

ABSTRACT

This paper reports a teaching approach to the Seebeck effect, with attention to the historical, theoretical and experimental aspects.

1. Introduzione

Thomas Johann Seebeck nacque a Reval (Tallin) in Prussia Orientale il 9 aprile 1770. Studiò in Germania (Berlino, Gottinga) laureandosi in medicina nel 1802, ma preferì la ricerca in fisica. All'Università di Jena incontrò Goethe e con lui lavorò alla teoria dei colori e all'analisi dello spettro solare. Scoprì gli effetti termici e chimici riguardanti i diversi colori della luce solare (1806), studiò la polarizzazione ottica nel vetro sottoposto a tensione (1812). Intorno al 1818 Seebeck tornò a Berlino e studiò la magnetizzazione del ferro e dell'acciaio attraversati da corrente. All'inizio del 1820 Seebeck cercò sperimentalmente un legame tra elettricità e calore. Nel 1821, unendo due fili di materiali diversi (rame e bismuto) in un circuito chiuso, scoprì accidentalmente che, portando una giunzione a temperatura più alta dell'altra, si creava un campo magnetico all'interno del circuito. Egli non riconobbe subito che si generava una corrente elettrica quando si scaldava la giunzione. Nei due anni seguenti, 1822-23, riferì le sue osservazioni all'Accademia Prussiana delle Scienze e le pubblicò come "La polarizzazione magnetica dei metalli e dei minerali prodotta da una differenza di temperatura" (*Magnetische Polarisation der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz*, *Abhandlungen der Preussischen Akad Wissenschaften*, Berlin, pp. 265-373). Secondo la teoria di Seebeck il gradiente di temperatura causa la magnetizzazione diretta del metallo e il metallo appena magnetizzato produce un campo magnetico attorno ad esso che influenza l'ago magnetico facendolo ruotare, non coinvolgendo alcuna corrente elettrica. Seebeck sperimentò con vari metalli, con differenti forme date agli stessi, con giunzioni ottenute attorcigliando i fili o con saldature e trovò sempre lo stesso risultato, cioè la deflessione dell'ago magnetico. Costruì un'ampia serie termoelettrica di materiali in base alla loro potenza termoelettrica. Seebeck inventò le termocoppie e le usò per misurare la temperatura. Diventò membro dell'Accademia delle Scienze di Berlino e dell'Accademia Francese delle Scienze nel 1825. Morì a Berlino il 10 dicembre 1831. Le ricerche di Seebeck rimasero piuttosto in ombra per oltre un centinaio di anni, finché si crearono i componenti a semiconduttore.

L'effetto Seebeck venne scoperto in un periodo ricco di risultati importanti nell'elettromagnetismo e nella termodinamica. Basti ricordare: nel 1820 la scoperta dell'effetto magnetico della corrente fatta da Oersted, la formulazione della legge di Biot e Savart, lo studio delle interazioni tra correnti fatto da Ampère; nel 1824 la pubblicazione fatta da Carnot della celebre memoria *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*; nel 1827 la formulazione della legge di Ohm. Infine è da notare l'applicazione dell'effetto Seebeck fatta da Melloni con la termopila (1837).

Considerazioni qualitative e sperimentali esposte in questo articolo possono essere utilizzate nell'insegnamento in una classe di liceo ove si affronti lo studio dell'elettrodinamica: di solito la classe quinta. In chiave didattica, occorre ridurre opportunamente la parte teorica.

2. Effetti termoelettrici

Per studiare l'effetto Seebeck occorre inserirlo all'interno dei cosiddetti effetti termoelettrici. Passano sotto questo nome: l'effetto Thomson, l'effetto Peltier e l'effetto Seebeck stesso.

Nel 1854 W. Thomson (più tardi lord Kelvin) scoprì l'effetto che da lui prese il nome. Se in un circuito elettrico, attraversato da corrente e costituito da un unico tipo di conduttore, è presente un gradiente termico, tra due punti a diverse temperature fluisce una quantità di calore proporzionale all'intensità di corrente e allo sbalzo termico. Dell'effetto Thomson si può dare la seguente spiegazione. Se una barra metallica viene riscaldata in un suo estremo, il calore ad esso fornito incrementa l'energia cinetica media degli elettroni, che si liberano più facilmente e tendono così a raggiungere l'estremo freddo della barra. Tra i due estremi 1 e 2 alle temperature assolute T_1 e T_2 ($T_1 < T_2$) si stabilisce una f.e.m. V_{12} (f.e.m. di Thomson) e un campo elettrico E ; il campo elettrico è legato al gradiente di temperatura dT/dl , ove T è la temperatura assoluta che varia lungo la barra al variare della distanza l . Dunque: $E = \sigma dT/dl$; σ è detto coefficiente di Thomson ed è caratteristico del conduttore e dipende dalla temperatura. La f.e.m. di Thomson si ottiene integrando E lungo la linea l , ovvero:

$$V_{12} = \int_{T_1}^{T_2} Edl = \int_{T_1}^{T_2} \sigma dT.$$

L'effetto scoperto da J.A. Peltier nel 1834 si ottiene quando due conduttori metallici di materiali diversi A e B sono posti a contatto in condizioni di isotermità. In tal caso vi è diffusione di elettroni di conduzione attraverso la giunzione tra i due metalli, sia da A verso B che viceversa, anche se non in egual misura. La ridistribuzione degli elettroni continua finché alla giunzione non si genera un campo di intensità sufficiente a portare il sistema in equilibrio. In questo modo ai capi della giunzione si ottiene una tensione detta f.e.m. di Peltier o coefficiente di Peltier. La f.e.m. di Peltier dipende dai metalli A e B e dalla temperatura T cui essi si trovano; essa si indica col simbolo $(\Pi_{AB})_T$.

Ciò premesso, consideriamo un circuito chiuso costituito da due diversi conduttori metallici A e B e dalle loro giunzioni 1 e 2 mantenute alle rispettive temperature assolute T_1 e T_2 con $T_1 < T_2$ (vedi figura 1). Si può immaginare che gli elettroni si muovano attraverso i conduttori a causa della differenza di temperatura tra le due giunzioni. I versi delle frecce indicano i versi convenzionali delle correnti dovute alle f.e.m. di Thomson V_A e V_B e alle f.e.m. di Peltier $(\Pi_{AB})_{T_1}$, $(\Pi_{AB})_{T_2}$. La somma algebrica V_{AB} di tali f.e.m., cioè la f.e.m. netta, è detta f.e.m. di Seebeck.

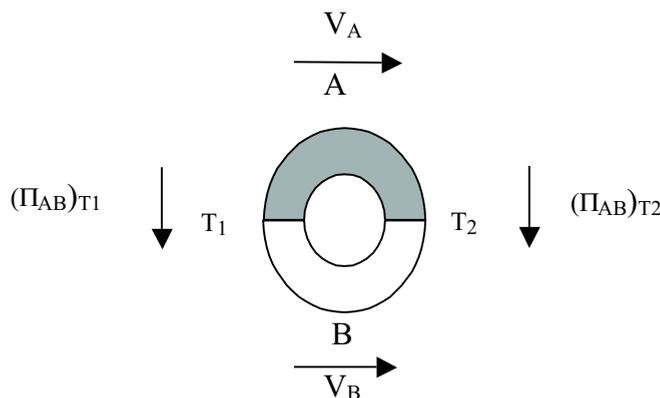


Figura 1. Schema di termocoppia per lo studio teorico dell'effetto Seebeck.

Pertanto risulta:

$$V_{AB} = (\Pi_{AB})_{T_2} - (\Pi_{AB})_{T_1} + V_A - V_B = (\Pi_{AB})_{T_2} - (\Pi_{AB})_{T_1} + \int_{T_1}^{T_2} \sigma_A dT - \int_{T_1}^{T_2} \sigma_B dT. \quad (1)$$

Il circuito chiuso è una termocoppia e la V_{AB} è anche detta f.e.m. della termocoppia. In genere si fissa una delle due temperature, ad esempio quella inferiore T_1 , e si tiene variabile l'altra temperatura. Posto $T = T_2$, se deriviamo la (1) rispetto a T otteniamo:

$$\frac{dV_{AB}}{dT} = \frac{d(\Pi_{AB})_T}{dT} + \sigma_A - \sigma_B = e_{AB}. \quad (2)$$

La derivata della f.e.m. di Seebeck rispetto a T si chiama potenza termoelettrica o potere termoelettrico o coefficiente di Seebeck; si indica con e_{AB} , dipende dai materiali A e B e la sua unità è $\mu\text{V}/\text{K}$. Dalla (2) si ottiene, applicando il secondo principio della termodinamica:

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{(\Pi_{AB})_T}{T} \right) + \frac{1}{T} (\sigma_A - \sigma_B) = 0. \quad (3)$$

Mettendo a sistema le equazioni (2) e (3) e sviluppando in (3) la derivata rispetto a T , si ottengono le nuove equazioni:

$$(\Pi_{AB})_T = T \frac{dV_{AB}}{dT} \quad (4)$$

$$\sigma_A - \sigma_B = -T \frac{d^2 V_{AB}}{dT^2}. \quad (5)$$

Quindi, nota la variazione della f.e.m. di Seebeck (o della termocoppia), si può ricavare la f.e.m. di Peltier per i due metalli A e B e la differenza tra i coefficienti di Thomson degli stessi metalli.

3. Termocoppie

La f.e.m. di Seebeck V_{AB} di una termocoppia, anche con notevoli sbalzi termici, è solo dell'ordine di qualche millivolt. Pertanto l'effetto Seebeck non rappresenta un modo pratico per ottenere energia elettrica dal calore. L'impiego più utile delle termocoppie resta quindi quello della costruzione di termometri con ampio *range*, sfruttando la nota dipendenza di V_{AB} dalla temperatura.

Nel fare i collegamenti con la termocoppia con metalli A e B, generalmente bisogna ricorrere ad un terzo metallo C. Tra le f.e.m. di termocoppia sussiste allora la relazione $V_{AB} = V_{AC} - V_{BC}$ (legge dei metalli intermedi) mantenendo inalterate le temperature assolute T_1 e T_2 ($T_1 < T_2$) delle giunzioni A-B, A-C, B-C. Pertanto si può fissare il metallo C come riferimento (ad es. piombo) e tabulare, per un fissato sbalzo termico, le f.e.m. degli altri metalli rispetto ad esso: la f.e.m. tra due metalli qualsiasi A e B si otterrà grazie alla precedente equazione. Inoltre, inserendo un metallo intermedio D nel circuito di A e B, in modo che le temperature alle giunzioni A-D e B-D abbiano lo stesso valore T_1 , non si avrà alcuna alterazione della f.e.m. della termocoppia A-B le cui giunzioni si trovino alle temperature T_1 e T_2 . La temperatura minore T_1 potrebbe essere quella del ghiaccio fondente (figura 2).

4. F.e.m. di Seebeck e temperatura

Due tratti di metalli diversi, A e B, sono uniti alle estremità in modo da formare un circuito. Quando una delle due giunzioni del circuito viene riscaldata ad una temperatura T_2 e l'altra giunzione viene mantenuta ad una temperatura in-

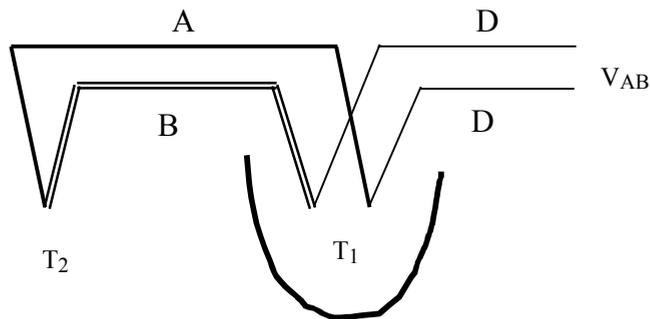


Figura 2. Schema di termocoppia per la misura di temperature con l'uso di tre metalli.

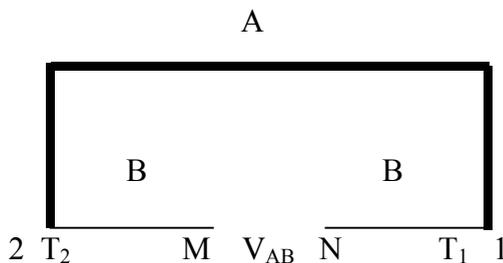


Figura 3. Schema di termocoppia per la misura di temperature con l'uso di due metalli.

feriore T_1 ($T_1 < T_2$), la tensione V_{AB} tra le due estremità aperte del circuito è la f.e.m. di Seebeck ed è alla base della costruzione delle termocoppie. In figura 3 il conduttore B è tagliato nei punti M e N per collegare in parallelo tra essi il voltmetro che consente di misurare V_{AB} .

Con approssimazione la tensione V_{AB} (è la f.e.m. di Seebeck o f.e.m. termoelettrica) è proporzionale allo sbalzo termico $T_2 - T_1$, cioè:

$$V_{AB} = e_{AB} \cdot (T_2 - T_1). \tag{6}$$

Il fattore di proporzionalità e_{AB} è il coefficiente di Seebeck (o potenza termoelettrica) e dipende dai due materiali conduttori A e B presi in esame. La relazione (6) è un'approssimazione di una legge empirica che vede V_{AB} dipendente dalle temperature centigrade t_2, t_1 corrispondenti alle temperature assolute T_2, T_1 ; la sua struttura è del tipo seguente, trascurando addendi di grado superiore al secondo:

$$V_{AB} = \alpha \cdot (t_2 - t_1) - \frac{1}{2} \beta \cdot (t_2^2 - t_1^2) \tag{7}$$

con α e β caratteristiche dei materiali costituenti la termocoppia della figura 3. Fissando una delle temperature, t_1 , l'andamento di $V_{AB} = V_{AB}(t_2)$ è quello di una funzione quadratica e il grafico è una parabola con la concavità verso il basso (figura 4). L'ascissa $t_n = \alpha/\beta$ del vertice è detta *temperatura neutra*. L'ascissa $t_i = 2 \alpha/\beta - t_1$ dell'ulteriore intersezione della parabola con l'asse delle ascisse si chiama *temperatura d'inversione*: oltre di essa la tensione V_{AB} cambia di segno, divenendo negativa. Quindi V_{AB} si annulla in t_1 e in t_i . Tuttavia, operando con temperature superiori t_2 molto inferiori a t_n (tratto ascendente della parabola) la (7) è approssimabile con la (6). In figura 5 è riportato l'andamento della f.e.m. di Seebeck con la temperatura per alcune termocoppie, le cui potenze termoelettriche sono riportate in tabella I.

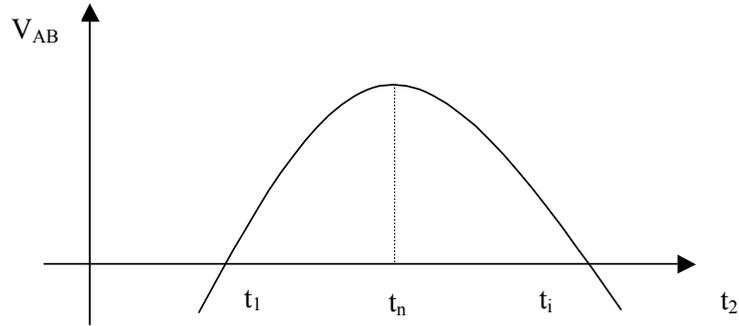


Figura 4. Grafico teorico della f.e.m. di Seebeck in funzione della temperatura.

5. Alcune applicazioni dell'effetto Seebeck

Una delle più note applicazioni dell'effetto Seebeck è la misurazione di temperatura. È possibile effettuare precise misure di temperatura mediante semplici misure di tensione elettrica, usando una termocoppia.

Un'altra applicazione dell'effetto Seebeck è la produzione diretta di energia elettrica. In un generatore termoelettrico una quantità di calore Q_C viene trasferita da una sorgente alla giunzione calda, mentre una quantità di calore Q_F viene ceduta dalla giunzione fredda ad un pozzo termico. La differenza tra le due quantità di calore, $Q_C - Q_F$, è pari al lavoro elettrico prodotto dal generatore. Così un generatore termoelettrico è assimilabile a una macchina termica e il rendimento non può superare il limite $(T_C - T_F) / T_C$, cioè il rendimento della macchina di Carnot operante tra gli stessi termostati. Il principale svantaggio dei generatori (o dei refrigeratori) termoelettrici è la loro bassa efficienza. Solo dopo più di un secolo dalla scoperta di Seebeck, i sistemi termoelettrici sono stati usati per la produzione di elettricità:

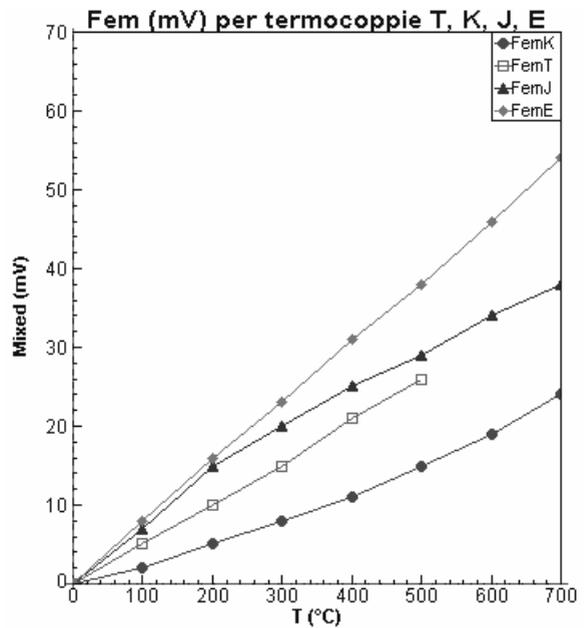


Figura 5. Grafici sperimentali della f.e.m. di Seebeck per alcuni tipi di giunzioni.

tipo	metalli	e ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	range ($^\circ\text{C}$)
K	Al - Cr	34	-200-1260
T	Cu - Con	52	0-500
J	Fe - Con	53	0-760
E	Cr - Con	76	-200-900

Al = alumele ; Cr = chromel ; Con = costantana

Tabella I. Potenza termoelettrica per le giunzioni di figura 5.

con la sostituzione di coppie di metalli con coppie di semiconduttori è stata aumentata in modo consistente la tensione fornita dai dispositivi termoelettrici. Tuttavia ciò non è sufficiente a garantire un rendimento superiore al 10%. Un tale rendimento rimane troppo basso per un impatto decisivo nel campo dell'elettronica o del recupero di calore in eccesso. Questo ha portato ad un progressivo abbandono della ricerca nel settore. Tuttavia, negli ultimi dieci anni nuovi esperimenti ed idee hanno risvegliato l'interesse del mondo della ricerca per la termoelettricità e per le sue possibili applicazioni. Recentemente, la ditta Hi-Z Technology di San Diego ha costruito un generatore termoelettrico da 1000 W capace di sfruttare il calore emesso dal motore diesel di un camion. Il circuito termoelettrico è situato nel tubo di scappamento del camion ed è formato da 49 coppie termoelettriche. Esso sfrutta la differenza di temperatura tra il tubo di scappamento e l'ambiente esterno (circa 200°C). La sua efficienza è del 5%. L'energia elettrica riguadagnata può alimentare diversi sistemi (accessori) elettrici presenti nel camion, diminuendo in tal modo il consumo totale di carburante. Tuttavia anche questa tecnologia non sfrutta ancora abbastanza il calore presente nel tubo di scappamento. Un circuito termoelettrico con una efficienza del 20% aumenterebbe molto la potenza utile del motore. I risultati ottenuti per i camion potranno poi essere estesi anche alle automobili, dove la perdita di energia in forma di calore è ancora maggiore.

6. Esperienze sull'effetto Seebeck

Un apparecchio già predisposto, che ripropone l'esperimento effettuato da Seebeck nel 1821, è costituito da due strisce di diversi metalli A e B, saldate da una parte e unite tra loro dall'altra da un terzo conduttore C. Scaldando la giunzione alla fiamma si nota una stabile d.d.p. V all'altra estremità, ai capi del terzo conduttore. La d.d.p. V cresce con l'aumento della temperatura della giunzione. È possibile osservare una sensibile deviazione dell'ago magnetico inserito (figura 6).

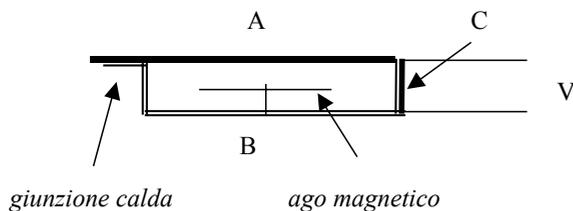


Figura 6. Schema dell'apparecchio usato da Seebeck nel 1821.

Un'esperienza quantitativa, fattibile anche in un laboratorio a gruppi di studenti, può essere eseguita con tre tratti di filo conduttore, uno di rame A e due di costantana B, della lunghezza di circa 15-20 cm l'uno, come appare in figura 3. Le due estremità 1 e 2 del tratto di rame sono saldate ciascuna ad una estremità di un tratto di costantana, formando così le due giunzioni 1 e 2 di figura 3. Se i conduttori sono rivestiti di materiale isolante bisogna trattarli preventivamente in modo da rendere possibile il contatto elettrico nelle due giunzioni. Alle estremità libere M e N si collega un voltmetro digitale con portata 200 mV sensibile a 0,1 mV (tipo DM102 della Digimaster). La giunzione 1 di figura 3 viene immersa in un recipiente di polistirolo con ghiaccio e acqua per mantenerne costante la temperatura; la giunzione 2 è immersa in un recipiente contenente acqua riscaldata da un resistore elettrico ad immersione da 1000 W (tipo 404 della Wasser). Si registrano le temperature centigrade t_1 e t_2 nei due recipienti con due termome-

tri digitali a sonda sensibili al decimo di grado (tipo Checktemp 1 della Hanna Instruments). Si può rifare l'esperienza lasciando raffreddare il recipiente in cui era avvenuto il riscaldamento. I dati delle due prove ottenute in riscaldamento e in raffreddamento sono presentati nei grafici di figura 7. L'andamento dei grafici conferma la prevista linearità tra la f.e.m. di Seebeck e la temperatura. Il fit lineare fornisce una pendenza (e quindi una potenza termoelettrica) di circa $47 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ in riscaldamento e di $45 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ in raffreddamento: valori circa uguali entro gli errori di misura e abbastanza vicini al valore riportato in tabella I.

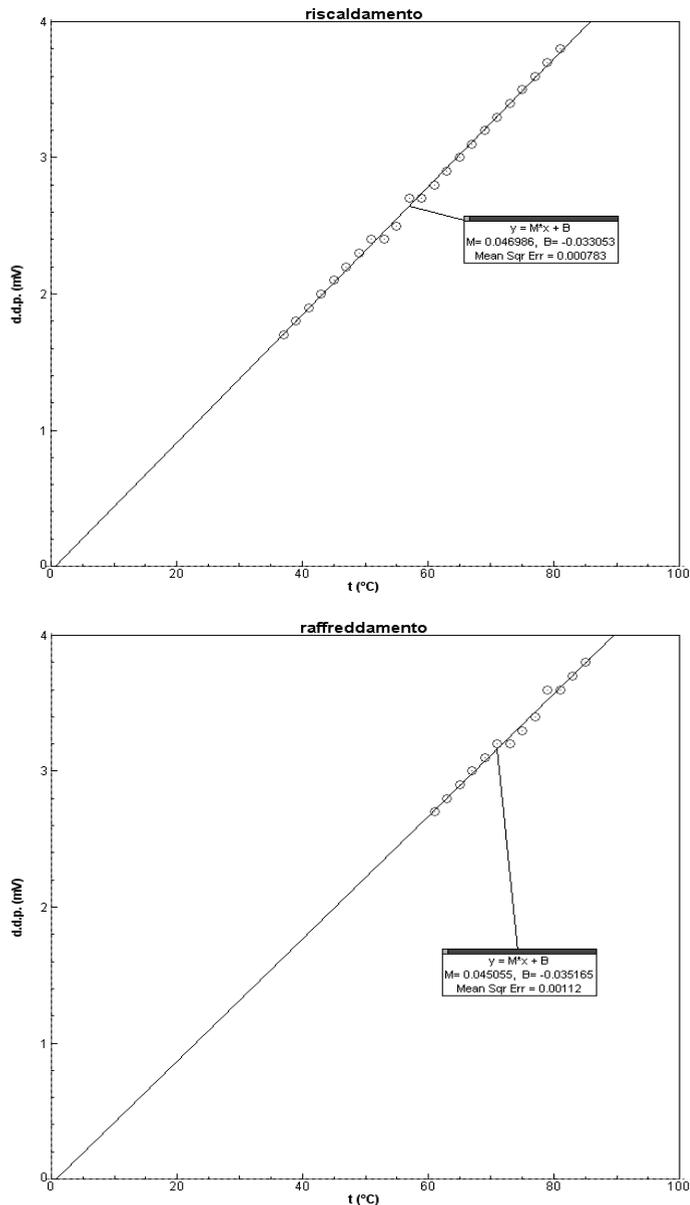


Figura 7. Grafici ottenuti con giunzioni rame-costantana: in riscaldamento (sopra) e in raffreddamento (sotto).

7. Convertitore termoelettrico

È uno strumento prodotto dalla Pasco. Una cella Peltier di materiale semiconduttore è chiusa tra due conduttori metallici che si aprono in due gambe, ciascuna delle quali può essere immersa in un bicchiere contenente acqua. Il convertitore termoelettrico può essere usato, utilizzando l'apposito commutatore, o per convertire l'energia termica in elettrica (effetto Seebeck, figura 8) o per il passaggio contrario, se opportunamente alimentato (effetto Peltier, figura 9).

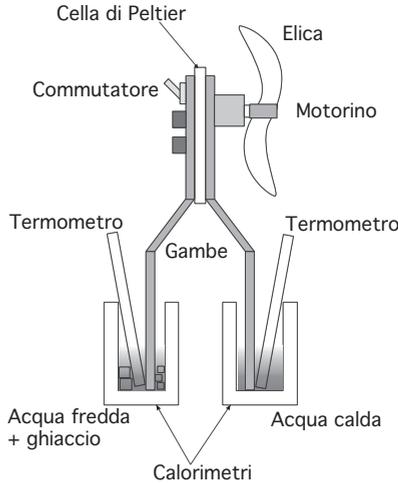


Figura 8. Convertitore come macchina termica.

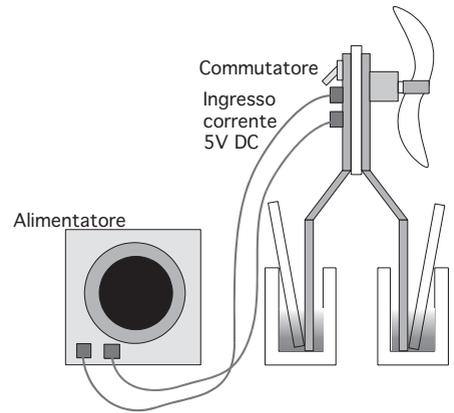


Figura 9. Convertitore come macchina frigorifera.

Sfruttando la prima possibilità, occorre immergere le gambe in due bicchieri di polistirolo contenenti l'uno acqua fredda a temperatura assoluta T_F e l'altro acqua calda a temperatura T_C . Per una buona riuscita occorre che $T_C - T_F$ sia di almeno 40 K. Lo sbalzo termico determina per effetto Seebeck una f.e.m. ai capi della cella, disponibile per creare una corrente elettrica nel motorino ad essa collegato. Il motorino poi aziona una piccola ventola che rende appariscente la conversione energetica. Questo dispositivo può essere visto come una macchina termica operante tra i due termostati a temperature T_F e T_C . Il massimo rendimento

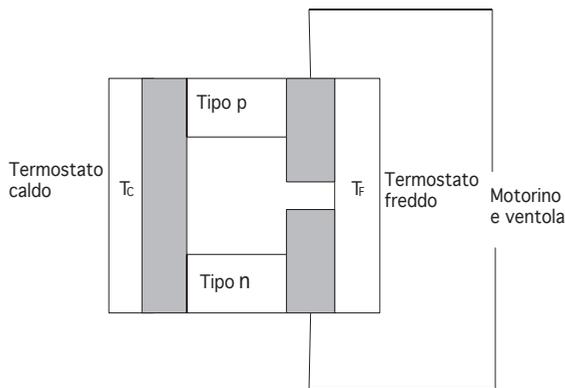


Figura 10. Convertitore che sfrutta l'effetto Seebeck.

possibile è quello della macchina ideale di Carnot operante tra le stesse temperature estreme, ossia $\eta_{\max} = (T_C - T_F) / T_C$; ma il rendimento reale η del convertitore è molto inferiore. Se ad esempio si operasse tra le temperature 0°C e 80°C, che già rappresentano valori molto differenti tra loro per le possibilità pratiche di esecuzione, si avrebbe: $\eta_{\max} = 80 / 353 \approx 0,23$ ovvero 23%. È anche utile, sul piano didattico, presentare lo stesso dispositivo con i due

termostati alla stessa temperatura: il fatto che ora la ventola non si metta in movimento è una conferma del secondo principio della termodinamica nella formulazione dovuta a Kelvin.

Il convertitore utilizza una serie di celle termoelettriche per convertire l'energia termica in energia elettrica secondo l'effetto Seebeck (figura 10). Ma si può utilizzare il convertitore anche per trasformare energia elettrica in energia termica (effetto Peltier). In questa modalità la d.d.p. fornita dall'alimentatore in c.c. determina un passaggio

di calore da una gamba all'altra grazie alle celle termoelettriche: si produce così un sensibile sbalzo termico di una gamba rispetto all'altra (figura 11). Dunque con il convertitore termoelettrico è possibile sfruttare gli effetti termoelettrici per illustrare il funzionamento di una macchina termica e di una macchina frigorifera.

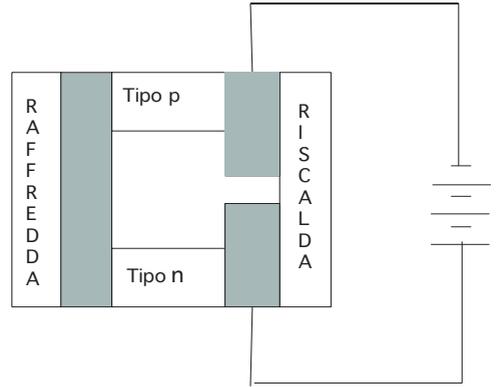


Figura 11. Convertitore che sfrutta l'effetto Peltier.

Si può utilizzare il convertitore per studiare l'effetto Seebeck con materiali semiconduttori anziché con metalli. Per fare questa esperienza si tiene il dispositivo come in figura 8, disattivando però il motorino collegato alla ventola (basta abbassare la levetta del commutatore). L'esperienza è del tutto analoga a quella in raffreddamento descritta nel paragrafo 6. Ora però il voltmetro ha fondo scala 2000 mV. Come si nota dal grafico rettilineo riportato in figura 12, la potenza termoelettrica è in questo caso di circa 11 mV/°C, molto superiore a quella riscontrata usando conduttori metallici.

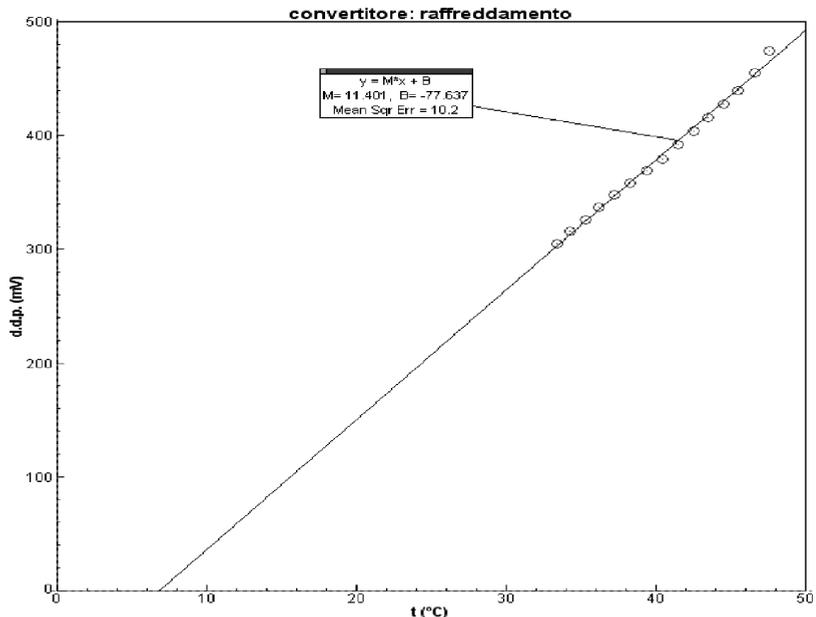


Figura 12. Effetto Seebeck con un convertitore termoelettrico in raffreddamento.

Bibliografia

- [1] F.W. SEARS, *Electricity and Magnetism*, Addison-Wesley P.C., Reading Mass., 1958.
- [2] N.H. FRANK, *Elettromagnetismo e Ottica*, C.E. Ambrosiana, Milano, 1964.
- [3] R. RICAMO, *Guida alle sperimentazioni di Fisica*, C.E. Ambrosiana, Milano, 1969.
- [4] E. AMALDI, *Fisica sperimentale*, Lit. Marves, Roma, 1955.
- [5] E. PERUCCA, *Fisica generale e sperimentale*, Un. Tip. Ed. Torinese, Torino, 1946.
- [6] R.M. WHITTLE - J. YARWOOD, *Experimental Physics for Students*, Chapman & Hall, London, 1973.
- [7] AA. VV., *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, Mondadori, Milano, 1964.
- [8] http://www.acmi.net.au/AIC/SEEBECK_BIO.html (Biografia di Seebeck).
- [9] <http://www.poweron.ch/upload/cms/user/39EffetoSeebeck1.pdf> (S. ROMER, *L'effetto Seebeck*).
- [10] A. BOSSI e P. MALCOVATI, *Dispense di misure elettriche*, Università di Pavia, a.a. 2005-2006.

Il nuovo modo di concepire e affrontare la gestione dei rischi tecnologici è, come accennato, frutto di una profonda evoluzione nei rapporti fra scienza e società e riflette la transizione da un'era accademica, in cui le conoscenze sui pericoli erano confezionate dagli esperti e quindi trasmesse al pubblico, all'era post-academica, in cui le problematiche del rischio trovano una definizione in molteplici contesti e vengono affrontate nell'ambito di una complessa negoziazione tra differenti visioni e interessi.

In questa transizione un ruolo fondamentale è giocato dai processi comunicativi: negli ultimi anni, infatti, la complessa rete di interazioni tra la scienza e le altre istituzioni sociali non ha fatto che infittirsi, delegando alla comunicazione il compito di favorire il confronto tra le parti. Nell'era post-accademica, gli scienziati non possono sottrarsi alla necessità di comunicare con i pubblici dei non esperti – si tratti del politico locale o del funzionario di Bruxelles, dell'industria privata interessata a finanziare la ricerca o del comitato di cittadini che si oppone a un nuovo termovalorizzatore – al punto che oggi “la comunicazione pubblica della scienza assume un ruolo rilevante per lo sviluppo della scienza stessa”.

La comunicazione pubblica è ormai parte integrante anche della gestione dei rischi tecnologici ed è ben lontana dall'essere ridicibile a un monologo tra gli scienziati e il pubblico indifferenziato dei non esperti, come implicitamente proposto dal modello deficitario; appare piuttosto come un'intricata rete di canali comunicativi tra molteplici gruppi sociali, i quali, in compartecipazione con la comunità scientifica, sebbene, in forme e gradi diversi, sono chiamati ad assumere decisioni rilevanti per lo sviluppo di scienza e tecnologia.

Molti di questi canali comunicativi non prevedono il coinvolgimento della comunità scientifica, e i diversi pubblici possono dialogare fra loro senza alcuna mediazione di saperi esperti. Negli ultimi anni, per esempio, i movimenti ambientalisti e le istituzioni politiche hanno stretto un fitto dialogo per stabilire le modalità di gestione e regolamentazione dei rischi associati alle biotecnologie. La campagna pubblicitaria anti- OGM promossa da una nota catena di supermercati italiana, imperniata sull'icona del mostruoso ibrido tra un pesce e una fragola, rappresenta un altro clamoroso esempio e, probabilmente, ha avuto un impatto sull'immaginario delle biotecnologie superiore a qualunque intervento della comunità scientifica rivolto al pubblico in difesa degli alimenti transgenici. E questo indipendentemente dal fatto che l'esistenza del pesce-fragola (ovvero una fragola transgenica ottenuta inserendo nel suo DNA un gene del pesce artico al fine di renderla più resistente alle basse temperature e consentirne la coltivazione anche nei paesi nordici) in realtà sia solo una leggenda.

Giancarlo Sturloni, *Le mele di Chenobyl sono buone*, Sironi Editore, Milano 2006