

valenza  
elettrico conduzione  
tensione potenziale  
elettronica differenza  
**banda**  
generatore  
neutrone  
elettrica  
molecola  
atomo  
protoni  
corrente

PAROLE CHIAVE ►

**1. Struttura della materia**

L'atomo era ritenuta l'unità più piccola ed indivisibile della materia dai filosofi greci Leucippo, Epicuro e Democrito (dottrina dell'atomismo, IV secolo a.C.). Il primo modello atomico che ipotizzò l'esistenza di particelle più piccole fu del fisico britannico **Joseph John Thomson** (1856-1940) che lo propose nel 1902: pensò l'atomo composto da un nucleo positivo dove erano immersi elettroni negativi. Nel 1911 il chimico e fisico neozelandese **Ernest Rutherford** (1871-1937) con un bombardamento di raggi alfa intuì un modello atomico con un nucleo attorno al quale ruotavano gli elettroni. Nel 1913 il fisico e matematico danese **Niels Bohr** (1885-1962) capì che gli elettroni potevano occupare orbite diverse in relazione al loro livello energetico. Il neutrone fu scoperto dal fisico inglese **James Chadwick** (1891-1974) nel 1932. La meccanica quantistica introdusse poi il concetto di orbitale in sostituzione di quello di orbita, eliminando quindi la rigida struttura atomica di tipo planetario.

Qualunque corpo che occupi spazio e sia dotato di massa è definito con il termine generale di **materia**. Dal punto di vista macroscopico *la materia si presenta in tre stati di aggregazione diversi e caratterizzati da proprietà fisiche differenti: solido, liquido e aeriforme*. Le caratteristiche della materia trovano una spiegazione sul piano microscopico: essa è infatti composta da aggregati di particelle elementari organizzate in **atomi**, a loro volta uniti a formare **molecole**. Gli atomi hanno una struttura interna realizzata da tre particelle fondamentali. I **protoni**, con carica elettrica positiva, insieme ai **neutroni**, con massa uguale a quella dei protoni, ma elettricamente neutri, compongono il nucleo, posto al centro dell'atomo. Intorno al nucleo si muovono gli **elettroni**, con carica elettrica negativa e massa inferiore a quella dei protoni. *Gli elettroni descrivono orbite a distanze diverse*, ma comunque molto lontane dal nucleo stesso. Non è possibile sapere con certezza dove si troverà in un certo istante un elettrone nell'atomo, dato che si muove in modo casuale intorno al nucleo, ma esiste una zona dove è *massima la probabilità di trovarlo*, chiamata **orbitale**. Ogni orbitale può contenere al massimo due elettroni, a ciascuno dei quali corrisponde un ben preciso valore di energia, chiamato **livello energetico**. All'orbitale più vicino al nucleo compete un livello energetico più basso, mentre gli altri assumono livelli energetici via via crescenti, con l'aumentare della loro distanza dal nucleo. I livelli energetici vengono numerati, partendo dal più interno verso il più esterno, con 1, 2, 3, 4, ecc., mentre gli orbitali vengono indicati con le lettere s, p, d, f, ecc.

Gli elettroni tendono ad occupare gli orbitali partendo da quello più vicino al nucleo, che richiede minore energia, riempiendo, via via, quelli ad energia superiore; tuttavia ogni livello energetico può avere al massimo un determinato numero di elettroni. Gli elettroni più vicini al nucleo sono, ovviamente, quelli legati più fortemente ad esso, mentre allontanandosi dal nucleo, la forza di tale legame diminuisce. Gli elettroni più esterni degli atomi, vengono chiamati **elettroni di valenza** e sono quelli che ne determinano le proprietà chimiche, in quanto più soggetti alle interazioni con l'esterno.

**Protoni:** carica positiva nel nucleo  
**Neutroni:** carica nulla nel nucleo, con massa identica al protone  
**Elettroni:** carica negativa, con massa inferiore al protone, ruotano intorno al nucleo negli orbitali

**Elettroni di valenza:** sono i più esterni, determinano le proprietà dei materiali e creano i legami chimici con altri atomi formando le molecole.

**Banda di valenza:** occupata dagli elettroni di valenza.  
**Banda di conduzione:** a livello energetico più elevato e normalmente vuota; se un elettrone acquista energia sufficiente per entrarvi diviene libero di muoversi all'interno del solido.

I metalli conducono perché la banda di valenza e di conduzione sono adiacenti o parzialmente sovrapposte.

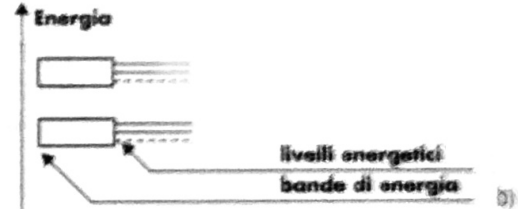
Nella formazione dei legami, gli atomi tendono a realizzare, quando possibile, una configurazione elettronica esterna con otto elettroni, cedendo o catturando o mettendo in comune elettroni con altri atomi. In condizioni normali, un atomo ha un numero di protoni esattamente uguale al numero di elettroni e in tal caso si dice **neutro**. Nel caso in cui l'atomo perda uno o più elettroni si trasforma in **ione positivo**, mentre se li cattura si trasforma in **ione negativo**. Invece la tendenza a mettere in comune elettroni di valenza tra atomi porta alla formazione di **legami chimici**, e alla formazione di **molecole**, le quali sono elettricamente neutre.

I materiali solidi presentano un **volume** e una **forma propri** e una forza di attrazione tra le molecole molto intensa e tale da tenerle unite. La rigidità del materiale solido, però non ferma il moto elettronico, in quanto ciascun elettrone esterno interagisce con i nuclei dei vari atomi, subendo l'attrazione dei nuclei più vicini, che gli permette di muoversi facilmente da un atomo all'altro. Quando gli atomi si uniscono per formare un solido, il concetto di livello energetico va esteso all'intero materiale mediante il concetto di **bande di energia**.

Nella struttura elettronica a bande (la quale descrive la gamma di energie che un elettrone può possedere), si distinguono una **banda di valenza**, che è quella a più elevata energia fra i livelli energetici occupati da elettroni, e una **banda di conduzione**, con la più bassa energia fra i livelli energetici non occupati da elettroni e comunque con livelli energetici superiori a quelli della banda di valenza. A temperatura ambiente (25 °C) la banda di valenza di un solido è generalmente occupata da elettroni, mentre la banda di conduzione è vuota. Se gli elettroni che si trovano nella banda di valenza ricevono un sufficiente aumento di energia, salteranno nella banda di conduzione dove sentono meno l'attrazione dei nuclei, e saranno liberi di muoversi in un flusso elettronico all'interno del solido.



a)



b)

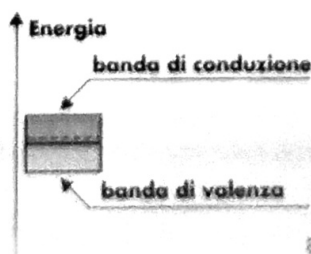
**Figura 1**

Modello atomico (a), livelli energetici di un atomo isolato e bande di energia di un materiale solido (b).

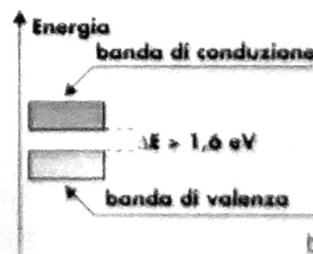
Ciò può accadere soltanto se gli elettroni sono in grado di potere assorbire tali aumenti di energia, cioè se esistono nella banda di conduzione livelli energetici vuoti, corrispondenti ai loro nuovi contenuti di energia. Se banda di valenza e di conduzione sono adiacenti o parzialmente sovrapposte gli elettroni possono passare da un livello all'altro con una piccola spesa di energia e il materiale è un **conduttore** (fig. 2a): è il caso tipico dei **metalli**. Se banda di valenza e di conduzione sono separate da una zona proibita, corrispondente ad un salto di energia  $\Delta E$  elevato, il materiale è un **isolante** (fig. 2b), e quindi non è un metallo; altrimenti, se  $\Delta E \leq 1,6$  eV (l'energia è espressa in elettronvolt;  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ), allora è possibile con un piccolo guadagno di energia, far passare elettroni dalla banda di valenza a quella di conduzione (fig. 2c), e il materiale è un **semiconduttore** (ad esempio il germanio con  $\Delta E = 0,7$  eV e il silicio con  $\Delta E = 1,2$  eV).

**Figura 2**

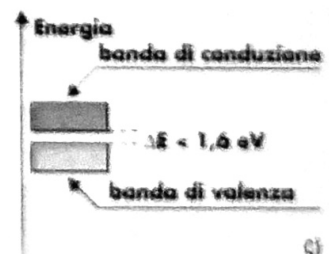
Banda di valenza e di conduzione parzialmente sovrapposte, nel caso di un conduttore (a) e separate da una zona proibita, nel caso di isolante (b) o di semiconduttore (c).



a)



b)



c)

## 2. La corrente elettrica

### Corrente di elettricità

Abbiamo visto che nei metalli è facile fornire agli elettroni di valenza l'energia sufficiente a passare dalla banda di valenza a quella di conduzione. Se ciò si verifica è possibile ottenere un *movimento di cariche elettriche* (elettroni) *secondo una certa direzione*: si dice in questo caso che siamo in presenza di una **corrente elettrica**. Il riferimento ai metalli è dovuto al fatto che si tratta del caso che più direttamente interessa il seguito di questo corso ma, più in generale, la corrente elettrica si verifica ogni volta che si ha un movimento di cariche elettriche in una certa direzione anche se queste non sono elettroni; è ad esempio il caso del movimento di ioni all'interno di una soluzione elettrolitica.

### Quantità di elettricità

#### Quantità di elettricità

■ La somma algebrica delle cariche elettriche in gioco indica la **quantità di elettricità**.

Si considera la somma algebrica perché *due cariche elettriche di pari quantità ma segno opposto sono equivalenti a una quantità di elettricità nulla*.

#### Il Coulomb

La quantità di elettricità si indica con la lettera  $Q$  e si misura in **coulomb** [C]. Un coulomb equivale a  $6,25 \cdot 10^{18}$  elettroni.

### Intensità di corrente elettrica

Se l'intensità di corrente elettrica è costante la corrente si dice continua.

Si consideri, come schematizzato in **figura 3**, un filo di rame attraversato da una corrente elettrica e supponiamo che la quantità di elettricità che attraversa la sezione  $S$  in un certo intervallo di tempo sia costante, ovvero non vari cambiando l'intervallo di tempo (supposto comunque della stessa durata). Si parla in questo caso di **corrente continua** (DC: *direct current*). Il rapporto costante:

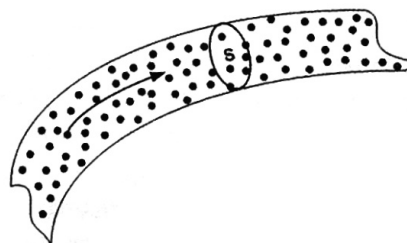
$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

**1**

è detto **intensità di corrente elettrica**. Espressa  $Q$  in coulomb e il tempo in secondi [s], l'intensità di corrente risulta in ampere [A]:

$$A = \frac{C}{s}$$

**2**



**Figura 3**

Valutazione dell'intensità di corrente.

L'**elettrotecnica** si occupa della produzione, trasmissione ed utilizzazione dell'energia elettrica; l'**Elettronica**, principalmente, della gestione ed elaborazione dei segnali elettrici e da quest'ultima sono nate quindi le moderne **Telecomunicazioni**. Le origini dell'elettrotecnica si possono far coincidere con l'invenzione della pila da parte del comasco **Alessandro Volta** (1745-1827) intorno al 1800; le origini dell'elettronica con la costruzione nel 1904 del primo tubo a vuoto da parte dell'inglese **J.A. Fleming** (1849-1945).

Se la corrente non presenta un'intensità costante, ovvero siamo in presenza di una corrente variabile nel tempo, la sua intensità può essere definita considerando intervalli di tempo piccoli nell'intorno dell'istante  $t$  che interessa:

$$i(t) = \frac{\Delta q(t)}{\Delta t}$$

**3**

In ambito elettrico le lettere maiuscole si usano per indicare grandezze costanti nel tempo e quelle minuscole per le grandezze variabili.

Dove si sono usate le lettere minuscole per intendere grandezze variabili nel tempo e quindi  $\Delta q$  indica la quantità di elettricità che attraversa la sezione  $S$  nell'intervallo  $\Delta t$  considerato il più piccolo possibile e nell'intorno dell'istante  $t$  considerato. In matematica per esplicitare intervalli i più piccoli possibili (infinitesimi) si sostituisce la lettera  $\Delta$  con una  $d$  e quindi il valore istantaneo dell'intensità di corrente si esprime più correttamente nella forma:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

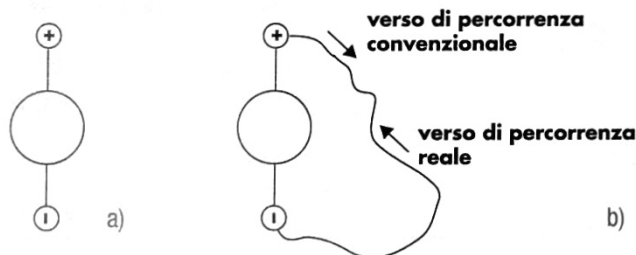
**4**

Si noti come in questo caso si è evitato di esplicitare la dipendenza dal tempo infatti le scritture  $i(t)$  e  $i$  sono equivalenti: è la lettera minuscola che evidenzia che ci si riferisce a grandezze variabili nel tempo. Al contrario, in ambito elettrico, le lettere maiuscole indicano grandezze costanti nel tempo.

### 3. Il generatore elettrico

Per ottenere il movimento delle cariche secondo una certa direzione bisogna disporre di un qualcosa che imponga alle cariche questo movimento. Il dispositivo in questione è detto **generatore elettrico**.

In figura 4a è schematizzato, in una forma simbolica molto generica, un generatore elettrico: i due suoi terminali, o morsetti, sono detti **polo positivo (+)** e **polo negativo (-)** e possono essere pensati come zone dove è presente un *addensamento di cariche* positive in uno e negative nell'altro.



**Figura 4**

Rappresentazione elementare di un generatore elettrico (a) e suo inserimento in un percorso chiuso (b).

Dall'elettrostatica, è noto che le cariche di segno uguale si respingono e le cariche di segno opposto si attraggono. Se allora costruiamo un percorso chiuso (o come vedremo in seguito un **circuito chiuso**) collegando il polo positivo a quello negativo con un filo metallico (fig. 4b) cosa succederà? Le cariche negative sfruttando il conduttore anch'esso ricco di cariche negative andranno verso il polo positivo, creando una corrente elettrica; non si muoveranno invece le cariche positive perché nei conduttori metallici solo quelle negative sono libere. Fino a quando durerà questa corrente? Fino a quando i due poli non diverranno neutri: quello negativo perché rimasto privo di elettroni liberi e quello positivo perché gli elettroni arrivati hanno compensato le cariche positive presenti.

In un conduttore metallico le cariche libere di muoversi sono quelle negative e quindi la corrente avviene dal polo negativo a quello positivo. In realtà *per un fatto convenzionale si fissa il verso della corrente dal polo positivo a quello negativo*, come se a muoversi fossero le cariche positive. La distribuzione di cariche ai due poli determina tra gli stessi la presenza di una **differenza di energia potenziale**: se attraverso un filo metallico si collegano i due poli si permette alle forze di attrazione presenti di determinare il movimento delle cariche ovvero la *conversione della differenza di energia potenziale in lavoro*.

**Verso  
convenzionale  
della corrente**

**Differenza di  
potenziale**

Differenza di energia potenziale: si misura in joule.

Differenza di potenziale: si misura in volt.

Si definisce **differenza di potenziale**  $V$  (d.d.p.) o **tensione** il rapporto tra la differenza di energia potenziale tra i due poli  $W$  e la quantità di elettricità  $Q$  in gioco:

$$V = \frac{\Delta W}{Q}$$

**5**

Dimensionalmente la tensione si misura in **volt** quindi il volt equivale a joule/coulomb [J/C].

### Esempio 1

Il singolo elettrone presente al polo negativo di un generatore elettrico con i poli aperti presenta un'energia potenziale rispetto al polo positivo di  $25 \cdot 10^{-18}$  J. Sapendo che la quantità di elettricità di un singolo elettrone è  $Q = 1,60 \cdot 10^{-19}$  C, quanto vale la differenza di potenziale tra i due morsetti? Quanto vale l'energia potenziale del singolo elettrone espressa in eV?

Applicando la relazione **5** si trova subito:

$$V = \frac{\Delta W}{Q} = \frac{25 \cdot 10^{-18}}{1,60 \cdot 10^{-19}} = 156,25 \text{ V}$$

Sapendo poi che  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  si trova subito che:

$$\Delta W = \frac{0,25 \cdot 10^{-16}}{1,602 \cdot 10^{-19}} \approx 156 \text{ eV}$$

## 4. Multipli e sottomultipli delle unità di misura

Per completezza di informazione in **tabella 1** sono riportati i prefissi per i multipli e i sottomultipli più usati in elettronica e quindi nell'hardware dei sistemi di telecomunicazioni.

**Tabella 1**  
Multipli e sottomultipli delle unità di misura elettriche.

giga	(G)	pari a $10^9$ volte l'unità di misura di base
mega	(M)	pari a $10^6$ volte l'unità di misura di base
chilo	(k)	pari a $10^3$ volte l'unità di misura di base
milli	(m)	pari a $10^{-3}$ volte l'unità di misura di base
micro	( $\mu$ )	pari a $10^{-6}$ volte l'unità di misura di base
nano	(n)	pari a $10^{-9}$ volte l'unità di misura di base
pico	(p)	pari a $10^{-12}$ volte l'unità di misura di base

### Esempio 2

$3 \text{ mV} = \text{tre millesimi di volt} = 0,003 \text{ V}$ , ovvero  $3 \cdot 10^{-3} \text{ V}$ .

$10 \text{ }\mu\text{A} = \text{dieci milionesimi di ampere} = 10 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ .

Moltiplicando i precedenti valori di tensione e di corrente si trova una potenza:

$$P = V \cdot I = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ W} = 30 \text{ nW}.$$

Nel caso si faccia il rapporto tra tensione e corrente, si ottiene una resistenza:

$$R = V/I = 3 \cdot 10^{-3} / 10 \cdot 10^{-6} = 0,3 \cdot 10^3 \Omega = 300 \Omega.$$



# Facciamo il punto

## Nozioni introduttive

### Atomo

- ▶ protone: carica positiva nel nucleo
- ▶ neutrone: carica neutra nel nucleo
- ▶ elettrone: carica negativa in movimento nell'orbitale

l'atomo è neutro ma →

Se perde elettroni: **ione positivo**

Se acquista elettroni: **ione negativo**

### Orbitali

- ▶ zone intorno al nucleo dove è massima la probabilità di trovare gli elettroni

### Elettroni di valenza

- ▶ determinano le proprietà chimiche
- ▶ formano i legami tra atomi se si formano orbitali con elettroni di valenza di atomi diversi in comune (molecole)

gli elettroni occupano →

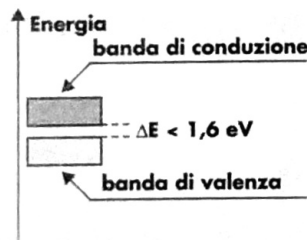
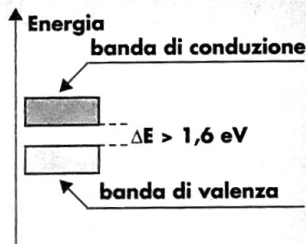
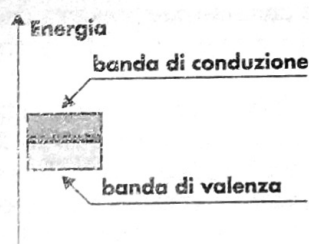
### Bande di energia

- ▶ banda di valenza: occupata dagli elettroni di valenza ed è quella a più elevato livello energetico occupato stabilmente da elettroni
- ▶ banda di conduzione: a livello energetico più elevato che a temperatura ambiente è normalmente vuota

per i solidi si hanno tre possibilità

se si orienta secondo una certa direzione il movimento delle cariche elettriche libere si ottiene la **corrente elettrica**

nei conduttori →



si definiscono

### Quantità di elettricità

Somma algebrica delle cariche in gioco [coulomb]

### Intensità corrente elettrica

Quantità di elettricità che attraversa una sezione nell'unità di tempo [ampere]

per ottenere la corrente →

Si usa il **generatore elettrico**

- ▶ presenta ai suoi terminali una **differenza di potenziale** espressa in volt
- ▶ se si chiude il circuito passa corrente

La differenza di potenziale è pari al rapporto tra la differenza di energia potenziale e la **quantità di elettricità in gioco**

## Test

- Par. 1      1 In cosa si differenziano i protoni dai neutroni?  
 a ☐ Hanno masse differenti.  
 b ☐ Hanno polarità opposte.  
 c ☐ I primi stanno nel nucleo e i secondi negli orbitali.  
 d ☐ I secondi non hanno carica elettrica.
- Par. 1      2 Un orbitale è una ..... circostante il ..... di un atomo dove è più probabile trovare un .....
- Par. 1      3 Dal punto di vista atomico cosa differenzia un solido isolante da uno semiconduttore?  
 a ☐ il primo ha la banda di valenza separata da quella di conduzione, il secondo le ha parzialmente sovrapposte  
 b ☐ hanno entrambi la banda di valenza separata da quella di conduzione ma il primo ha un  $\Delta E > 1,6$  eV, il secondo un  $\Delta E \leq 1,6$  eV  
 c ☐ si differenziano nel numero degli elettroni di valenza  
 d ☐ si differenziano nelle caratteristiche del nucleo
- Par. 2      4 C'è differenza tra corrente elettrica e intensità di corrente elettrica?
- Par. 2      5 Cosa è una corrente continua?  
 a ☐ È una corrente la cui intensità è costante nel tempo.  
 b ☐ È una corrente che dura nel tempo senza mai interrompersi.  
 c ☐ È una corrente che presenta una densità di corrente omogenea.  
 d ☐ È una corrente che continua a cambiare di intensità.
- Par. 3      6 Un generatore elettrico se inserito in un percorso chiuso:  
 a ☐ producono una corrente di cariche positive dal + al -;  
 b ☐ producono una corrente che per convenzione va dal + al -;  
 c ☐ producono una corrente sempre composta da cariche sia positive che negative;  
 d ☐ producono una corrente che per convenzione va dal - al +.
- Par. 4      7 Il *nano* è pari a ..... volte l'unità di misura base.  
 Il *micro* è pari a ..... volte l'unità di misura base.  
 Il *giga* è pari a ..... volte l'unità di misura base.  
 Il *pico* è pari a ..... volte l'unità di misura base.
- Par. 4      8 Effettuare le seguenti conversioni:  
 a ☐  $1,2 \text{ M}\Omega = \dots\dots\dots \Omega$ ;  
 b ☐  $0,05 \Omega = \dots\dots\dots \text{m}\Omega$ ;  
 c ☐  $3,2 \mu\text{A} = \dots\dots\dots \text{A}$ ;  
 d ☐  $0,025 \text{ V} = \dots\dots\dots \text{mV}$ ;  
 e ☐  $4,3 \cdot 10^{-3} \text{ V} = \dots\dots\dots \text{mV}$ ;  
 f ☐  $3,7 \cdot 10^{-4} \text{ A} = \dots\dots\dots \mu\text{A}$ .

## Problemi svolti

Il numero dei pallini ● indica il grado di difficoltà.

- Par. 2      1 ● Una sezione di un conduttore metallico è attraversata in 2 s da  $10^{12}$  elettroni. Quanto vale l'intensità di corrente?

### Soluzione

Ricordando che un coulomb equivale a  $6,25 \cdot 10^{18}$  elettroni, la quantità di elettricità di un elettrone risulta  $1/6,25 \cdot 10^{18} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Pertanto la quantità di elettricità che attraversa la sezione in due secondi risulta:

$$Q = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{12} = 160 \text{ nC}$$

L'intensità di corrente risulta infine:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{160 \cdot 10^{-9}}{2} = 80 \text{ nA}$$

Par. 2



**2** Una sezione è attraversata in un secondo dal + verso il - da  $10^{19}$  ioni positivi che presentano singolarmente una quantità di elettricità di  $6,4 \cdot 10^{-19}$  C e dal - verso il + da  $10^{20}$  elettroni. Quanto vale l'intensità di corrente?

**Soluzione**

Le cariche negative determinano una intensità di corrente (vedi il precedente problema per la quantità di elettricità di un elettrone):

$$I_{el} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{20} = 16 \text{ A}$$

che convenzionalmente va dal + al -.

L'intensità di corrente degli ioni risulta:

$$I_{ion} = 6,4 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{19} = 6,4 \text{ A}$$

L'intensità di corrente effettiva sarà la somma delle due:

$$I = I_{el} + I_{ion} = 22,4 \text{ A}$$

## Problemi da svolgere

Par. 2



**3** Una sezione è attraversata nello stesso verso da  $10^{15}$  elettroni e da  $10^{15}$  ioni positivi che singolarmente presentano una quantità di elettricità pari a  $6,4 \cdot 10^{-19}$  C. Calcolare l'intensità della corrente che attraversa la sezione (per la quantità di elettricità di un elettrone vedi il problema 1).

Par. 3



**4** In un generatore elettrico ogni elettrone presente al polo negativo presenta, rispetto al polo positivo, un'energia potenziale pari a  $27 \cdot 10^{-18}$  J. Ricordando che la quantità di elettricità di un elettrone risulta pari a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C (vedi problema 1), calcolare la differenza di potenziale del generatore.

## Parole chiave

Gli insiemi delle parole chiave presenti a inizio delle singole sezioni seguono alcune regole:

- le parole usate possono assumere significato da sole o in unione ad altre;
- in linea generale non si usano articoli, preposizioni e coniugazioni (ad esempio "intensità di corrente elettrica" compare con le parole "intensità", "corrente" ed "elettrica" mentre non compare la preposizione "di");
- una parola da usare più volte è scritta più grande (in dimensioni proporzionalmente più grandi al numero di volte).

Seguendo queste regole, ricostruire i corretti termini delle parole chiave di questa sezione e raggrupparli per omogeneità concettuale (è possibile che alcuni possano entrare in più raggruppamenti).

**Soluzione**

La parola "banda" è più grande perché compone sia il termine "banda di valenza" che il termine "banda di conduzione".

Un esempio di possibili raggruppamenti è il seguente:

<b>termini elettrici</b>	corrente elettrica – differenza di potenziale – tensione – generatore elettrico
<b>termini atomici e molecolari</b>	atomo – protone – elettrone – neutrone – molecola – banda di valenza – banda di conduzione