5 LA CONDUZIONE ELETTRICA NEI GAS

A differenza di un conduttore metallico e di una soluzione elettrolitica, un gas (ben protetto da influenze esterne) non ha portatori di carica. Quindi:

> per sua natura un gas è un isolante perfetto.

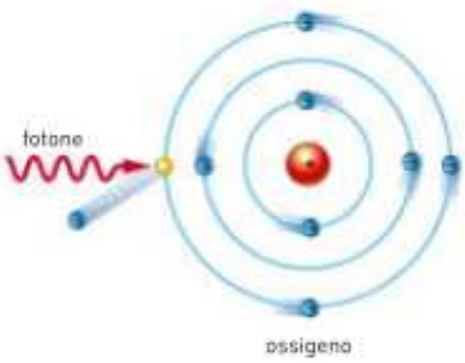
Però il gas diventa conduttore se qualche causa esterna ionizza alcune sue molecole.

ANIMAZIONE
Ionizzazione di un gas

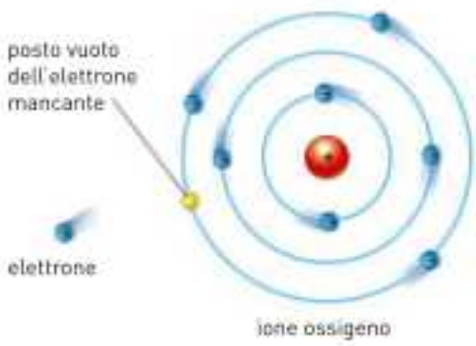
Si può ionizzare una frazione (sia pure molto piccola) delle molecole di un gas, investendole con radiazioni elettromagnetiche di energia adeguata (luce visibile, raggi ultravioletti, raggi X, raggi gamma), oppure con corpuscoli veloci di dimensioni subatomiche (elettroni, protoni) emessi da sostanze radioattive o accelerati da acceleratori di particelle. Questi *agenti ionizzanti* forniscono agli elettroni di alcune molecole un'energia sufficiente a staccarli da esse. Quindi:

> in un gas ionizzato sono presenti ioni positivi, elettroni liberi e ioni negativi, che si formano spesso per cattura di un elettrone libero da parte di una molecola.

- Per esempio, un fotone di luce ultravioletta può colpire un atomo di una molecola di ossigeno e liberare uno dei suoi elettroni più esterni.



- L'atomo diviene così uno ione positivo. Ora nel gas ci sono una carica negativa (l'elettrone) e una positiva libere di muoversi.



Eventualmente, l'elettrone perso dall'atomo di ossigeno può essere catturato da un'altra molecola presente del gas, che si trasforma in uno ione negativo.

In pratica, non è mai possibile sottrarre completamente un gas all'azione degli agenti ionizzanti. Infatti, tutti i materiali di cui è costituita la crosta terrestre contengono piccole quantità di sostanze radioattive che emettono elettroni, particelle alfa (che sono nuclei di elio, cioè due protoni e due neutroni legati assieme) o raggi gamma. Alla ionizzazione di un gas contribuiscono anche le fiamme, la radiazione solare e i raggi cosmici, cioè la pioggia di particelle subatomiche che investe la Terra, proveniente dagli spazi interstellari.

Poiché, dunque, al loro interno è sempre presente un certo numero di ioni e di elettroni liberi, i gas possono essere attraversati dalla corrente elettrica.

Le scariche elettriche nei gas

Per osservare la scarica elettrica in un gas, si racchiude il gas in un tubo trasparente che contiene alle estremità due elettrodi metallici: a questi si collega un circuito esterno, costituito da un generatore *G* e da una resistenza variabile *R* (FIGURA 11).

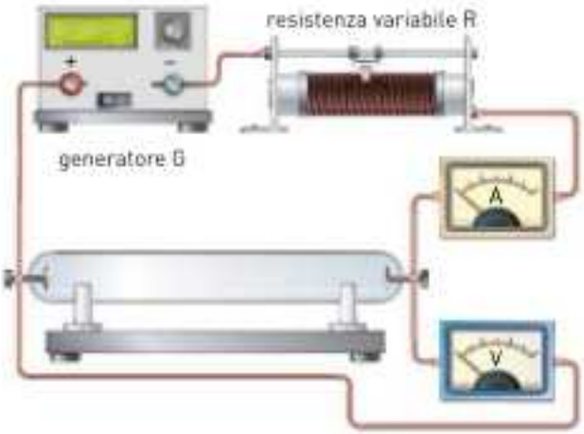


FIGURA 11 ▶ L'apparato sperimentale con cui si studia la conduzione elettrica in un gas.

Modificando *R*, si fanno variare la corrente che attraversa il gas e la differenza di potenziale tra gli elettrodi.

Per qualsiasi pressione del gas, si osserva che l'intensità di corrente non è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata e che la relazione tra queste due grandezze è complessa e diversa da caso a caso. Ciò significa che

> per i gas non vale la prima legge di Ohm.

Al variare della pressione del gas e della differenza di potenziale tra gli elettrodi, la scarica assume aspetti molto diversi.

Se il gas si trova a pressione atmosferica e la differenza di potenziale è sufficientemente elevata, all'interno del tubo scocca una **scintilla**, cioè una scarica luminosa più o meno ramificata a seconda della distanza reciproca degli elettrodi e della loro forma, che è accompagnata da un rumore secco.

> Una scintilla è il risultato di un processo in cui numerose molecole si ionizzano e acquistano dell'energia, che riemettono subito dopo sotto forma di luce.

Nel dettaglio, una scintilla si crea attraverso due meccanismi simultanei, la produzione di ioni e l'emissione luminosa.

- **Produzione di ioni.** Quando la differenza di potenziale tra gli elettrodi è di molte migliaia di volt, i pochi elettroni liberi presenti all'interno del gas ricevono dalla forza elettrica una grande accelerazione (gli ioni, invece, vengono accelerati di meno, per il fatto di avere una massa molto più grande, e si vede che il loro contributo al fenomeno è secondario). Perciò, quando gli elettroni urtano le molecole, strappano altri elettroni, che a loro volta vengono accelerati dalla forza elettrica e ionizzano nuove molecole. Si ha così una *produzione a valanga* di elettroni liberi e di ioni, che provoca un aumento molto rapido della corrente.
- **Emissione luminosa.** In conseguenza degli urti, le molecole del gas immagazzinano temporaneamente dell'energia, per poi riemetterla sotto forma di luce.

Come avviene, più precisamente, l'emissione luminosa?

- Consideriamo l'urto tra uno ione veloce e un atomo di una molecola neutra: l'urto non è così energetico da ionizzare l'atomo, ma può portare un elettrone dell'atomo su un'orbita di diametro più grande, in cui la sua energia è maggiore.

- Ora l'atomo, che è detto «eccitato», si trova in uno stato instabile. Così l'elettrone, per tornare nella sua orbita iniziale, si libera dell'energia acquistata nell'urto emettendo una particella di luce, ossia un fotone.

Se si aspira il gas dal tubo mediante una pompa da vuoto, le caratteristiche della scarica cambiano a seconda della pressione del gas.

A 1000 Pa (circa un centesimo di atmosfera) la conduzione elettrica è silenziosa ed è accompagnata da un'emissione di luce che invade tutto il tubo. Si ha la cosiddetta **scarica a bagliore**, che viene utilizzata nei tubi fluorescenti per l'illuminazione e per le insegne luminose. A pressioni inferiori la luminosità diminuisce progressivamente per poi sparire del tutto.

© 1998 Richard Megna, Fundamental Photographs, NYC

I fulmini

I **fulmini** tra una nube e il suolo sono la manifestazione luminosa di scariche elettriche che attraversano la troposfera, la parte bassa dell'atmosfera, a causa della grande differenza di potenziale che si stabilisce tra la base della nube temporalesca e la superficie sottostante della Terra, come abbiamo visto nel capitolo «Fenomeni di elettrostatica».

Normalmente le cariche negative di una nube e quelle positive del terreno restano separate (FIGURA 12). Se, però, la differenza di potenziale raggiunge valori dell'ordine di 10^8 V, dalla parte inferiore della nube è facile che si inneschi una *scarica pilota* negativa, che avanza verso il suolo a tratti. Man mano che questa scarica scende, localmente, al suolo, la concentrazione delle cariche positive aumenta sempre più per induzione elettrostatica; così, dal basso verso l'alto, parte un'analoga scarica positiva. Quando le due si incontrano, si forma una *scarica di ritorno*, particolarmente luminosa, lungo il cammino conduttore preparato dalla scarica pilota.

Il bagliore del fulmine è dovuto all'emissione luminosa delle molecole dell'aria. Il tuono, invece, è un effetto del calore sprigionato dal rapido movimento delle cariche, che fa espandere improvvisamente l'aria e crea, di conseguenza, un'onda sonora.

FIGURA 12
Le cariche elettriche nelle diverse parti della nube e sul terreno.

Si possono avere fulmini anche all'interno di una nube, tra la base negativa e la sommità positiva, oppure tra la base e la sommità di nubi distinte (FIGURA 13).

FIGURA 13 ▶ Una scarica può avvenire all'interno di una stessa nube o tra nube e nube.

AL VOLO

LAMPADA ALOGENA E CFL
Anche le lampade alogene sono lampade a incandescenza, ma hanno prestazioni migliori rispetto a quelle tradizionali grazie alle reazioni chimiche tra l'elemento alogeno (iodio o bromo) che contengono nel bulbo e il tungsteno del filamento.

- Osserva la tabella sotto e assumi che l'efficienza sia indipendente dalla potenza elettrica: quale flusso luminoso fornisce una lampada alogena da 75 W? [1200 lm]
- A parità di flusso luminoso, quanti watt di potenza elettrica consuma una CFL? [20 W]

Le lampade a fluorescenza

Una lampada a fluorescenza è formata da un tubo di vetro in cui prima è prodotto il vuoto, poi è immesso un gas nobile, solitamente argo o neon, assieme a una piccola quantità di vapori di mercurio. Sulle pareti interne del tubo è depositato uno strato di polveri bianche fluorescenti, per esempio sali di fosforo, e alle sue estremità sono posti due elettrodi. L'elettrodo negativo emette elettroni (per effetto termoionico), che accelerano verso quello positivo.

Percorrendo il tubo, gli elettroni colpiscono ed eccitano gli atomi di mercurio, che emettono radiazione ultravioletta quando ritornano nella loro condizione normale. Questa radiazione per noi è invisibile, ma viene assorbita dallo strato fluorescente che la riemette a una frequenza più bassa, visibile.

In confronto a una lampada a incandescenza di uguale luminosità, una **lampada fluorescente compatta**, o CFL (da «compact fluorescent lamp») consuma circa un quarto della potenza elettrica: una CFL da 13 W fa la stessa luce di una lampada a incandescenza da 60 W e una CFL da 26 W funziona come una da 100 W.

In effetti, le lampade a incandescenza sprecano molta energia: di tutta quella che assorbono, solo il 5-10% produce luce visibile e il resto è disperso come calore. Per questa ragione, nell'intento di promuovere l'efficienza energetica, nel 2009 l'Unione Europea ha messo al bando con una direttiva la produzione delle lampade a incandescenza tradizionali (non quelle alogene).

Oltre a un'efficienza significativamente più alta, le CFL hanno anche una maggiore durata; lampade ancora più efficienti e durevoli sono quelle a LED, che oggi stanno diventando sempre più diffuse. La **tabella** mostra un confronto, in condizioni reali di funzionamento, tra quattro soluzioni di illuminazione basate su diverse tipologie di lampade.

CONFRONTO TRA DIVERSE SOLUZIONI DI ILLUMINAZIONE

Tipo di lampada	Efficienza (lm/W)	Potenza elettrica (W)	Durata (h)	Costo lampada (€/unità)	Risparmio annuo* (€)
Incandescenza tradizionale	12	100	1000	1,00	-
Alogena	16	100	2000	2,00	161
CFL	60	26	10 000	7,00	524
LED	100	16	50 000	16,00	629

* Risparmio rispetto all'uso di lampade a incandescenza

PROBLEMA MODELLO 3
Radiazione ionizzante fra le piastre di un condensatore
→ su amaldipiu.zanichelli.it a pag. 228 PDF
→ nell'eBook

6 I RAGGI CATODICI

Quando in un tubo a scarica la pressione del gas è dell'ordine di 10^{-1} Pa o 10^{-2} Pa (cioè da un milione a dieci milioni di volte minore della pressione atmosferica), sulla parete di fronte al catodo (l'elettrodo negativo) compare una piccola macchia fluorescente.

Si osserva che il bagliore scompare quando si stacca il generatore di tensione. Quindi si deduce che nel tubo sotto tensione si produce un fascio di raggi provenienti dal catodo che, colpendo la parete opposta del tubo, la rendono fluorescente. A causa della loro origine, quando furono scoperti alla fine dell'Ottocento, questi raggi furono chiamati *raggi catodici*.

Gli ioni positivi presenti nel gas sono accelerati verso il catodo e, quando lo colpiscono, cedono energia: così essi estraggono elettroni dal metallo di cui è fatto il catodo.

I **raggi catodici** sono costituiti dagli elettroni emessi dal catodo a causa del suo bombardamento da parte degli ioni positivi.

Gli elettroni emessi sono accelerati verso l'ànodo (l'elettrodo positivo), che è costruito in una forma tale da farli passare, come quella cilindrica che si vede nella FIGURA 14.

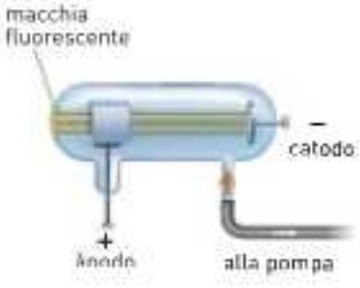


FIGURA 14
L'apparecchio a vuoto con ànodo cilindrico che si usa per studiare i raggi catodici.

Dal momento che il tubo è quasi del tutto vuoto, gli elettroni non sono frenati nel loro moto e arrivano presso l'ànodo con una velocità notevole: se la differenza di potenziale applicata agli elettrodi è di 10 000 V, essi raggiungono una velocità di circa 100 000 km/s, ma non è troppo difficile applicare tensioni più elevate e ottenere, di conseguenza, velocità ancora maggiori.

Al di là dell'ànodo, dunque, gli elettroni sono così veloci che le reciproche forze elettriche repulsive non riescono a deviarli in modo significativo; allora essi procedono praticamente in linea retta fino alla parete di vetro, alla quale cedono, infine, la loro energia cinetica.

L'energia degli elettroni viene riemessa sotto forma di energia luminosa, provocando quel bagliore che si osserva di fronte al catodo.

AL VOLO

VELOCITÀ DI UN FASCIO CATODICO E DIFFERENZA DI POTENZIALE TRA GLI ELETTRODI

Supponi che in un tubo a vuoto gli elettroni emessi dal catodo abbiano velocità iniziale nulla.

▸ Di quale fattore deve variare la differenza di potenziale tra l'ànodo e il catodo affinché la velocità con cui gli elettroni raggiungono l'ànodo raddoppi?

Il tubo a raggi catodici

I vecchi televisori e schermi per computer utilizzano un **tubo a raggi catodici** (o **tubo catodico**), che è un'ampolla di vetro a forma di imbuto al cui interno è stato fatto il vuoto.

Nella parte più stretta del tubo è posto il **cannone elettronico**, che serve a produrre e ad accelerare gli elettroni del fascio catodico. Nella sua forma più semplice, il cannone elettronico è costituito da un catodo riscaldato fino all'incandescenza e da un ànodo forato (FIGURA 15).

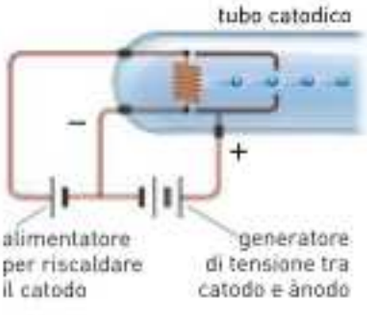


FIGURA 15
Lo schema del cannone elettronico contenuto nel tubo catodico.

ANIMAZIONE
Raggi catodici

Nei tubi catodici si genera un fascio di elettroni molto più intenso di quello che si aveva nei tubi a vuoto più antichi; infatti,

> nei tubi catodici gli elettroni sono emessi per effetto termoionico dal catodo ad alta temperatura, e non semplicemente per bombardamento da parte degli ioni positivi.

Una volta emessi dal catodo, gli elettroni sono accelerati verso l'ànodo e una parte di essi passa attraverso il foro praticato in questo elettrodo, formando un fascio filiforme e quasi monoenergetico (cioè costituito da particelle che hanno tutte la stessa energia).

Il fascio è diretto verso il centro dello schermo fluorescente che si trova all'estremità opposta del tubo e lì forma una macchiolina luminosa. Per far sì che esso colpisca anche altri punti, come è necessario per ottenere un'immagine sullo schermo del televisore o del computer, bisogna deviarlo mediante forze elettriche o magnetiche.

Nei televisori e nei monitor il fascio è deviato da forze magnetiche, che sono l'argomento dei prossimi capitoli. Forze elettriche sono utilizzate invece nell'**oscilloscopio a raggi catodici**, uno strumento che serve a rappresentare su uno schermo l'andamento di una grandezza fisica in funzione di un'altra (per esempio in funzione del tempo).

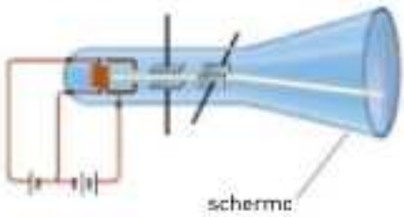


FIGURA 16 ▶ Nel tubo catodico dell'oscilloscopio, due condensatori piani deviano il fascio di elettroni in verticale e in orizzontale.

Nell'oscilloscopio, sul cammino degli elettroni sono posti due condensatori piani (FIGURA 16): uno di essi piega il fascio catodico a destra o a sinistra, l'altro lo piega verso l'alto o il basso.

In ciascuno dei due condensatori un elettrone risente di una forza costante e quindi si muove con accelerazione costante.

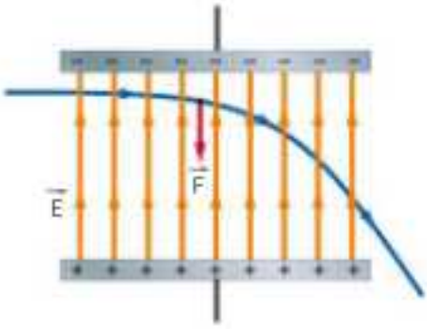


FIGURA 17 ▶ La traiettoria del fascio catodico all'interno di un condensatore piano.

Come mostra la FIGURA 17, la forza elettrica che agisce sull'elettrone tra le armature dell'uno o dell'altro condensatore è perpendicolare alla velocità che esso possiede in ingresso; perciò il moto della particella, fino all'uscita dal condensatore, è simile a quello di un proiettile sparato orizzontalmente.

Variando in modo opportuno la differenza di potenziale tra le armature, è possibile spostare il punto fluorescente attraverso tutto lo schermo. Il moto del punto disegna il grafico della grandezza che si intende studiare.

PROBLEMA MODELLO 4

Deflessione di un fascio di elettroni in un tubo catodico

→ su amaldipiu.zanichelli.it a pag. 229 PDF
→ nell'eBook