

Anello di DOTTO & effetto Seebeck

(Trasformazione diretta di calore in elettricità)

L'effetto Seebeck, o effetto termoelettrico, descrive il passaggio di corrente in un anello costituito da due metalli o semiconduttori differenti con le giunzioni poste a differenti temperature, ossia in questo fenomeno una differenza di temperatura genera elettricità; se le giunzioni si trovassero alla stessa temperatura, non si osserverebbe alcun passaggio di corrente. Il fenomeno *non è rilevabile in un circuito formato da un solo conduttore omogeneo* e fu scoperto accidentalmente dal fisico estone Thomas Johann Seebeck nel 1821; Seebeck scoprì che l'ago della bussola veniva deviato quando avvicinato ad una termocoppia, sbilanciata per effetto della temperatura. Questo accade in quanto i metalli reagiscono diversamente all'escursione termica a causa della dipendenza del potenziale di estrazione dalla temperatura stessa, creando un loop di corrente che a sua volta genera un campo magnetico, i processi di conversione dell'energia termoelettrica provocano effetti complessi di riscaldamento o raffreddamento del circuito, questi fenomeni innalzano e abbassano le temperature dei conduttori rispetto ai valori che avrebbero senza circolazione di corrente. Il valore di potenziale elettrico indotto, e la conseguente intensità di corrente, sono funzioni della differenza di temperatura tra le due giunzioni per cui, misurando la corrente o tensione nel circuito, è possibile risalire alla temperatura da rilevare; il potenziale elettrico è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura, secondo una legge non lineare. Il lavoro di estrazione non è altro che l'energia minima da fornire per estrarre un elettrone dal metallo, siccome il lavoro di estrazione è il prodotto della carica dell'elettrone per la differenza di potenziale necessaria ad estrarlo viene comunemente misurato in elettronvolt [eV]. Questo lavoro dipende dal tipo di metallo ed è dell'ordine di qualche elettronvolt.

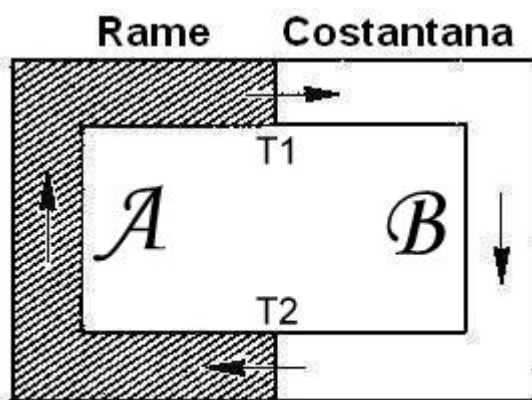
Elemento	Simbolo	V [eV]	Nome del materiale	Composizione	Coefficiente Seebeck ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)
Potassio	K	2.25	Chromel	90%Ni, 10% Cr	25,8
Sodio	Na	2.28	Ferro	99,5% Fe	17,9
Calcio	Ca	3.20	Rame	100% Cu	5,9
Torio	Th	3.47	PtRh10%	90%Pt, 10%Rh	5,3
Zinco	Zn	4.27	Alumel	95%Ni, 2%Al, 2%Mn, 1%Si	- 13,6
Rame	Cu	4.48	Costantana	55%Cu, 45% Ni	- 32,5
Ferro	Fe	4.63	Costantana	55%Cu, 45% Ni	- 32,9
Argento	Ag	4.70			
Nichel	Ni	4.91			

L'effetto Volta è un fenomeno che si osserva mettendo a contatto due conduttori metallici con diversi potenziali di estrazione, tra gli estremi del contatto si instaura una differenza di potenziale pari alla differenza tra i potenziali di estrazione dei singoli metalli. Tale differenza di potenziale determina una corrente elettrica, dal metallo a potenziale di estrazione minore verso quello con potenziale di estrazione maggiore. Per esempio, se un pezzo di sodio ed uno di nichel sono posti a contatto, siccome la differenza dei loro potenziali di estrazione vale " $4.91-2.28=2.63$ V" ed il nichel ha potenziale di estrazione più alto di quello del sodio, gli elettroni andranno dal sodio (potenziale minore) al nichel (potenziale maggiore), così come la corrente elettrica. L'effetto fu studiato dal fisico italiano Alessandro Volta che dai suoi esperimenti con la pila voltaica ricavò due leggi che ritengo utile esporre: 1) il contatto tra due metalli diversi alla stessa temperatura induce 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 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), ossia quei conduttori per cui è valida la seconda legge (i metalli) e i conduttori di seconda specie (o di seconda classe), ossia 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. Questa scoperta fu alla base della pila che venne chiamata di "Volta" in onore dall'inventore. In una termocoppia alla stessa temperatura, l'effetto Volta su una delle due giunzioni, annullerebbe quello sull'altra. Seebeck, a quel tempo non riconobbe la presenza di una corrente elettrica nel circuito da lui realizzato, così chiamò il fenomeno "effetto termomagnetico", pensando che i due metalli fossero magneticamente polarizzati dal gradiente di temperatura.

Il Fisico danese Hans Christian Ørsted ebbe un ruolo fondamentale nel spiegare il fenomeno termoelettrico, altri studiosi hanno sviluppato teorie diverse come Thomson e Bridgman, che hanno basato le proprie argomentazioni su considerazioni di tipo termodinamico oppure come Mott e Jones, che hanno sfruttato la teoria elettronica dei solidi. La F.E.M. termoelettrica è generata dalla presenza di una differenza di temperatura tra le giunzioni di due metalli o semiconduttori diversi, la tensione indotta è dell'ordine di alcuni microvolt per grado Celsius di aumento di temperatura, ad esempio il bi-metallo rame-costantana, ha un coefficiente Seebeck di circa **38.8 microvolt/°C** a 0,0°C. Il coefficiente Seebeck di una qualsiasi coppia di conduttori è uguale alla differenza dei coefficienti di Seebeck di ciascun conduttore riferiti ad uno stesso materiale, il materiale con il coefficiente Seebeck (relativo al platino-67) più positivo sarà il conduttore positivo che, nel caso precedente, corrisponde al conduttore di rame. La giunzione a temperatura maggiore è chiamata giunzione calda, l'altra giunzione fredda.



$$V = \int_{T_1}^{T_2} (S_B(T) - S_A(T)) dT$$

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n V^n$$

La tensione ottenuta può essere derivata da: $S_A - S_B$ che sono il coefficiente Seebeck dei metalli A e B in funzione della temperatura, e $T_1 - T_2$ che sono le temperature delle due giunzioni. I coefficienti Seebeck non sono lineari ma funzione sia della temperatura che della struttura molecolare e cristallina dei conduttori, la ricottura come la deformazione permanente influenzano la potenza termoelettrica perché alterano la struttura di grana del conduttore. Il fenomeno noto come modo freddo modifica la potenza termoelettrica così come le caratteristiche fisiche di un metallo; il modo freddo è un fenomeno che si ha sottoponendo a stress un metallo oltre il suo limite di snervamento, che aumenta la durezza del metallo e ne modifica la potenza termoelettrica. Diverse termocoppie collegate in serie possono formare le così dette termopile, usate a volte per aumentare la tensione di uscita, quando la tensione indotta su ciascun accoppiamento è bassa. Le d.d.p. che si producono nelle due giunzioni non sono uguali, perché i potenziali di estrazione dipendono dalla temperatura. Gli elettroni di conduzione che attraversano la giunzione a temperatura maggiore ricevono un input di energia sufficiente per compensare la perdita dovuta ad effetto Joule, ma accade anche il viceversa: se la lamina bimetallica è percorsa da corrente, le due giunzioni raggiungono temperature differenti e si parla di effetto Peltier,

l'effetto Peltier è concentrato nelle giunzioni, mentre l'effetto Thomson è distribuito lungo i fili. L'effetto Thomson consiste nel trasferimento reversibile di calore tra un conduttore percorso da corrente ed il mezzo circostante; il fenomeno si presenta solo se nel conduttore esiste un gradiente di temperatura, ed è nettamente distinto dall'effetto Joule, per il quale non si può in alcun modo parlare di reversibilità. L'effetto Thomson è detto anche effetto termoelettrico omogeneo in quanto, a differenza dell'effetto Seebeck e dell'effetto Peltier, interessa un singolo materiale. In maniera grossolana si può affermare che nella zona a temperatura maggiore gli elettroni del materiale possiedono una maggiore energia cinetica e quindi tendono a diffondere verso la zona a temperatura minore, generando così un flusso di corrente; dal momento che il sistema viene mantenuto sbilanciato da una differenza di temperatura, non si riesce ad instaurare un regime di equilibrio termico e per questo vi è un flusso continuo di corrente. 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 al 10%. Un tale rendimento rimane troppo basso per un impatto decisivo nel campo dell'elettronica o del recupero di calore in eccesso, ma in applicazioni speciali rimane ancora insostituibile ad esempio a partire dal 1980 generatori termoelettrici a base dei semiconduttori silicio e germanio hanno alimentato le sonde spaziali Voyager e Galileo, oppure generatori termoelettrici miniaturizzati sfruttano la differenza di temperatura tra la superficie del corpo umano ed i vestiti (circa 5°C) e generano una tensione elettrica che può essere sfruttata per alimentare sensori per il controllo medico o microchip; gli attuali modelli disponibili in commercio generano una tensione di parecchi microwatt per cmq. Da qualche anno si è scoperta una trasposizione quantistica dell'effetto Seebeck: lo spin degli elettroni, interagendo con il campo magnetico di un materiale ferromagnetico, conduttore e sede di un campo magnetico interno, dà luogo ad un flusso di cariche in un conduttore ad esso adiacente. Questo fenomeno, chiamato effetto "spin Seebeck", è alla base di un nuovo campo di studio fisico e tecnologico, chiamato spintronica; ricercatori della Ohio State University (USA) sono riusciti ad osservare l'effetto spin Seebeck in un materiale semiconduttore non magnetico, producendo una corrente elettrica maggiore, passando dai microvolts ai millivolts con un aumento di potenza pari ad almeno un milione di volte, l'effetto è stato chiamato "spin Seebeck gigante".

Dotto's Ring

Prima di analizzare il brevetto Americano:3,839,771 dell'Ing. Gianni A. Dotto è bene riflettere sui motivi che hanno spronato questo scienziato a costruire una macchina così particolare nel suo genere. Da una attenta analisi si evince che l'ing. Dotto rilevò strani fenomeni correlati alle differenze termiche, a tal punto da legare la forza di gravità al gradiente di temperatura, come esposto nella famosa "Legge di Dotto":

$$F = G \frac{M'M''}{R^2} \sqrt{\frac{1 - \left(\frac{K'/P_{amu}}{K''/E_{amu}} \right)^2}{1 - \left(\frac{K''}{K'} \right)^2}}$$

$K' = \text{warmest body}$
 $K'' = \text{coolest body}$
 $P_{amu} = 1.00759$
 $E_{amu} = 0.00055$
 $G = 6.66 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ sec.}^{-2}$

The Newton law of attraction $F = G \frac{M'M''}{R^2}$

La sua convinzione fu che i campi "termomagnetici" controllano l'universo (sole=calore; pianeti=freddo) e che la vita biologica essendo immersa in tali campi ne è profondamente e "positivamente" influenzata. A questo punto si capisce come una termocoppia "gigante" possa riprodurre l'effetto Seebeck su larga scala a tal punto da generare campi termomagnetici molto superiori a quelli riscontrabili sulla terra, per cui molte volte più efficaci nell'influenzare gli organismi biologici in campo terapeutico. Il campo termomagnetico non è altro che una fonte di energia bio-compatibile alla quale "abbeverarsi" per vivere più a lungo o per superare meglio la dura battaglia contro le patologie che possono insorgere, in un organismo biologicamente debole o ammalato. A questo punto valutiamo come l'Ing. Dotto ha costruito una termocoppia in grado di sviluppare almeno 30000A di corrente elettrica sfruttando irrisorie differenze di tensione termoelettrica indotta. Per la nota legge di Ohm la corrente non è altro che il rapporto tra la tensione e la resistenza di un circuito elettrico, per cui alte correnti pregiudicano l'utilizzo di circuiti a bassissima resistenza, è per questo che Dotto scelse il rame, metallo economicamente accessibile e secondo per conduttività solo all'argento, come elemento prioritario del suo anello. Lo scalino termico da applicare alla termocoppia venne stabilito in circa 372°C, con tale differenza di temperatura tra le due giunzioni di una termocoppia su di un circuito ad alta impedenza si genera una tensione di almeno una decina di millivolts, questa misera FEM per produrre migliaia di Ampere necessita di un circuito con resistenza pari a qualche micro-ohm, è per questo che l'anello in rame ricotto atto ad avvolgere il paziente è stato ridotto ai minimi termini come dimensione (diametro 70 cm circa) e si è usata una notevole sezione di conduttore omogeneo, circa 30 cmq.

Come secondo metallo della termocoppia venne usata la costantana, lega al 60% di rame e 40% di nichel, sottoforma di tondini pieni, da saldare tramite brasatura ai due lembi dell'anello in rame.

Teoricamente i due bracci della termocoppia, quello in rame ed il ponte in costantana, dovrebbero essere bilanciati, ossia dovrebbero avere caratteristiche ohmiche simili, in maniera da portare algebricamente le correnti di "maglia" ad annullarsi sulla FEM costante dell'effetto Seebeck, è ovvio che se progettualmente si può dimensionare il tutto per un calcolo statico, quando si applica una differenza termica così grande ad un circuito in cui fluisce una corrente così elevata, il tutto obbligatoriamente deve essere tarato in "funzione" come esposto minuziosamente nel brevetto in questione, ulteriori calcoli su di un sistema complesso risulterebbero fuorvianti più che di aiuto.

Allego alcuni calcoli come spunto di riflessione per l'analisi del brevetto:

RESISTENZA ANELLO (calcolata) $R = \text{lunghezza} \cdot \text{Resistività} / \text{Sezione}$ $\Omega = m \cdot (\Omega^2 m) / m^2$ $= 2,1 \cdot (17,241 \cdot 10^{-9}) / 0,003$ R = 12,1 $\mu\Omega$	Corrente CC Anello solo x C.S. (calcolata) $I = \Delta V / \text{Resistenza Anello}$ 1194 A	SPIRA SINGOLA $B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{r}$ <table border="1"> <tr><td>$\mu_0 =$</td><td>4π10⁻⁷</td><td>1,26E-06</td></tr> <tr><td>i =</td><td>1194</td><td>A</td></tr> <tr><td>diam =</td><td>0,7</td><td>m</td></tr> <tr><td>B =</td><td>2,14E-03</td><td>T</td></tr> <tr><td>B =</td><td>21,4</td><td>Gauss</td></tr> </table>	$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06	i =	1194	A	diam =	0,7	m	B =	2,14E-03	T	B =	21,4	Gauss															
$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06																														
i =	1194	A																														
diam =	0,7	m																														
B =	2,14E-03	T																														
B =	21,4	Gauss																														
ΔV (termocoppia Rame - Costantana) $\Delta V = C.S. \cdot \Delta t$ C.S. = 38,8 $\mu V / ^\circ C$ * $\Delta t = 372$ $^\circ C$ media $\Delta V = 14,4$ mV (+Cu) <small>* C.S. = Coefficiente Seebeck (0,0°C)</small>	Resistenza Costantana & Cu (brevetto) $R_{cost} = \Delta V / I$ $\Delta V = 156$ mV I teor. 30000 A Rcost = 5,2 $\mu\Omega$																															
RESISTENZA ANELLO (calcolata) $R = \text{lunghezza} \cdot \text{Resistività} / \text{Sezione}$ $\Omega = m \cdot (\Omega^2 m) / m^2$ $= 2,1 \cdot (17,241 \cdot 10^{-9}) / 0,003$ R = 12,1 $\mu\Omega$	Corrente CC Anello (ΔV brevetto) $I = \Delta V / \text{Resistenza Anello}$ 12926 A	SPIRA SINGOLA $B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{r}$ <table border="1"> <tr><td>$\mu_0 =$</td><td>4π10⁻⁷</td><td>1,26E-06</td></tr> <tr><td>i =</td><td>12926</td><td>A</td></tr> <tr><td>diam =</td><td>0,7</td><td>m</td></tr> <tr><td>B =</td><td>2,32E-02</td><td>T</td></tr> <tr><td>B =</td><td>232</td><td>Gauss</td></tr> </table>	$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06	i =	12926	A	diam =	0,7	m	B =	2,32E-02	T	B =	232	Gauss															
$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06																														
i =	12926	A																														
diam =	0,7	m																														
B =	2,32E-02	T																														
B =	232	Gauss																														
ΔV (termocoppia Rame - Costantana) $\Delta V = C.S. \cdot \Delta t$ C.S. = 38,8 $\mu V / ^\circ C$ * $\Delta t = 372$ $^\circ C$ media $\Delta V = 156$ mV (+Cu) <small>* C.S. = Coefficiente Seebeck (0,0°C)</small>	Resistenza Costantana & Cu (brevetto) $R_{cost} = \Delta V / I$ $\Delta V = 156$ mV I teor. 30000 A Rcost = 5,2 $\mu\Omega$																															
RESISTENZA SHUNT (calcolata) $R = \text{lunghezza} \cdot \text{Resistività} / \text{Sezione}$ $\Omega = m \cdot (\Omega^2 m) / m^2$ $= X \cdot (500 \cdot 10^{-9}) / 0,00065$ R = 23,5 $\mu\Omega$ (l=3) 6,5 cmq sezione tondini 1 X Φ 2,9 cm (l=20cm reg.) 2 X Φ 2,0 cm (l=20cm reg.)	RAME $R = \text{lunghezza} \cdot \text{Resistività} / \text{Sezione}$ $\Omega = m \cdot (\Omega^2 m) / m^2$ $= 2,1 \cdot (17,241 \cdot 10^{-9}) / 0,003$ R = 12,1 $\mu\Omega$ R372C = 30,9 $\mu\Omega$ Rmedia = 21,5 $\mu\Omega$ RESISTENZA SHUNT (calcolata) $R = \text{lunghezza} \cdot \text{Resistività} / \text{Sezione}$ $\Omega = m \cdot (\Omega^2 m) / m^2$ $= 0,15 \cdot (500 \cdot 10^{-9}) / 0,003$ R = 25,5 $\mu\Omega$	SPIRA SINGOLA $B = \frac{\mu_0}{2} \frac{i}{r}$ <table border="1"> <tr><td>$\mu_0 =$</td><td>4π10⁻⁷</td><td>1,26E-06</td></tr> <tr><td>i =</td><td>12926</td><td>A</td></tr> <tr><td>diam =</td><td>0,7</td><td>m</td></tr> <tr><td>B =</td><td>2,32E-02</td><td>T</td></tr> <tr><td>B =</td><td>232</td><td>Gauss</td></tr> </table> <p>Brevetto: B=160-240G</p> <p>Rt = Ro * (1 + $\alpha_0 \cdot t$) R a t °C nota la R a 0°C $\alpha_0 = 4,2 \cdot 10^{-3}$ [1/°C] tondini Φ 2cm su 15cm lunghezza utile</p> <table border="1"> <tr><td>ρ Cu0</td><td>17,24</td><td>X</td></tr> <tr><td>ρ Cumedica</td><td>30,7</td><td>1,8</td></tr> <tr><td>Rcost/Rcu375m</td><td>16,3</td><td></td></tr> <tr><td>Lcost-30cmq</td><td>12,90</td><td>cm</td></tr> <tr><td>Lcost-6,5cmq</td><td>2,8</td><td>cm</td></tr> </table>	$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06	i =	12926	A	diam =	0,7	m	B =	2,32E-02	T	B =	232	Gauss	ρ Cu0	17,24	X	ρ Cumedica	30,7	1,8	Rcost/Rcu375m	16,3		Lcost-30cmq	12,90	cm	Lcost-6,5cmq	2,8	cm
$\mu_0 =$	4 π 10 ⁻⁷	1,26E-06																														
i =	12926	A																														
diam =	0,7	m																														
B =	2,32E-02	T																														
B =	232	Gauss																														
ρ Cu0	17,24	X																														
ρ Cumedica	30,7	1,8																														
Rcost/Rcu375m	16,3																															
Lcost-30cmq	12,90	cm																														
Lcost-6,5cmq	2,8	cm																														
<table border="1"> <tr><th></th><th>Rame</th><th>Costantana</th><th>U.M.</th><th>Costantana/Rame</th></tr> <tr><td>Resistività Elettrica</td><td>17,2</td><td>500</td><td>$\Omega \cdot m \cdot 10^{-9}$</td><td>29</td></tr> <tr><td>Conducibilità Termica</td><td>394</td><td>19,5</td><td>W/(m·K)</td><td>1/20</td></tr> </table>		Rame	Costantana	U.M.	Costantana/Rame	Resistività Elettrica	17,2	500	$\Omega \cdot m \cdot 10^{-9}$	29	Conducibilità Termica	394	19,5	W/(m·K)	1/20																	
	Rame	Costantana	U.M.	Costantana/Rame																												
Resistività Elettrica	17,2	500	$\Omega \cdot m \cdot 10^{-9}$	29																												
Conducibilità Termica	394	19,5	W/(m·K)	1/20																												

La prima cosa che risulta evidente è la mancanza di correlazione tra la resistenza calcolata dell'anello in rame ($12.1 \mu\Omega$) e la resistenza dichiarata nel brevetto ($5.27 \mu\Omega$), le due misure sono comunque dello stesso ordine di grandezza per cui non vincolanti per la comprensione del progetto, quel che invece risulta sicuramente anomala è la tensione misurata sullo Shunt in costantana, 156 mV secondo il brevetto ma solamente 14.4 mV per il puro effetto Seebeck, almeno 10 volte in più di quanto prevedibile in una termocoppia standard, e questo può essere giustificato solamente dagli effetti della presenza di una elevatissima corrente nel circuito, che comunque anche solamente in presenza dell'effetto Seebeck sarebbe superiore ai 1100 A continui!

Dalle teorie di fisica elettronica di mia conoscenza nulla traspare sul fenomeno di auto-oscillazione a 100kHz del ring, tanto ricercato in fase di taratura, che avrebbe le sue origini sul cambiamento dei livelli energetici degli atomi di rame sottoposto ai 30000 A teorizzati dall'Ing. Dotto.

Risulta evidente che di fronte a tali dubbi l'unica maniera per verificare la bontà del progetto è la realizzazione pratica di un prototipo in cui poter misurare tutte le variabili termo-elettriche esposte.

Refrigerazione

Il brevetto prevede l'utilizzo di una stazione di refrigerazione con almeno 10000 BTU , a livello "domestico" questo risulta abbastanza disagiata in quanto, a parte il costo d'acquisto dell'impianto, qualsiasi ulteriore carico alla rete elettrica di casa comporterebbe il disinserimento del contatore, di sicuro se attiviamo in contemporanea anche lo stadio resistivo (6 kW nel brevetto), per cui valutiamo in maniera oggettiva ma soprattutto analitica il problema, per trovare eventuali alternative al frigorifero.

Innanzitutto si deve considerare che un frigo da 10000 BTU non riesce a colmare a pieno la dissipazione teorica di almeno 5 kW poiché convertiti in watt risulterebbero 3 kW circa, ma anche la barra rappresenta un dissipatore solido ottimale, per cui un equilibrio termico si raggiunge lo stesso anche se con temperature di lavoro elevate. Innanzitutto dobbiamo considerare la conducibilità termica della barra in rame che si attesta solitamente attorno ai 350 W/mK

Se dobbiamo trasferire ad esempio 5000 Watt di potenza, considerando la temperatura media all'altra estremità della barra (lato freddo) di 40°C (valore fissato a piacere a seconda delle esigenze, considerando la soglia del dolore dovuta a scottature $T \geq 45^\circ\text{C}$), basta applicare la formula inversa per ottenere la sezione necessaria al trasferimento di calore.

Nel nostro caso la sezione è parte dei dati di progetto, ovvero è vincolata, perciò l'unica variabile con la quale si può giocare è la temperatura del lato freddo o la riduzione di energia trasferita al lato caldo.

Consideriamo a puro scopo di calcolo dimensionale:

$$k = 350 \text{ W/mK}$$

$$Q = ? \text{ W}$$

$$\text{Sezione Rame} = 0.2 * 0.013 = 0.0026 \text{ m}^2$$

$$\text{Lunghezza equivalente barra di rame (con ponte termico in costantana)} \approx 1 \text{ m}$$

$$T_2 = 400^\circ\text{C max} = 673 \text{ K}$$

$T_1 = 40^\circ\text{C} = 313 \text{ K}$: se fissiamo la temperatura del lato freddo a 40°C riusciamo ad asportare una quantità di calore pari a :

$$Q = S * (T_2 - T_1) * k / d = 0,0026 * (400 - 40) * 350 / 1 = 327 \text{ W}$$

Tale valore rappresenta il limite massimo teorico di trasferimento di potenza della barra nella direzione parallela al flusso termico fra le due temperature, che non può essere aumentato se non aumentando la differenza di temperatura fra i capi (ad esempio riducendo la temperatura al lato freddo), questo significa che se consideriamo una temperatura del lato freddo di 40°C la quantità di calore che riusciremo ad asportare dal forno sarà massimo di 327 Watt se riduciamo la temperatura T_1 a -10°C tale valore aumenterà a 373 W .

In considerazione di ciò per dissipare tale potenza sarà sufficiente mantenere l'estremo della barra alla temperatura T_1 per il tempo di funzionamento, magari facendovi scorrere anche dell'acqua da un rubinetto, la quale però ha una temperatura che entro certi limiti può variare. Per asportare il calore

necessario dall'estremità della barra è necessario determinare la superficie di contatto tra fluido refrigerante e la barra stessa, maggiore sarà la superficie di contatto e più efficiente sarà lo scambio termico. Quello che si vuol fare è un po' il principio che viene adottato negli scambiatori di calore a batteria, facendo cioè passare i flussi caldo e freddo perpendicolarmente tra loro. con tale metodologia si va ad aumentare la superficie di contatto a parità di ingombri, aumentando così l'efficienza del sistema. In questo caso il flusso termico della barra di rame è rappresentato dal fluido A mentre l'acqua dal fluido B, così facendo, assumendo una temperatura dell'acqua di 15°C in ingresso che va a bagnare la barra per una **lunghezza "x"** otteniamo una superficie totale di contatto pari a:

$$S_{tot} = x \cdot (0.013 \cdot 2 + 0.2 \cdot 2)$$

se per ipotesi nel nostro caso $x = 0.5 \text{ m}$ considerando gli ingombri del tubo, otteniamo che

$$S_{tot} = 0.213 \text{ m}^2$$

ora trattandosi di studi semplici non so quanto ci convenga rientrare nei particolari in quanto dovremmo ricorrere a correlazioni di carattere assai più complesso determinando coefficienti di convezione che vanno in funzione del regime instaurato nel canale (laminare o turbolento), ma viste le potenze in gioco opterei per un metodo semplificato, dove conoscendo la potenza alla quale dobbiamo far fronte troviamo la portata d'acqua che dobbiamo far circolare nel nostro tubo.

$$\text{Flusso termico} = \text{Portata} \cdot c \cdot (T_1 - T_2)$$

$$\text{con } c = 4186 \text{ J/KgK}$$

Mettendoci in condizioni conservative supponiamo di dover asportare calore per 5000W con una temperatura di ingresso dell'acqua di 15°C e di uscita pari a 40°C troviamo che:

$$\text{Portata} = \frac{\text{flusso termico}}{c \cdot (T_1 - T_2)} = \frac{5000}{4186 \cdot (40 - 15)} = 0.05 \text{ litri/s} = 180 \text{ litri/h circa,}$$

mettendoci in sicurezza portiamo tale valore a 200 l/h.

é da notare che i calcoli appena eseguiti rappresentano una soluzione puramente "teorica", per testare la reale affidabilità del sistema bisogna provarlo sul campo, in quanto vanno ad incidere anche le dimensioni del tubo che sono correlate direttamente alla velocità ed al moto dell'acqua.

Solitamente i rubinetti di casa sono collegati a tubazioni da $\frac{1}{2}$ pollice con pressioni del liquido variabili da 3 a 4 bar, tali da garantire una portata minima di 15 l/min ossia circa 900 l/h d'acqua per cui ben oltre il margine di sicurezza funzionale di questa sperimentazione, che permette raddoppiando il flusso d'acqua calcolato di ridurre anche del 50% la superficie di contatto della serpentina, pur mantenendo inalterati gli altri parametri. Un dimensionamenti idoneo del blocco refrigeratore dovrebbe occupare una lunghezza lineare della blindo sbarra di almeno 30 cm (30X20X2=1200cmq, nel brevetto : 1290cmq)

Riscaldamento

Il brevetto parla di una batteria di resistori con potenza nominale totale di 3_6 kW senza indicare l'esatta potenza dissipata da questi ultimi che probabilmente si attesta al valore minimo consigliato, omettendo di descrivere il circuito per l'eventuale controllo della temperatura selezionata.

La potenza in gioco preclude l'utilizzo di energia dalla rete elettrica domestica ($\approx 3\text{kW}$) e lascia spazio all'unica energia alternativa facilmente disponibile, un fornello a gas (per ingombri, pulizia e costi).



Moreno