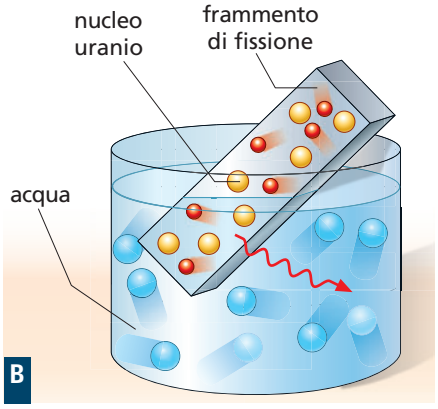



I nuclei di uranio, quando sono bombardati da neutroni (particelle neutre simili ai protoni) si spaccano in due frammenti.

▶ Da questa fissione, cioè spaccatura, nascono due o tre neutroni che, a loro volta, possono fissionare altri nuclei di uranio.




▶ I frammenti della fissione perdono la loro energia cinetica, perché sono frenati negli urti con gli atomi della barra.




Questo fa aumentare la temperatura delle barre di uranio e quella dell'acqua, nella quale le barre sono immerse. Infine, l'acqua calda, che circola in un circuito chiuso, scalda altra acqua attraverso uno scambiatore di calore. Quest'altra acqua si trasforma in vapore, che fa ruotare la turbina.


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Per tenere sotto controllo il numero di fissioni nucleari, che avvengono ogni secondo, tra le barre di uranio si muovono le barre di controllo, che assorbono neutroni impedendo loro di innescare nuove fissioni.

La potenza prodotta da una centrale nucleare è dell'ordine di 1 GW.

### Fonti rinnovabili di energia elettrica

Combustibili fossili (petrolio, gas naturale, carbone) e uranio sono fonti energetiche non rinnovabili perché, una volta esaurite, non possono essere reintegrate. Vi sono anche **fonti energetiche rinnovabili**, cioè prodotte in continuazione dagli eventi naturali.

Per esempio, l'acqua in un bacino a monte di una centrale idroelettrica è una fonte rinnovabile, perché è continuamente reintegrata dalle piogge e dallo scioglimento della neve. Sono anche fonti rinnovabili:

- il calore dall'interno della Terra che alimenta le centrali geotermiche (la più grande in Italia ha una potenza di 0,12 GW);
- la forza del vento nelle centrali eoliche, formate da un grande numero di mulini (la potenza di un mulino è 0,006 GW);
- la luce del Sole utilizzata nelle centrali fotovoltaiche (le più grandi delle quali producono 0,06 GW di potenza).

A

ENEA, Roma 1992

B

irabel8/Shutterstock

C

pmphoto/Shutterstock

Esistono inoltre le centrali a biomassa, che utilizzano l'etanolo o il metano prodotti dal trattamento dei residui organici.

Quando si confrontano i diversi tipi di centrali elettriche, è necessario tenere presente quanta potenza ciascuno di essi può sviluppare. Per esempio, una centrale nucleare produce una potenza quasi duecento volte maggiore di quella di un mulino a vento.

**DOMANDA**

- Con quali tipi di centrali è prodotta l'energia elettrica in Italia? Fai una ricerca su Internet, usando un motore di ricerca nel quale immetti le locuzioni «centrali termoelettriche», «impianti idroelettrici» e «fonti rinnovabili».

## 7. IL TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

L'energia elettrica non va soltanto prodotta, ma anche trasportata dalla centrale fino agli utilizzatori, che possono essere distanti anche centinaia di kilometri.

Il trasporto dell'energia elettrica alternata avviene mediante fili metallici, che hanno una propria resistenza $R$. Nel paragrafo 5 abbiamo visto che la potenza media dissipata in calore attraverso una resistenza è data dalla formula

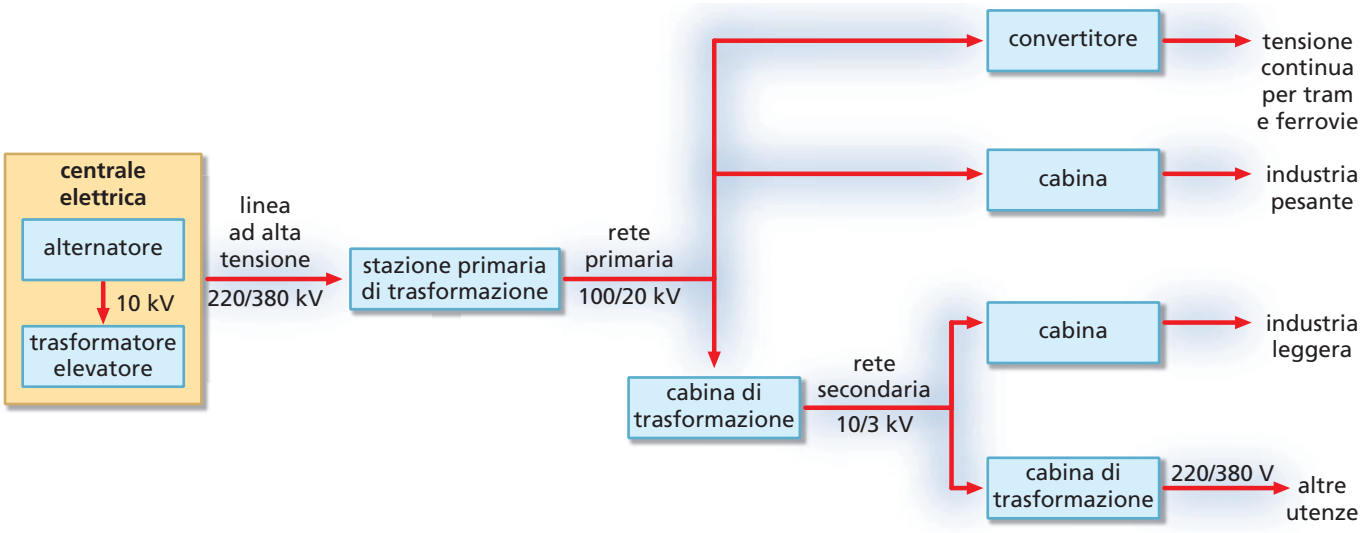
$$P = R\, i_{eff}^2.$$

Se vogliamo sprecare poca energia elettrica mentre la trasportiamo, abbiamo bisogno che la potenza dissipata $P$ sia più piccola possibile. Per ottenere questo risultato occorre che le due grandezze $R$ e $i_{eff}$ siano molto piccole.

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

- Per la seconda legge di Ohm, è possibile fare in modo che $R$ sia piccolo costruendo i fili delle linee elettriche con metalli che siano buoni conduttori di elettricità (cioè, che abbiano una resistività bassa); inoltre, anche la sezione del filo deve essere abbastanza grande (ma non può crescere più di tanto, perché le linee diventerebbero troppo pesanti e costose).
- Per rendere piccolo $i_{eff}$ occorre fare ricorso ai trasformatori, che abbassano l'intensità di corrente e aumentano di molto la tensione. È per questo che l'energia elettrica è trasportata mediante linee ad alta tensione (da 220 kV a 380 kV). Tipicamente, la tensione generata dall'alternatore è di 10 kV, ma già all'interno della centrale un trasformatore innalza la tensione fino al valore conveniente per il suo trasporto.

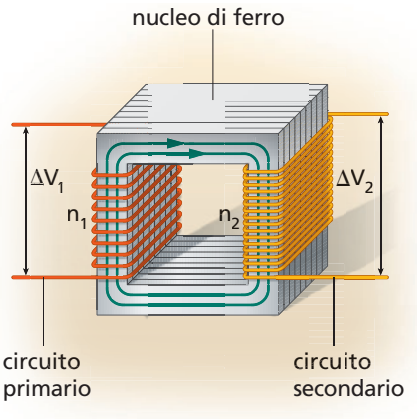
La figura sotto illustra le diverse trasformazioni della tensione elettrica alternata dalla centrale di produzione fino alle utenze finali.




**DOMANDA**

► Di quanto diminuisce la potenza media dissipata in una linea di distribuzione elettrica se si riduce di 4 volte il valore di $i_{eff}$?

## 8. IL TRASFORMATORE




I trasformatori servono per innalzare e abbassare la tensione nella rete di distribuzione dell'energia elettrica. Sono utilizzati anche negli alimentatori di dispositivi elettronici, per esempio i telefoni cellulari, che si ricaricano con una tensione molto minore dei 220 V della rete elettrica.

Il **trasformatore** è un dispositivo capace di modificare il valore della tensione e della corrente.

È composto da un nucleo di ferro, che convoglia le linee del campo magnetico, e da due bobine (figura a sinistra).

- Il *circuito primario* genera un campo magnetico che varia con la corrente alternata e passa attraverso la spira dell'altra bobina.
- Di conseguenza, nel *circuito secondario* si genera una corrente indotta.

Il circuito primario è formato da $n_1$ spire, mentre quello secondario è formato da $n_2$ spire.


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Se indichiamo con $V_{1eff}$ il valore efficace della tensione in ingresso nel trasformatore e con $V_{2eff}$ il valore efficace di quella in uscita, dalla legge di Faraday-Neumann si ricava la seguente relazione:

tensione efficace in uscita (V) — numero di spire del secondario

$$V_{2eff} = V_{1eff}\frac{n_2}{n_1}$$

tensione efficace in ingresso (V) — numero di spire del primario

**CHE COSA DICE LA FORMULA**

Se $n_2$ è più grande di $n_1$ il trasformatore innalza la tensione; se $n_2$ è minore di $n_1$ la tensione viene abbassata.

Quindi, costruendo il trasformatore con un numero opportuno di spire nei due circuiti, è possibile modificare il valore della tensione alternata nel modo che si desidera. Il numero

$$\frac{n_2}{n_1}$$

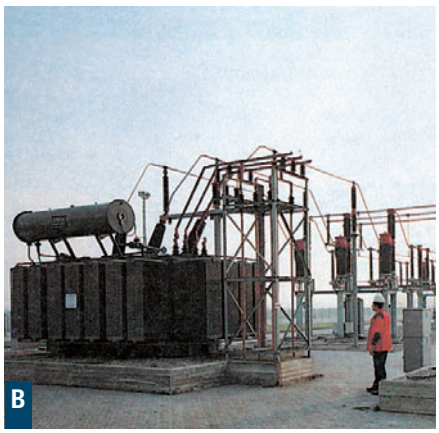
si chiama **rapporto di trasformazione**.
I trasformatori possono avere caratteristiche e dimensioni molto diverse tra loro.

▶ Un piccolo trasformatore di uso domestico abbassa la normale tensione di 220 V fino a valori di pochi volt.

A

Elena Jole, Cesena, 2004

▶ La figura sotto mostra un trasformatore capace di convertire la tensione alternata da 132 kV a 15 kV.


B

ENEL, Roma 1991

## La trasformazione delle correnti

Indichiamo con $i_{1eff}$ e $i_{2eff}$, rispettivamente, i valori efficaci delle correnti alternate in ingresso nel trasformatore e in uscita da esso. Dal principio di conservazione dell'energia si dimostra che

i valori efficaci delle correnti sono inversamente proporzionali a quelli delle tensioni:

$$\frac{i_{2eff}}{i_{1eff}} = \frac{V_{1eff}}{V_{2eff}}$$

Così, mantenendo la tensione e la corrente all'ingresso nel trasformatore, passando a tensioni piccole si generano correnti di grande intensità, mentre con alte tensioni si producono correnti di intensità piccola.

**DOMANDA**

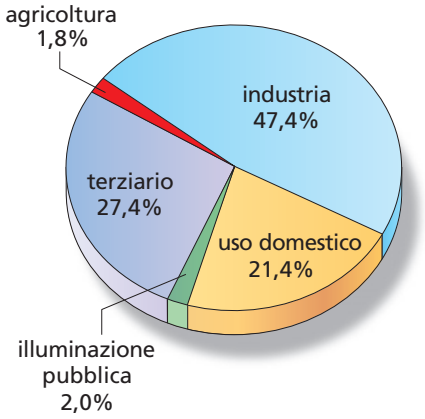
Vogliamo costruire un trasformatore che faccia passare dal normale valore efficace della tensione pari a 220 V, a un nuovo valore efficace pari a 25 V. La bobina del circuito primario è composta da 600 spire.

▶ Con quante spire dobbiamo costruire la bobina del circuito secondario?

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

# 9. IL CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA

La figura sotto mostra la ripartizione dei consumi elettrici in Italia nel 2008.

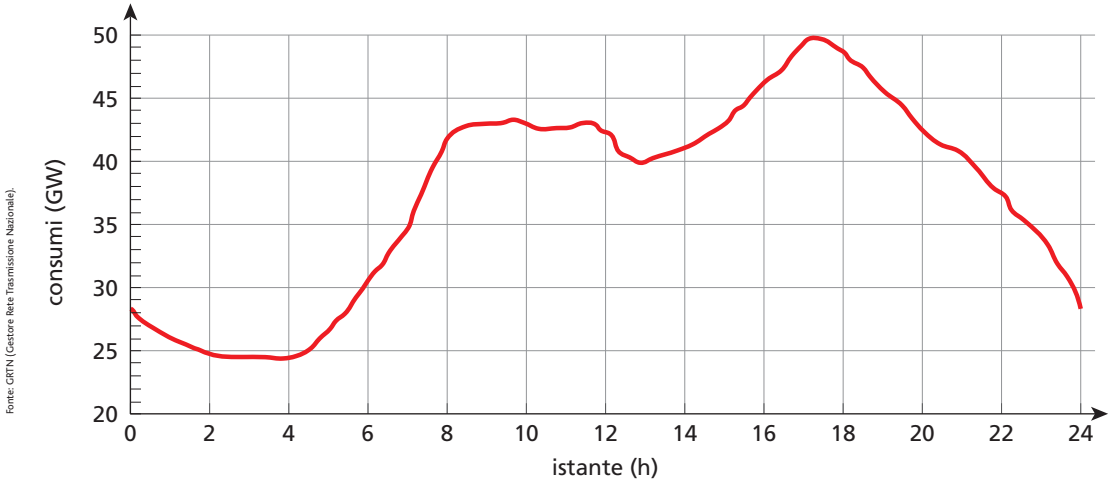



Quasi la metà dell'energia elettrica è usata dalle industrie, che la usano per produrre beni materiali, dalla pasta alle automobili. Meno di un quarto è consumato nelle case, per illuminarle e far funzionare gli elettrodomestici.

Anche se l'energia si misura normalmente in joule, è abituale esprimere i consumi elettrici in *kilowattora* (1 kWh = 3,6 MJ, cioè quasi 4 milioni di joule).

## La domanda e l'offerta di potenza

La figura seguente mostra come varia in Italia la domanda di potenza elettrica (energia elettrica al secondo) nelle diverse ore di una giornata. La potenza si misura in watt (W); nel grafico, la potenza richiesta dall'intera nazione è espressa in miliardi di watt (GW). In questo esempio, tra il valore minimo (richiesto verso le 4:00 di mattina) di 24 GW e quello massimo (richiesto verso le 18:00) di 49 GW, si ha un aumento di 23 GW (quasi il 100% dei 24 GW iniziali).




Fonte: GRTN (Gestore Rete Trasmissione Nazionale).

Non esistono metodi economici ed efficaci per immagazzinare grandi quantità di energia elettrica. Il massimo che si può fare è ripompare acqua dai bacini a valle fin a quelli a monte delle centrali idroelettriche. In pratica, quasi tutta la potenza deve essere prodotta quando gli utenti ne fanno richiesta. Quindi,

> la potenza erogata dalle centrali elettriche deve essere grosso modo uguale a quella richiesta dagli utenti.



Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

Questo significa che, nelle diverse ore della giornata, il ritmo di produzione delle centrali deve aumentare o diminuire a seconda delle necessità. Le centrali meno efficienti, quindi, sono messe in funzione dal Gestore della rete soltanto quando è necessario.

Per questo, si impone sempre più l'utilizzo di piccole centrali a turbogas (come quella della figura sotto), che erogano potenze attorno al MW. Esse, infatti, possono facilmente entrare in funzione o arrestarsi, a seconda delle necessità, e possono servire una comunità di mille persone, dato che ogni cittadino italiano consuma, in media, quasi 1 kW.

ENEL, centrale turbogas di Giugliano, 1987

Non tutta l'energia elettrica che utilizziamo è prodotta in Italia: circa il 14% del nostro fabbisogno elettrico è importato dai paesi vicini, come la Francia e la Svizzera, dove rispettivamente il 78% e il 43% dell'energia elettrica è prodotta da centrali nucleari, che in Italia non esistono.

Sia la richiesta di energia elettrica, sia le importazioni dall'estero potrebbero essere ridotte con opportune iniziative di risparmio energetico.

Anche gli utenti privati possono fare molto per evitare sprechi inutili e operare scelte che permettano di svolgere le stesse attività con un consumo elettrico inferiore.

online.zanichelli.it/amaldi

**APPROFONDIMENTO**

- Il risparmio energetico (3 pagine)

**PRINCIPALI GRANDEZZE RELATIVE ALL'ENERGIA ELETTRICA**

| Grandezza | Definizione | Unità di misura |
|---|---|---|
| Energia | Capacità di compiere lavoro | • joule (J)<br>• kilowattora (kWh) |
| Potenza | Energia al secondo | watt (W) |
| Differenza di potenziale (tensione) | Dislivello elettrico (lavoro per unità di carica) | volt (V) |

**DOMANDA**

▶ Fai due letture del contatore dell'energia elettrica a distanza di 24 ore e calcola il consumo di energia elettrica della tua famiglia in una giornata.

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

# I CONCETTI E LE LEGGI

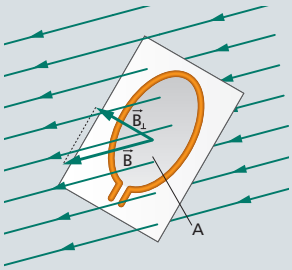
## LA LEGGE DI FARADAY–NEUMANN

Un campo magnetico che varia genera in un circuito privo di generatore una corrente indotta, che dipende dalla rapidità di variazione del campo magnetico, dall'area del circuito indotto e dalla sua orientazione.

### FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO

$$\Phi = AB_{\perp}$$

flusso = (area) × (componente di $\vec{B}$ perpendicolare al circuito)




- È **direttamente proporzionale** all'area del circuito e alla componente del campo magnetico perpendicolare al circuito.
- È **massimo** quando il campo è perpendicolare alla superficie individuata dal circuito; è uguale a zero quando il campo è parallelo alla superficie.
- Esprime con un numero la «facilità» con cui le linee di campo magnetico attraversano la superficie di un circuito.

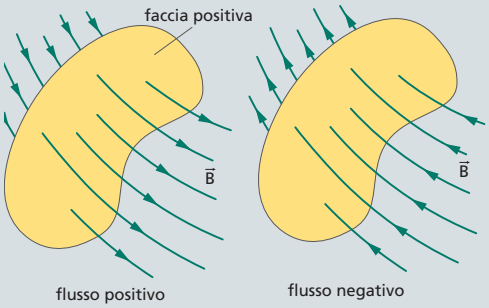
#### UNITÀ DI MISURA

1 Wb = 1 T · m$^2$ (weber)

### SEGNO DEL FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO

Per definizione, **il flusso Φ di un campo magnetico** è:
– positivo se le linee di campo escono dalla faccia positiva della superficie;
– negativo quando le linee di campo entrano nella faccia positiva.

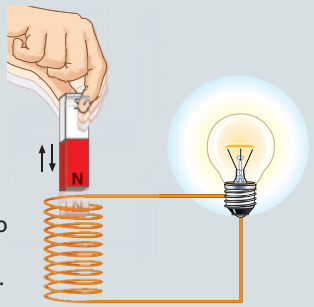
- Per assegnarlo, bisogna scegliere prima qual è la faccia «positiva» della superficie del circuito.




### LEGGE DI FARADAY – NEUMANN

$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

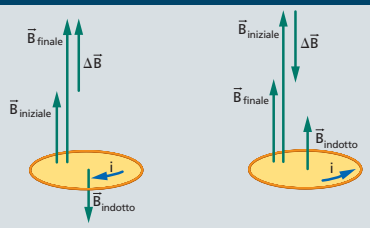
$$\text{forza elettromotrice indotta} = \frac{\text{variazione di flusso}}{\text{intervallo di tempo}}$$




- La forza elettromotrice indotta è uguale al rapporto tra la variazione del flusso del campo magnetico e il tempo necessario per avere tale variazione.
- In un circuito si genera corrente indotta quando cambia il flusso del campo magnetico attraverso di esso.
- Per la legge di Ohm, se $R$ è la resistenza del circuito, la corrente è data da $i = \frac{1}{R}\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

### LEGGE DI LENZ

Il verso della corrente indotta è sempre tale da opporsi alla variazione di flusso che la genera.
- In caso contrario, si violerebbe il principio di **conservazione dell'energia**: se il campo indotto, per esempio, accentuasse un aumento di flusso totale, questo creerebbe una corrente indotta più intensa e quindi un nuovo campo magnetico indotto, innescando un processo senza fine.





Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

online.zanichelli.it/amaldi
Mappa interattiva

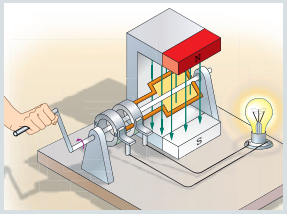
# CORRENTE ALTERNATA E PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

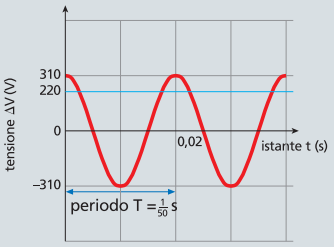
La tensione elettrica degli impianti domestici è generata nelle centrali elettriche dagli *alternatori*, dispositivi che trasformano energia cinetica in energia elettrica e che sono un'applicazione della legge sperimentale dell'induzione elettromagnetica.

## TENSIONE ALTERNATA

È prodotta dall'**alternatore**, in cui una spira rettangolare che ruota all'interno di un campo magnetico: la variazione del flusso di campo magnetico genera nella spira una tensione alternata e una corrente indotta.

- La tensione alternata cambia continuamente valore (oscillando tra un massimo $V_0$ e un minimo $-V_0$), ma si ripete sempre uguale dopo un **periodo** $T$, il tempo impiegato dalla spira a fare un giro completo.






### Valore efficace della tensione alternata

$$V_{eff} = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

$$\text{tensione efficace} = \frac{\text{valore massimo della tensione}}{\sqrt{2}}$$

- È il valore di una **tensione continua** che, circolando attraverso una resistenza, fornirebbe la stessa energia ottenuta mediante la tensione alternata.
- Dire che la tensione domestica è 220 V significa in realtà che $V_{eff} = 220$ V; la tensione domestica varia con un periodo di 1/50 s.

## CORRENTE ALTERNATA

È prodotta da una tensione alternata.

- Scorre con **intensità variabile**.
- Il suo verso cambia ogni metà periodo.

### Valore efficace della corrente alternata

$$i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}}$$

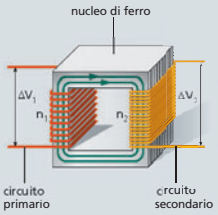
$$\text{corrente efficace} = \frac{\text{valore massimo della corrente}}{\sqrt{2}}$$

- È l'intensità di una corrente continua che, circolando attraverso una resistenza, fornirebbe la stessa energia liberata dalla corrente alternata.
- Permette di scrivere la **potenza media** erogata da una corrente alternata che attraversa una resistenza $R$:

$$\overline{P} = Ri_{eff}^2.$$

## TRASFORMATORE

Dispositivo capace di modificare i valori della tensione e della corrente alternata.




### Tensioni e correnti efficaci

$$V_{2eff} = V_{1eff}\frac{n_2}{n_1}$$

$$\text{tensione efficace 2} = \text{tensione efficace 1} \times \times \frac{\text{numero di spire del secondario}}{\text{numero di spire del primario}}$$

- Il *circuito primario* (1) genera un campo magnetico che varia con la corrente alternata; nel *circuito secondario* (2) si genera una corrente indotta.
- Il rapporto $\frac{n_2}{n_1}$ si chiama **rapporto di trasformazione**.
- I valori efficaci delle correnti sono inversamente proporzionali a quelli delle tensioni: $\frac{i_{2eff}}{i_{1eff}} = \frac{V_{1eff}}{V_{2eff}}$

## CENTRALI ELETTRICHE

- È un impianto che trasforma in energia elettrica altre forme di energia primaria.

## TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

Si utilizzano cavi di grande sezione, fatti con buoni conduttori elettrici. Per rendere piccolo il valore efficace della corrente, si impiegano trasformatori che aumentano la tensione (**linee ad alta tensione**).

- Poiché non esistono modi efficaci per immagazzinare l'energia elettrica, la potenza richiesta dagli utenti deve essere all'incirca uguale a quella erogata dalle centrali.

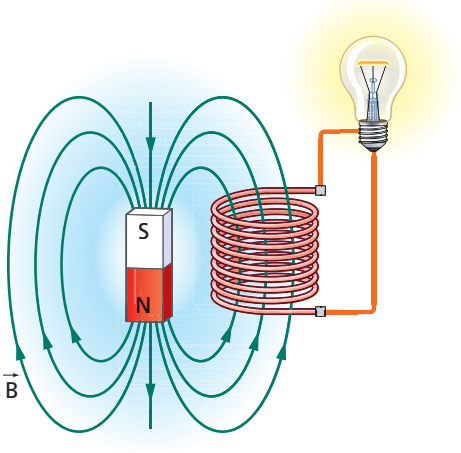
Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

# ESERCIZI

## 1. LA CORRENTE INDOTTA

**1** **Completa le seguenti frasi.**

«Una corrente elettrica genera un ..... . Gli esperimenti evidenziano che anche un ..... ..... genera una ..... elettrica. Infatti se muoviamo una calamita dentro una bobina collegata a un lampadina, osserviamo che la lampadina ..... . Se la calamita sta ferma dentro la bobina, la lampadina ..... .»




**2** **Test.** Si definiscono correnti indotte quelle che:

A generano campi magnetici.
B sono prodotte da generatori di tensione come pile e batterie.
C si producono nei corpi conduttori.
D sono prodotte da campi magnetici che variano.

**3** **Vero o falso?**

a. Una calamita ferma produce correnti elettriche in circuiti posti nelle vicinanze. V F
b. Se un circuito si trova in un campo magnetico che varia, nel circuito si produce una corrente elettrica. V F
c. Una calamita in moto oscillatorio produce correnti indotte che continuano a circolare anche dopo che la calamita si è fermata. V F
d. Se in un circuito varia la corrente, in un circuito vicino e non alimentato si genera un corrente indotta. V F
e. Un circuito si dice *induttore* se al suo interno si generano correnti indotte. V F

## 2. IL FLUSSO DEL CAMPO MAGNETICO

**4** **Test.** Gli esperimenti mostrano che l'intensità della corrente indotta aumenta quando (più di una soluzione è esatta):

A l'area del circuito è più grande.
B la calamita si muove più velocemente rispetto al circuito.
C la calamita è più grande.
D l'orientazione del circuito rispetto al campo cambia più lentamente.
E l'orientazione del circuito rispetto al campo cambia più rapidamente.

**5** **Vero o falso?**

a. L'area e l'orientazione del circuito indotto rispetto al campo magnetico non influenzano le correnti indotte. V F
b. Il flusso del campo magnetico è una grandezza che dipende sia dall'area che dall'orientazione del circuito rispetto al campo magnetico. V F
c. Il flusso del campo magnetico si misura in $T/m^2$. V F
d. Il flusso del campo magnetico attraverso un circuito è massimo quando il campo magnetico è parallelo alla superficie del circuito. V F
e. Quando il campo magnetico è perpendicolare alla superficie del circuito si ha $B_\perp = B$. V F
f. Il campo magnetico si può misurare in $Wb/m^2$. V F
g. Il flusso del campo magnetico può essere negativo. V F
h. Maggiore è il numero di linee di campo che attraversano la superficie di una spira, maggiore è il flusso. V F

**6** **Quesito aperto.**

In una zona $A$ di un campo magnetico il flusso del campo attraverso un dato circuito vale 0,012 Wb. In un'altra zona $B$ del campo il flusso attraverso una seconda superficie vale 0,006 Wb.

▶ Si può dedurre che in $A$ il campo è più intenso che in $B$?

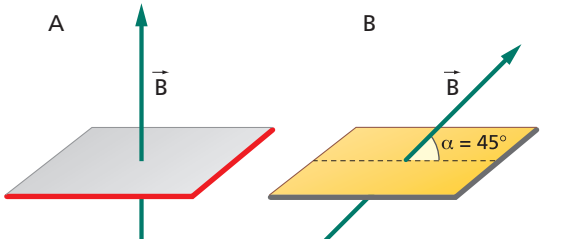
**7** ★☆☆ Una spira circolare ha un'area di 12,6 $cm^2$ ed è immersa in un campo magnetico di 0,0060 T le cui linee di campo sono perpendicolari alla superficie della spira.


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

▶ Calcola il flusso del campo magnetico attraverso la spira. [7,6 × $10^{-6}$ Wb]

**8** ★★☆ Un circuito con la superficie di 4 $cm^2$ è orientato rispetto a un campo magnetico di 2 × $10^{-3}$ T come nelle due situazioni riportate in figura.

▶ Calcola il flusso del campo attraverso il circuito in entrambi i casi.




[−8 × $10^{-7}$ Wb; 6 × $10^{-7}$ Wb]

**9** ★★☆ Un circuito quadrato di lato 10 cm è immerso in un campo magnetico. Le linee del campo formano un angolo di 45° con il piano della spira. In questa posizione il flusso di campo attraverso la superficie è di 7,5 × $10^{-3}$ Wb.

▶ Calcola il campo magnetico che genera il flusso. [1,1 T]

**10** ★★☆ L'area di ognuna delle spire che formano una bobina è pari a 2,0 $cm^2$. La bobina è percorsa da una corrente che genera al suo interno un campo magnetico di 0,25 T. Il flusso del campo attraverso la bobina è di 1,0 Wb.

▶ Calcola il numero di spire della bobina. [2,0 × $10^4$]

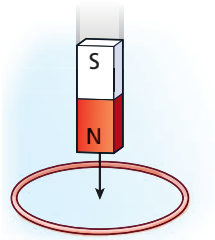
## 3. LA LEGGE DI FARADAY-NEUMANN

**11** **Completa le seguenti frasi.**

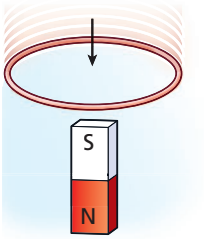
«Le osservazioni mostrano che si crea una corrente ..... ogni volta che attraverso un circuito si ha una variazione del ..... . Tale variazione può essere dovuta sia al cambiamento del ..... che al movimento del .....».

**12** ★☆☆ In quali di queste situazioni si produce una variazione del flusso del campo magnetico attraverso il circuito?

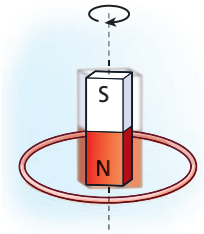
A)



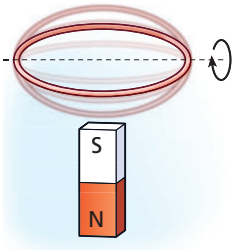

B)




C)




D)




[A] A) [B] A), B) [C] A), B), C) [D] A), B), D) [E] A), D)

**13** **Vero o falso?**

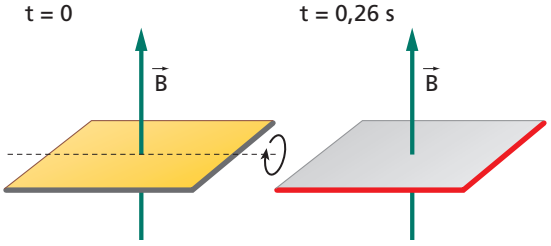
La forza elettromotrice indotta:

a. dà una misura della rapidità con cui varia il flusso del campo magnetico. [V] [F]
b. è inversamente proporzionale all'intervallo di tempo in cui si verifica la variazione di flusso. [V] [F]
b. è costante se il flusso rimane costante. [V] [F]
d. si misura in weber come il flusso. [V] [F]
e. è costante se il flusso varia in modo direttamente proporzionale al tempo. [V] [F]

**14** ★☆☆ The flux of an electromagnetic field through a circuit of resistance 37 Ω goes from 3.1 Wb to 10.5 Wb in 20 s.

▶ Calculate the electromotive force and the current through the circuit during this time lapse. [0.37 V; 0.010 A]

**15** ★★☆ Un circuito di resistenza pari a 20 Ω è costituito da una spira quadrata di area 10 $cm^2$ che ruota in un campo magnetico uniforme di intensità $B$ = 1,3 × $10^{-5}$ T. Inizialmente la superficie del circuito è perpendicolare al campo e dopo 0,26 s ha compiuto una rotazione di 180°, come indica la figura.




▶ Calcola il valore della corrente media indotta nella spira in questo intervallo di tempo. [5,0 × $10^{-9}$ A]

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**16** ★★☆

La variazione del flusso magnetico che passa attraverso la superficie di un circuito è uguale a 0,15 Wb. La forza elettromotrice indotta vale 6,0 V.

- Quanto tempo è durata la variazione di flusso?
- In quanto tempo la stessa variazione di flusso produrrebbe una forza elettromotrice di 220 V?

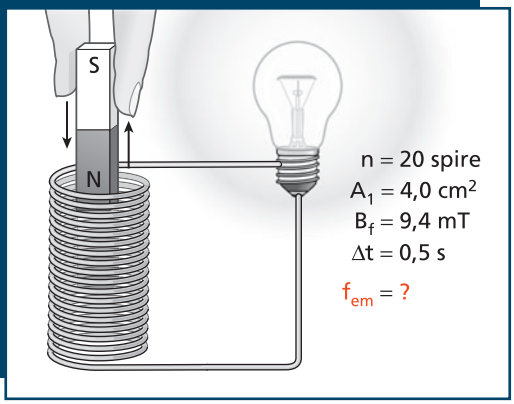
[0,025 s; $6{,}8 \times 10^{-4}$ s]

**17** ★★☆ **PROBLEMA SVOLTO**

## La forza elettromotrice

Una bobina è composta da 20 spire, ognuna con un'area di 4,0 $cm^2$, ed è collegata a un circuito che contiene una lampadina da torcia elettrica, ma nessun generatore. Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina passa dal valore zero al valore di 9,4 mT. Un ragazzo sposta la calamita vicino e poi lontano dalla bobina due volte al secondo.

- Qual è il modulo della forza elettromotrice indotta nel circuito da tale variazione di flusso?




### Dati e incognite

| | GRANDEZZE | SIMBOLI | VALORI | COMMENTI |
|---|---|---|---|---|
| DATI | Numero di spire | $n$ | 20 | |
| | Area di una spira | $A_1$ | 4,0 $cm^2$ | |
| | Campo magnetico iniziale | $B_i$ | 0 T | |
| | Campo magnetico finale | $B_f$ | 9,4 mT | |
| | Intervallo di tempo | $\Delta t$ | 0,50 s | Per la variazione del campo magnetico |
| INCOGNITE | Forza elettromotrice indotta | $f_{em}$ | ? | |

### Ragionamento

- L'area di una spira della bobina è $A_1 = 4{,}0 \times 10^{-4}\ m^2$; essendo composta da $n = 20$ spire, essa è equivalente a un unico circuito di area $A = nA_1$.
- Il valore iniziale del campo magnetico è $B_i = 0$ T e quello finale è $B_f = 9{,}4 \times 10^{-3}$ T, per cui la variazione del flusso magnetico è $\Delta\Phi(\vec{B}) = \Phi_f - \Phi_i = AB_f - AB_i = A(B_f - B_i)$.
- Visto che la calamita è mossa avanti e indietro due volte al secondo, questa variazione di flusso avviene nell'intervallo di tempo $\Delta t = 0{,}5$ s.

### Risoluzione

Calcoliamo l'area equivalente del circuito:

$$A = nA_1 = 20 \times 4{,}0 \times 10^{-4}\ m^2 = 8{,}0 \times 10^{-3}\ m^2$$

Ora determiniamo il valore della variazione di flusso magnetico:

$$\Delta\Phi(\vec{B}) = A(B_f - B_i) = 8{,}0 \times 10^{-3}\ m^2 \times (9{,}4 \times 10^{-3}\ T) - 0\ T = 7{,}5 \times 10^{-5}\ Wb$$

A questo punto possediamo tutti i dati necessari per utilizzare la legge di Faraday-Neumann:

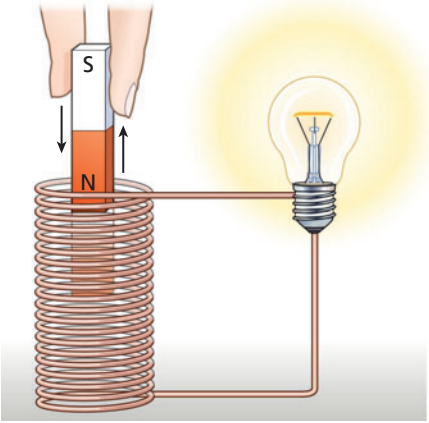
$$f_{em} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{7{,}5 \times 10^{-5}\ Wb}{0{,}5\ s} = 1{,}5 \times 10^{-4}\ \frac{Wb}{s} = 1{,}5 \times 10^{-4}\ V$$


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

### Controllo del risultato

Una lampadina da torcia elettrica non si illumina con una forza elettromotrice indotta di 0,15 mV, come quella del risultato. Per ottenere una $f_{em}$ adeguata, per esempio 1,5 V, dobbiamo aumentare la forza elettromotrice indotta di 10 000 volte.
La forza elettromotrice indotta è quindi troppo bassa per accendere realmente la lampadina. In pratica occorre utilizzare dispositivi più adatti allo scopo, come la dinamo o l'alternatore, in cui i campi magnetici sono più elevati, il numero di spire è più grande e la variazione del campo magnetico avviene più rapidamente.

**18** ★★☆
Una bobina è composta da 35 spire, di raggio 2,0 cm, ed è collegata a un circuito che non contiene un generatore. Avvicinando e allontanando una calamita, il campo magnetico medio sulla superficie della bobina varia di 5,8 mT. La calamita viene spostata vicino e poi lontano dalla bobina quattro volte al secondo.




▶ Calcola il modulo della forza elettromotrice media indotta nel circuito da questa variazione di flusso.

[$1{,}0 \times 10^{-3}$ V]

**19** ★★☆
Considera una bobina posta nelle stesse condizioni sperimentali dell'esercizio precedente, composta da un numero diverso di spire di uguale area, e in grado di produrre una forza elettromotrice di 0,45 V.

▶ Da quante spire è formata?

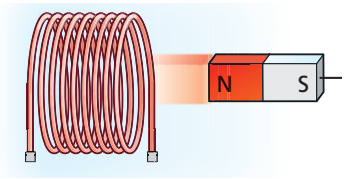
[$1{,}6 \times 10^{4}$]

## 4. IL VERSO DELLA CORRENTE INDOTTA

**20** **Completa le seguenti frasi.**

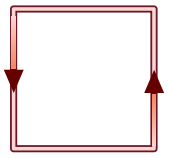
«La legge di ..... afferma che il verso della ..... è sempre tale da opporsi alla ..... che la genera. Infatti, se non fosse così si avrebbe una violazione del principio di ..... .»

**21** **Test.** Una calamita si allontana da una bobina nella direzione tracciata in figura. Il campo indotto e il verso della corrente indotta nella bobina sono rispettivamente:




A perpendicolare alla superficie delle spire e orientato verso destra; in senso antiorario visto da destra.
B perpendicolare alla superficie delle spire e orientato verso sinistra; in senso orario visto da destra.
C perpendicolare alla superficie delle spire e orientato verso destra; in senso orario visto da destra.
D per rispondere occorre conoscere la rapidità di variazione del campo esterno.

**22** **Test.** In seguito ad una variazione del flusso di un campo magnetico, in una spira quadrata circola una corrente nel verso indicato nella figura.

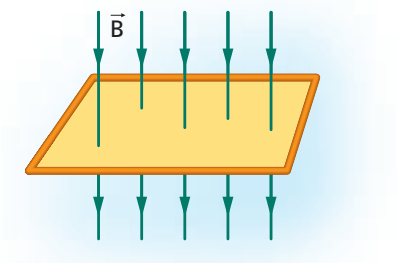


▶ Quali tra queste spiegazioni possono essere corrette? (Più risposte sono possibili.)

A Un campo magnetico diretto verso l'alto (uscente dal foglio) è aumentato di intensità.
B Un campo magnetico diretto verso l'alto (uscente dal foglio) è diminuito di intensità.
C Un campo magnetico diretto verso il basso (entrante nel foglio) è aumentato di intensità.
D Un campo magnetico diretto verso destra è diminuito di intensità.
E Un campo magnetico diretto verso sinistra è diminuito di intensità.

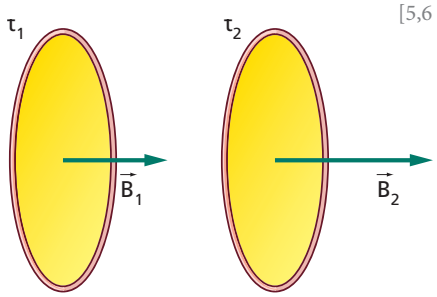
Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**23** ★☆☆
Il valore del campo magnetico nella figura aumenta nel tempo.
- Indica il verso del campo magnetico indotto e quello della corrente indotta.
- Cambia qualcosa se il campo esterno diminuisce nel tempo?




**24** ★★☆
Una spira metallica di area pari a 31 $cm^2$ è inserita in un campo magnetico che varia di 0,18 T in 1,0 s. Nella figura è disegnata la situazione della spira nel campo in due istanti successivi.
- Calcola il valore della forza elettromotrice indotta.
- Disegna direzione e verso del campo magnetico indotto.
- Indica il verso della corrente indotta nella spira dalla variazione di flusso.

[$5{,}6 \times 10^{-4}$ V]




## 5. L'ALTERNATORE

**25** **Completa le seguenti frasi.**
«L'alternatore è un dispositivo che produce energia ..... a partire da energia ..... . Ad esempio, nella bicicletta l'energia per tenere accesi i fanalini è prodotta dal dispositivo detto ..... Tutti gli alternatori producono una ..... periodica, detta tensione ..... .

**26** **Test.** Il flusso del campo magnetico nel circuito indotto di un alternatore:
A è costante nel tempo.
B varia ciclicamente tra un valore massimo e un valore minimo.
C non si annulla mai.
D ogni mezzo periodo passa istantaneamente da un valore massimo a un valore minimo.

**27** **Test.** Un alternatore genera una tensione che varia tra 120 V e −120 V in ogni periodo.
- Il valore efficace di questa tensione alternata è:

A 169,7 V
B 120 V
C 84,9 V
D 0 V

**28** **Vero o falso?**
a. La tensione prodotta da un alternatore è periodica perché è diversa da zero solo per un certo periodo di tempo. V F
b. In linea di principio si può ottenere corrente alternata sia ruotando una spira in un campo magnetico che facendo ruotare un campo magnetico attorno a una spira ferma. V F
c. La corrente alternata inverte il suo senso di scorrimento ogni mezzo periodo. V F
d. Il valore massimo della tensione alternata viene detto valore efficace. V F
e. Il periodo di una tensione alternata è il tempo dopo il quale l'andamento del valore della tensione si ripete uguale a se stesso. V F
f. Il valore di una tensione continua che, alimentando una resistenza, fornisce la stessa energia di una data tensione alternata si chiama valore efficace di quella tensione alternata. V F

**29** **Caccia all'errore.**
La seguente affermazione contiene un errore. Trovalo e correggilo.
«Quando una spira ruota in un campo magnetico, il flusso del campo magnetico varia da un valore massimo, quando il piano della spira è perpendicolare al campo magnetico, a un valore minimo, quando il piano della spira è parallelo al campo magnetico.»

**30** **Test.** Un alternatore è collegato ai terminali di un condensatore; il valore efficace della corrente nel circuito:
A è direttamente proporzionale alla capacità del condensatore e inversamente proporzionale al periodo dell'alternatore.
B è inversamente proporzionale alla capacità del condensatore e direttamente proporzionale al periodo dell'alternatore.
C è direttamente proporzionale sia alla capacità del condensatore, sia al periodo dell'alternatore.
D è inversamente proporzionale sia alla capacità del condensatore, sia al periodo dell'alternatore.

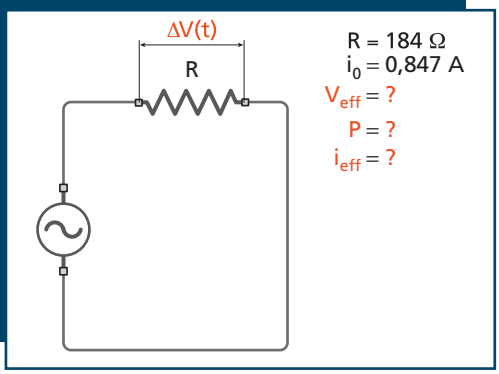

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**31** PROBLEMA SVOLTO

## Calcolo del valore efficace della corrente e della tensione

Un resistore con una resistenza di 184 Ω è percorso da una corrente alternata che ha un valore massimo di 0,847 A.

- Calcola il valore efficace della corrente, la potenza dissipata sul resistore e il valore efficace della tensione alternata ai capi del resistore.




### Dati e incognite

| | GRANDEZZE | SIMBOLI | VALORI | COMMENTI |
|---|---|---|---|---|
| DATI | Resistenza | $R$ | 184 Ω | |
| | Valore massimo della corrente alternata | $i_0$ | 0,847 A | |
| INCOGNITE | Valore efficace della corrente | $i_{eff}$ | ? | |
| | Potenza dissipata | $P$ | ? | Potenza media |
| | Valore efficace della tensione | $V_{eff}$ | ? | |

### Ragionamento

- Il valore efficace della corrente alternata è dato dall formula $i_{eff} = \dfrac{i_0}{\sqrt{2}}$.
- La potenza dissipata si calcola con la relazione $P = Ri_{eff}^2$.
- Infine, il valore efficace della tensione alternata si ottiene dalla formula $V_{eff} = R\, i_{eff}$.

### Risoluzione

Sostituiamo i valori numerici nella prima formula per ottenere $i_{eff}$:

$$i_{eff} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{0{,}847\ \text{A}}{\sqrt{2}} = 0{,}599\ \text{A}$$

Nello stesso modo otteniamo $P$:

$$P = Ri_{eff}^2 = (184\ \Omega) \times (0{,}599\ \text{A})^2 = 66{,}0\ \text{W}$$

E ora calcoliamo $V_{eff}$:

$$V_{eff} = R\, i_{eff} = (184\ \Omega) \times (0{,}599\ \text{A}) = 110\ \text{V}$$

### Controllo del risultato

Una corrente alternata con un valore massimo di 0,847 A, attraversando una resistenza, produce lo stesso effetto termico di una corrente continua di 0,599 A.

**32** Un resistore con una resistenza di 150 Ω è attraversato da una corrente alternata che ha un valore massimo di 300 mA. Calcola:

- il valore efficace della corrente.
- la potenza dissipata dal resistore.
- il valore efficace della tensione alternata ai capi del resistore.

[212 mA; 6,75 W; 31,8 V]

**33** Considera la stessa situazione dell'esercizio precedente.

- Calcola il valore massimo della forza elettromotrice alternata applicata ai capi del resistore avente resistenza di 150 Ω.

[45,0 V]

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**34** ★☆☆ Un circuito puramente capacitivo contiene un alternatore, che genera una tensione alternata di valore efficace pari a 210 V con una frequenza di 50,0 Hz, e un condensatore di capacità pari a 6,44 μF.

▶ Calcola il valore efficace della corrente presente nel circuito.

[0,425 A]

**35** ★☆☆ In un circuito che contiene un alternatore e un condensatore è presente una corrente alternata con un valore massimo di 34,2 mA. La frequenza di funzionamento dell'alternatore è 60,0 Hz e la capacità del condensatore vale $1{,}18 \times 10^{-5}$ F.

▶ Quanto valgono il valore massimo e quello efficace della tensione generata dall'alternatore?

[7,67 V; 5,42 V]

**36** ★☆☆ Una tensione alternata di frequenza pari a 50,0 Hz e valore efficace di 120 V è collegata a un condensatore. Il valore efficace della corrente che si genera nel circuito è 0,378 A.

▶ Determina la capacità del condensatore.

[10,0 μF]

**37** ★★☆ A un circuito puramente resistivo è applicata una differenza di potenziale alternata con un valore efficace di 110 V. La potenza massima dissipata nel circuito è di 200 W. Calcola:

▶ il valore efficace della corrente.

▶ il valore della resistenza del circuito.

[1,82 A; 60,4 Ω]

## 6. LE CENTRALI ELETTRICHE

**38** **Completa le seguenti frasi.**

«Una centrale elettrica è un impianto che ..... una energia ..... di vario tipo in energia elettrica.
In quasi tutte le centrali elettriche l'energia elettrica è generata da un ..... messo in rotazione da una ..... .»

**39** **Test.** In una centrale idroelettrica si attua la seguente serie di trasformazioni di energia:

A energia cinetica → energia elettrica.
B energia primaria → energia elettrica → energia cinetica.
C energia primaria → energia cinetica → energia elettrica.
D energia primaria → energia interna → energia elettrica.

**40** **Completa la tabella.** Nella tabella sono riportate alcune fonti di energia primaria.

▶ Per ciascuna di esse, scrivi come viene chiamata la centrale che sfrutta quel tipo di energia.

| FONTE DI ENERGIA PRIMARIA | TIPO DI CENTRALE |
|---|---|
| fissione dei nuclei di uranio | ..... |
| luce del Sole | ..... |
| caduta dell'acqua | ..... |
| forza del vento | ..... |
| combustione del carbone | ..... |
| calore dell'interno della Terra | ..... |

**41** **Completa la tabella.** Compi una piccola ricerca per stabilire dove si trovano e che fonte primaria di energia utilizzano le due centrali elettriche più vicine a casa tua.

| LOCALITÀ | TIPO DI CENTRALE |
|---|---|
| 1 | |
| 2 | |

## 7. IL TRASPORTO DELL'ENERGIA ELETTRICA

**42** **Completa le seguenti frasi.**

«Il trasporto dell'energia elettrica dalla ..... agli ..... avviene mediante ..... . Durante il trasporto, una parte dell'energia elettrica viene ..... .
Per ridurre questo inconveniente, le linee di trasporto devono essere caratterizzate da bassa ..... e alta ..... »

**43** **Test.** Per diminuire la dissipazione di energia durante il trasporto, i trasformatori delle centrali elettriche:

A elevano la tensione e riducono la corrente in uscita dalla centrale.
B elevano sia la tensione che la corrente in uscita dalla centrale.
C riducono sia la tensione che la corrente in uscita dalla centrale.
D riducono la tensione ed elevano la corrente in uscita dalla centrale.

**44** ★☆☆ Una linea di trasporto dell'energia elettrica ha una resistenza per ogni metro di cavo pari a 0,01 Ω/m. La corrente efficace lungo la linea vale 20 A e la centrale immette sulla linea una potenza di 500 kW.

▶ Calcola la potenza dissipata lungo una linea che percorre 10 km.

▶ Calcola la percentuale di energia elettrica dispersa nel trasporto. [$4 \times 10^4$ W; 8%]


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

## 8. IL TRASFORMATORE

**45** **Caccia all'errore.**
«In un trasformatore i rapporti tra le tensioni efficaci $V_{2eff}/V_{1eff}$ e tra le correnti efficaci $i_{2eff}/i_{1eff}$ sono uguali e pari al rapporto $n_2/n_1$ tra il numero di spire dei due circuiti.»

**46** In un trasformatore il circuito primario ha 1000 spire mentre il secondario ne ha 400.
- Se la tensione efficace in entrata è quella di rete (220 V), qual è il valore efficace della tensione in uscita? [88,0 V]

**47** In un trasformatore il circuito primario ha 900 spire mentre il secondario ne ha 400. La tensione in entrata è quella di rete (220 V).
- Calcola il valore efficace della tensione di uscita. [97,8 V]

**48** Un trasformatore è utilizzato in un lettore CD portatile. Il circuito primario, collegato con la presa di corrente, ha 660 spire. La tensione efficace in ingresso è 220 V, quella in uscita è 9,0 V.
- Quante spire contiene il circuito secondario? [27]

**49** All'uscita da una centrale elettrica, un trasformatore deve innalzare la tensione da 10 kV a 380 kV.
- Quanto vale il rapporto di trasformazione?
- Se la corrente efficace in uscita dall'alternatore è di $1{,}0 \times 10^3$ A, quanto vale la corrente immessa nella linea di distribuzione? [38; 26 A]

**50** Il circuito primario di un trasformatore è formato da 300 spire ed è alimentato da una tensione di 2700 V. La tensione fornita al secondario vale 9000 V.
- Quante spire ha il circuito secondario? [$1{,}00 \times 10^3$]

## 9. IL CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA

**51** **Vero o falso?**
a. La potenza richiesta alla rete elettrica varia molto durante il giorno. V F
b. L'energia elettrica erogata dalle centrali viene immagazzinata in speciali strutture per essere distribuita quando necessario. V F
c. 1 kWh è pari a 3,6 kJ. V F
d. 1 kWh è pari al lavoro compiuto da un dispositivo di potenza 1 kW in 1 h. V F

**52** **Test.** Quale frazione dell'energia elettrica erogata ogni giorno in Italia viene utilizzata per i consumi domestici?
A Circa un quarto.
B Circa la metà.
C Circa tre quarti.
D Circa un terzo.

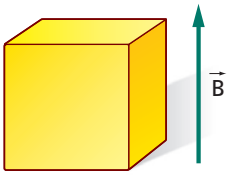
**53** Una lavatrice assorbe una potenza di 2,0 kW.
- Calcola l'energia consumata da una lavatrice per fare un bucato in 45 minuti, sia in joule sia in kilowattora. [$5{,}4 \times 10^6$ J; 1,5 kWh]

Marjan Veljanoski/Shutterstock

**54** Usando i dati riportati nel testo, dai una stima di quanta energia elettrica viene consumata in Italia in un giorno. Usa come valore della potenza richiesta la media aritmetica tra la potenza massima e quella minima. [$\simeq 8{,}5 \times 10^8$ kWh]

## PROBLEMI GENERALI

**1** Un cubo di lato uguale a14 cm è posto in una zona in cui esiste un campo magnetico uniforme $B = 0{,}10$ T diretto come mostra la figura.




- Calcola il flusso totale uscente dalla superficie del cubo. (Assumi come faccia positiva la superficie esterna del cubo.) [0 Wb ]

**2** Un campo magnetico è perpendicolare a una spira di area $A$. Sempre rimanendo perpendicolare alla spira, il campo magnetico aumenta, passando da un valore iniziale $B_i$ a un valore finale $B_f = B_i + \Delta B$. Come conseguenza, anche il flusso di campo magnetico attraverso la spira aumenta, passando da un valore iniziale $\Phi_i$ a un valore finale $\Phi_f = \Phi_i + \Delta\Phi$.
- Dimostra che la relazione tra la variazione del flusso e la variazione del valore del

Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

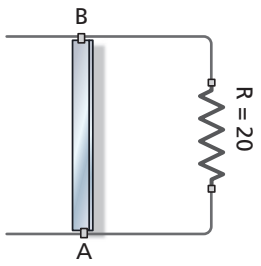
campo magnetico è data dalla formula $\Delta\Phi = S\,\Delta B$. Questa formula sarà utile in alcuni dei problemi che seguono.

**3** ★★☆
Una spira circolare di raggio 12,0 cm ha una resistenza pari a $4{,}03 \times 10^{-3}\ \Omega$. Un campo magnetico è disposto perpendicolarmente a essa e ha intensità variabile nel tempo. La variazione del flusso del campo magnetico avviene in 2,0 s e produce nella spira una corrente di 0,50 A.

- Quanto vale la forza elettromotrice indotta?
- Quanto vale la variazione del flusso?
- Quanto vale la corrispondente variazione del campo magnetico esterno?

[$2{,}0 \times 10^{-3}$ V; $4{,}0 \times 10^{-3}$ Wb; 0,087 T]

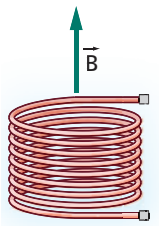
**4** ★★☆
Un'asta rigida $AB$ viene fatta scorrere lungo due conduttori paralleli collegati a una resistenza di 20 Ω. Nella zona è presente un campo magnetico di intensità $B = 2{,}5$ T, perpendicolare al piano contenente i conduttori e con verso uscente rispetto a chi legge. Spostando l'asta rigida, l'area del circuito passa da un valore iniziale di 150 $cm^2$ a un valore finale di 290 $cm^2$, e nel circuito si genera una corrente continua di 0,10 A.




- Calcola la forza elettromotrice indotta.
- Calcola la variazione del flusso del campo magnetico.
- In quanto tempo avviene la variazione del flusso?

[2,0 V; $3{,}5 \times 10^{-2}$ Wb; $1{,}8 \times 10^{-2}$ s]

**5** ★★☆
Una bobina è costituita da 200 spire ognuna di raggio pari a 5,0 cm. In direzione perpendicolare alle spire della bobina è presente un campo magnetico che ha un valore iniziale pari a 0,14 T.




- Calcola il flusso del campo attraverso la superficie totale della bobina.
- Calcola di quanto deve essere aumentato il flusso del campo magnetico dopo 0,020 s perché si generi nella bobina una forza elettromotrice media pari a 110 V.
- Calcola di quanto deve aumentare il valore del campo magnetico per ottenere questo aumento del flusso.

[0,22 Wb; 2,2 Wb; 1,4 T]

**6** ★★☆
Una tensione alternata con un valore efficace pari a 220 V è applicata ad un ferro da stiro che ha una resistenza di 200 Ω. Per questo elettrodomestico, la legge di Ohm prevede che il rapporto tra il valore efficace della tensione e quello della corrente è uguale alla resistenza.

- Calcola l'intensità della corrente efficace che passa nel circuito del ferro da stiro.
- Calcola l'energia dissipata per effetto Joule in 10 minuti di utilizzo.

[1,10 A; 14,5 kJ]

**7** ★☆☆
Due solenoidi sono concentrici, ossia sono infilati uno dentro l'altro e hanno lo stesso asse. Il primo, più esterno, ha 50 spire per ogni centimetro di lunghezza ed è percorso da una corrente di 1,5 A. Il secondo, all'interno, ha $4{,}0 \times 10^2$ spire, ognuna di area 10 $cm^2$. La corrente che circola nel primo solenoide subisce una variazione e si riduce di un terzo in un centesimo di secondo. In questo modo varia il flusso del campo magnetico nel solenoide interno.

- Calcola il valore della forza elettromotrice indotta nel solenoide interno.

[$1{,}2 \times 10^{-1}$ V]

- Stabilisci, tramite la legge di Lenz, il verso della corrente indotta nel secondo solenoide rispetto a quello della corrente nel primo solenoide.

## TEST

online.zanichelli.it/amaldi
**TEST INTERATTIVI 20 test (30 minuti)**

**1** In quale tra i seguenti circuiti *non* si hanno correnti indotte?

A Un circuito posto vicino a due calamite che si muovono a causa dell'attrazione reciproca.
B Un circuito attraversato da un fulmine.
C Un circuito inserito dentro un solenoide in cui circola una corrente costante.
D Un circuito ruotante vicino a una calamita ferma.

**2** Quale delle seguenti relazioni tra unità di misura è corretta?

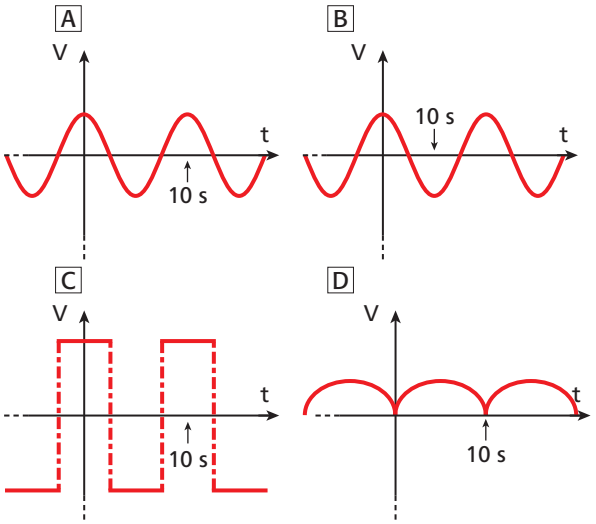
A 1 Wb = 1 V/s
B 1 Wb = 1 V/m
C 1 Wb = 1 V · m
D 1 Wb = 1 V · s


Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**3** Una corrente indotta in un circuito rigido genera un campo magnetico indotto che:

A ha sempre verso opposto a quello del campo magnetico esterno.
B ha sempre lo stesso verso del campo magnetico esterno.
C contrasta sempre la variazione del campo magnetico esterno.
D rinforza sempre la variazione del campo magnetico esterno.

**4** Quale di questi grafici rappresenta meglio la tensione alternata prodotta da un alternatore di periodo $T = 10$ s?




**5** Il valore efficace di una corrente alternata equivale all'intensità di una corrente continua che:

A circola in una resistenza per lo stesso tempo in cui circola la corrente alternata.
B attraversando una resistenza, eroga la stessa energia della corrente alternata.
C circola in una resistenza per un tempo pari al periodo della corrente alternata.
D attraversando una resistenza, fornisce costantemente l'energia erogata dal valore massimo della corrente alternata.

**6** In una centrale nucleare:

A il vapore che aziona la turbina proviene da acqua riscaldata mediante la combustione delle barre di uranio.
B la turbina viene messa in moto tramite un continuo bombardamento con atomi di uranio.
C non è necessaria la turbina perché cariche positive e negative sono prodotte direttamente nella fissione dell'uranio.
D l'energia cinetica delle particelle prodotte nella fissione dell'uranio scalda l'acqua fino a trasformarla in vapore che aziona la turbina.

**7** Una sola delle seguenti formule relative ai trasformatori è falsa:

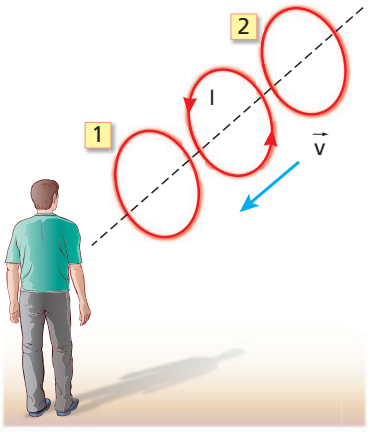
A $V_{1eff}/V_{2eff} = V_{1max}/V_{2max}$
B $i_{1eff}/i_{2eff} = n_2/n_1$
C $V_{1eff}/V_{2eff} = n_2/n_1$
D $V_{1eff}/V_{2eff} = i_{2eff}/i_{1eff}$

**8** Una corrente alternata di valore efficace uguale a 5,5 A e frequenza 50 Hz è applicata al circuito di un asciugacapelli di resistenza pari a 40 Ω.

▶ L'energia dissipata per effetto Joule in un minuto è:

A 20 J
B $1{,}5 \times 10^2$ J
C $1{,}2 \times 10^3$ J
D $7{,}3 \times 10^4$ J
E $5{,}3 \times 10^5$ J

**9** Tre spire conduttrici sono disposte come in figura con l'asse in comune. Una corrente $I$ viene vista scorrere dall'osservatore in verso antiorario nella spira centrale mentre questa si muove a velocità $\vec{v}$ verso l'osservatore; le spire 1 e 2 sono ferme.




▶ Allora l'osservatore vedrà:

A correnti indotte che scorrono nelle spire 1 e 2 in verso orario.
B correnti indotte che scorrono nelle spire 1 e 2 in verso antiorario.
C una corrente indotta che scorre nella spira 1 in verso orario e una nella 2 in verso antiorario.
D una corrente indotta che scorre nella spira 1 in verso antiorario e una nella 2 in verso orario.
E una corrente indotta che scorre nella spira 1 in verso antiorario mentre nella spira 2 non scorre corrente.

(Tratto dalle *Olimpiadi della fisica*, anno 2005)

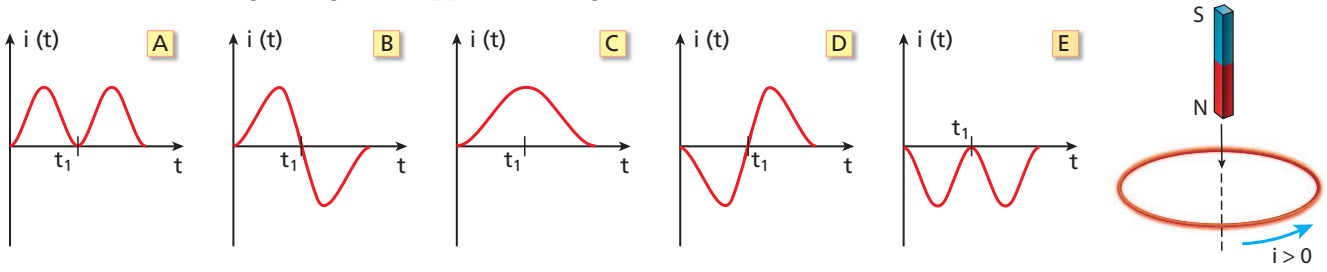
Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010

**10** Una calamita viene fatta passare a velocità costante attraverso una spira formata da un filo metallico, come mostrato in figura. Sia $t_1$ l'istante di tempo in cui il punto centrale della calamita attraversa il piano della spira.

▶ Quale dei seguenti grafici rappresenta meglio la relazione che esiste tra la corrente elettrica indotta nella spira ed il tempo?

*Nota*: In una vista dall'alto della spira la corrente indotta si considera positiva se circola in senso antiorario, come mostrato in figura.)

(Tratto dalle *Olimpiadi della fisica*, anno 2007)

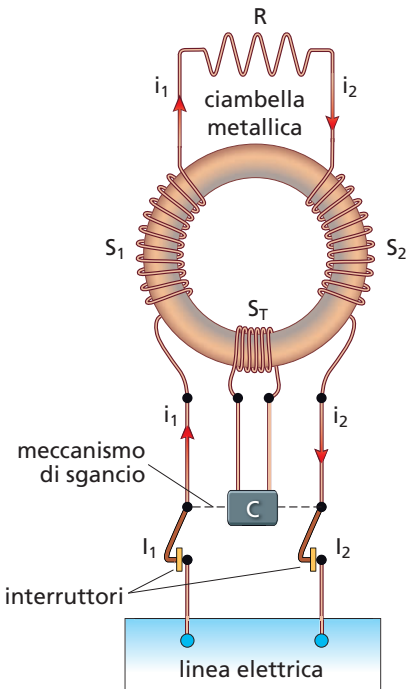



## LA FISICA DEL CITTADINO

### L'INTERRUTTORE DIFFERENZIALE

La figura mostra uno schema semplificato del funzionamento di un interruttore differenziale, talvolta detto «salvavita», che disconnette in modo automatico l'impianto elettrico quando c'è un principio di folgorazione. La resistenza $R$ rappresenta i vari dispositivi utilizzatori dell'impianto elettrico all'interno di un'abitazione.

I solenoidi $S_1$ e $S_2$ hanno lo stesso numero di spire, avvolte in versi opposti. Il solenoide di test $S_T$ è collegato a una centralina $C$ che, in caso di necessità, comanda l'apertura degli interruttori $I_1$ e $I_2$. L'apertura di tali interruttori avviene in qualche millesimo di secondo e isola l'impianto elettrico domestico.




Ma qual è il segnale fisico che indica a $C$ la necessità di aprire gli interruttori? Segui la catena delle domande.

In condizioni normali la corrente $i_1$ nel solenoide $S_1$ è uguale alla corrente $i_2$ in $S_2$.

**Domanda 1:** In queste condizioni quanto vale il flusso di campo magnetico attraverso il solenoide di test $S_T$?

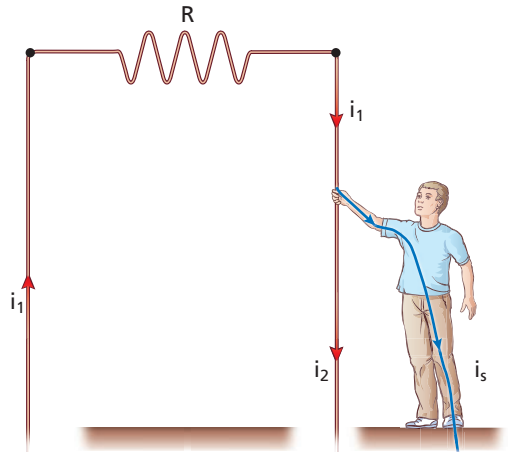
Come mostra la figura, in caso di folgorazione si crea una corrente che dall'impianto elettrico si propaga verso terra attraversando il corpo di una persona.

**Domanda 2:** Come risultano in questo caso le due correnti $i_1$ e $i_2$ nei solenoidi $S_1$ e $S_2$? Come diviene il flusso magnetico attraverso $S_T$?

**Domanda 3:** Come conseguenza di quanto osservato nella domanda precedente, cosa si genera nel solenoide $S_T$?

La risposta alla domanda 3 è proprio il segnale che provoca l'apertura degli interruttori di sicurezza.

[0 Wb; $i_2 < i_1$; diverso da zero; una forza elettromotrice indotta]






Copyright © 2010 Zanichelli editore S.p.A., Bologna [6243]
Questo file è parte del corso Amaldi, *L'Amaldi 2.0* © Zanichelli 2010