

Compendio al capitolo 25: Generazione di corrente nei metalli Conduzione nei liquidi e nei gas

Simone Zuccher

17 gennaio 2013

Indice

1	Generazione di corrente elettrica nei metalli	1
1.1	Estrazione di elettroni da un metallo	1
1.2	Effetto Volta	1
1.3	Effetto Seebeck e termocoppie	2
2	La conduzione di corrente elettrica nei liquidi	2
2.1	Soluzioni elettrolitiche	2
2.2	Elettrolisi	2
2.3	Pile e accumulatori	3
3	La conduzione di corrente elettrica nei gas	3
3.1	Scariche	3
3.2	Fulmini	4
3.3	Lampada a fluorescenza	4

1 Generazione di corrente elettrica nei metalli

1.1 Estrazione di elettroni da un metallo

Il lavoro di estrazione è l'energia minima che occorre fornire per estrarre un elettrone da un metallo. Si osservi che, siccome il lavoro di estrazione è il prodotto tra la carica dell'elettrone e la differenza di potenziale necessaria ad estrarlo dal metallo, il lavoro di estrazione viene comunemente misurato in elettronvolt [eV]. Inoltre, il lavoro di estrazione misurato in elettronvolt è numericamente uguale al *potenziale di estrazione* definito come la differenza di potenziale (considerata positiva) a cui deve essere sottoposto un elettrone per fornirgli una energia pari al lavoro di estrazione. Questo lavoro dipende dal tipo di metallo e si aggira intorno a qualche elettronvolt, come mostrato in tabella 1 che riporta, in ordine crescente, i potenziali di estrazione per i principali metalli.

L'energia può essere fornita al metallo in diverse forme. Quando viene fornita riscaldando il metallo si parla di *effetto termoionico*, quando viene trasmessa da un fotone, si parla di *effetto fotoelettrico*. Albert Einstein (Ulma, 14 marzo 1879 – Princeton, 18 aprile 1955) fu il primo a scoprire che, quando un fotone di energia E colpisce un elettrone all'interno di un metallo, l'energia del fotone si può trasferire direttamente all'elettrone: se questa energia è sufficiente, l'elettrone può essere "estratto" dal materiale.

Elemento	Simbolo	V [eV]
Potassio	K	2.25
Sodio	Na	2.28
Calcio	Ca	3.20
Torio	Th	3.47
Zinco	Zn	4.27
Rame	Cu	4.48
Ferro	Fe	4.63
Argento	Ag	4.70
Nichel	Ni	4.91

Tabella 1: Potenziali di estrazione per i principali metalli

1.2 Effetto Volta

L'effetto Volta è un fenomeno che si osserva mettendo a contatto due conduttori metallici con diversi potenziali di estrazione. Tra le estremità non a contatto si instaura una (piccola) differenza di potenziale pari, in valore assoluto, alla differenza tra i potenziali di estrazione dei singoli metalli.

Tale differenza di potenziale determina una corrente elettrica (flusso ordinato di elettroni), dal metallo a potenziale di estrazione minore verso quello con potenziale di estrazione maggiore. Per esempio, se un pezzo di calcio e uno di nichel sono posti a contatto, siccome la differenza dei loro potenziali di estrazione vale 1.71 V ed il nichel ha potenziale di estrazione più alto di quello del calcio, gli elettroni andranno dal calcio (potenziale minore) al nichel (potenziale maggiore), così come la corrente elettrica.

L'effetto fu studiato dal fisico italiano Alessandro Volta

(Como, 18 febbraio 1745 – Como, 5 marzo 1827), che dai suoi esperimenti con la pila voltaica ricavò due leggi:

1. il contatto tra due metalli diversi alla stessa temperatura fa sì che si stabilisca una differenza di potenziale caratteristica della natura dei metalli che non dipende dall'estensione del contatto (effetto Volta);
2. in una catena di conduttori metallici diversi tra loro e posti alla stessa temperatura, la differenza di potenziale tra i due metalli estremi è la stessa che si avrebbe se essi fossero a contatto diretto.

Volta fece distinzione tra i conduttori di prima specie (o di prima classe), ovvero quei conduttori per cui è valida la seconda legge (i metalli) e i conduttori di seconda specie (o di seconda classe), ovvero quei conduttori che violano la seconda legge (soluzioni di acidi, basi e sali). Egli scoprì che tra due metalli della stessa natura si ha una differenza di potenziale se essi sono gli estremi di una catena di conduttori della quale fanno parte due metalli diversi con interposto un conduttore di seconda classe. Proprio questa scoperta fu alla base della *pila di Volta* riportata in figura 1.



Figura 1: La pila di Volta

Essa è costituita da una colonna di più elementi simili sovrapposti (elementi voltaici) ciascuno dei quali consiste in un disco di zinco sovrapposto ad uno di rame, uniti attraverso uno strato intermedio di feltro o cartone imbevuto di acqua salata o acidulata. Collegando gli estremi superiore ed inferiore della pila per mezzo di un conduttore elettrico si produce un circuito nel quale passa corrente continua.

1.3 Effetto Seebeck e termocoppie

L'effetto Seebeck, o effetto termoelettrico, consiste nel passaggio di corrente in un anello costituito da due metalli differenti (aventi potenziali di estrazione diversi) con le due zone di giunzione poste a differenti temperature. Se le giunzioni non si trovassero a temperature diverse, non si osserverebbe passaggio di corrente. Il fenomeno non può sussistere in un circuito formato da un solo conduttore omogeneo.

L'effetto fu scoperto accidentalmente dal fisico estone Thomas Johann Seebeck (Tallinn, 9 aprile 1770 – Berlino, 10 dicembre 1831) nel 1826 ed è sfruttato nelle termocoppie.

Una termocoppia è costituita da una coppia di conduttori elettrici di diverso materiale uniti tra loro in un punto. Questa giunzione è convenzionalmente chiamata giunto caldo o giunzione calda, ed è il punto nel quale viene applicata la temperatura da misurare. L'altra estremità, costituita

dalle estremità libere dei due conduttori, è convenzionalmente chiamata giunto freddo o giunzione fredda. Quando esiste una differenza di temperatura tra la zona del giunto caldo e la zona del giunto freddo, si può rilevare una differenza di potenziale elettrico tra le estremità libere della termocoppia in corrispondenza del giunto freddo. Tale valore di potenziale elettrico, e la conseguente intensità di corrente che si ingenera nel circuito, sono funzioni della differenza di temperatura tra le due giunzioni per cui, misurando la corrente nel circuito, è possibile risalire alla temperatura da misurare.

2 La conduzione di corrente elettrica nei liquidi

2.1 Soluzioni elettrolitiche

Studiando il passaggio di corrente nei liquidi, lo scienziato inglese Michael Faraday (Newington Butts, 22 settembre 1791 – Hampton Court, 25 agosto 1867) osservò che l'acqua pura non conduce la corrente elettrica mentre se in essa viene disciolto del sale, un acido o una base, essa diventa conduttrice. Chiamiamo *elettrolita* una qualsiasi sostanza che, disciolta in acqua, la rende conduttrice. Le altre sostanze si chiamano non-elettroliti. Chiamiamo *soluzioni elettrolitiche* le soluzioni che contengono elettroliti. L'esperienza mostra che per le soluzioni elettrolitiche, fintanto che la temperatura della soluzione non diventa troppo elevata (lontano dall'ebollizione), vale la *prima legge di Ohm*.

Concentriamoci, per semplicità, su una soluzione di sale da cucina, NaCl. Come noto, gli ioni Na^+ e Cl^- sono tenuti assieme dal legame ionico, un legame che si instaura tra ioni di segno opposto. Nei *cristalli ionici* questo legame è sufficientemente forte da dare origine ad un reticolo cristallino. Se però il cloruro di sodio viene messo in acqua, siccome l'acqua è una molecola polare (la parte dell'ossigeno è negativa, il resto positiva), le molecole d'acqua che penetrano nel reticolo cristallino tendono ad isolare via via sempre di più gli ioni Na^+ e Cl^- (si ricordi che la costante dielettrica relativa dell'acqua è $\epsilon_r = 80$, quindi la forza di Coulomb in acqua è un ottantesimo di quella in aria) fino a provocare la dissociazione della molecola NaCl. Chiamiamo *dissociazione elettrolitica* il fenomeno che avviene quando un elettrolita viene disciolto in un solvente (acqua) dando origine a ioni positivi e negativi. La conduzione nelle soluzioni elettrolitiche è dovuta, pertanto, al trasporto di cariche da parte degli ioni e non al moto di elettroni di conduzione come avviene, invece, nei conduttori metallici.

2.2 Elettrolisi

L'elettrolisi è l'insieme di fenomeni chimici che hanno luogo in soluzioni elettrolitiche grazie all'apporto di energia elettrica esterna per effetto del passaggio di corrente.

Essa è un esempio di conversione di energia elettrica in energia chimica. Il processo inverso all'elettrolisi è la generazione di energia elettrica attraverso una pila, che produce energia elettrica sfruttando trasformazioni chimiche. Il processo di produzione di energia elettrica in una pila è un processo spontaneo, mentre il processo di elettrolisi non avviene spontaneamente in quanto è necessario fornire dal-

l'esterno energia elettrica al sistema perché il processo possa avvenire.

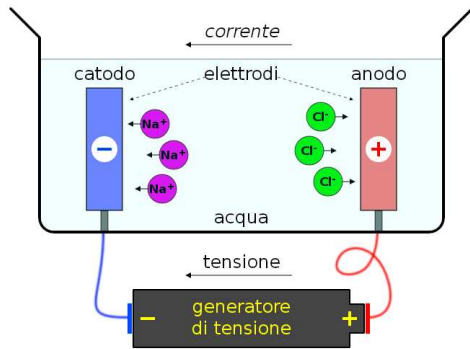


Figura 2: Schema della cella elettrolitica

In figura 2 è schematizzato il passaggio di corrente all'interno di una soluzione elettrolitica. L'anodo è collegato al morsetto positivo del generatore di tensione esterno, mentre il catodo è collegato al morsetto negativo. Come visto in precedenza, gli elettroliti sciolti in soluzione danno origine a ioni positivi e negativi i quali si spostano, all'interno della soluzione, attratti rispettivamente dal catodo e dall'anodo. Questo moto ordinato di cariche si traduce in passaggio di corrente elettrica all'interno della soluzione (in figura 2 la corrente elettrica nella soluzione va da destra verso sinistra).

Chiaramente gli ioni hanno massa non trascurabile (a differenza degli elettroni di conduzione in un metallo) per cui il passaggio di corrente in una soluzione elettrolitica può dare origine ad accumuli consistenti di materia in prossimità degli elettrodi. Questo accumulo è utilizzato nei processi di *galvanoplastica* ossia in processi elettrochimici che permettono, attraverso l'elettrolisi, di ricoprire con un deposito metallico un oggetto non conduttore o di riprodurre, in metallo, la forma di un oggetto non metallico. Quando il deposito avviene su metalli si parla più propriamente di *galvanostegia*. Essa viene usata per di più in ambito industriale per ricoprire un metallo non prezioso con un sottile strato di un metallo più prezioso o più nobile al fine di proteggere strutture metalliche dalla corrosione o per scopi estetico-decorativi. Ad esempio, tramite galvanostegia è possibile ricoprire il rame con l'argento oppure l'acciaio con zinco, stagno, nichel o cromo.

La sostanza più comunemente prodotta per elettrolisi in ambito industriale è il cloro a partire dal cloruro di sodio fuso o dalla salamoia.

Uno studio sistematico sull'elettrolisi fu compiuto da Michael Faraday, che nel 1832 enunciò le sue due *leggi sull'elettrolisi*:

1. la massa di sostanza che si libera presso un elettrodo è direttamente proporzionale alla carica che, attraversando la soluzione, è giunta all'elettrodo stesso;
2. una stessa quantità di carica, attraversando soluzioni elettrolitiche diverse, libera agli elettrodi masse di sostanze che sono direttamente proporzionali ai rispettivi equivalenti chimici. L'equivalente chimico di una sostanza è il rapporto tra il peso atomico (o molecolare) espresso in grammi e la sua valenza.

2.3 Pile e accumulatori

Una *pila* è un dispositivo che converte energia chimica in energia elettrica. Essa è utilizzata come generatore di corrente o generatore di tensione. La pila propriamente detta non è ricaricabile, a differenza della batteria ricaricabile che prende invece il nome di *accumulatore*. Un insieme di più batterie disposte in serie prende il nome di *pacco batteria* (si pensi alla batteria dell'automobile formata da un pacco di sei batterie ognuna delle quali fornisce una forza elettromotrice di 2 V per un totale di 12 V).

Il principio di funzionamento di una pila è una reazione di ossidoriduzione che avviene al suo interno, in cui una determinata sostanza subisce un processo di ossidazione, perdendo elettroni, mentre un'altra sostanza subisce un processo di riduzione, acquistandoli. Data la sua configurazione, la pila consente di intercettare e sfruttare il flusso di elettroni tra le due sostanze. Tale flusso genera dunque una corrente elettrica continua, il cui potenziale elettrico è funzione delle reazioni di ossidazione e riduzione che vi avvengono. Una pila si scarica quando queste reazioni chimiche raggiungono lo stato di equilibrio.

Gli accumulatori (o batterie ricaricabili) sono batterie la cui carica può essere completamente ristabilita mediante l'applicazione di un'adeguata energia elettrica. Alcuni tipi di batterie ricaricabili sono suscettibili di danni dovuti a una scarica completa mentre altre devono essere ciclicamente scaricate onde evitare un rapido degrado delle prestazioni. Tentare di ricaricare batterie non-ricaricabili può provocare un pericoloso surriscaldamento dell'elettrolita fino a causarne la fuoriuscita o l'esplosione.

3 La conduzione di corrente elettrica nei gas

Nei gas, a differenza di quanto accade nei conduttori metallici o nelle soluzioni elettrolitiche, non sono presenti dei portatori di carica. Pertanto, *un gas, per sua natura, è un isolante perfetto*. Tuttavia il gas diventa conduttore se qualche causa esterna produce la ionizzazione di alcune sue molecole.

La *ionizzazione* di un gas è un processo nel quale una molecola, inizialmente neutra, riceve dell'energia sotto forma di onda elettromagnetica (luce visibile, raggi ultravioletti, raggi X o raggi gamma) o di urto (con elettroni, protoni, particelle subatomiche provenienti da spazi interstellari) sufficiente per permettere a qualche elettrone della molecola di staccarsi da essa (qualcosa di simile al lavoro di estrazione di un elettrone da un metallo). Come conseguenza, in un gas ionizzato sono presenti ioni positivi (molecole che hanno perso elettroni), ioni negativi (molecole che hanno acquisito elettroni) ed elettroni liberi.

3.1 Scariche

Per osservare il fenomeno della scarica elettrica in un gas basta racchiuderlo in un tubo trasparente di lunghezza d e porre agli estremi di esso due elettrodi (interni al tubo) collegati ad un generatore di tensione che mantiene una differenza di potenziale ΔV . Il campo elettrico all'interno del tubo è quindi $E = d\Delta V$. All'aumentare della differenza di potenziale tra gli elettrodi, gli ioni presenti nel gas (come

detto in precedenza è rarissimo non trovare ioni in un gas in quanto gli *agenti ionizzanti* sono onnipresenti) iniziano a muoversi provocando l'ingenerarsi di un moto ordinato di ioni (cariche) da un elettrodo all'altro. La corrente che passa nel gas è molto bassa. Dapprima essa aumenta all'aumentare di ΔV , tuttavia raggiunto un certo valore ΔV_s detto tensione di saturazione, l'intensità di corrente non aumenta più all'aumentare di ΔV . È chiaro, quindi, che l'intensità di corrente generata all'interno di un gas *non è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale* del generatore. In altre parole, *per i gas non vale la prima legge di Ohm*.

Si osservi che la ionizzazione di un gas dipende in modo sensibile dalla pressione alla quale si trova. Infatti, se la pressione è alta le molecole (e quindi gli ioni) sono molto vicine tra loro, quindi a parità di differenza di potenziale esterna lo ione ha poco spazio a disposizione per aumentare la propria velocità prima di collidere con altre molecole. Al contrario, a bassa pressione, ossia in atmosfera rarefatta, le molecole e gli ioni sono piuttosto lontani tra loro. A parità di differenza di potenziale esterna, quindi, essi accelerano su distanze più lunghe e raggiungono velocità maggiori. Maggiori velocità significano urti più "energetici" con le molecole neutre e, di conseguenza, maggior produzione di ioni. Per questo, la ionizzazione di un gas diventa più facile al diminuire della pressione. Vediamo ora cosa succede al diminuire della pressione nel tubo.

Alla pressione atmosferica, aumentando ulteriormente ΔV oltre il valore di saturazione, ad un certo punto scocca la *scintilla*. Essa risulta più o meno rammificata dipendentemente dalla forma degli elettrodi e dalla loro distanza ed è accompagnata da un rumore secco e da emissione luminosa (si pensi alla scintilla che serve ad accendere i fornelli a gas). La differenza di potenziale ΔV_i in corrispondenza dello scoccare della scintilla viene detta *tensione di innesco*. Nella formazione della scintilla si osserva che i pochi ioni inizialmente presenti nel gas, sottoposti al campo elettrico $E = d\Delta V_i$ generato dalla tensione di innesco, accelerano ed urtano violentemente altre molecole dando origine ad altri ioni che subiscono la stessa sorte. In un tempo molto breve si ha quindi un fenomeno di produzione di ioni a valanga che provoca la cosiddetta *scarica a valanga*. Aumentando la differenza di potenziale a valori superiori a quello di soglia si osserva un aumento repentino dell'intensità di corrente.

Il processo di scarica è sempre accompagnato dall'emissione di luce. Questo accade perché quando un atomo riceve energia a seguito dell'urto di uno ione su di esso, se l'energia non è sufficiente a ionizzarlo può comunque essere sufficiente a far passare un elettrone ad un livello energetico più alto. Quest'ultimo, essendo in una condizione instabile, dopo un breve intervallo di tempo ritorna alla sua condizione iniziale emettendo l'energia acquistata nell'urto sotto forma di luce (fotoni).

Diminuendo la pressione nel tubo e portandola a circa un centesimo di quella atmosferica (1000 Pa), la scintilla è silenziosa e pervade tutto il tubo, dando origine alla *scarica a bagliore* utilizzata nei tubi fluorescenti delle insegne luminose, nelle lampade al neon, nelle lampade a fluorescenza e negli schermi televisivi al plasma.

Diminuendo ulteriormente la pressione del gas nel tubo, la luminosità diminuisce sempre di più finché sparisce del tutto.

3.2 Fulmini

Il fulmine (noto anche come saetta o folgore) è una *scarica elettrica di grandi dimensioni che avviene nell'atmosfera e che si instaura fra due corpi con una elevata differenza di potenziale elettrico*. Quelli più facilmente osservabili sono fra una nuvola e il suolo, ma sono comuni anche scariche fra due nuvole o all'interno di una stessa nuvola nonché tra una nuvola e un aeroplano, e tra un aeroplano e il suolo.

L'origine del fenomeno dei fulmini non è completamente chiara, in ogni caso alla base di tutto c'è il processo di ionizzazione dell'aria dovuto a vari agenti ionizzanti o il processo di carica di alcune particelle (polveri, pezzetti di ghiaccio, ecc.) a seguito di sfregamento. Le cause principali includono le perturbazioni atmosferiche, ma anche l'impatto di particelle provenienti dal vento solare. Le condizioni ideali per lo sviluppo di fulmini sono i cumulonembi, tipici dei fenomeni temporaleschi, ma sono stati osservati fulmini anche durante tempeste di sabbia, bufere di neve e nelle nuvole di genere vulcanica. Anche le particelle di ghiaccio all'interno della nuvola possono caricarsi contribuendo così all'innesco della scarica elettrica.

In generale le particelle cariche positivamente si accumulano nella parte superiore delle nubi e quelle cariche negativamente nella parte inferiore. Il terreno, solitamente carico negativamente, per induzione si carica positivamente. Quando la differenza di potenziale tra il terreno e la parte inferiore della nuvola raggiunge il valore della tensione di innesco, scocca la prima scarica, detta *scarica pilota*, seguita da una sequenza di successive scariche rammificate.

Il bagliore è dovuto all'emissione luminosa precedentemente spiegata, mentre il tuono è provocato dall'espansione violenta del canale ionizzato che genera un'onda acustica rumorosissima. Siccome il suono viaggia a velocità $a = 340$ m/s, molto inferiore rispetto a quella della luce $c = 300.000$ km/s, il ritardo tra il tuono ed il fulmine è di circa tre secondi per ogni chilometro di distanza dell'osservatore dal fulmine.

L'intensità della corrente elettrica in un fulmine varia tipicamente tra i 10 e i 200 kA (si consideri che bastano circa 2 A per causare danni fisiologici da folgorazione), mentre la tensione di innesco può essere dell'ordine di $10^8 - 10^9$ V.

3.3 Lampada a fluorescenza

La lampada a fluorescenza, di cui quella "a basso consumo" è un esempio, è costituita da un tubo di vetro, che può essere lineare, circolare o variamente sagomato, al cui interno è praticato il vuoto e poi introdotto un gas nobile (argon, xeno, neon, o kripton) a bassa pressione assieme ad una piccola quantità di mercurio liquido che, in parte, evapora mescolandosi al gas nobile. La superficie interna del tubo è rivestita di un materiale fluorescente, dall'aspetto di una polvere bianca (fosforo). A ciascun estremo del tubo è presente un elettrodo. Gli elettroni emessi dal catodo sono accelerati dal campo elettrico generato dalla differenza di potenziale tra i due elettrodi. Quando essi colpiscono gli atomi di mercurio contenuti nel gas, questi ultimi emettono radiazione ultravioletta ed il materiale fluorescente di cui è ricoperto il tubo, investito da tali radiazioni, emette a sua volta luce visibile. La trasformazione prodotta dal materiale fluorescente comporta un'inevitabile perdita di energia, sotto forma di calore, che determina il riscaldamento del tubo.