

**Zeitschrift:** Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2006)

**Heft:** 5-6

**Artikel:** L'effetto Seebeck : la trasformazione diretta di calore in elettricità

**Autor:** Romer, Sara

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-133504>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 12.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# L'effetto Seebeck: la trasformazione diretta di calore in elettricità

Sara Romer\*

In un'automobile, due terzi dell'energia del motore va persa sotto forma di calore (a 200-400°C) attraverso il tubo di scappamento e il sistema di raffreddamento. Se si potesse recuperare vantaggiosamente anche solo una parte di questo calore, una nuova generazione di veicoli più efficienti e dunque più ecologici potrebbe venire sviluppata. Semplice utopia o possibile realtà futura? È stato il fisico tedesco Thomas Seebeck a scoprire nel 1821 che è possibile trasformare in modo diretto il calore in elettricità usando un circuito formato da due metalli diversi. Figura 1 mostra in modo schematico questa osservazione. Due metalli diversi, *a* e *b*, sono uniti ad una estremità in modo da formare un circuito. Quando una delle due giunzioni del circuito viene riscaldata ad una temperatura  $T_C$  e l'altra giunzione viene mantenuta ad una temperatura inferiore  $T_F$  ( $< T_C$ ), una tensione elettrica  $V$  viene generata tra le due estremità aperte del circuito:

$$V = S_{ab} \cdot (T_C - T_F)$$

dove la costante di proporzionalità è chiamata coefficiente di Seebeck per la coppia *a* e *b*. Questo fenomeno è oggi giorno conosciuto come effetto Seebeck ed è in generale un fenomeno termoelettrico. Un circuito che incorpora sia effetti termici che elettrici viene chiamato dunque circuito termoelettrico.

Nel 1834 il fisico francese Jean Charles Athanase Peltier scoprì il fenomeno contrario all'effetto Seebeck: quando una corrente elettrica percorre un circuito costituito da due metalli diversi, una differenza di temperatura tra le giunzioni viene generata. Questo fenomeno viene chiamato effetto Peltier e sta alla base della refrigerazione termoelettrica.

Una delle più note applicazioni dell'effetto Seebeck è la misurazione di temperatura. La tensione elettrica generata in un circuito termoelettrico dipende infatti non solo dai suoi materiali costituenti, ma pure dalla differenza di temperatura tra le due giunzioni,  $T_C - T_F$ . Pertanto è possi-

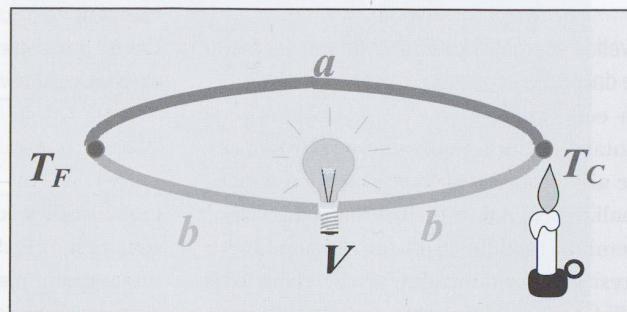


Fig. 1: L'effetto Seebeck: una tensione elettrica  $V$  viene generata riscaldando una delle giunzioni di un circuito formato da due metalli diversi ( $T_C > T_F$ )

bile effettuare precise misure di temperatura mediante semplici misure di tensione elettrica. In questo caso il circuito termoelettrico viene chiamato termocoppia. Una delle termocoppie più utilizzate è quella costituita da un filo di rame e uno di costantana: essa genera una tensione elettrica di circa 40  $\mu$ V per grado Celsius di differenza di temperatura tra le due giunzioni.

Un'altra importante e sempre più apprezzata applicazione dell'effetto Seebeck è proprio la diretta produzione di energia elettrica. Un generatore termoelettrico ha come base lo schema mostrato in Figura 1. Invece di usare un fluido evolvente esterno come i comuni motori termici, esso sfrutta la corrente degli elettroni (le cariche elettriche libere) nei conduttori. Si può immaginare che gli elettroni formano un gas che si muove attraverso i materiali conduttori a causa della differenza di temperatura tra le due giunzioni. In un generatore termoelettrico una quantità di calore  $Q_C$  viene quindi 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. Poiché il funzionamento di un generatore termoelettrico è simile a quello di un ordinario motore termico, il suo rendimento termico non può superare il limite dato dalle leggi della

termodinamica, cioè il rendimento termico del ciclo della macchina termica di Carnot funzionante tra gli stessi limiti di temperatura  $T_C$  e  $T_F$ . Nella pratica il rendimento di un generatore termoelettrico è di molto inferiore a quello di Carnot. Alcune proprietà dei materiali usati in un circuito termoelettrico sono cruciali per l'ottenimento di un alto rendimento. Buoni materiali termoelettrici hanno un elevato coefficiente di Seebeck  $S$ , un'elevata conduzione elettrica  $\sigma$ , ma una bassa conduzione termica  $\kappa$ , vale a dire hanno un elevato fattore di qualità  $Z$ :

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{\kappa}$$

Ai nostri giorni, il principale svantaggio dei generatori (o dei refrigeratori) termoelettrici è dunque la loro bassa efficienza. Dopo la scoperta di Seebeck, più di un secolo è trascorso prima che sistemi termoelettrici siano stati usati nell'ambito della produzione di elettricità. Solo negli anni 1950-1965, a seguito della scoperta dei semiconduttori (materiali le cui proprietà stanno a metà tra quelle tipiche dei metalli e quelle degli isolatori), si è infatti potuto aumentare in modo consistente la tensione elettrica fornita dai dispositivi termoelettrici. La sostituzione di coppie di metalli con coppie di semiconduttori nei circuiti termoelettrici non è però sufficiente a garantire un rendimento superiore del 10%. Un tale rendimento rimane troppo basso per un impatto decisivo nel campo dell'elettronica o del recupero di calore in eccesso. Un circuito termoelettrico non è ancora competitivo nei confronti di un classico sistema a compressione di vapore (rendimento del 35-40%). Questo ha portato ad un progressivo abbandono della ricerca e per i più pessimisti la termoelettricità era un tema senza sbocchi futuri. Tuttavia, negli ultimi quindici anni nuovi esperimenti ed idee hanno risvegliato l'interesse del mondo della ricerca per la termoelettricità e per le sue possibili applicazioni. Nuovi materiali con caratteristiche più favorevoli e rendimenti più elevati sono prodotti e studiati in numerosi laboratori di Stati Uniti, Giappone e Europa [1]. Anche in Svizzera, all'Empa a Dübendorf (Laboratorio federale per la scienza dei materiali e per la tecnologia [2]) si studiano nuovi materiali termoelettrici, soprattutto a base di composti ceramici.

Malgrado il loro basso rendimento, sistemi termoelettrici sono comunque già utilizzati con successo in alcune applicazioni ad alta tecnologia (ed alto costo) grazie alle loro piccole dimensioni, alla loro semplicità, silenziosità e affidabilità.

Ad esempio, a partire dal 1980 generatori termoelettrici a base dei semiconduttori silicio e germanio hanno alimentato le sonde spaziali Voyager e Galileo.

Attualmente si cerca di espandere l'uso di generatori termoelettrici nel campo della conversione ecologica di calore in eccesso in elettricità, come pure nel campo dei sistemi miniaturizzati. Computer sempre più potenti ci offrono un esempio dell'importanza dell'integrazione di generatori e refrigeratori termoelettrici miniaturizzati nell'elettronica.

Ecco alcuni esempi pratici. Durante gli scorsi anni, la ditta Hi-Z Technology di San Diego ha costruito un generatore termoelettrico di 1000 Watt di potenza capace di sfruttare il calore emesso dal motore diesel di un camion [3]. 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 diesel o, usando al stessa quantità di carburante, aumentando la potenza utile del sistema. Tuttavia anche questa tecnologia non sfrutta ancora sufficientemente il calore presente nel tubo di scappamento. Un migliore sfruttamento può venire raggiunto combinando parecchi circuiti termoelettrici o migliorando l'efficienza dei materiali utilizzati. Un circuito termoelettrico con una efficienza del 20% (un obiettivo ambizioso, ma realistico) aumenterebbe considerevolmente 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.

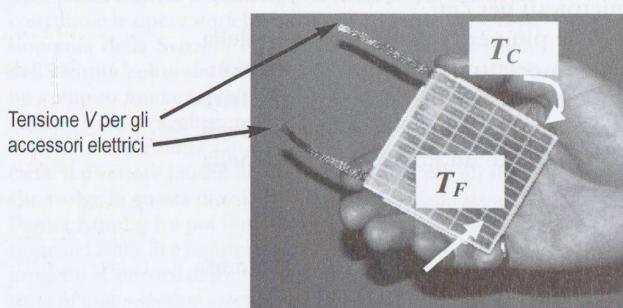


Fig. 2: Generatori termoelettrici possono sfruttare il calore emesso dal tubo di scappamento di camion e automobili [3]. Un lato del modulo termoelettrico si trova alla temperatura  $T_C$  e l'altro lato alla temperatura  $T_F$ .

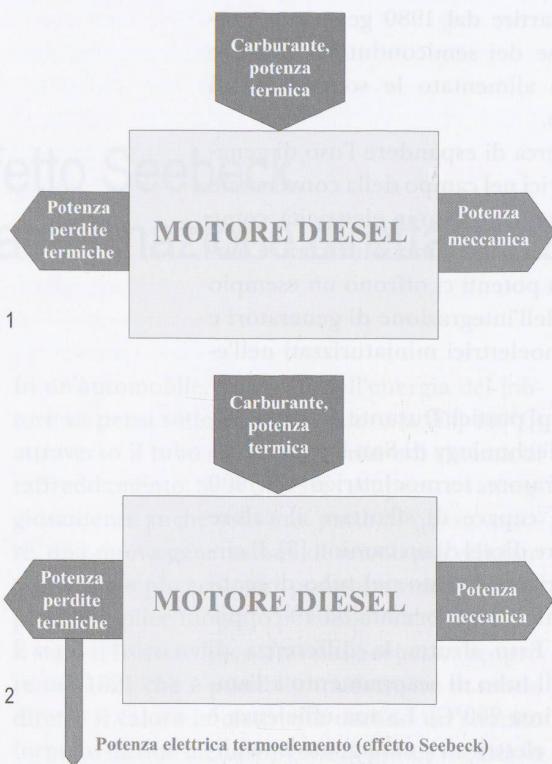


Fig. 3: Diagramma del flusso energetico per un motore diesel senza (1) o con (2) circuito termoelettrico

La ditta islandese Varmaraf ha progettato una serie di generatori termoelettrici che sfruttano l'energia geotermica (semplice acqua calda) di cui l'isola è ricca [4].

Nel campo della ricerca di materiali termoelettrici da incorporare in sistemi miniaturizzati, la ditta Infineon a Monaco di Baviera ha sviluppato i primi modelli [5]. Alcuni di questi possono perfino venire integrati in capi di abbigliamento. Tali generatori termoelettrici miniaturizzati sfruttano la differenza di temperatura tra la superficie del corpo e i vestiti (circa 5°C) e generano una tensione elettrica che può poi essere sfruttata per alimentare sensori per il controllo medico o microchip. Gli attuali modelli generano una tensione di parecchi microwatt per cm<sup>2</sup>.

A dispetto delle più nere ipotesi, il mondo della ricerca sulla termoelettricità non ha ancora esaurito il suo potenziale. Esso sembra invece offrire nuove e affascinanti sorprese che nel corso degli anni potrebbero avere un impatto radicale nella vita quotidiana.

#### Sitografia

- 1-Sito ufficiale della Società Internazionale di Termoelettricità [www.its.org](http://www.its.org)
- 2-[www.empa.ch](http://www.empa.ch)
- 3-[www.hi-z.com](http://www.hi-z.com)
- 4-[www.varmaraf.is](http://www.varmaraf.is)
- 5-[www.infineon.com](http://www.infineon.com)

\* Empa Dübendorf