

PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

➤ DILATAZIONE TERMICA

- Abbiamo già detto che in genere un corpo (sia esso solido, liquido o gas) si dilata all'aumentare della temperatura.
- Se si aumenta di ΔT la temperatura di un solido, liquido o gas di volume V si ha che il suo volume aumenta di

$$\Delta V = \beta V \Delta T$$

dove β è il coefficiente di dilatazione (volumica) termica (unità di misura Kelvin^{-1}).

- La definizione più precisa sarebbe (questo perché β può dipendere da T)

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_p \quad \text{quindi } \beta \text{ misura di quanto varia } V \text{ al variare della } T \text{ (ecco perché c'è la derivata di } V \text{ rispetto a } T \text{)}$$

dove il pedice p sta ad indicare che si va a considerare la variazione di T a pressione costante.

PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

DILATAZIONE TERMICA: esempi

- Tipicamente per i liquidi si ha $\beta = 10^{-4} - 10^{-3} \text{ K}^{-1}$
- Per i solidi si ha che β è tipicamente un ordine di grandezza più piccolo (ovvero si dilatano di meno all'aumentare della T).
- Gas: se parto dall'eq. di stato dei gas ideali

$$pV = n R T \rightarrow V = (n R T)/p \rightarrow dV/dT \text{ (a pressione cost.)} = (n R/p) = V/T$$

$$\rightarrow \beta = 1/T$$

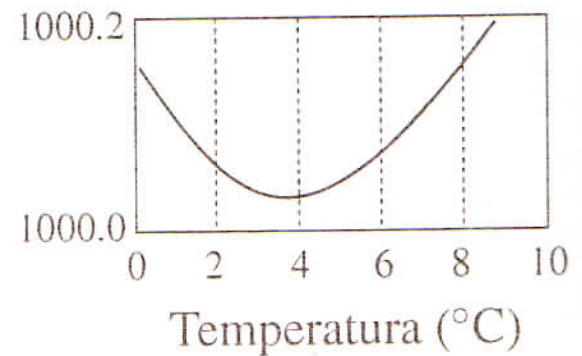
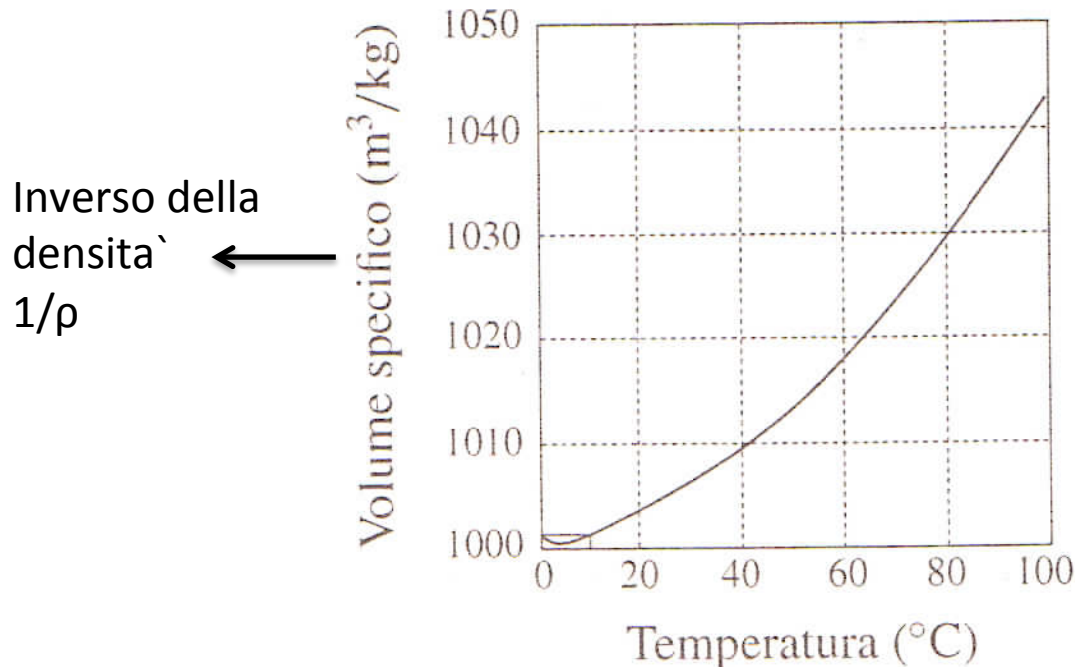
Quindi, per esempio, se a temperatura ambiente (circa 20°C) $T = 293 \text{ K}$ si avrà

$$\beta \sim (1/293) \text{ K}^{-1} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

DILATAZIONE TERMICA: esempi

- Tipicamente la maggioranza delle sostanze si dilata quando la sua T aumenta (per cui β e' > 0).
Tuttavia esistono delle eccezioni importanti, sostanze che si dilatano quando si raffreddano.
- ***Una di queste e' l'acqua tra 0°C e 4°C***

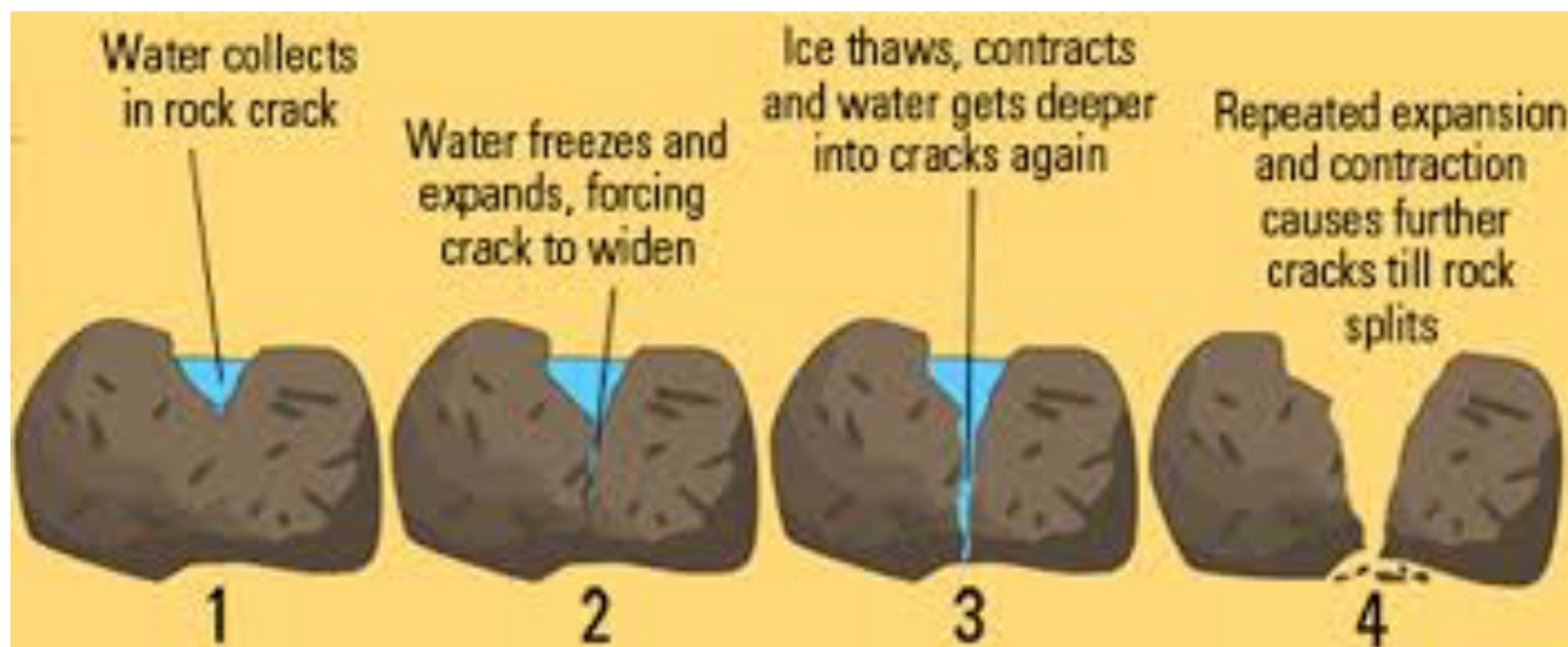


PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

- La dilatazione dell'acqua quando gela può avere delle conseguenze importanti anche in geologia.
- Esempio del ***frost wedging*** ("wedge" vuol dire cuneo).
- Supponete che l'acqua si faccia strada tra le fessure di una collina rocciosa. Se la temperatura raggiunge la T di congelamento allora l'acqua nelle fessure si congela e si espande, tendendo a frammentare le rocce. Con il tempo i processi ripetuti di congelamento e fusione possono determinare la frantumazione completa delle rocce in detriti, portando per esempio alla formazione di un pendio sassoso.
- In modo simile si può verificare il ***frost heaving*** ("sollevamento per congelamento") per cui quando l'acqua ghiaccia espandendosi solleva le rocce sotterranee verso la superficie.

Esempi di frost wedging





LESSON SUMMARY





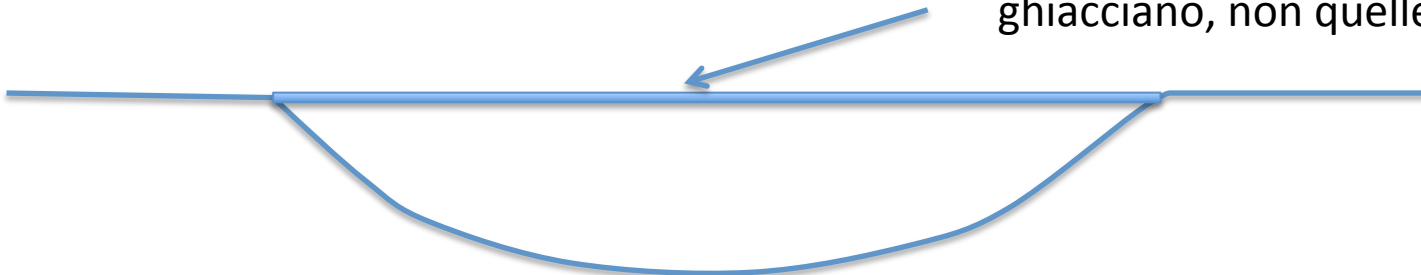
Esempio di frost heaving: le rotture e deformazioni delle rocce e del terreno si combinano per formare delle caratteristiche reti poligonali.

PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

- Altro esempio che riguarda la dilatazione dell'acqua quando gela: **ecologia dei laghi**.
- quando in inverno le T si abbassano le acque superficiali si raffreddano per prime: raffreddandosi si contraggono, quindi la loro densita' aumenta e vanno a fondo, mentre, viceversa, l'acqua piu' calda sale in superficie (per il principio di Archimede). Questo pero' fino ad una $T > 4^{\circ}\text{C}$. Per $T < 4^{\circ}\text{C}$ l'acqua superficiale si dilata invece che restringersi, quindi ha densita' minore rispetto a quella sottostante, galleggia (per la spinta di Archimede) rimane li', non va a fondo, e ghiaccia. Quindi l'acqua ghiaccia prima sulla superficie mantenendo l'acqua piu' a fondo piu' calda.

Se cosi' non fosse il lago ghiacerebbe dal fondo e non essendoci nessuno strato superiore isolante potrebbe ghiacciare tutto.

Sono le parti superficiali del lago che ghiacciano, non quelle piu' profonde



PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

➤ COMPRESSIBILITA'

➤ Abbiamo già detto che i gas sono molto più facilmente compressibili di liquidi e solidi.

➤ In tutti i casi si definisce come ***coefficiente di compressibilità***

$$\alpha = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_T$$

dove il pedice T sta ad indicare che si opera a T costante, e il segno di meno è lì perché in genere il volume diminuisce all'aumentare della p.

➤ ***Esempi:*** $\alpha \approx 10^{-10} - 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$ per i liquidi e quello dei solidi più piccolo di circa un ordine di grandezza.

Per esempio se vogliamo una variazione percentuale di volume $dV/V \approx 10^{-3}$, cioè del per mille, e $\alpha \approx 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$ allora dobbiamo variare la pressione di circa 10^7 Pa , cioè circa 100 atmosfere.

PROPRIETA' TERMODINAMICHE DELLA MATERIA

➤ COMPRESSIBILITA'

Se per esempio consideriamo un **gas ideale**, allora $V = nRT/p$, quindi

$$\alpha = 1/p$$

e quindi alla pressione atmosferica : $p \approx 10^5$ Pa, si trova: $\alpha \approx 10^{-5}$, ovvero circa un milione di volte più comprimibile di un liquido e un solido.

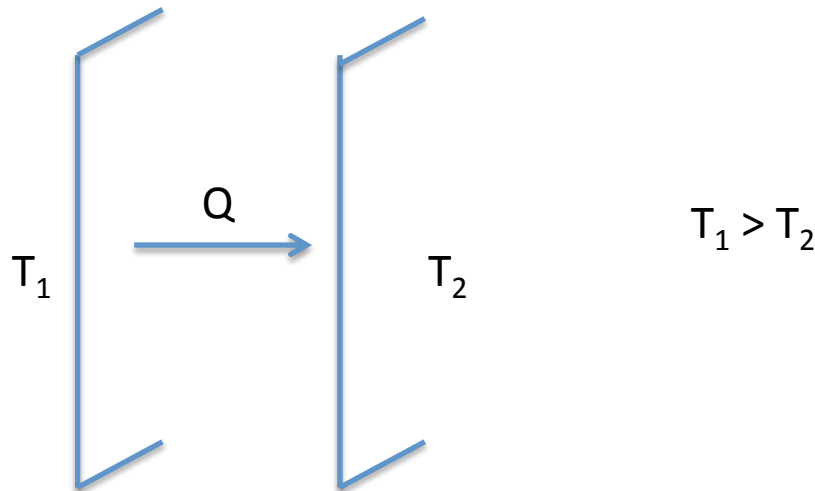
MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

- Abbiamo detto che il calore è uno scambio di energia tra corpi a T differenti. Ci sono 3 meccanismi principali attraverso i quali il calore si può trasmettere: **conduzione, convezione e irraggiamento.**

➤ CONDUZIONE

Si ha conduzione quando si ha trasmissione di calore attraverso un mezzo materiale senza che nel mezzo vi sia trasferimento (movimento) macroscopico di materia.

esempio: se c'è una parete la cui faccia interna ha T_1 che è maggiore della temperatura T_2 della faccia esterna, si avrà conduzione di calore dalla faccia interna verso la faccia esterna.



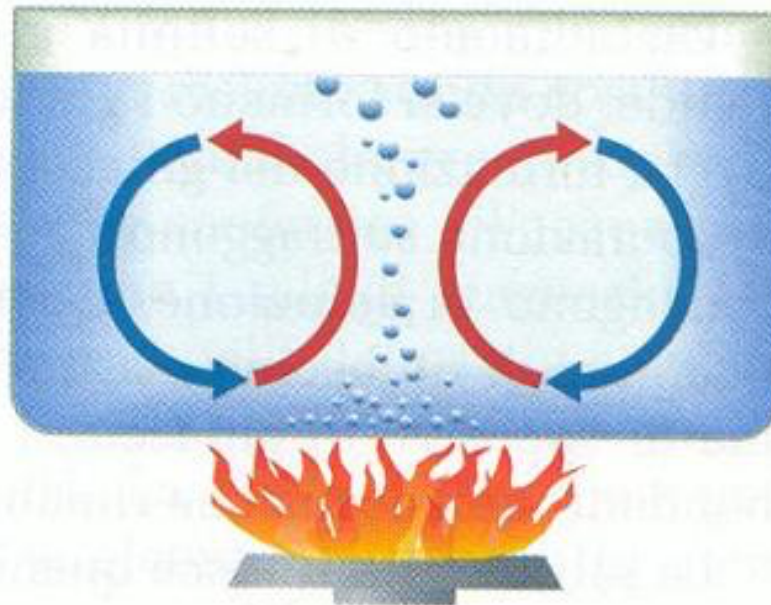
MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **CONVEZIONE**

Il trasferimento di calore avviene con movimento macroscopico di materia. Nei gas e nei liquidi può essere il meccanismo dominante.

esempio:

se un fluido viene scaldato dal basso la parte più calda, dilatandosi, tende a salire per la spinta di Archimede. Essa così si sposta in alto, mentre le porzioni più fredde vanno verso il basso a contatto con la sorgente calda.



Circolazione convettiva

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ ***IRRAGIAMENTO***

e` trasferimento di calore attraverso la radiazione elettromagnetica (pensate alla luce del sole) che trasporta energia.

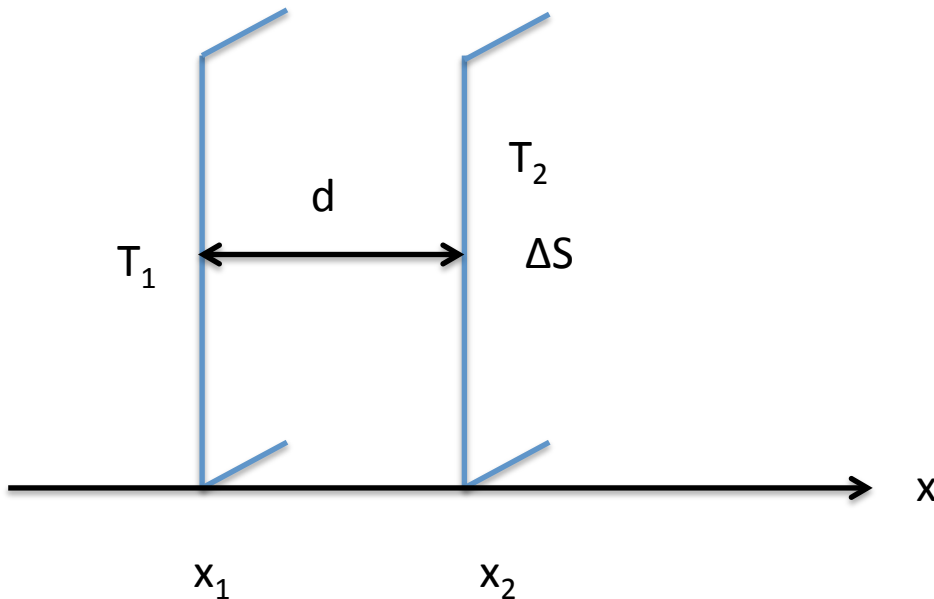
Non lo tratteremo in questo corso.

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **LEGGE DELLA CONDUZIONE**

Si consideri un materiale solido omogeneo di spessore d e sezione di area ΔS . La quantità di calore che nell'unità di tempo attraversa una superficie di area ΔS all'interno del materiale solido è

- proporzionale alla sezione ΔS
- proporzionale alla differenza di temperatura $\Delta T = T_1 - T_2$ (supponiamo $T_1 > T_2$)
- inversamente proporzionale allo spessore d del materiale.



Conducibilità termica

$$\frac{Q}{\Delta t} = \kappa \frac{\Delta T}{d} \Delta S$$

Two blue arrows point upwards from the terms $\Delta T/d$ and ΔS in the equation to the word "Conducibilità termica" above it.

$\Delta T/d$:

Gradiente di temperatura:

quanto rapidamente varia la T lungo l'asse x .

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **LEGGE DELLA CONDUZIONE**

$$\frac{Q}{\Delta t} = \kappa \frac{\Delta T}{d} \Delta S$$

N.B.: questa legge vale solo in condizioni di regime stazionario: le temperature delle due faccie T_1 e T_2 devono rimanere costanti nel tempo e uniformi sulle faccie.

➤ E' utile definire il **flusso di calore**: il calore che passa nell'unita` di tempo per unita` di superficie

$$F = \frac{Q}{\Delta t \Delta S} = \frac{\kappa}{d} \Delta T$$

κ/d e' anche chiamata **conduttanza** ($H=\kappa/d$). Ricordate che $\Delta T=T_1-T_2$.

➤ Unita` di misura: per F si ha $J/(m^2 s)$; κ si misura in $J/(msK)=W/(mK)$;

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **LEGGE DELLA CONDUZIONE**

κ (o H) misurano la velocità di trasmissione di calore dalle zone più calde a quelle più fredde (e quindi i loro inversi definiscono la *resistenza termica*).

➤ Esempi:

Tipici valori:

metalli: $60 < \kappa < 350$ (rame)

terreno, granito: $\kappa \approx 1-3$

isolanti $\kappa \approx 0.02-0.2$

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **CONDUZIONE: INTERPRETAZIONE MICROSCOPICA**

Da un punto di vista microscopico la interpretazione fisica del fenomeno di conduzione e` il seguente:

se in una zona del corpo la T e` maggiore rispetto ad un'altra adiacente, le molecole in quella zona hanno energia cinetica in media maggiore (ricordate che la energia cinetica media e` proporzionale alla T).

Parte di questa energia cinetica media viene trasmessa (tramite urti) alle molecole della zona piu` fredda che cosi` si scaldano. Quello che succede quindi e` che la energia cinetica in eccesso in una zona tende a ***diffondere***, livellandosi (omogeneizzandosi) su tutto il corpo.

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **CONDUZIONE: INTERPRETAZIONE MICROSCOPICA**

Questo spiega perché i metalli hanno una conducibilità termica molto elevata. Infatti la loro struttura interna è tale che i microcristalli da cui sono costituiti sono fatti da ioni del metallo: gli atomi del microcristallo hanno perso uno o due elettroni, che sono liberi di muoversi all'interno del metallo (**elettroni di conduzione**).

Questi elettroni formano una sorta di gas (gas di Fermi). Allora da quello che abbiamo visto sui gas ideali si ha che

$$\langle K \rangle = \frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} m_e \langle v^2 \rangle$$

Da cui si ha che la velocità quadratica media degli elettroni liberi è

$$v_{qm} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{3k_B T / m_e}$$

$m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg, decine di migliaia di volte più piccola della massa delle molecole di altri materiali, e quindi la v_{qm} degli elettroni è circa due ordini di grandezza più grande, e quindi la trasmissione di calore è maggiore nei metalli.

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

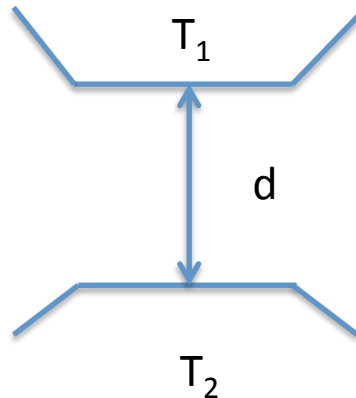
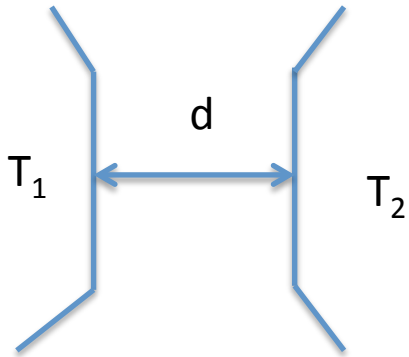
➤ CONVEZIONE

scambio di calore dovuto al moto macroscopico di masse di fluido di temperature diverse.

Sperimentalmente vale una legge analoga a quella della conduzione ($\Delta T = T_1 - T_2$):

$$F = \frac{Q}{\Delta t \Delta S} = H_c \Delta T$$

- H_c : dipende dalla geometria e dalla T
- T_1 e T_2 sono le T delle regioni di cui interessa calcolare lo scambio di calore.



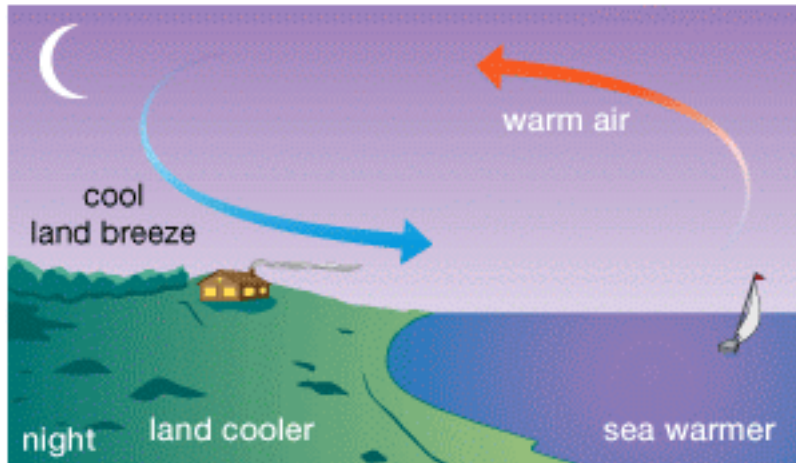
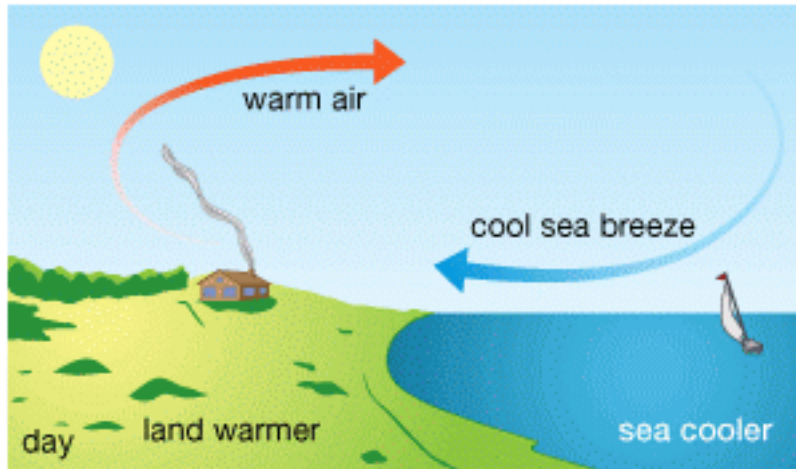
Come stima $H_c \approx k/d$

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **CONVEZIONE**

Esempi:

- formazione di brezza di mare durante il giorno e di terra durante la notte



Durante il giorno il Sole scalda la terra più velocemente del mare (perché ha un calore specifico più piccolo dell'acqua). La terra calda riscalda l'aria nelle vicinanze che diventa meno densa e sale. L'aria più fredda che si trova sopra l'acqua prende il suo posto formando così la "brezza" di mare. Di notte, la terra si raffredda più velocemente del mare (sempre perché ha calore specifico più basso) e quindi per motivi analoghi si forma una brezza inversa da terra.

MECCANISMI DI TRASPORTO DEL CALORE

➤ **CONVEZIONE**

Esempi:

- su piu` larga scala il Sole determina un riscaldamento maggiore all'equatore che ai poli, cosicche` l'aria calda sale e quella ai poli scende
- moti convettivi analoghi si possono avere negli oceani
- *alcuni movimenti tettonici potrebbero essere causati da moti convettivi nel manto terrestre.*