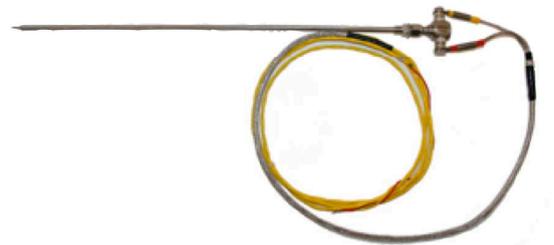
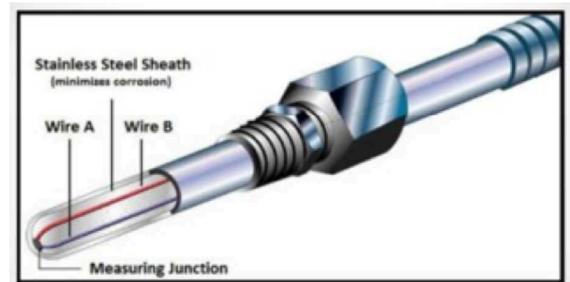


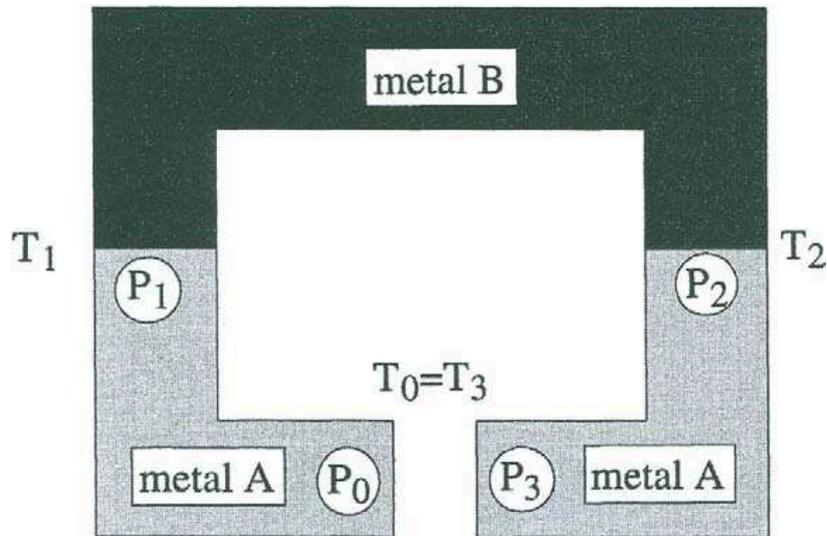
Effetto Seebeck: Termocoppie

Termocoppie



Circuito bimetallico

(anche con due semiconduttori)



$$V_3 - V_0 = \int_{T_2}^{T_1} [S_A(T) - S_B(T)] dT$$

Tensione utilizzabile

Coefficienti Seebeck

Thermoelectric Sensitivity

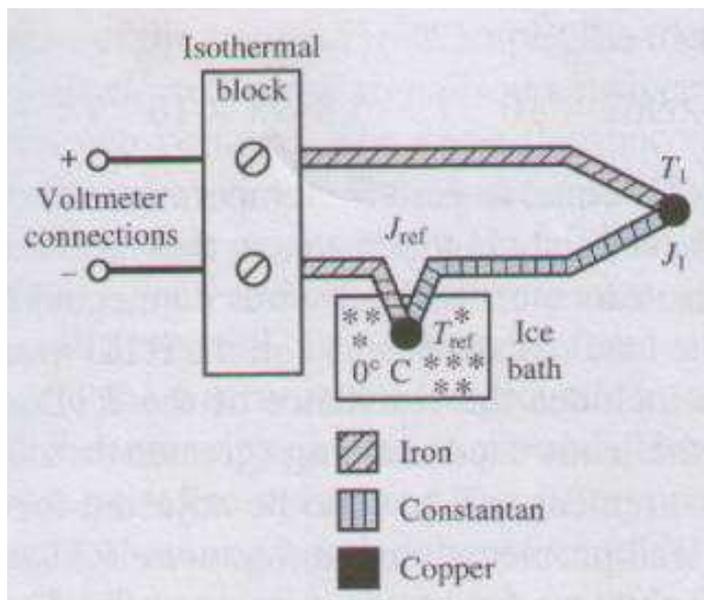
The Seebeck coefficients (thermoelectric sensitivities) of some common materials at 0 °C (32 °F) are listed in the following table.

| Material | Seebeck Coeff. * | Material | Seebeck Coeff. * | Material | Seebeck Coeff. * |
|------------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
| Aluminum | 3.5 | Gold | 6.5 | Rhodium | 6.0 |
| Antimony | 47 | Iron | 19 | Selenium | 900 |
| Bismuth | -72 | Lead | 4.0 | Silicon | 440 |
| Cadmium | 7.5 | Mercury | 0.60 | Silver | 6.5 |
| Carbon | 3.0 | Nichrome | 25 | Sodium | -2.0 |
| Constantan | -35 | Nickel | -15 | Tantalum | 4.5 |
| Copper | 6.5 | Platinum | 0 | Tellurium | 500 |
| Germanium | 300 | Potassium | -9.0 | Tungsten | 7.5 |

*: Units are $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$; all data provided at a temperature of 0 °C (32 °F)

Termocoppie

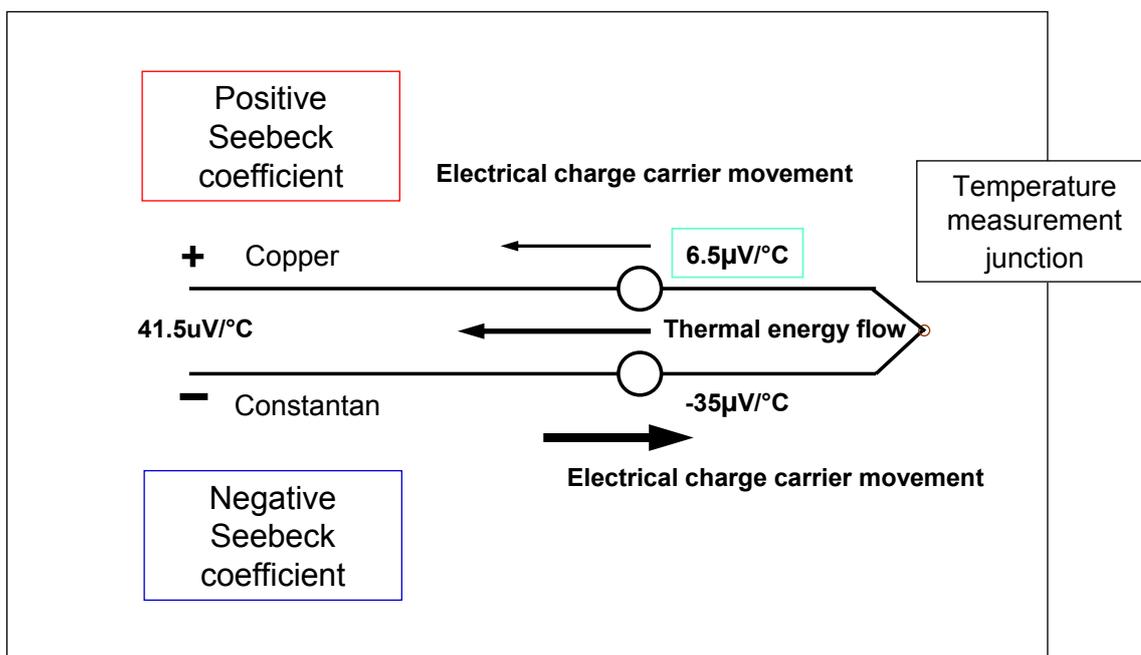
Necessità di un punto di riferimento a temperatura nota



Esempio: ghiaccio fondente, 0°C

Termocoppie

Schema di principio



(nell'esempio, termocoppia Cu/costantana: sensibilità $+41.5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ a 0°C)

Termocoppie: giunzioni

Diversi tipi di giunzione fra materiali



Giunto caldo esposto

- tempo di risposta molto breve
- esposto a possibili aggressivi chimici



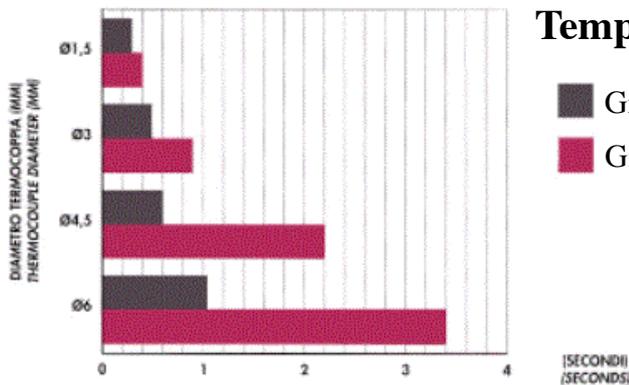
Giunto caldo a massa

- formato con la guaina di protezione (ceramica)
- tempo di risposta breve
- piuttosto robusto, anche per alte pressioni



Giunto caldo isolato

- isolato dalla guaina di protezione
- evita disturbi elettrici
- robusto
- tempo di risposta lungo



Tipologie di termocoppie

| Tipo | | Limiti di temperatura (°C) |
|---------|------------------|-----------------------------|
| Simbolo | Materiali | |
| S | Pt10%Rh - Pt | -50 / 1760 |
| R | Pt13%Rh - Pt | -50 / 1760 |
| B | Pt30%Rh - Pt6%Rh | 0 / 1820 |
| E | Cr - Co | -270 / 1000 |
| J | Fe - Co | -210 / 1200 |
| K | Cr - Al | -270 / 1370 |
| T | Cu - Co | -270 / 400 |
| N | Nicrosil - Nisil | -270 / 400 (1) 0 / 1300 (2) |

Co, Al e Cr → leghe particolari: costantana, Alumel®, Chromel®

Proprietà delle termocoppie

T (Cu/costante):

- resistente alla corrosione in ambiente umido
- usi anche criogenici; a temperature elevate il Cu si ossida
- non magnetica

Tipo J (Fe/costante): • Fe ossida sopra $\sim 540^{\circ}\text{C}$

Tipo E (Chromel®/costante): • elevato coefficiente di Seebeck \rightarrow elevata sensibilità

Tipo K (Chromel®/Alumel®):

- resistenti ad ambienti ossidanti, anche $T > 600^{\circ}\text{C}$.
- non adatte al vuoto (il Chromel® perde Cr \rightarrow scalibrazione)

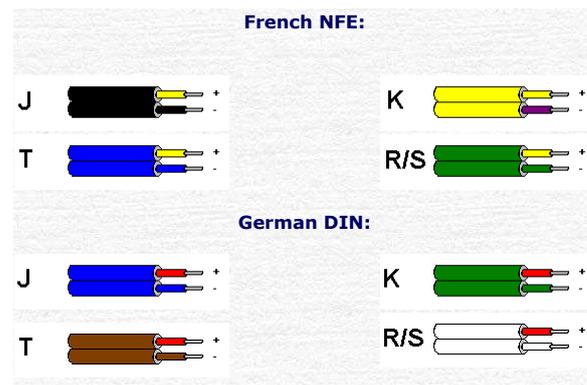
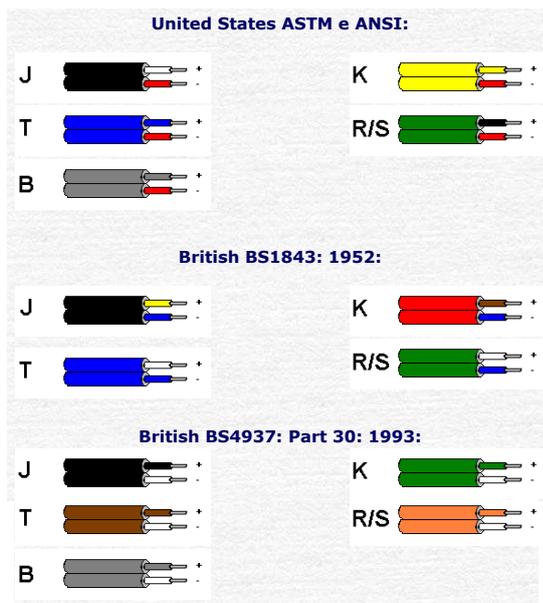
Tipo N (nicrosil/nisil): simile alla K

Tipo R e S (Pt, Rh): • T da $\sim -10^{\circ}\text{C}$ a $\sim 1500^{\circ}\text{C}$.

Tipo B (Pt, Rh <30%): • alte T

Inoltre vi sono numerose termocoppie non standard, l'effetto Seebeck è ubiquo!

Standardizzazione delle connessioni



Risposta delle termocoppie

KEY TO SYMBOLS

| | |
|-------------------|---|
| E | Chromel - Constantan |
| J | Iron - Constantan |
| K | Chromel - Alumel |
| T | Copper - Constantan |
| B | Platinum 6% Rhodium vs. Platinum 30% Rhodium |
| R | Platinum vs. Platinum 13% Rhodium |
| S | Platinum vs. Platinum 6% Rhodium |
| W/W26/Re | Tungsten vs. Tungsten 26% Rhenium |
| W5Re/W26Re | Tungsten 5% Rhenium vs. Tungsten 26% Rhenium |
| W3Re/W25Re | Tungsten 3% Rhenium vs. Tungsten 25% Rhenium |

Data sources: NBS Monograph 125 and
Hoskins Manufacturing Company

TEMPERATURE-MILLIVOLT GRAPH FOR THERMOCOUPLES

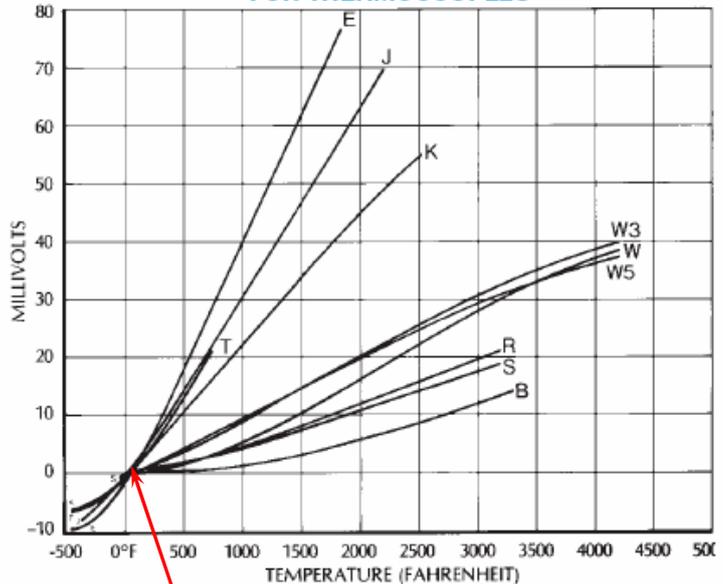
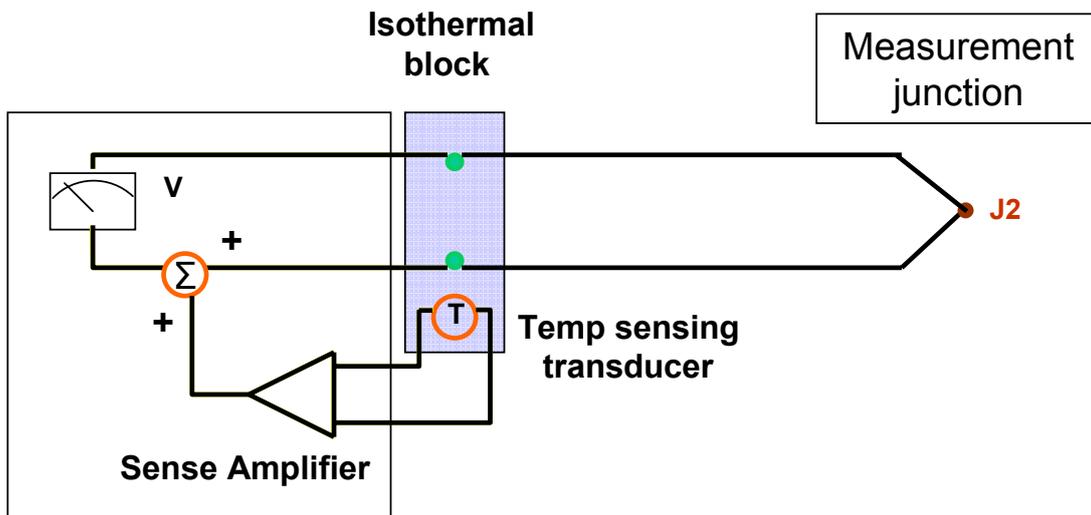


Tabella U.S., riferita a 0 ma in
gradi Fahreneit....

Compensazione del punto a freddo

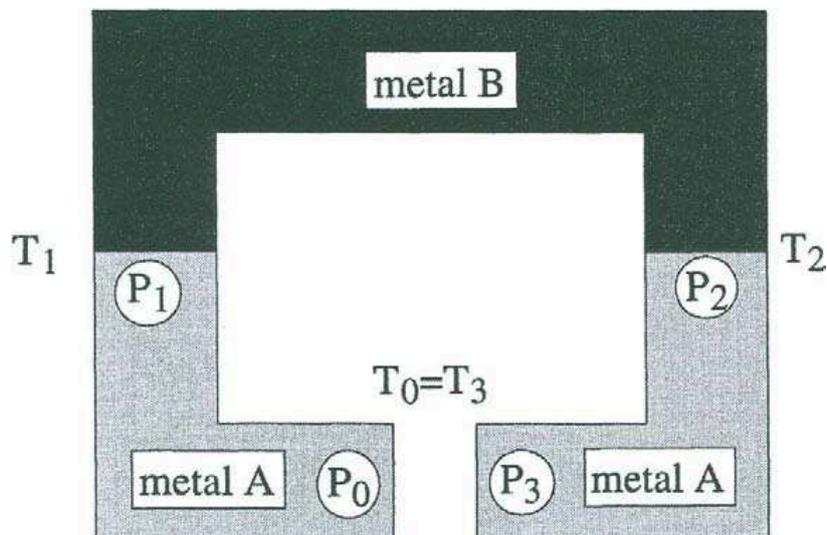


La giunzione di riferimento e un punto del conduttore verso J2 sono ancorati termicamente.

La temperatura del blocco isoterma è monitorata da un sensore (RTD, Thermistor...) e la variazione del riferimento è compensata da circuiteria analogica o via software.

Effetto Seebeck: Generatori termoelettrici (GTE)

Circuito bimetallico (anche con due semiconduttori)

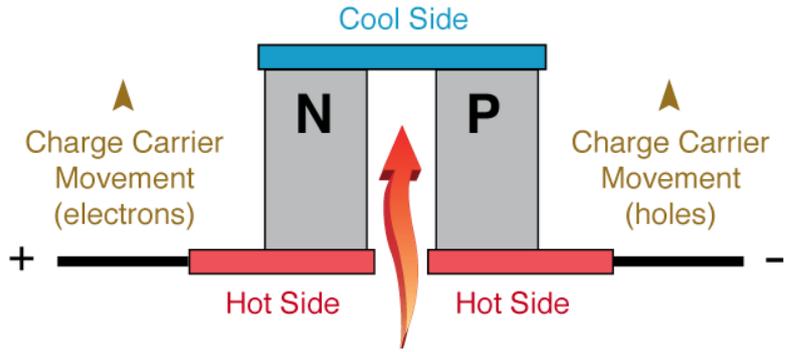


$$V_3 - V_0 = \int_{T_2}^{T_1} [S_A(T) - S_B(T)] dT$$

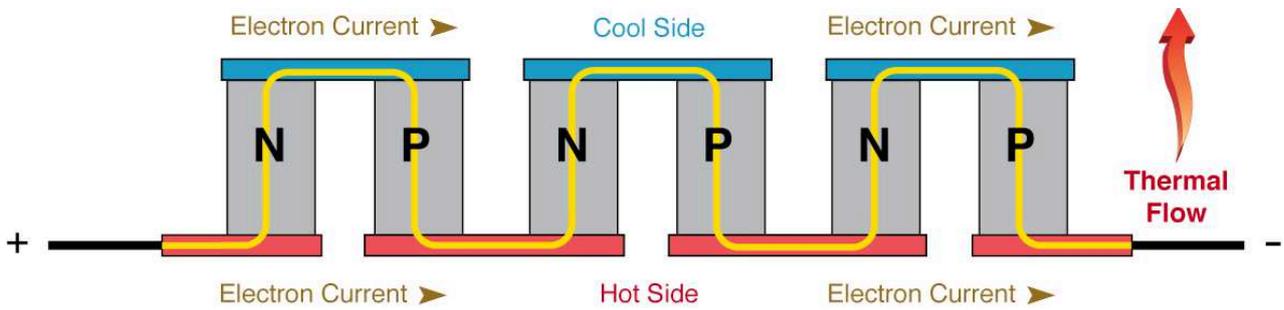
Tensione utilizzabile

Generalità

DUE
circuiti bimetallici,
con $S_n = -S_p!$



Serie elettrica, parallelo termico



Generatore

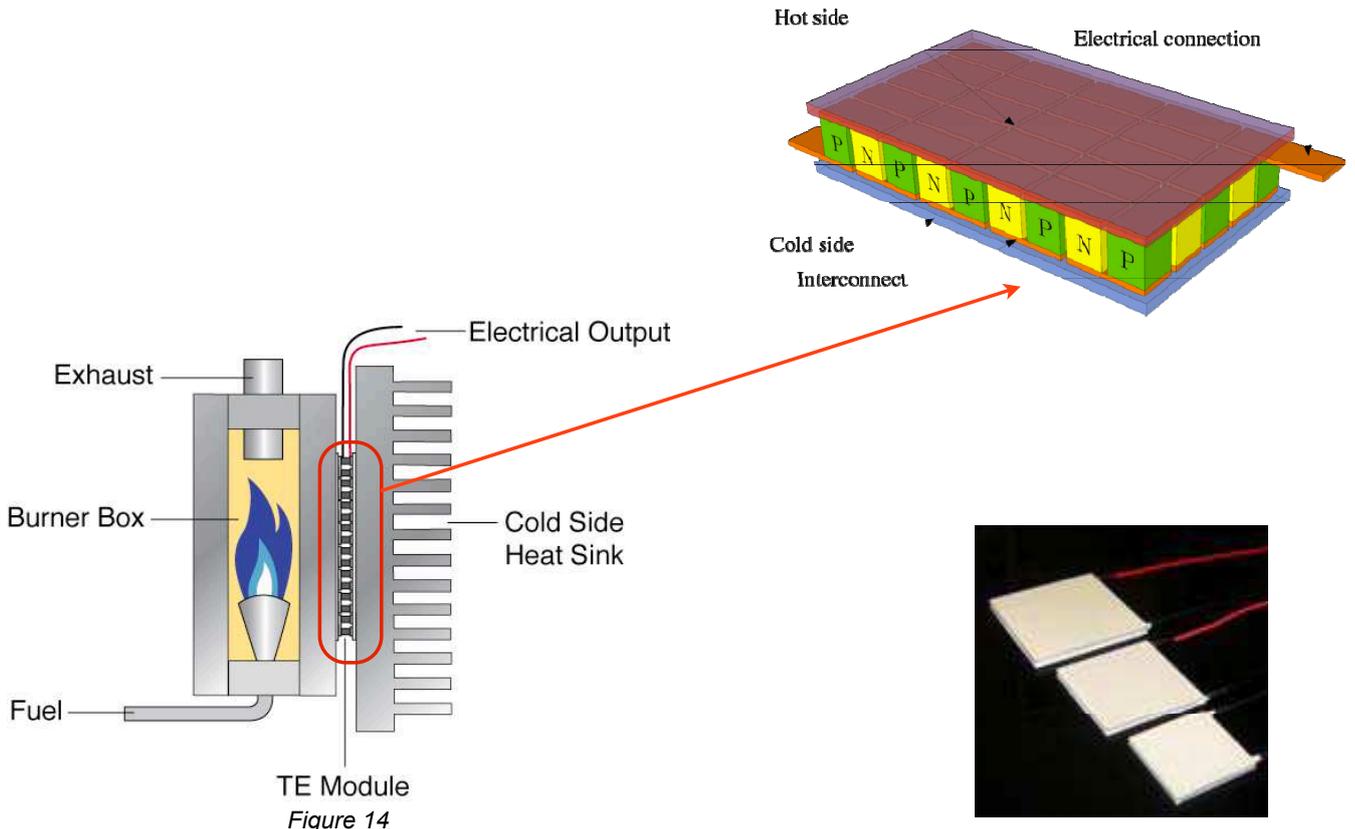
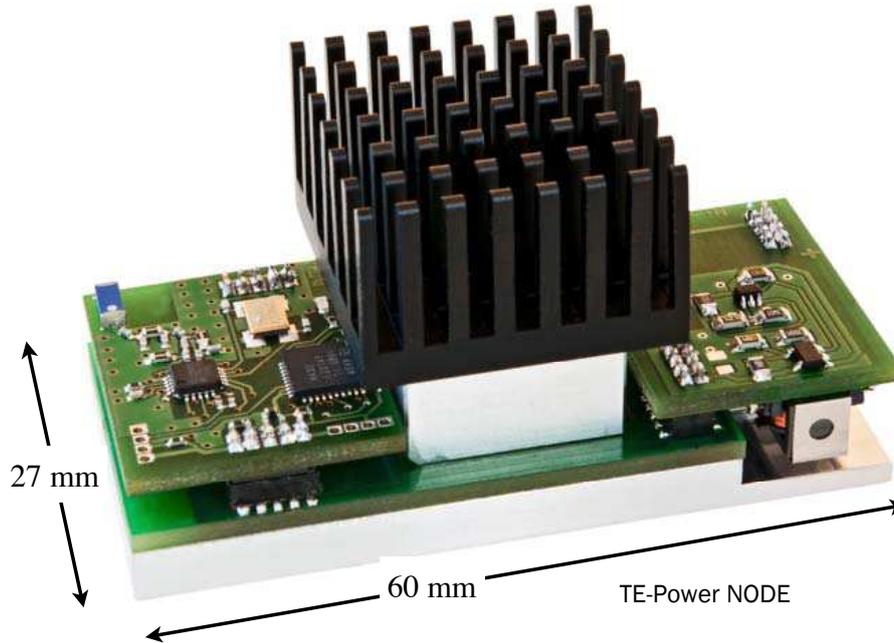


Figure 14

Generatori: microharvesting

February 18, 2009

Micropelt Introduces World's First Thermoharvester-Driven Wireless Sensor Node
Enables battery-free operation of sensor nodes



Generatori: microharvesting

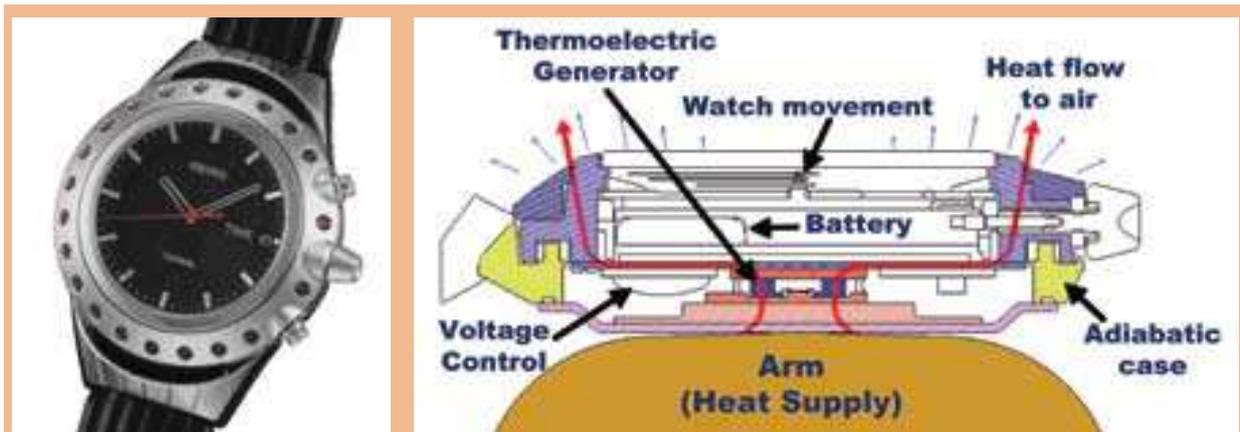
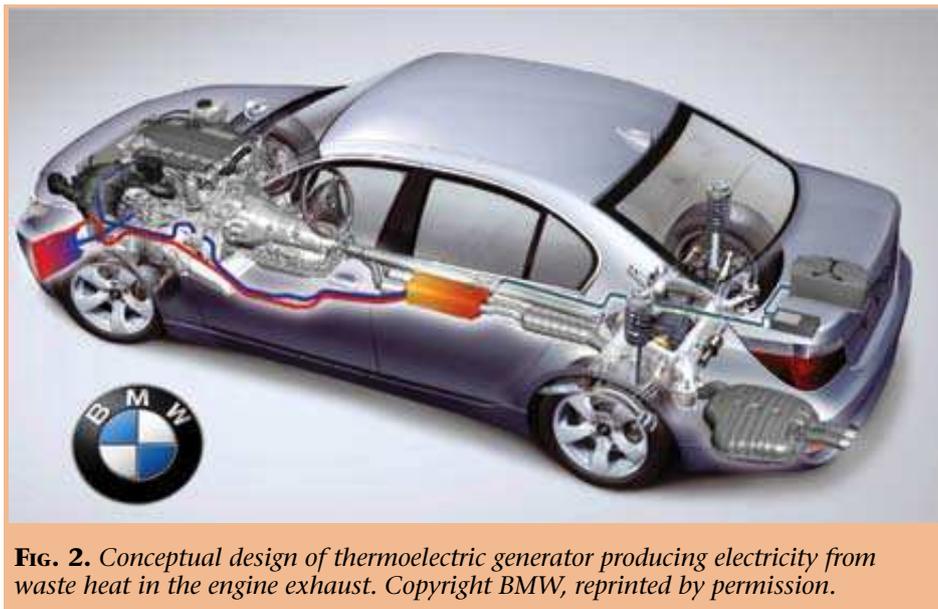


FIG. 5. Seiko Thermic, a wristwatch powered by body heat using a thermoelectric generator; (a) the watch, (b) cross-sectional diagram.¹⁴ (Copyright by Seiko Instruments Incorporated, reproduced with permission.)

(fuori produzione)

Generatori: recupero di energia

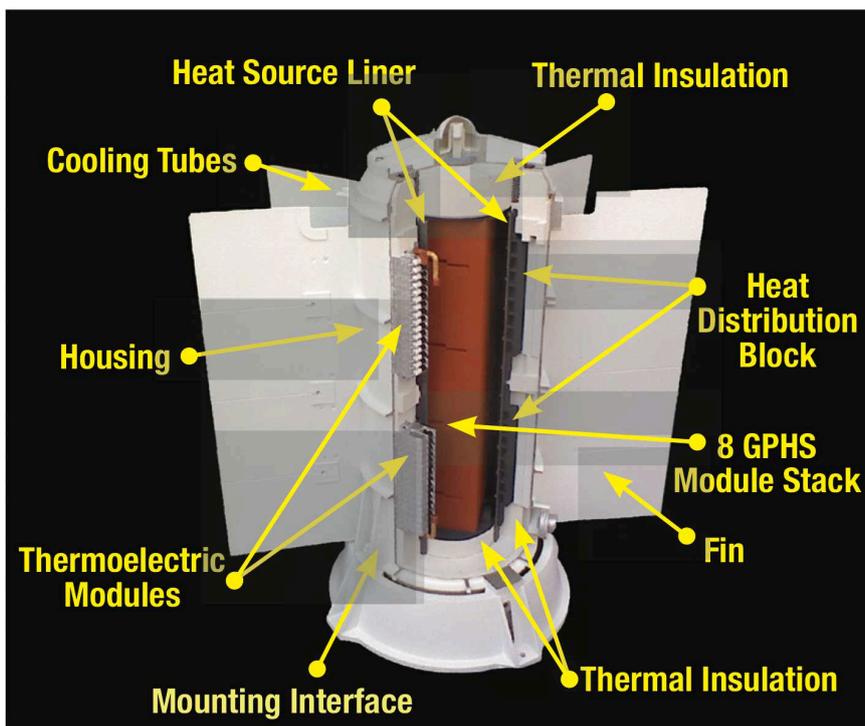


+ calore prodotto dall'immondizia,

...

The Electrochemical Society *Interface* • Fall 2008

Generatori: applicazioni spaziali

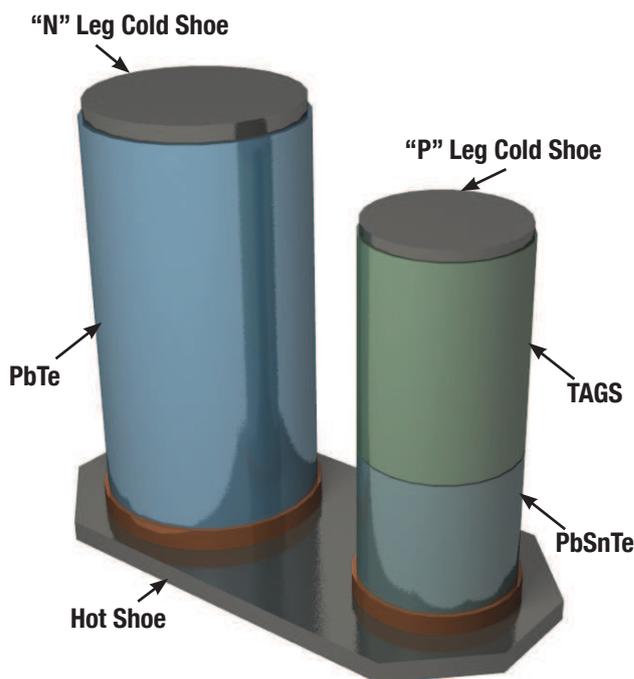


Lifetime > 14 anni

26 missioni (NASA)
con GTE

<https://solarsystem.nasa.gov/rps/rtg.cfm>

Generatori: applicazioni spaziali

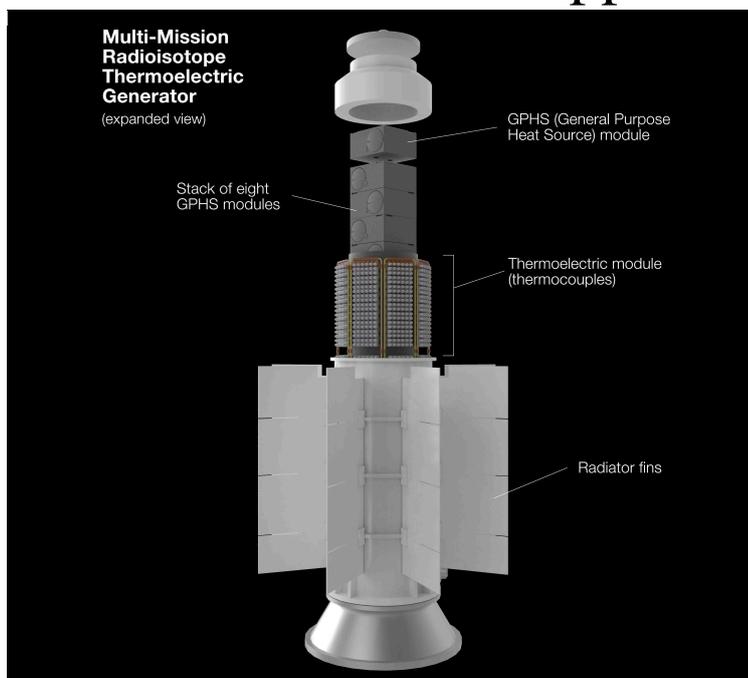


MMRTG:

- 8 General Purpose Heat Source (GPHS) modules.
- 3.52 kg Pu-238: 2000 W di potenza termica, 110 W of potenza elettrica nello spazio.
- PbSnTe, PbTe, usati sin dai Viking (atterrati su Marte nel 1976) e Pioneer.
- 64 cm dia. 66 cm L
- 45 kg

<https://solarsystem.nasa.gov/rps/rtg.cfm>

Generatori: applicazioni spaziali



Labeled pull-apart view showing the major components of the MMRTG, or Multi-Mission Radioisotope Thermoelectric Generator. Image credit: NASA

<https://solarsystem.nasa.gov/rps/rtg.cfm>

