

TRASFORMAZIONI DIATERMICHE (e isocore) (6)

x Si può determinare la stessa variazione di temp $\Delta T = T_f - T_i$ sumministrando o sottraendo "calore" attraverso una parete diatermica (scambio termico) e a lavoro nullo $W = 0$

x È possibile compiere traf: cicliche
- $W_{if} = -\Delta U^{int}$ — $Q = \Delta U^{int}$

Si può dunque:

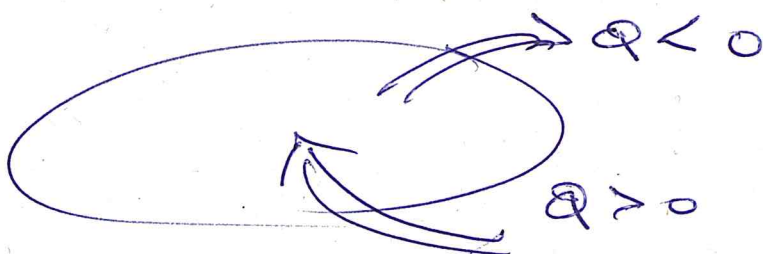
x Postulare l'equiv. tra calore e ~~energia~~ lavoro meccanico (calore = forma di energia)

x Definire una procedura operativa che consenta la misura del calore:

$$Q = W_{adiab}$$

$$\Delta U = \text{identico}$$

Convenzioni di segni per Q -

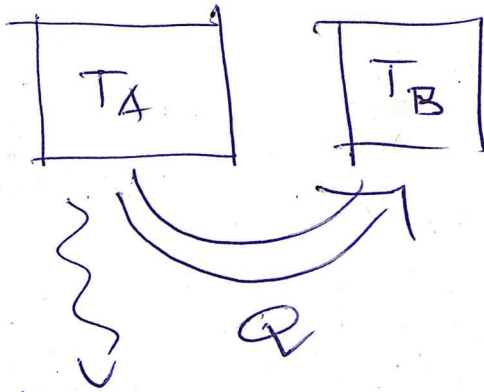


calore sottratto al
del sistema
~~o ambiente~~

calore sumministrato
al sistema

$$W = 0$$

(7)



$$\begin{aligned} T_A^i &> T_B^i \\ T_A^i &> T_A^f = T_B^f > T_B^f \end{aligned}$$

$$Q_A = \Delta U_A < 0$$

$$Q_B = \Delta U_B > 0$$

il flusso della quantità di calore Q_{ext} si realizza in modo spontaneo in verso concorde a T

La quantità di calore di misura (in SI) in J storicamente di è introdotta le calorie

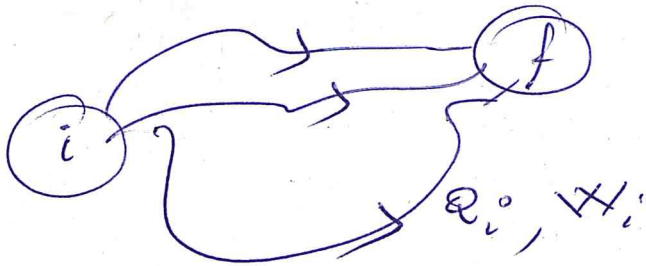
1 cal = Qta' calore per $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ di 1g H_2O fra $14,5^\circ\text{C}$ e $15,5^\circ\text{C}$

→ Fare con capacità termiche

In generale temp. termodinamica comporta scambi di L e Q — Possiamo aff. qd. principio:

$$\boxed{\Delta U = Q - L} \quad (**)$$

— Q e L separatamente dipendono della trasformazione, ma la diff. è costante per percorsi del medesimo stato in. e fin.



$Q_i - W_i$ indep. della trasf.

Per trasformazioni infinitesime

$$dU = dQ - dW$$

Perché U è funzione del posto, dU è un differenziale esatto,

$$\Delta U = \int_A^B dU = U_B - U_A$$

Per il calore e il lavoro però si scrive

$$Q_{AB} = \int_A^B dQ \quad W_{AB} = \int_A^B dW$$

ma ~~non~~ il risultato dell'integrale non coincide con $\Delta Q = \Delta W$.

Classificazione delle Trasl. Termodinamiche

(9)

- 1) Adiabatiche $Q = 0$
- 2) Isocore $L = 0$ (allude al lavoro di pressione)
- 3) Isoterme $\Delta U = 0$

($T = \text{cost.}$) Attraverso una parete diatermica in contatto termico con una ~~in~~ sorgente a $T = \text{costante}$ (termostato o serbatoio termico)

Le trasformazioni possono essere

- A) reversibili $i_n \rightarrow f i_n$ / $f i_n \rightarrow i_n$
tanta alterazioni modificabili
e viceversa con l'ambiente
- B) irreversibili (non sono reversibili)

Le trasformazioni sono reversibili se forse disponibile

- 1) Non ci sono ~~transizioni~~ dissipativi
- 2) Attraverso stati di quasi-equilibrio (posteriore in finitissimi e all'eq.)

Per le trasl. reversibili la cond. 2) significa che le variabili di stato sono definite in ogni punto della trasformazione

→ Es. processo con sabbina reversibile
diffusione di un gas irreversibile

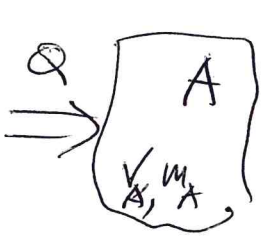
Le

Calori specifici

Il primo principio della termodinamica fornisce il metodo generale per misurare il calore scambiato in un processo: ~~tra stati~~ $\int p dV$

~~Per alcuni~~ con e' possibile ~~utilizzare~~ un'espressione empirica analitica.

Il volume di solidi e liquidi varia poco con la temperatura: $\Delta V(t) = V_0(1 + \beta t)$ $\beta \approx 10^{-5}/K$



$$W = \int_{V_{in}}^{V_{fin}} p dV \ll Q \quad \text{per solidi e liquidi lontani da transizioni di fase}$$

$$\Rightarrow \Delta U_A = Q - W \approx Q$$

Per intervalli di temp. relativamente piccoli, si trova la relazione lineare:

$$Q = C_A(T) (T_f - T_i)$$

$C_A(T)$ = capacita' termica di A a temp. T

$$[C_A] = [E]/[T] \Rightarrow J/K \text{ nel SI}$$

Per A omogeneo $C_A = c_A m_A$

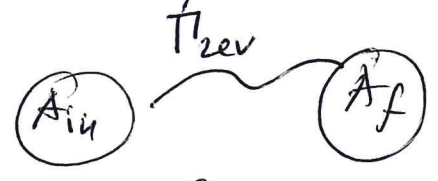
$c_A(T)$ = CALORE SPECIFICO DELLA SOSTANZA $J/(kg \cdot K)$

Per trasformazione infinitesima

$$C_A(T) = \frac{dQ}{dT} \Rightarrow \begin{cases} c_A = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dT} & \text{calore specifico} \\ c_{m_A} = \frac{1}{n} \frac{dQ}{dT} & \text{calore molare} \end{cases}$$

Per i solidi $c_{m_A} \sim 25 \text{ J/K} (= 3R)$ Debye-Pottit

Per trasformazioni reversibili T e' definito ovunque



$$Q = \int dQ = \int \frac{dQ}{dT} dT = \int C_A(T) dT$$

↑
vera sempre

se reversibile -
vera solo per trasf. reversibili, altrimenti
non si può calcolare
l'integrale, essendo
ignoto T

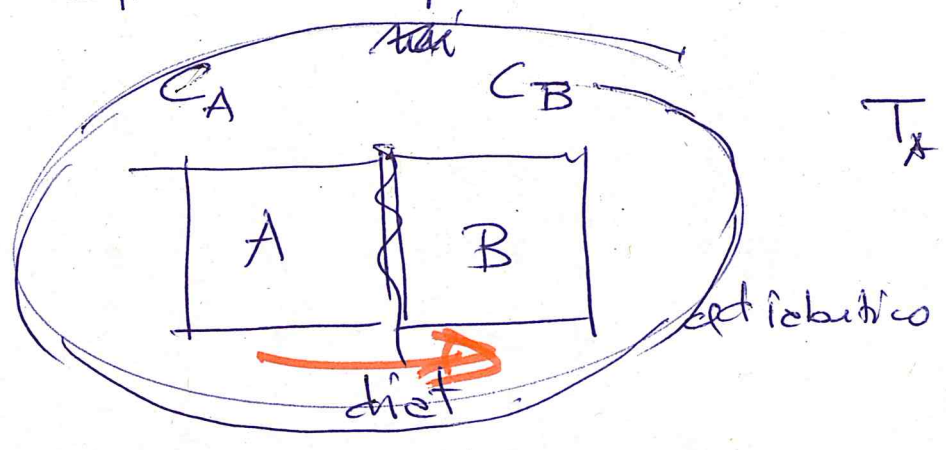
Tuttavia se $C_A(T) = C_A$

$$\int C_A(T) dT = C_A \int dT = C_A \Delta T$$

↓
diff. esatto indep. della
trasformazione.

indip. dalla temp.
(vero in buona approx
per molti solidi a
T lontane dai cambi
di fase)

Esempio temp Equilibrio termico e calorimetria



$T_A > T_B$

$T_A > T_e > T_B$

— inoltre no scambi con est

$\Delta U = 0$ e $\Delta W = 0$

$\Rightarrow \Delta Q = 0$ e

$\Delta U_1 = \Delta U_2$

$Q_1 = -Q_2$

$C_A(T_e - T_A) = C_B(T_B - T_e)$

$(C_A + C_B)T_e = C_B T_B + C_A T_A$

$T_e = \frac{C_B T_B + C_A T_A}{C_A + C_B}$

Le temp. dei e equilibrio intermedia
 ma non e' la temp. media semplice - Richiede
 e' la media "pesata" della capacita' termica
 del corpo: se $C_B \gg C_A$ e $T_B < T_A$

Pozzo di calore = corpo di capacita' termica infinita, in grado di fornire indefinitamente calore

Naturalmente, ~~se~~ $C_{A/B} = m_{A/B} c_{A/B}$ e $m_B \gg m_A$

$T_e \approx T_B$ anche se i due corpi sono dello stesso materiale \implies potere mitigatore dell'acqua

Uso statico e valori

def. caloria:
 $\Delta T = 1^\circ C$ di $1 \text{ kg H}_2\text{O}$
da $14,5^\circ C$ a $15,5^\circ C$

$c_s(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ kcal / (kg K)}$
 $= 4186 \text{ J / (kg K)}$

solidi (metallici) $\approx 200 \text{ J / (kg K)}$ ← valori
molto inferiori all'acqua

NOTA:

— Per sistemi idrattici descritti da
 P, V, T con $f(P, V, T)$ e $V = V(T, P)$

non si può assumere $V \approx$ costante

e non è in generale vero che $W \ll Q$
(indipendentemente dal processo)

In q.s. caso è possibile definire ancora
dei calori specifici, ma è necessario
specificare in quale condizioni
avviene la transf. termodinamica.

- c_p — $p =$ costante
- c_v — $V =$ costante

Per ora ci occupiamo dei solidi

Cambio di Fase

Durante cambio di fase $T = \text{costante}$, ma il sistema compie L (anche se non efficiente) in termini meccanici macroscopici -

- x En. cinetica delle molecole (micro)
- x pressione e espansione del gas

$$\Delta U = 0 \quad \text{e} \quad \underline{Q = W}$$

Evaporazione / Condensazione
Fusione / Solidificazione
Sublimazione

$$Q = L_m \cdot m$$

$L_m = \text{calore latente di cambio di fase}$

H_2O $L_m (\text{evap.}) = \frac{540 \text{ kcal/kg}}{\sim 2300 \text{ kJ/kg}}$

H_2O $L_m (\text{fus.}) \approx \frac{80 \text{ kcal/kg}}{\sim 330 \text{ kJ/kg}}$

→ non sono processi reversibili

$$L_m (\text{evap.}) \neq L_m (\text{condensazione})$$

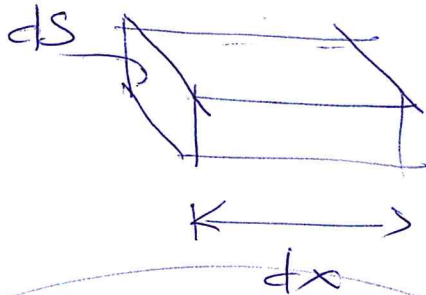
Calcolo ~~FERR~~ 40 → 37 54 kg
e qta calore $Q = 1 \text{ kcal/kg} \cdot 54 \text{ kg}$

$$Q = 54 \text{ kcal} \cdot 3 \text{ K} \Rightarrow m = Q / L_m = \frac{3 \text{ kcal}}{10} = 54 \dots$$

TRASPORTO / SCAMBIO DI CALORE IN 3^{ra} FORMA

1) CONDUZIONE

→ trasporto lungo un mezzo materiale — scambi termici microscopici



Potenza trasferita

$$\dot{Q} = \frac{\Delta Q}{dt}$$

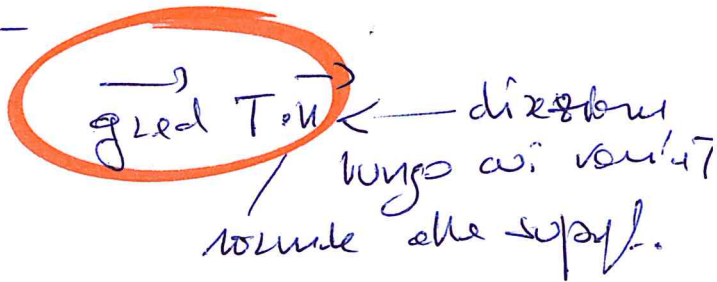
$$\frac{\Delta Q}{dt} = -k dS \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta T} = -k \frac{A \Delta T}{L} \quad \text{Macros}$$

Legge di Fourier

segno negativo ΔQ discorde da dT : il calore fluisce dall' ~~est~~ parte più calda a quella più fredda — T_{est} per t lunghi se la diff non è sostenta —

Posso generalizzare al vol.



k = caratt. del mezzo

- ~) metalli buoni conduttori (elettroni liberi)
- ~) per buoni isolanti
- ~) materiali rigidi conduttori / molli non conduttori

Convezione: \rightsquigarrow

(3)

+ densità di un gas perfetto:

$$\rho X = n R T$$

$$\rho V = \frac{M}{A} R T \quad \rightarrow \quad \rho = \frac{M}{V} = \frac{p A}{R T}$$

\Rightarrow VARIAZIONI DI $T \Rightarrow$ variazioni di densità
 \rightsquigarrow trasporto (convezione) ~~macro~~ spostam.
microscopico di materia

\rightarrow vero anche per i liquidi (in gen. per fluidi)

+ Fenomeno complesso e dipende dalle caratteristiche di mantenere un gradiente \rightarrow circuiti e aff. ventilazione

$$Q = h A (T - T_{\infty}) \Delta t$$

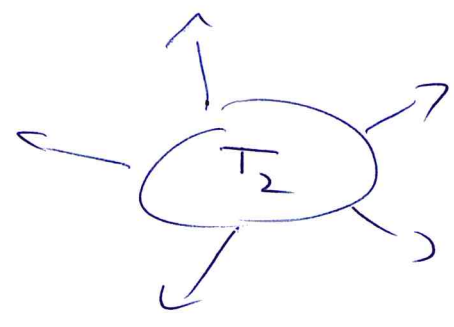
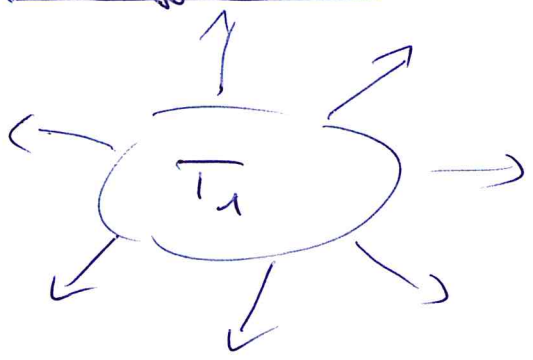
caratt. del met

**COEFF. DI
ADDUZIONE**

Legge empirica di Newton

\rightarrow temp. e distanza fonde del corpo da eff. (temp del fluido refrigerante)

Irraggiamento



* Corpi irradianti (anche nel vuoto) sotto forma di onde elettromagnetiche. 3

* Corpi ideali riflettono / assorbono

pot. assorbente = frast. di energia assorbita (a=1 corpo nero)

4 - λ pu' essere funzione della lunghezza d'onda

- emissione λ dip da T

$\lambda T = \text{cost}$ Wien 2

T elevato λ piccolo

T_{amb} \rightarrow infrarosso

T_{sk} \rightarrow visibile

Fenomeno di PICCHIAMENTO
 $T_{sk} < T_{amb}$
~~incandescenza~~ 1

Potere emissivo

$\epsilon = e \cdot T^4$
 $Q = \epsilon \cdot A \cdot \Delta t$

Stephan Boltzmann

$e = 1$ C. NERO

$e < 1$

e indep da λ e e su corpo grigio

Scambi termici

(1)

1) Conduzione $\frac{dQ}{dt} = k \frac{dT}{dx} dS$

2) Convezione $\frac{dQ}{dt} = h dT dS$

3) Irraggiamento $\frac{dQ}{dt} = \epsilon \sigma T^4 dS$ Unità m²/s²

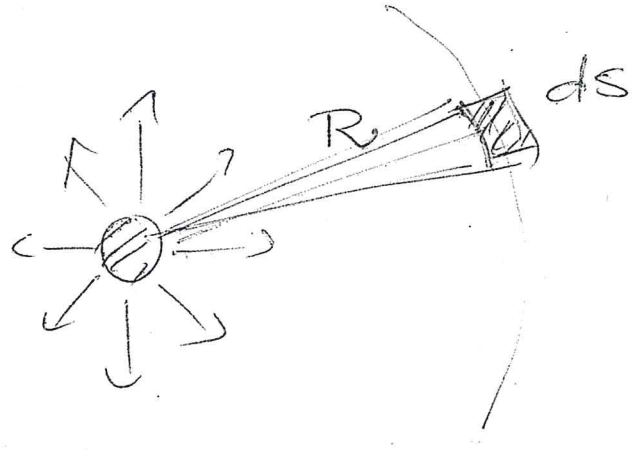
Nota dip. da $T \rightarrow ^\circ K$
- 1) e 2) dip. da ΔT

In tutti i processi la potenza emessa dipende dalle superficie di scambio dS -

Si definisce flusso $\Phi = \frac{dQ}{dt dS}$ la potenza per unità di superficie -

È particolarmente importante ragionare in termini di flusso in processi in cui lo scambio termico non avviene per contatto diretto attraverso una superficie fisica -

Ad esempio, nell'irraggiamento un corpo irradia attraverso l'intera superficie in tutte le direzioni. In assenza di dispersione la potenza è costante attraverso una qualsiasi superficie chiusa attorno al corpo. Il flusso, invece, diminuisce via via che ci si allontana dal corpo



$$\Phi = \frac{d^2 Q}{dt ds}$$

$$= \left(\frac{dQ}{dt} \right)_S \frac{1}{4\pi R^2}$$

ove $\left(\frac{dQ}{dt} \right)_S$ è la potenza emessa dalla sorgente, mentre $\frac{1}{4\pi R^2}$ è la superficie sferica totale a distanza R dalla sorgente.

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right)_{4\pi R^2} = \int_A \Phi ds = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_S \int_A \frac{1}{4\pi R^2} ds = \left(\frac{dQ}{dt} \right)_S$$

Nota: È analogo alla relazione tra intensità e ampiezza di un'onda per onde 3D.

Esercizio Temperatura della T

Nota: ϵ, α coeff. adimensionali

$$\left[\frac{W}{m^2} \right]_S \left[\frac{\Phi}{T^4} \right] = W m^{-2} K^{-4}$$

Esercizio

(3)

* Calcolare la temperatura della terra, nota la temp. del sole ($T_s = 6000 \text{ K}$) e la geometria ($R_\odot = 0.7 \times 10^6 \text{ km}$, $R_{\text{orb}} = 150 \times 10^6 \text{ km}$, $R_T = 6400 \text{ km}$). Si assume la terra corpo grigio ($\epsilon_T = 0.7$) e il sole corpo nero ($\epsilon_s = 1$) -

Solution

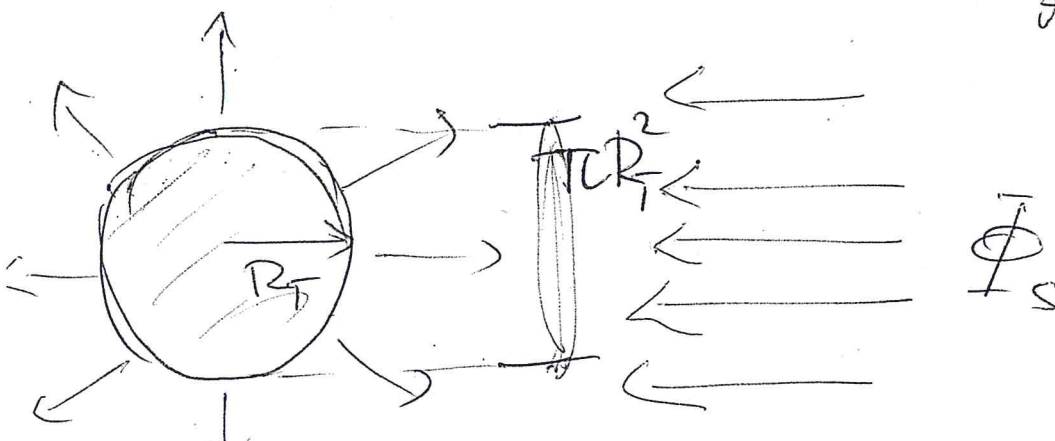
Equilibrio tra potenza assorbita e emessa dalla terra, nell'ipotesi che la terra assorba energia solo dal sole (tutte le altre stelle sono lontane $\propto 1/R^2$)

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{out}} = \epsilon_T (4\pi R_T^2) \sigma T^4$$

potenza irradiata dalla terra

$$\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{\text{in}} = \Phi_s \epsilon_T (\pi R_T^2)$$

potenza assorbita intercettando il flusso di en. solare con un'area πR_T^2



Eguagliando: $\left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{in} = \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t}\right)_{out}$ (4)

$$4\pi R_T^2 e_T \sigma T_T^4 = \Phi_s \pi R_T^2 \quad (e_T = e_T)$$

$$T_T^4 = \frac{1}{4} \frac{\Phi_s}{\sigma} \quad (**)$$

Il flusso solare è dato da:

$$\Phi_s = \left(\frac{dQ}{dt}\right)_s \frac{1}{4\pi R_{orbita}^2}$$

$$= e_s \sigma T_s^4 \frac{4\pi R_\odot^2}{4\pi R_{orbita}^2} \quad (e_s = 1)$$

sostituendo in (**)

$$T_T^4 = \frac{1}{4} \frac{R_\odot^2}{R_{orbita}^2} T_s^4$$

$$T_T = \left[\frac{1}{2} \frac{R_\odot}{R_{orbita}} \right]^{1/2} T_s =$$

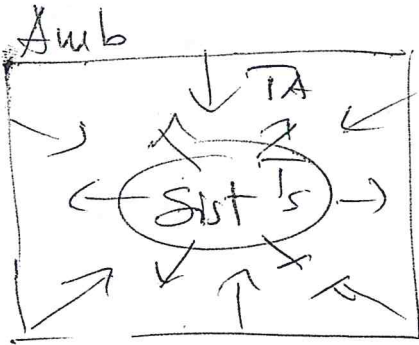
$$= \left[\frac{1}{2} \frac{0.7 \times 10^6 \text{ km}}{150 \times 10^6 \text{ km}} \right]^{1/2} 6000 \text{ K} \approx 280 \text{ K}$$

Esercizio 2

(5)

* Scambi termici per irraggiamento tra sistema e ambiente di temperatura simili,

$$T_S = T_A + \Delta T \quad \text{con} \quad \frac{\Delta T}{T_A} \ll 1 \quad T_A \approx T_S$$



$$\begin{aligned} \frac{\Delta Q}{\Delta t} &= \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_{in} - \left(\frac{\Delta Q}{\Delta t} \right)_{out} = \\ &= \epsilon \sigma dS T_A^4 - \epsilon \sigma dS T_S^4 \end{aligned}$$

Poiché potere emissivo e assorbente sono identici $\epsilon = \epsilon$:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \epsilon dS \sigma \left(T_A^4 - T_S^4 \right) =$$

$$= \epsilon dS \sigma T_A^4 \left[1 - \left(1 + \frac{\Delta T}{T_A} \right)^4 \right] =$$

$$\approx \epsilon dS \sigma T_A^4 \left[4 \frac{\Delta T}{T_A} + \dots \text{termini infinitesimi} \right]$$

$$\approx 4 \epsilon dS \sigma T_A^3 \Delta T$$

In qs. condizioni tutti gli scambi termici (conduzione, convezione e irraggiamento) dipendono da ΔT

Esempio 1° principio corpo umano (acqua) (6)
esclusi termici

* Non è un sistema né isolato, né chiuso, ma
il primo principio serve a fornire le idee:

- Se $T = 37^\circ\text{C}$ (ambiente omeotermo)
e $T_{\text{ext}} < 37^\circ\text{C}$

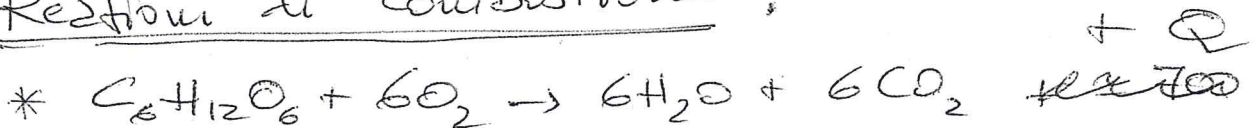
$\rightarrow \frac{\Delta Q}{\Delta t} < 0$ calore
ceduto
all'ambiente
(E' la norma)

- Inoltre $\Delta W > 0$ (l'uomo compie
lavoro sostenuto)

- Bilancio: $\Delta U = Q - W < 0$ ($Q < 0$
 $-W < 0$)

• L'energia interna diminuisce \rightarrow consumo
metabolico

\rightarrow Reazioni di combustione:



* Grassi

* Proteine

\rightarrow In media 20 kJ/l di O_2 (Eq. calorico
dell'organismo)

Esercizio

3 minuti di Apnea $\rightarrow \approx 100 \text{ W}$

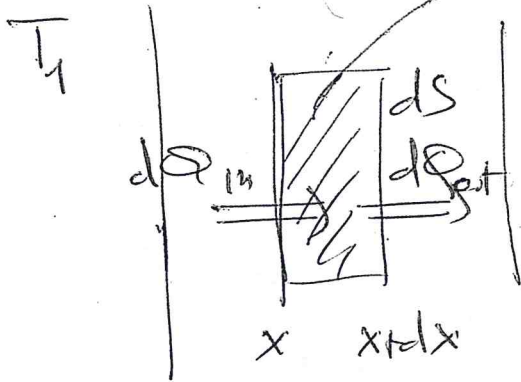
1 giorno $\rightarrow \approx 8000 \text{ kJ}$

Scambio / trasporto di calore in un solido (7)

Non svolto a lezione

$$dm = \rho dx dS$$

sistema
di massa dm
e calore specifico
 c ;



$$dQ_{net} = dQ_{in} - dQ_{out} =$$

$$= c(\rho dx dS) dT$$

$$dQ_{in} = k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_x dS dt$$

Calore dissipato dal
sistema 2

(uso derivata parziale
perché T può dip.
anche da x)

$$dQ_{out} = k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x+dx} dS dt$$

Sviloppo di Taylor : $f(x+dx) = f(x) + f'(x)dx + \dots$

$$= k \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_x + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right)_x dx \right] dS dt$$

$$dQ = + k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} dx dS dt = c(\rho dx dS) dT$$

Da cui

$$k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = c \rho dT$$

legge \rightarrow

Equazione di Fourier per il trasporto di calore

$$\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} - \frac{c\rho}{k} \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

non è eq. d'onda (derivata prima rispetto a tempo)

→ ~~fenomeno non prop~~ il calore comporta una variazione locale di temperatura che NON si propaga come un'onda

→ la propagazione è caratteristica dei fenomeni di diffusione (vedi 2^a legge di Fick - in chimica). Ciò è rivelatore del meccanismo sottostante al trasporto di calore (molti disordinati di corpiccioli)

→ Nel limite stazionario $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$ (T_1 e T_2 sono mantenute costanti), il profilo di temp. è lineare in x

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \rightarrow T(x) = a + bT$$

