

CORSO DI

FISICA TECNICA II

APPUNTI REDATTI DA GIOVANNI

CANNI TRATTI DALLE LEZIONI

DEL PROF. S. FILIPPESCHI

A. A. 2006 - 2007

MATERIALE CORRELATO:

TRASMISSIONE DEL CALORE

(BONACINA, CAVALLINI, MATTARLO

EDIZIONI CLEUP)

LEZIONE DEL 26/02/2012

(1)

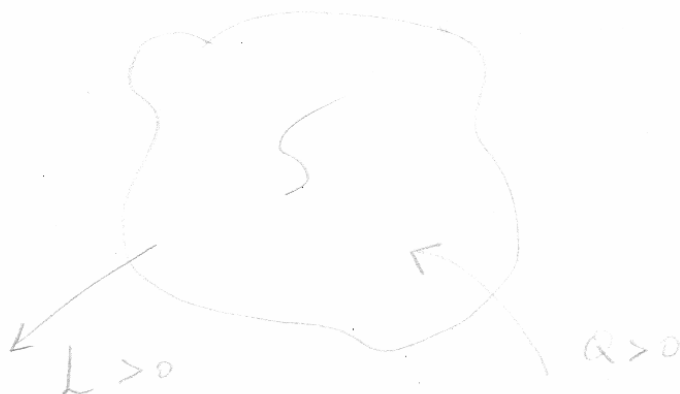
CONTENUTI:

FISICA TECNICA II TRATTA, DI FATTO, TUTTI I FENOMENI CONNESSI ALLA TRASMISSIONE DEL CALORE.

SI TRATTANO, INOLTRE, I BILANCI DI MISCELE DI SOSTANZE.

PRINCIPI DI TRASMISSIONE DEL CALORE:

UN SISTEMA SCAMBIA CON L'AMBIENTE ESTERNO VARIE GRANDEZZE. FRA QUESTE MENZIONIAMO IL CALORE E IL LAVORO



PER CONVENZIONE SI ASSUME POSITIVO IL CALORE ENTRANTE E NEGATIVO IL LAVORO ENTRANTE NEL SISTEMA.

IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA, RIFERITO A TRASFORMAZIONI QUASISTATICHE SANCISCE:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial L}{\partial t} = \frac{\partial U}{\partial t}$$

IL II PRINCIPIO TIENE CONTO DELLA SPONTANEITA'

②

DI UNA TRASFORMAZIONE:

$$Q = T \cdot \frac{1}{s}$$

IN PRESENZA DI TRASFORMAZIONI DINAMICHE È NECESSARIO ADOTTARE UN APPROCCIO FISICO DI STUDIO. FRA QUESTE ABBIAMO LE TRASMISSIONI DI CALORE
I MODI DI TRASMISSIONE DEL CALORE SONO:

- 1 - CONDUZIONE (TRA PARTICELLE IN CONTATTO)
- 2 - CONVEZIONE (TRA UN CORPO SOLIDO E UN LIQUIDO NON IN QUIETE)
- 3 - IRRAGGIAMENTO (FRA DUE CORPI POSTI A DISTANZA)

SPESSE, NEL CASO REALE, QUESTE TRE FORME COESISTONO.

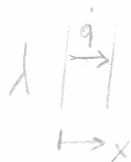
IPOTESI DI STRUTTURE:

I PROCESSI DI TRASMISSIONE DEL CALORE SI AVVALGONO DI UNO STUDIO NON SUPPORTATO DA TEORIE, MA DA LEGGI EMPIRICHE RILEVATE SPERIMENTALMENTE E NON DIMOSTRABILI.

STRUTTURA PER LA CONDUZIONE:

SI BASA SUL POSTULATO DI FOURIER, DATO UN CORPO SOLIDO, IL FLUSSO TERMICO CHE LO ATTRAVERSA È PARI A

$$\dot{q} = -\lambda \frac{dT}{dx}$$



DOVE λ = CONDUCEBILITÀ TERMICA DEL MATERIALE

③

q non che il flusso termico è in realtà una grandezza vettoriale che in tale esempio presenta una configurazione monodimensionale. Per gli elettrotecnici risulta evidente l'analogia con la legge di Ohm.

STRUTTURA PER LA CONVEZIONE:

Legge fondamentale di Newton o di raffreddamento.
Una sfera immersa in un fluido animato da moto a velocità $\vec{w}$ e temperatura T_∞ scambia un flusso termico pari a:

$$q = \alpha (T_\infty - T_i) \Rightarrow Q = \alpha \cdot S (T_\infty - T_i)$$



Questa legge è vera finché α non dipende da "T". Essa cade di validità nel caso, ad esempio di fluidi bifase.

STRUTTURA X IRRAGGIAMENTO:

Legge di Stefan - Boltzmann:

Due corpi a temperatura diversa esposti l'uno all'altro si scambiano un flusso termico pari a:

$$q = \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Mediante sviluppo in serie di Taylor è possibile approssimare questa funzione

CON UN'ESPRESSIONE LINEARE :

④

$$q \cong \alpha_2 (T_1 - T_2)$$

CON TALE APPROSSIMAZIONE SI COMMITTE UN
ERRORE PROPORTIONALE ALLA DIFFERENZA DI TEMPERATURA
TRA I DUE CORPI.

CIASCUNA DELLE SUSCRITTE STRUTTURE AMMETTE
UN'ANALOGIA CON EQUIVALENTI SISTEMI ELETTRICI.

LEZIONE DEL 27/02/2007

⑤

LA CONDUZIONE:

DATO UN CORPO DI VOLUME V E SUPERFICIE S



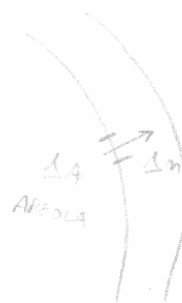
DEFINIAMO LA FUNZIONE TEMPERATURA $T: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$
 $T(x, y, z, t)$. DA ESSA VOGLIAMO
DESUMERE UNA FUNZIONE "FLUSSO".

DEFINIAMO ISOTERMA UNA SUPERFICIE (OPPURE
UNA CURVA IN 2D) CARATTERIZZATA DA TEMPE-
RATURA UNIFORME IN OGNI SUO PUNTO.

NELL'IPOTESI DI CORPO ISOTROPO VALE
IL POSTULATO DI FOURIER (1768 - 1830)

$$Q = -\lambda \left(\Delta A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta m} \right)$$

Δm È LA DERIVATA RISPETTO
ALLA NORMALE ALLA SUPERFICIE



PASSANDO ALL'INFINITESIMO SI OTTIENE

$$Q = -\lambda \oint A \frac{\partial T}{\partial m}, \quad q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial m}$$

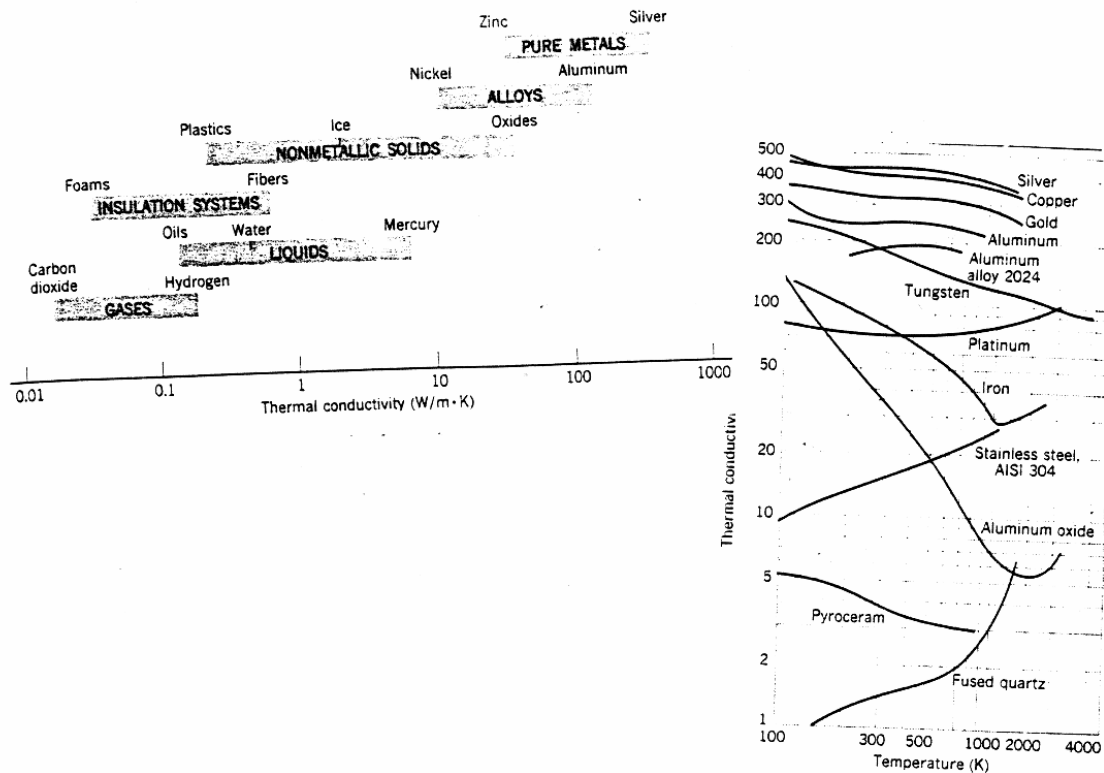


Figure 2.5 The temperature dependence of the thermal conductivity of selected solids.

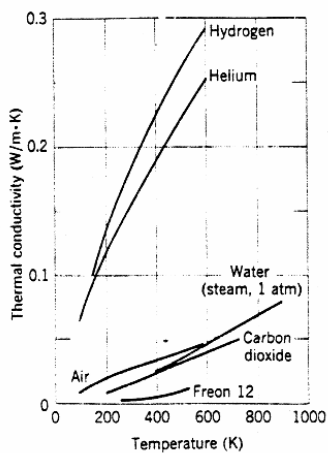


Figure 2.6 The temperature dependence of the thermal conductivity of selected gases at normal pressures.

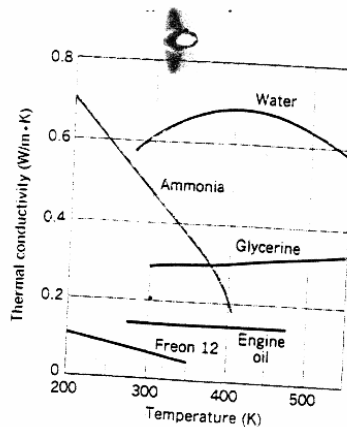
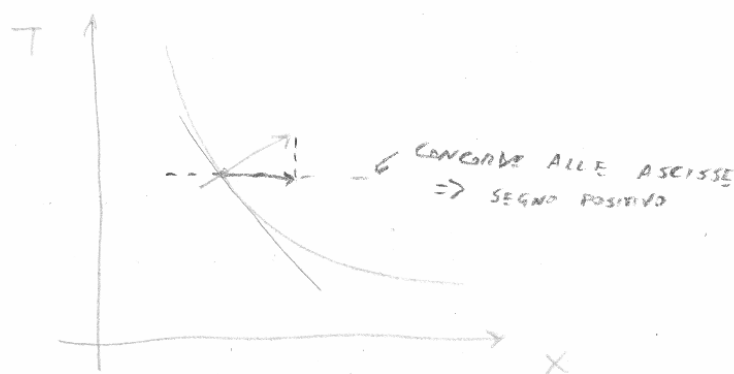


Figure 2.7 The temperature dependence of the thermal conductivity of selected nonmetallic liquids under saturated conditions.

CON RIFERIMENTO ALLA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA SOTTO
RIPORTATA :

⑥



È POSSIBILE INTUIRE L'ORIGINE DELLA CONVENZIONE
ADOPTATA PER IL SEGNO ATTRIBUITO AL CALORE,
nelle DEFINIZIONE DATA $q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n}$ RICONOSCIAMO
UNA OPERAZIONE GRADIENTE:

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -\lambda \nabla T$$

$$\text{DOVE } \nabla T = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$$

RICORDIAMO CHE CIÒ RICHIEDE VERIFICATA L'IPOTESI
DI CORPO ISOTROPO $\Rightarrow$ IL COEFFICIENTE λ NON DIPENDE
DALLA DIREZIONE (IPOTESI FALSA IN GENERALE, IN QUANTO
ESISTONO MOLTI ESEMPI DI MATERIALI ANISOTROPI QUALI IL LEGNO)
INFATTI IN UN CORPO ANISOTROPO SI HA CHE:

$$q_x = - \left(\lambda_{xx} \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_{xy} \frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_{xz} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

LA CONDUCIBILITA' :

(7)

SI ESPRIME IN $\frac{W}{mK}$ OPPURE IN $\frac{W}{m^{\circ}C}$ SENZA
DOVER RICORRERE A CONVERSIONI, DAL MOMENTO CHE
L'INTERVALLO DI SCALA IN GRADI KELVIN E IN GRADI
CENTIGRADE SONO EQUIVALENTI E LA CONDUCIBILITA'
E' DEFINITA PER DIFFERENZE DI TEMPERATURE.

UN ALTRA UNITA' IN USO SECONDO CULTURA
ANGLOSASSONE E' IL $\frac{BTU}{ft \cdot h \cdot ^{\circ}F}$ (BRITISH THERMAL UNIT,
PIEDE, ORE, GRADO FAHRENHEIT).

LA CONDUCIBILITA' E' TALVOLTA SENSIBILMENTE
DIPENDENTE DALLA TEMPERATURA.

I VALORI TIPICI DI TALE GRANDEZZA SONO:

MATERIALI ISOLANTI (TERMICI)	: 0,02 ÷ 0,2
GAS	: 0,007 ÷ 0,2
LIQUIDI NON METALLICI	: 0,05 ÷ 0,7
SOLIDI NON METALLICI	: 0,3 ÷ 2,3
METALLI LIQUIDI	: 8 ÷ 80
METALLI	: 16 ÷ 420

GENERALMENTE UN BUON CONDUTTORE TERMICO
E' ANCHE UN BUON CONDUTTORE ELETTRICO.

SI SAPPA CHE I SOLIDI HANNO UNA CONDUCIBILITA'
MAGGIORE DEI LIQUIDI (AD ECCEZIONE DEL
BISMUTO CHE IN FASE LIQUIDA CONDUCE PIU' CHE
IN FASE SOLIDA).

LA CONDUCIBILITA' NEI SOLIDI: (8)

LA NATURA DI TRASFERIMENTO DEL CALORE E' BIVALENTE:

- FONONICA (PREVALENTE NEI GAS)
- ELETTRONICA (PROPRIA DEI METALLI)

INOLTRE ESISTE, NEI METALLI PURI, UNA CORRELAZIONE TRA CONDUCIBILITA' ELETTRICA E CONDUCIBILITA' TERMICA, NOTA COME LEGGE DI WIEDMANN-FRANZ-LORENZ (VALIDA PER $T < 100^\circ\text{C}$)

$$\frac{\lambda}{\lambda_{el}} = L \cdot T \quad \left(L = 2,45 \cdot 10^{-9} \frac{\text{W}^2}{\text{A}^2 \text{K}^2} \right)$$

SI RIMARCA CHE TALE RELAZIONE E' VALIDA SOLTANTO PER METALLI PURI (SONO ESCLUSE, PERTANTO, LE LEGHE)

SI E' DETTO, IN PRECEDENZA CHE LA CONDUCIBILITA' DIPENDE DALLA TEMPERATURA. ESSA DIPENDE ANCHE, IN MANIERA MOLTO PIU' MODESTA, DALLA PRESSIONE.

L'ESPRESSIONE CHE DEFINISCE LA CONDUCIBILITA' E' LA SEGUENTE:

$$\lambda = \frac{1}{G T^2 + \frac{M}{T}}$$

DOVE: G = COSTANTE PROPRIA DEL METALLO

M = PARAMETRO DI IMPUREZZA

(9)

Nei corpi solidi sono presenti marcate anisotropie e concomitanza di più di un tipo di trasmissione del calore. In questo caso si definisce una "conducibilità apparente".

Ad esempio, un mattone forato non è isotropo, ma, con riferimento ad un preciso gradiente di temperatura possiamo definire una conducibilità.