



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1026

DATA: 15/07/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Allavena

MATERIA: Fisica Tecnica

Prof. Corrado

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

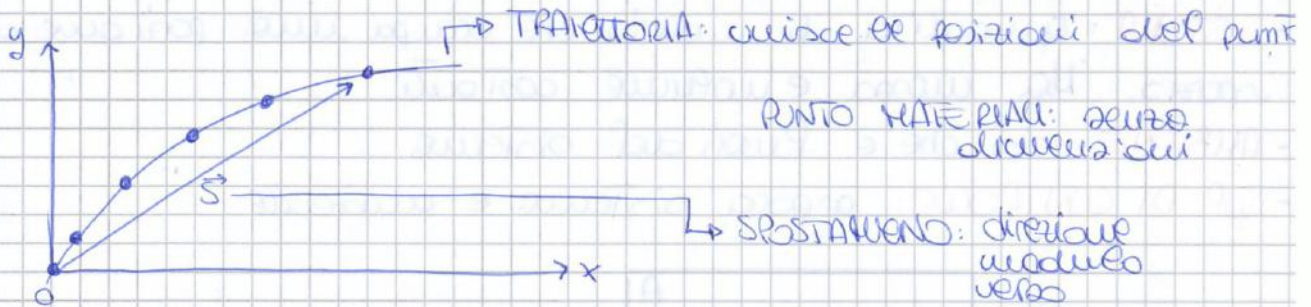
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

BRANCHE della MECCANICA

CINEMATICA: movimento indipendente dalle cause

STATICA: equilibrio

DINAMICA: movimento con riferimento alle cause



VELOCITÀ:

- ▷ scalare: $v = ds/dt$
- ▷ vettoriale: $\vec{v} = d\vec{s}/dt$

ACC.:

- ▷ scalare: $a = dv/dt = d^2s/dt^2$
- ▷ vettoriale: $\vec{a} = d\vec{v}/dt = d^2\vec{s}/dt^2$

• MOTO UNIFORME: $\Delta s = v \Delta t$ se $v = \text{cost} \Rightarrow \Delta v = 0$ e $a = 0$

• MOTO UNIF. VARIO: $\Delta v = a \Delta t \Rightarrow v = v_0 + at$ $a = \text{cost}$
 $\Rightarrow \Delta s = v_m \Delta t \Rightarrow s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

• MOTO OSCILLATORIO: moto di un punto

- OSCILLAZ. COERENTE: mantenimento di ampiezza e ritardo
 - PERIODO (T): tempo per compiere un'oscillazione completa
 - FREQUENZA (f): n° di oscillazioni nell'unità di tempo
- } $f = \frac{1}{T}$

Tre principi della dinamica:

- 1°: la velocità di un punto non soggetto a forze è costante
- 2°: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ [N]
- 3°: ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria

• ENERGIA MECCANICA: $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} m v^2 + mgh$ [J]

TEMPERATURA:

PRINCIPIO ZERO: due corpi in equilibrio con un terzo, sono anch'essi in equilibrio: LE CORPI SONO IN EQ. SE $T_A = T_B$

è l'energia cinetica posseduta dalle molecole del sistema.

- SCALA CELSIUS: $P = 1 \text{ atm} \rightarrow$ ghiaccio fonde a $T = 0^\circ\text{C}$

$P = 1 \text{ atm} \rightarrow$ H₂O bolle a $T = 100^\circ\text{C}$

- SCALA KELVIN: $T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$

- SCALA FAHRENHEIT: $P = 1 \text{ atm} \rightarrow$ ghiaccio fonde a $T = 32^\circ\text{F}$

$P = 1 \text{ atm} \rightarrow$ H₂O bolle a $T = 212^\circ\text{F}$

$$t(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} t(^{\circ}\text{C}) + 32$$

REVERSIBILITÀ E IRREVERSIBILITÀ:

↑
quando gli stati di una trasformazione tendono all'eq.

↑ gli stati intermedi non sono stati di equilibrio.

Problema di Zermansky

reversibile: lo stato del sistema è sempre noto
↳ le irreversibilità riducono sempre l'efficienza di un processo.

CALORE:

Energia scambiata per una differenza di temp. Lo scambio va dalle zone più calde o perisce più fredde spontaneamente

⊕ CALORE FORNITO AL SISTEMA

- CAPACITÀ TERMICA: aumento di $T = 1^\circ\text{C}$ la temp. di un corpo: $C = \frac{Q}{\Delta T}$

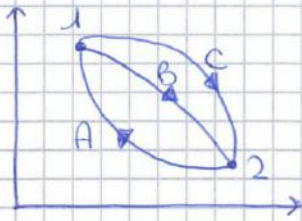
- CALORE SPECIFICO: aumento di $T = 1^\circ\text{C}$ l'unità di massa di un corpo: $c = \frac{Q}{m \Delta T}$

LAVORO:

Energia scambiata per effetto di una forza che produce uno spostamento.

I sistemi chiusi scambiano lavoro con l'esterno attraverso variazioni di volume; mentre questi aperti attraverso sistemi collegati ad un altro sistema.

Calore compiuto = calore ricevuto \rightarrow
 Calore ricevuto = calore compiuto!



$$\int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2B}^1 \delta Q = \int_{1A}^2 \delta L + \int_{2B}^1 \delta L \quad (1)$$

$$\int_{1A}^2 \delta Q + \int_{2C}^1 \delta Q = \int_{1A}^2 \delta L + \int_{2C}^1 \delta L \quad (2)$$

facio (1) - (2) e ottengo: $\int_{2B}^1 (\delta Q - \delta L) = \int_{2C}^1 (\delta Q - \delta L)$ da cui dimostro che $(\delta Q - \delta L)$ è un differenziale esatto, ovvero:

$$\delta Q - \delta L = dE \rightarrow Q - L = \Delta E$$

Se tutte le variaz di energia del sistema sono termodinamiche, ovvero: $Q - L = \Delta U \rightarrow \delta Q - \delta L = dU$
 con $U = E_c + E_p$ possedute dalle particelle del sistema.

• ESPERENZA ASSIOMATICA:

Parte del principio che: L'ENERGIA SI CONSERVA, NON SI CREA E NON SI DISTRUGGE.

$$dU = \delta Q - \delta L$$

ma nel caso più generale: $dE = \delta Q - \delta L$

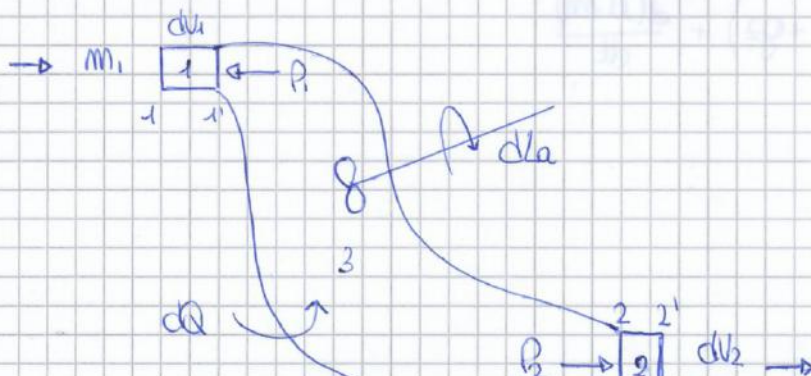
$$\left. \begin{array}{l} \text{per il sistema: } \Delta E_s = Q - L \\ \text{per l'ambiente: } \Delta E_A = -Q + L \end{array} \right\} \Delta E_{tot} = \Delta E_s + \Delta E_A = Q - L - Q + L = 0$$

1° P.T. SISTEMI APERTI:

Sistema soggetto a scambi di massa con l'esterno.

$$Q - L_a = h_{u1} - h_{e1} = m_1 h_{u1} - m_2 h_{e1} = m(h_{u1} - h_{e1})$$

Dimostrazione:



2° P.T. : ENTROPIA:

Processi Reversibili: $dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$

Processi Irreversibili: $dS > \frac{dQ}{T} \rightarrow dS = \frac{dQ}{T} + dS_{irr}$

L'ENTROPIA rappresenta il grado di disordine dell'universo e NON SI CONSERVA. L'ENTROPIA CRESCE SEMPRE!

Se il sistema non scambia calore con l'esterno, allora la variazione di entropia è dovuta alle irreversibilità del sistema.

POSTULATO DI CLAUSIUS:

Considero due termostati ① e ② con $T_1 > T_2$ che scambiano calore Q da Q_1 a Q_2 senza irreversibilità:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta S_1 = \int \frac{dQ}{T} = -\frac{Q}{T_1} \\ \text{rilascia} \\ \text{calore} \\ \Delta S_2 = \int \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T_2} \\ \text{riceve} \\ \text{calore} \end{array} \right\} \Delta S_1 + \Delta S_2 = Q \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \geq 0 \Rightarrow Q > 0$$

se $T_1 = T_2 \Rightarrow Q = 0$

"Se due corpi a $T_1 \neq T_2$ sono a contatto, il calore fluisce spontaneamente dal corpo più caldo e questo più freddo."

POSTULATO DI KELVIN-PLANCK:

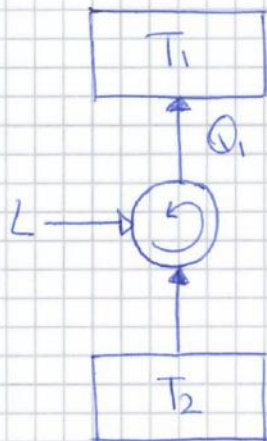
Considero un processo ciclico con $L > 0$ allora dal primo principio sappiamo che $Q = L > 0$. Supponiamo il sistema in contatto con un solo corpo ① con T_1 :

$$\Delta S_{tot} = \Delta S_s + \Delta S_1 = 0 + \left(-\oint \frac{dQ}{T} \right) = -\frac{Q}{T_1} < 0$$

avere anche $H_p: Q > 0!$

"È impossibile operare un processo ciclico, il cui unico effetto sia quello di sottrarre calore ad un termostato e trasformarlo integralmente in lavoro".

MACCHINE TERMICHE CHE ASSORBONO CAURO:



Hip:

- $L < 0$
- Q_2 ceduto al S
- Q_1 ceduto dal S
- $T_1 > T_2$

$$\Delta S_{tot} = \Delta S_s + \Delta S_1 + \Delta S_2 = 0 + \frac{Q_1}{T_1} - \frac{Q_2}{T_2} > 0$$

avendo $T_1 > T_2$ e dovendo essere $|Q_1| > |Q_2|$, allora:

$$L_{netto} = |Q_2| - |Q_1| < 0$$

$$|L_{netto}| = |T_1 \Delta S_{tot}| + |Q_2| \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right)$$

$$|L_{netto}| = |T_2 \Delta S_{tot}| + |Q_1| \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right)$$

Qui troviamo le MACCHINE FRIGORIFERE e le POMPE DI CALORE:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{|L|} = \frac{Q_2}{|Q_1| - Q_2}$$

$$L_{netto, min} = |Q_1| \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = Q_2 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$T_1 = \text{amb. est}$

raffreddo sorgente
fredda

riscaldamento
sorgente calda

$$COP = \frac{|Q_1|}{|L|} = \frac{|Q_1|}{|Q_1| - Q_2}$$

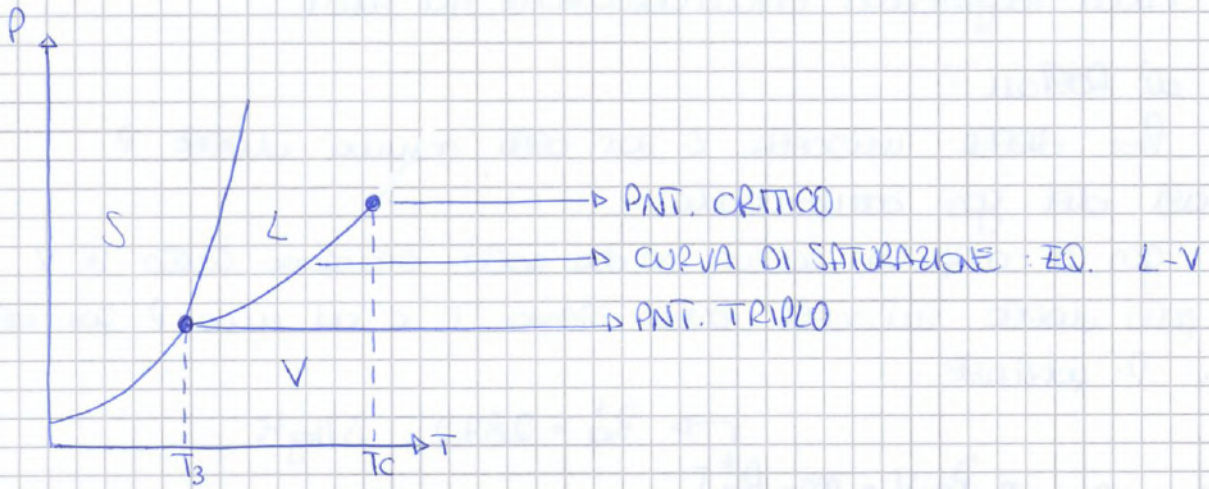
$$L_{netto, min} = |Q_1| \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) = Q_2 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$$

$$COP_{max} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

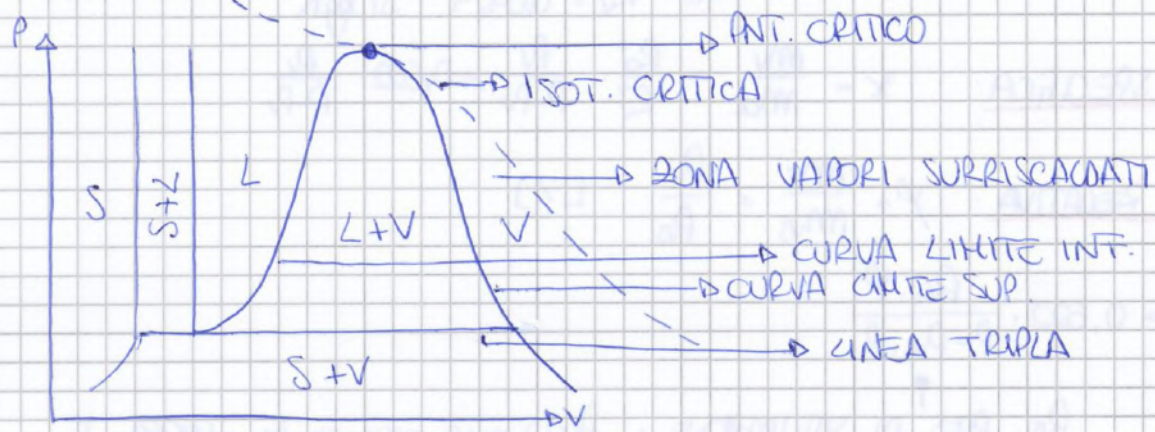
$T_2 = \text{amb. est}$

DIAGRAMMI DI STATO:

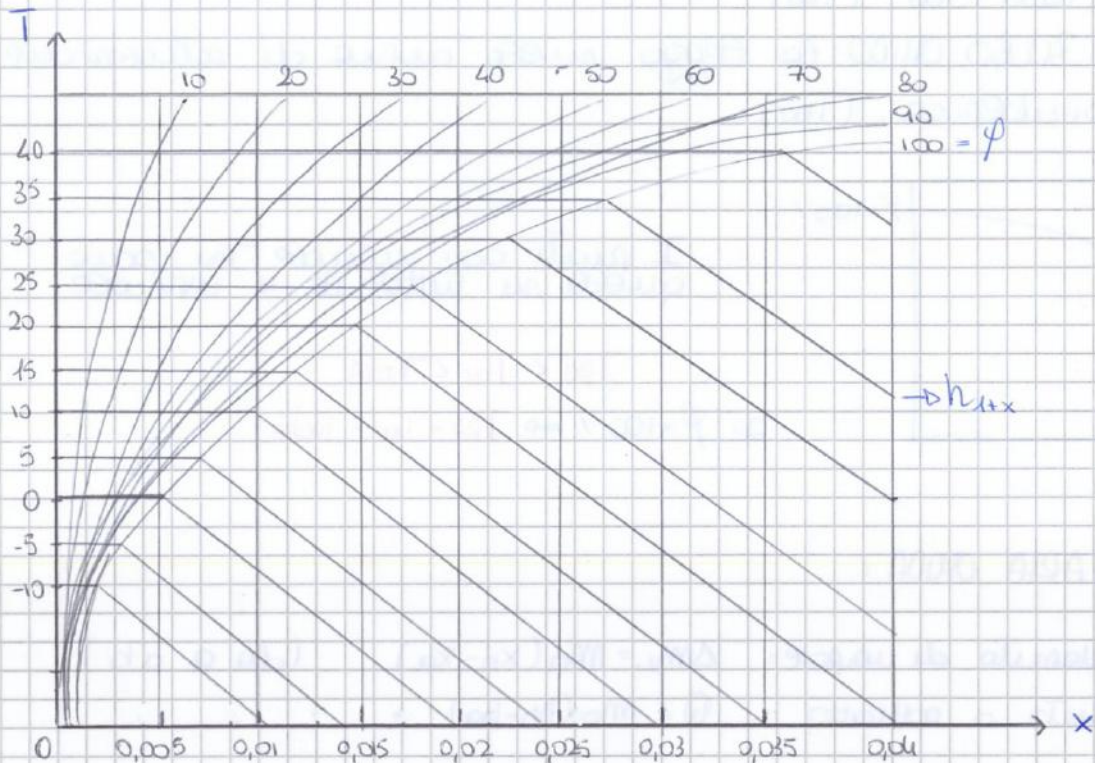
• REGNAULT



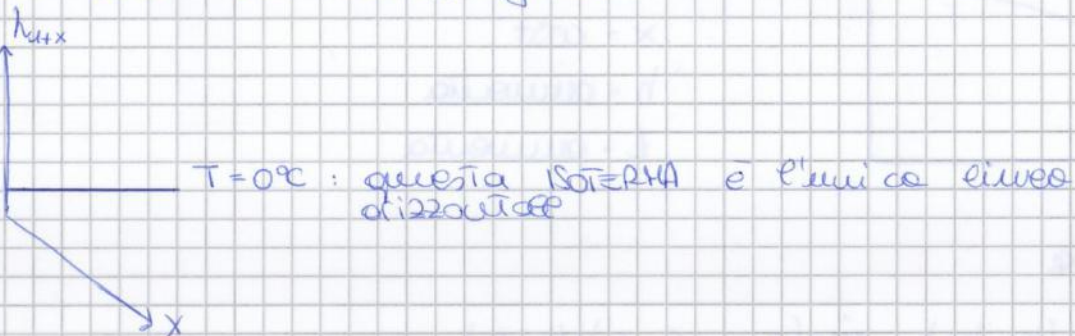
• ANDREWS



• DIAGRAMMA DI KOLLIER



È un diagramma psicrometrico, relativo cioè all'aria umida. La P_{tot} varia molto poco, è la variabile meno variabile: tutti i diagrammi sono riferiti a $P_{tot} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$.
Abbiamo due assi non ortogonali:

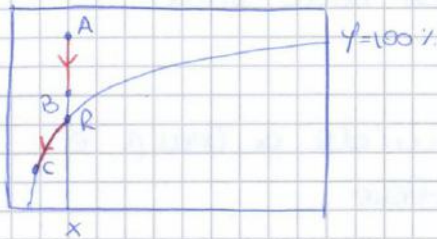


CURVA DI SATURAZIONE: situazione in cui la P del vapore coincide con la P di saturazione $\Rightarrow \phi = 100\%$.

La parte in cui non ho curve ϕ è detta ZONA DELLE NEBBIE in cui si ha più h_{20} di quanto max rispetto a quello che si può avere sotto forma di vapore.

Le isoterme sono un fascio di rette (me orizz. me vert).
L'unica orizzontale è quella con $T=0^\circ\text{C}$.
Kollier è la T e più vapore può contenere l'aria.

② RAFFREDDAMENTO:



φ aumenta : sotto al 100%
 x = cost
 t diminuisce
 h diminuisce

Viene alimentato in una batteria di scrubber termico alimentato da acque refrigerate.

La temperatura a cui l'aria diventa satura e quindi φ=100%, allora troviamo la Temp. di RUGIADA.

$\dot{Q}_{AB} < 0$ in questo $h_B > h_A$

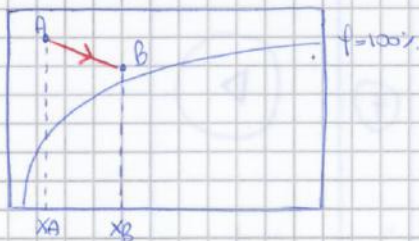
$$h_B = h_A - \frac{|\dot{Q}_{AB}|}{m_A}$$

$$t_B = t_A - \frac{|\dot{Q}_{AB}|}{m_A (C_{pa} + C_{pv} \cdot x)}$$

Quando mi trovo nella curva di saturazione (andando col verso d'uso dello zero), allora ho una UMIDIFICAZIONE (RC)

$$\left\{ \begin{aligned} \dot{Q}_{AB} &= m_A (h_B - h_A) + m_w h_w \rightarrow \text{energia di } h_w \text{ condensata} \\ &\quad \uparrow \\ &\quad \text{portata di } h_w \text{ condensata} \\ m_A (x_B - x_A) + m_w &= 0 \end{aligned} \right.$$

③ UMIDIFICAZIONE:



h = cost
 φ aumenta
 x aumenta
 t diminuisce

Considero il processo adiabatico:

$$\left\{ \begin{aligned} m_A (h_B - h_A) - m_w h_w &= 0 \\ m_A (x_B - x_A) - m_w &= 0 \end{aligned} \right.$$

La trasformazione è pressoché ISENTROPICA in quanto $m_w h_w$ è trascurabile

TRASMISSIONE DEL CALORE

Il calore è l'energia in transito per differenza di temperatura.

Tre modi fondamentali di propagazione del calore:

- conduzione
- convezione
- irraggiamento

CONDUZIONE

La conduzione consiste nella propagazione del calore per contatto tra particelle senza alcun movimento macroscopico di materia.

- sup. isoterme: luoghi dei punti ad egua temperatura
- linee di flusso: direzioni di propagazione del calore

In regime variabile le grandezze variano nel tempo; mentre in regime stazionario le grandezze sono indipendenti dal tempo.

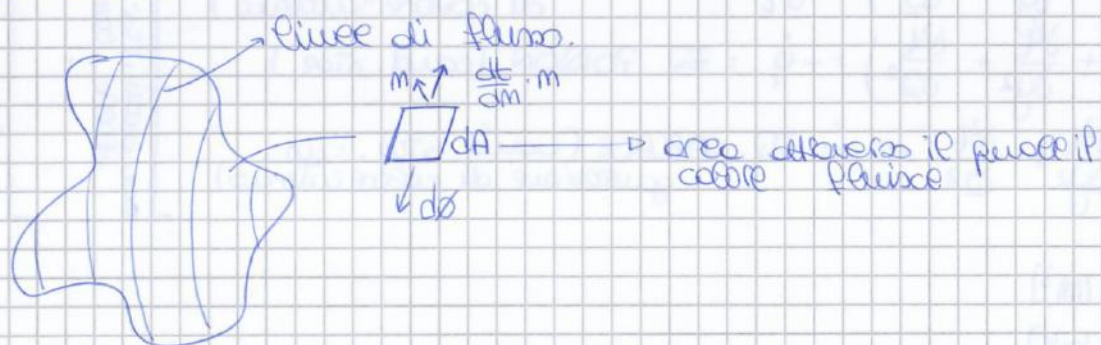
Legge di Fourier:

$$\dot{Q} = -\lambda A \cdot \frac{T_1 - T_2}{S}$$

\dot{Q} = potenza o flusso termico
 A = area
 λ = conducibilità termica
 S = spessore parete
 T_1, T_2 = temp. delle due facce

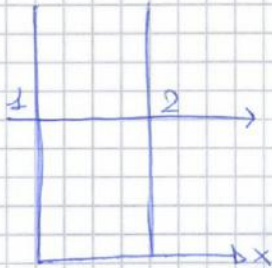
Il segno \ominus è dovuto al fatto che il flusso termico è diretto nel verso delle temp. decrescenti e quindi ha segno opposto al gradiente termico. λ varia e dipende dal tipo di sostanza e cresce con la densità. λ varia con la temperatura.

dimostrazione:



Parete piana: solido delimitato da due sup. piane e spessore

↑
 indefinita: la dimensione della parete nella direzione x è molto più piccola rispetto alle dimensioni nelle altre due direzioni.



hp:

- parete monostrato
- " omogenea
- 1, 2: facce interne $\rightarrow T_1 \neq T_2$

calore: $\frac{dQ}{dt} = \frac{Q}{A} = -A \frac{dT}{dx}$

se si hanno cond. stazionarie, assenza di generazione e condutt. indep. dalle temp., allora:

$$\int \frac{\dot{Q}}{A} dx = \int -\lambda dt$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} \int_{x_1}^{x_2} dx = -\lambda \int_{t_1}^{t_2} dt \rightarrow \frac{\dot{Q}}{A} (x_2 - x_1) = -\lambda (T_2 - T_1)$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{\lambda (T_1 - T_2)}{S}$$

$$S = x_2 - x_1 !$$

λ : CONDUCIBILITÀ: attitudine di un materiale a trasmettere il calore per conduzione

$$R = \frac{S}{\lambda} : \text{RESISTENZA}$$

$$A = C = \frac{1}{R} : \text{CONDUTTANZA}$$

CONVEZIONE :

Trasmissione del calore tra sup. solida e fluido -

Le particelle di fluido adiacenti alla parete scambiano calore con la parete per conduzione in quanto la velocità delle particelle è nulla sulla sup.

La convezione può essere naturale o forzata.

La causa del moto delle particelle fluide sono i gradienti di densità indotti nel fluido da differenze di temp. Anche in un campo gravitazionale

il moto è provocato da una azione esterna

Legge di Newton:

$$\frac{\dot{Q}}{A} = hc (T_p - T_f)$$

coef. di scambio termico convettivo : [W/m²°C]

↳ **scambio forzato**
dipende da velocità relative tra fluido e parete

↳ **scambio naturale**
dipende ad esempio, dalla diff. di temp.

$h = h_c + h_r$: coef. scambio termico lineare e adduttanza

• Parete piana monostrato: $\frac{\dot{Q}}{A} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{s}$

• Parete piana multistrato: $\frac{\dot{Q}}{A} = \frac{T_1 - T_{m+1}}{\sum_{i=1}^m \frac{s_i}{\lambda_i}}$

• Pareti piane che operano ambientati a temp. f. finite: $\frac{\dot{Q}}{A} = U (T_i - T_e)$

U : TRASMISSIONZA
 $= \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$

• Parete cilindrica monostrato: $\frac{\dot{Q}}{L} = 2 + \lambda \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln(r_2/r_1)}$

Se è grande la frequenza, allora è piccola la lunghezza d'onda; viceversa, se è piccola la frequenza, allora è grande la lunghezza d'onda.

Quando la radiazione incide su un mezzo materiale essa viene riflessa, assorbita o trasmessa. Se si indicano con α, ρ, τ le frazioni di energia assorbita, riflessa e trasmessa, definiremo:

- α : COEF. ASSORBIMENTO
 - ρ : COEF. RIFLESSIONE
 - τ : COEF. TRASMISSIONE
- $$\left. \begin{array}{l} \alpha \\ \rho \\ \tau \end{array} \right\} \alpha + \rho + \tau = 1$$

Questi coef. sono funzione sia delle lunghezze d'onda λ sia dell'angolo di incidenza γ .

- Per mezzi opachi: $\tau = 0$
- Per un corpo nero: $\rho = 0, \alpha = 1$

Leggi del corpo nero:

• Potere emissivo monocromatico: $E_\lambda = \frac{d^2 E}{d\lambda dA dt}$

Il potere emissivo è dato dalla LEGGE DI PLANCK:

$$E_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{C_2/\lambda T} - 1)}$$

$C_1 = 3,74 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2/\text{m}^2$
 $C_2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ Kmm}$

essa risulta funzione di λ e T .

Il valore max del potere emissivo monocromatico aumenta e si sposta verso sx al crescere di T . Il luogo dei punti di max è dato dall'eq. nota come LEGGE DI WIEN:

$$\lambda_{\max} \cdot T = C_3 \quad C_3 = 2898 \text{ Kmm}$$

Viene anche definito il potere emissivo integrato come:

$$E = \int_0^\infty E_\lambda \cdot d\lambda \quad [\text{W/m}^2]$$

il suo valore per ricavato da Stefan-Boltzmann e vale:

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$$

La LEGGE DI KIRCHHOFF stabilisce che, quando un corpo è in equilibrio termico, si deve avere:

$$E_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$$

Allora: $E(T) = \int_0^{\infty} E_{\lambda} \cdot E_{\lambda}^m \cdot d\lambda$

Vengano definite SUP. GRIGIE e sup. in cui $\boxed{E = \alpha}$

• IRRADIAMENTO TRA SUP. GRIGIE:

Poiché non tutto il flusso incidente su una sup viene assorbito, una parte di questo riflesso tornerà sulla sup. da cui proviene il flusso incidente, verrà solo in parte assorbito, ecc. via.

Il flusso termico SCAMBIATO fra due sup grigie vale:

$$\dot{Q} = \bar{F}_E \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) = \bar{F}_E \sigma A_2 (T_1^4 - T_2^4)$$

dove $\bar{F}_E = \left(\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1} + \frac{1}{F_{12}} + \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \right)^{-1}$

per i corpi veri $\bar{F}_E = \bar{F}_{12}$

• due sup. piane, ~~parallele~~, infinite: $A_1 = A_2$, $F_{12} = F_{21} = 1$, allora:

$$\bar{F}_E = \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1}$$

- sup. A_1 contenuta in cavità A_2 con $A_2 \gg A_1$, allora:

$$\bar{F}_E = \epsilon_1$$

Linearizzazione del flusso di irraggiamento:

$$\dot{Q} = h_r A_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

con le proprietà dei prodotti notevoli:

$$\dot{Q} = \bar{F}_E \sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4) = \bar{F}_E \sigma A_1 (T_1^2 + T_2^2)(T_1 - T_2)(T_1 + T_2)$$

pongo: $h_r = \bar{F}_E \sigma (T_1^2 + T_2^2)(T_1 + T_2) \approx 4 \bar{F}_E \sigma T_m^3$

con $T_m = \frac{T_1 + T_2}{2}$

• TRASMITTANZA: $U = \frac{Q}{A(T_i - T_e)}$

Flusso di calore per unità di sup:
 $\frac{\dot{Q}}{A} = U(T_i - T_e)$

Flusso termico tot.:
 $\dot{Q} = UA(T_i - T_e)$

- per una PARETE MONOSTRATO OMOG.: $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{h_e}}$

- per una PARETE MULTISTRATO: $U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \sum R + \frac{1}{h_e}}$

In cond. di regime stazionario il flusso termico che attraversa la parete è uguale a quello che attraversa ogni singolo strato: $\phi = \dot{Q} = \text{cost.}$

Alcune formule:

$$\begin{aligned} \phi &= UA(T_e - T_i) = h_e A(T_e - T_{pe}) = h_i A(T_{pi} - T_i) \\ \psi &= \frac{\phi}{A} = U(T_e - T_i) = h_e(T_e - T_{pe}) = h_i(T_{pi} - T_i) \end{aligned}$$

$$\underline{T_{pe}} = T_e - \frac{\phi}{Ah_e} = T_e - \frac{\phi}{h_e} = T_e + \frac{U}{h_e}(T_i - T_e)$$

$$\underline{T_{pi}} = T_i + \frac{\phi}{Ah_i} = T_i + \frac{\phi}{h_i} = T_i - \frac{U}{h_i}(T_i - T_e)$$

Legge di Fick: $\frac{G}{A} = S \cdot \frac{p_{v1} - p_{v2}}{s}$ ($G = \dot{m}$)

calcolo la portata di vapore che si diffonde attraverso la parete.

- per una parete multistrato: $\frac{G}{A} = M(p_{v1} - p_{ve})$

PERMEANZA: $M = \frac{1}{\frac{1}{\beta_i} + \sum \frac{s}{S} + \frac{1}{\beta_e}}$

• CONDENSA SUPERFICIALE:

Quando la temperatura sup. di una parete a contatto con l'aria interna scende al di sotto della temp. di rugiada, si ha la formazione di condensa.

$$T_{si} = T_i - \frac{U}{h_i} (T_i - T_e) \quad ; \quad T_{ev} : \text{diagramma Hoesler}$$

Per evitare la condensa: $T_{si} > T_{ev}$

• CONDENSA INTERSTIZIALE:

Quando il vapore d'acqua, verso una diffusione attraverso una parete, incontra zone a temperatura più bassa della temp. di saturazione del vapore

Per evitare la condensa: $P_v < P_{vs}$

$$P_{vs} = P_{vi} - H(P_{vi} - P_{ve}) \cdot \sum R_s$$

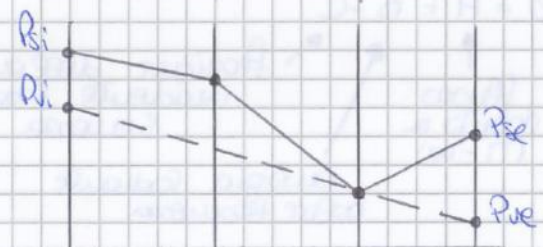
$P_{vi} = P_{vs,i} \cdot \phi$ $P_{ve} = P_{ve,e} \cdot \psi$

• METODO DI GLASER:

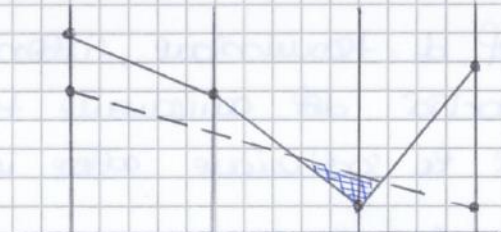
① NON CONDENSA : $P_v < P_{vs}$



② COND. LIMITE: $P_v \equiv P_{vs}$
(1 PNT)



③ CONDENSA : $P_v > P_{vs}$



L'aumento di questi tre coef. varia in funzione dell'angolo di incidenza delle radiazioni e dello λ delle radiazioni.

Quasi tutti i tipi di vetro per edilizia sono opachi alle radiazioni nel vetro λ ($> 3 \mu\text{m}$) ovvero da sup. la cui temp. è inferiore di circa 20°C , a parte poi di effetto serra da radiazione a breve λ penetra nei vetri delle serre.

Quando parliamo di pareti vetrate abbiamo un flusso termico per diff. di temperatura e un flusso termico entrante per effetto delle radiazioni solari.

Il flusso termico per diff. di temp è: $\dot{Q}_{\text{cond}} = \alpha(T_i - T_e)$, mentre

quello legato alle radiazioni solari vale: $\dot{Q}_{\text{sol}} = (g + m \alpha_s) I$,

Definiamo il FATTORE SOLARE $g = TSEI$, come $g = \gamma + m \alpha_s$, tiene

conto dell'effetto combinato di convezione, conduzione e irraggiamento (radiazioni a breve λ).

Definiamo inoltre lo SHADING COEFFICIENT (SC), come:

$$SC = \frac{TSEI}{TSEI_{\text{ref}}} = \frac{TSEI}{0,87}$$

$$\dot{Q}_{\text{TR}} = U_w(T_e - T_i) + \gamma_s I + N_i \alpha_s I \Rightarrow \dot{Q}_{\text{TR}} = \dot{Q}_w + \dot{Q}_s$$

$$\dot{Q}_w = U_w(T_e - T_i) \quad \dot{Q}_s = (\gamma_s + N_i \alpha_s) I = TSEI$$

perimetro
tot.
vetro

finestre: vetro + telaio

trasm. linee

$$\text{dove: } U_w = \frac{A_g U_g + A_p U_p + l_g U_g}{A_g + A_p}$$

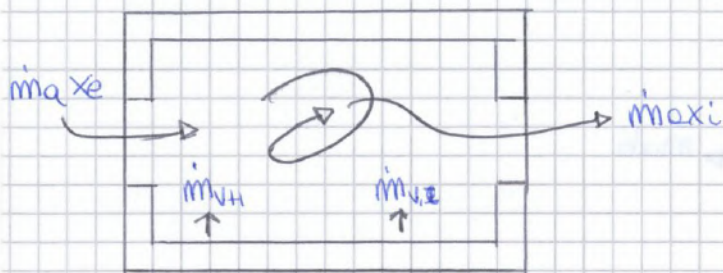
$A_g + A_p$

p - frame: telaio

g - trasm. vetro

$$\text{con schermi chiari (oscuranti): } U_{\text{ns}} = \left(\Delta R + \frac{1}{U_w} \right)^{-1}$$

• BILANCIO DI MASSA: (massa di vapore)



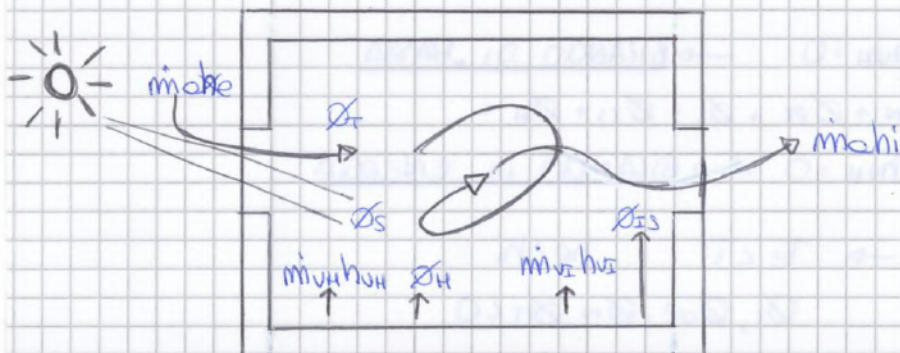
$$\dot{m}_{v,E} + \dot{m}_{v,H} + \dot{m}_{a,x_e} - \dot{m}_{a,x_i} \approx 0$$

↑
 sorgenti
 interne
 ↑
 impianto
 termico

$$\dot{m}_a (x_{su} - x_i) + \dot{m}_{v,E} + \dot{m}_{v,H} = 0$$

↑ ↑
 aria umidità spec. interna.
 prefiltrata prima di entrare
 in ambiente

• CARICHI SENSIBILI E LATENTI:



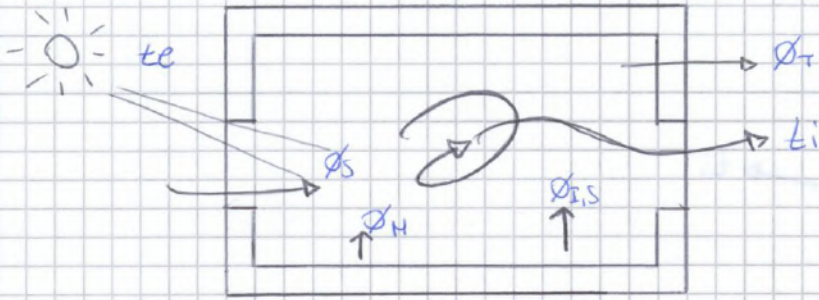
sensibile: associato alla temp.

latente: associato all'umidità specifica

$$\phi_I = \phi_{ES} + \phi_{I,L} = \phi_{ES} + \dot{m}_{v,E} h_{v,E}$$

↑ ↑ ↑
 interno sensibile latente

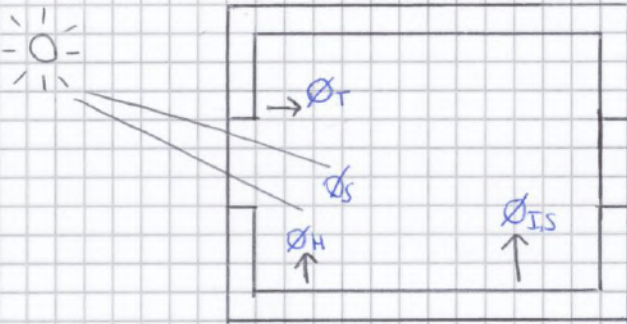
• RISCALDAMENTO INVERNALE:



$$\left. \begin{array}{l} T_e < T_i \\ \phi_T < 0 \\ \phi_H > 0 \end{array} \right\} \rightarrow \dot{m} a C_{pa} (T_e - T_i) + \phi_T + \phi_s + \phi_{IS} + \phi_H = 0$$

$$\Rightarrow \phi_H^+ = |\phi_T| + \dot{m} a C_{pa} (T_i - T_e) - \phi_{IS} - \phi_s$$

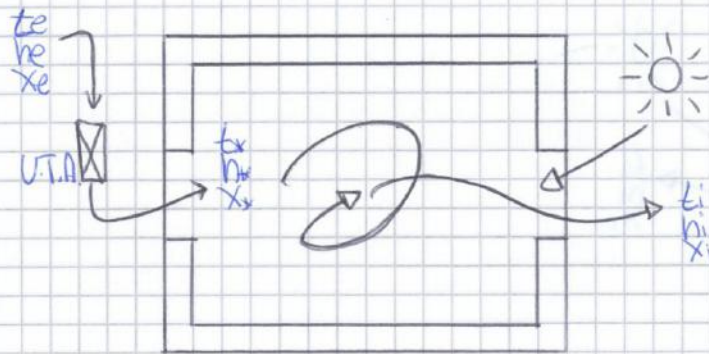
• RAFFRESCAMENTO ESTIVO:



$$\left. \begin{array}{l} T_e > T_i \\ \phi_T > 0 \\ \phi_H < 0 \end{array} \right\} \rightarrow \dot{m} a C_{pa} (T_e - T_i) + \phi_T + \phi_{IS} + \phi_s + \phi_H = 0$$

$$\Rightarrow \phi_H^- = \phi_T + \dot{m} a C_{pa} (T_e - T_i) + \phi_{IS} + \phi_s$$

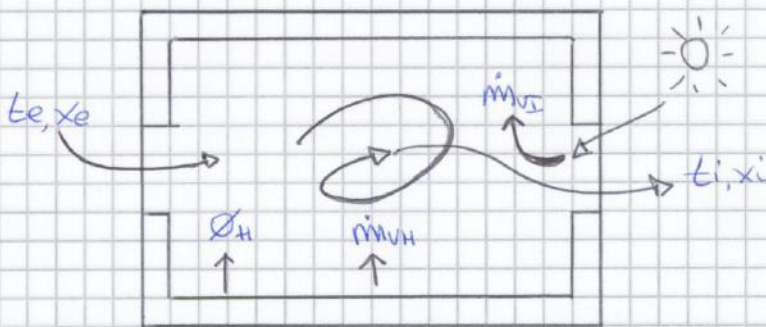
• CONDIZIONAMENTO ESTIVO: impianto a tutti'aria



$$\left. \begin{array}{l} T_e > T_i \\ \dot{Q}_T > 0 \\ \dot{Q}_H = 0 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} \dot{m}_a(h_x - h_i) + \dot{Q}_T + \dot{Q}_S + \dot{Q}_{IS} + \dot{m}_v h_{vE} = 0 \\ \dot{m}_a(x_x - x_i) + \dot{m}_v = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta h}{\Delta x} = \frac{h_x - h_i}{x_x - x_i} = \frac{\dot{Q}_T + \dot{Q}_S + \dot{Q}_{IS} + \dot{m}_v h_{vE}}{\dot{m}_v}$$

• CONDIZIONAMENTO INVERNALE: sistema ibrido



$$\left. \begin{array}{l} T_e < T_i \\ \dot{Q}_T < 0 \\ \dot{Q}_H > 0 \end{array} \right\} \rightarrow \begin{cases} \dot{m}_a(h_e - h_i) + \dot{Q}_T + \dot{Q}_S + \dot{Q}_{IS} + \dot{Q}_H + \dot{m}_v h_{vE} + \dot{m}_v h_{vH} = 0 \\ \dot{m}_a(x_e - x_i) + \dot{m}_v + \dot{m}_vH = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \dot{Q}_H = \dot{Q}_H^+ = \dot{m}_a(h_i - h_e) - \dot{Q}_T - \dot{Q}_{IS} - \dot{m}_v h_{vE} - \dot{m}_v h_{vH} \\ \dot{m}_vH = \dot{m}_a(x_i - x_e) - \dot{m}_v \end{cases}$$

ACUSTICA:

IL SUONO COME FENOMENO FISICO:

Il suono viene definito come una perturbazione di pressione che si propaga in un mezzo elastico in modo oscillatorio.

L'orecchio umano è sensibile a suoni con una frequenza compresa fra 20 Hz e 20000 Hz, con un massimo della sensibilità attorno ai 3000/4000 Hz.

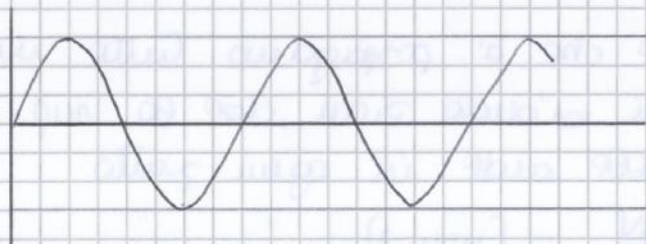
La perturbazione è generata dalle vibrazioni di un corpo (origine sonora). Nell'aria le onde di pressione sono longitudinali.

Definiamo PRESSIONE: $\Delta P(t) = P(t) - P_a$, si definisce la pressione sonora come valore efficace della perturbazione di pressione $\Delta P(t)$ come: $P_{\text{eff}} = \left(\frac{1}{T} \int_0^T [\Delta P(t)]^2 dt \right)^{1/2}$ [Pa]

- PERIODO: $T \rightarrow$ tempo necessario a compiere una oscillazione completa.
- FREQUENZA: $f \rightarrow$ numero di oscillazioni complete effettuate dall'origine nell'unità di tempo. ($T = 1/f$)
- LUNG. D'ONDA: $\lambda \rightarrow$ distanza percorsa dall'onda in un periodo
- VELOCITÀ DEL SUONO \rightarrow velocità con cui si propaga l'onda sonora: c ($c = \lambda \cdot f$)

Esistono due tipi di suono:

- SUONO PURO: fenomeno sinusoidale



Le sup. su cui viene diffusa l'onda sono sferiche il cui centro è la sorgente sonora e il cui raggio cresce con il propagarsi del suono:

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad [W/m^2]$$

Viene dimostrato che in un campo libero $I = \frac{p^2}{\rho c}$ dove ρc è l'impedenza acustica ed è tipico del mezzo attraversato.

Definiamo inoltre la densità sonora che è l'energia localizzata nell'unità di volume dell'intorno di un punto cavo:

$$U = \frac{E}{V} \quad [J/m^3]$$

per un'onda piana e sferica si ha $U = \frac{p^2}{\rho c^2}$

IL SUONO COME FENOMENO PERCEPTIVO:

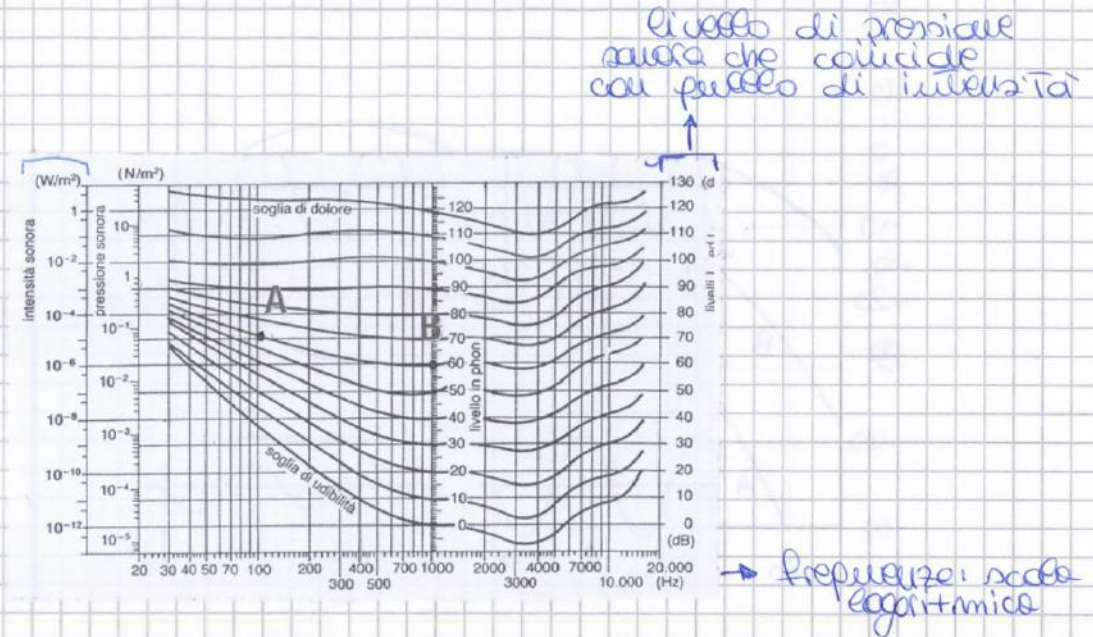
La membrana timpanica messa in vibrazione trasmette il movimento determinando le sensazioni uditive.

Sono state definite delle nuove grandezze, basate sulla scala logaritmica, dette LIVELLI, misurati in decibel (dB). Si introducano con:

- LIV. DI PRESSIONE $\rightarrow L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2}$
 \uparrow
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

- LIV. DI INTENSITÀ $\rightarrow L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$
 \uparrow
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

- LIV. DI POTENZA $\rightarrow L_W = 10 \log \frac{W}{W_0}$
 \uparrow
 $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$



La sensazione sonora viene misurata in phon e coincide con il livello di pressione sonora a 1000 Hz.

• SUONO COMPRESSO:

Definiamo innanzitutto le BANDE DI FREQUENZE:

- BANDE DI OTTAVA → intervallo di frequenza definito da una frequenza inferiore e una superiore. Chiamando f_2 questa superiore e f_1 quella inferiore, si ha che $f_2 = 2f_1$.
- BANDE DI 1/3 DI OTTAVA → solo la terza parte di una banda di ottava, quindi $f_2 = \sqrt[3]{2} f_1$.

La sensazione acustica dipende quindi dalla frequenza, perciò un apparecchio che misuri l'intensità di un suono così come esso viene percepito dall'orecchio deve simulare la risposta in frequenza dell'orecchio: CURVE DI CORREZIONE.

Un suono può essere espresso da un livello sonoro globale, che può essere lineare (usando i valori ~~si~~ così come ci vengono forniti) o ponderato (usando i valori ~~si~~ e sommando un valore correttivo):

$$L_{LIN} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{125}}{10}} + 10^{\frac{L_{250}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{4000}}{10}} \right)$$

$$L_{POND} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{125}^*}{10}} + 10^{\frac{L_{250}^*}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{4000}^*}{10}} \right)$$

Molto importante è l'assorbimento acustico totale di un ambiente, definito da:

$$A_{tot} = \sum_{i=1}^n (a_i \cdot S_i) + \sum_{j=1}^m (m_j \cdot A_j) \quad [m^2]$$

↑
numero unita
assorbenti

mentre questo medio vale:

$$a_m = \frac{\sum (a_i \cdot S_i) + \sum (m_j \cdot A_j)}{\sum S_i}$$

I valori di assorbimento sono ricavabili da delle tabelle (standard).

Esistono tre tipi di campo sonoro:

- CAMPO LIBERO: campo sonoro che si genera in assenza di ostacoli riflettenti. In laboratorio si produce nelle camere anecoiche.
- CAMPO RIVERBERATO: campo sonoro che si genera in un ambiente chiuso quando il contributo delle onde riflesse è preponderante su quello delle onde dirette. Si produce in laboratorio nelle camere riverberanti.
- CAMPO SEMI RIVERBERATO: campo sonoro che si genera negli ambienti chiusi quando per ogni punto del campo non si ha una preponderanza delle onde dirette o di quelle riflesse. Per ottenerci valori di a_m questo campo sostituisce quello riverberato ($a_m > 0,4$).

Definiamo il fattore di direttività Q_0 dato dal rapporto tra l'intensità acustica in un punto e quella generata nello stesso punto da una sorgente omnidirezionale. Vale:



$Q_0 = 1$



$Q_0 = 2$



$Q_0 = 4$



$Q_0 = 8$

La densità sonora in ogni punto del campo è data da:

$$U = \frac{4W}{cA_{TOT}}$$

e l'intensità sonora è: $I = \frac{W}{A_{TOT}}$

$$L_p = L_w - 10 \log A_{TOT} + 6$$

$$L_I = L_w - 10 \log A_{TOT}$$

Per definire le caratteristiche di riverberazione di un ambiente o una IP tempo di riverberazione (T_{60}), ossia il tempo necessario perché il suono decada di 60 dB. La formula comunemente impiegata per il suo calcolo si chiama formula di Sabine:

$$T_{60} = 0,16 \frac{V}{A_{TOT}}$$

Il valore ottimale del tempo convenzionale di riverberazione dipende dal volume e dalla frequenza.

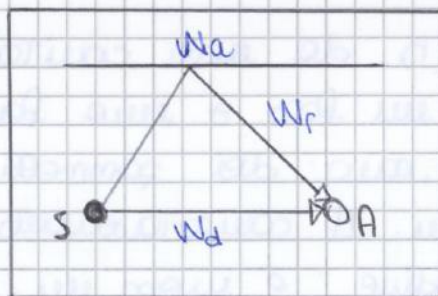
Il valore ottimale del tempo di riverberazione alla frequenza di 1000 Hz si ricava da:

$$T_{0,1000} = k \cdot \sqrt[9]{V}$$

dove: $\begin{cases} 0,3 < k < 0,4 \rightarrow \text{parlato} \\ 0,5 < k < 0,8 \rightarrow \text{musica} \end{cases}$

• CAMPO SEMIRIVERBERATO: negli ambienti chiusi, e comunque delimitati da pareti riflettenti, l'onda diretta coesiste con piccole riflessi (una o più volte) creando un campo sonoro.

La densità sonora è data da: $U = \frac{W_0}{4\pi d^2 c} + \frac{4W}{cA_{TOT}}$



FONDISOLAMENTO:

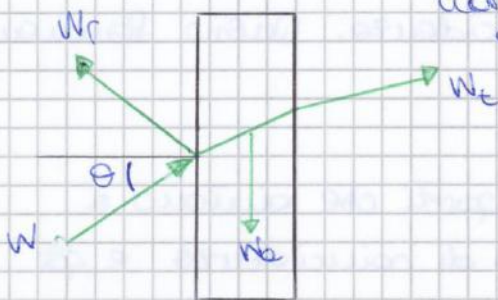
Per proteggere un ambiente da un rumore prodotto al di fuori di esso occorre ostacolare la propagazione del rumore dalle sorgenti verso l'ambiente, ovvero incrementare il potere fonoisolante delle pareti che separano le sorgenti dall'ambiente disturbato.

Si distingue tra rumori per via aerea (il suono irradiato incide sulle pareti divisorie) e rumori impattivi (le vibrazioni fanno vibrare le pareti).

• POTERE PER VIA AEREA: il grado di isolamento viene detto POTERE FONDISOLANTE (R):

$$R = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

↑
varia con la frequenza e l'angolo di incidenza θ



Per il potere fonoisolante di una parete, distinguiamo tre regioni:

- 1) fenomeni di risonanza
- 2) legge della massa
- 3) effetto di coincidenza



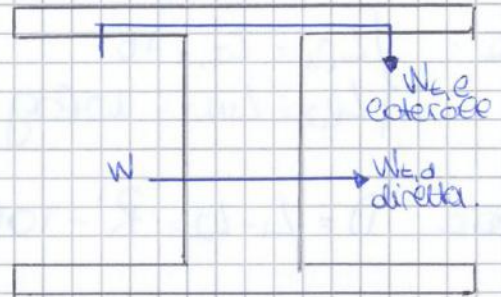
Analizziamo le tre parti:

② → abbiamo l'incidenza normale in cui l'angolo è ortogonale alla parete e perpendic.

$$R_0 = 20 \log (f m) - (12,5 \text{ [dB]})$$

Recante il POTERE FONDISCANTE APPARENTE (R'):

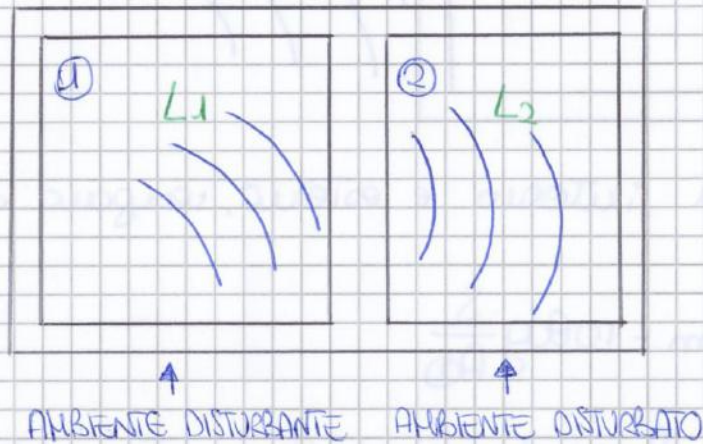
$$R' = 10 \log \frac{1}{E'} = 10 \log \frac{W}{W_{d,d} + W_{d,e}}$$



$R' < R$ sempre!

Vediamo due casi di isolamento acustico:

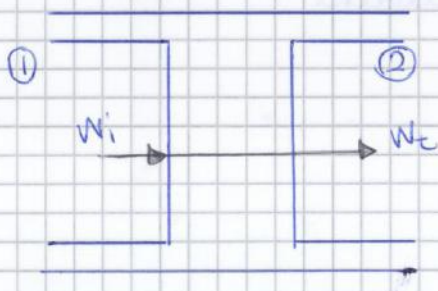
① INTERNO - INTERNO:



$$L_2 = L_1 - R' + 10 \log \frac{S}{A_0}$$

Il isolamento acustico è: $D = L_1 - L_2 = R' - 10 \log \frac{S}{A_0}$

dimostrazione:

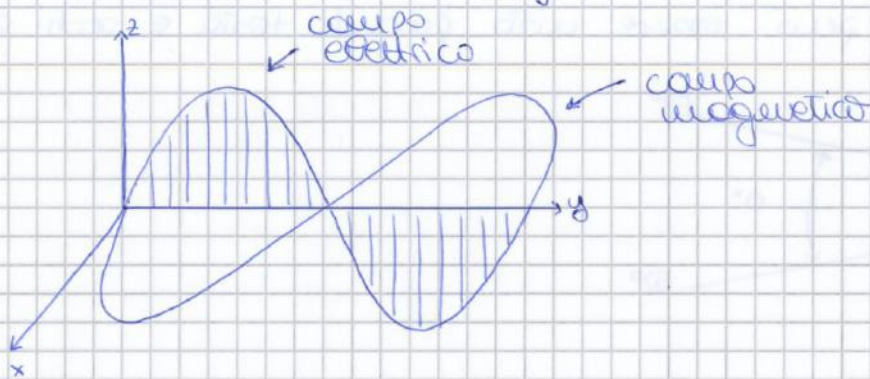


$$R' = 10 \log \frac{W_i}{W_e} = 10 \log \left[\frac{I_1 \cdot S \cdot 10^{-12}}{W_r \cdot 10^{-12}} \right] = 10 \log \left(\frac{I_1}{10^{-12}} \right) + 10 \log S - 10 \log \left(\frac{W_r}{10^{-12}} \right) = D$$

ILLUMINOTECNICA

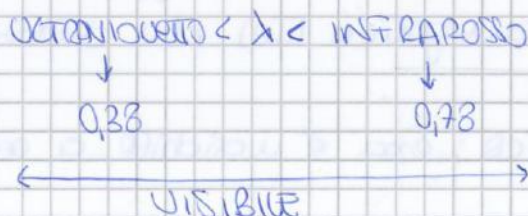
LUCE COME FENOMENO FISICO: La luce viene definita come l'insieme di radiazioni elettromagnetiche, di lunghezza d'onda $0,38 < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$, che l'occhio umano è in grado di percepire.

- energia elettromagnetica: energia viaggiante emessa in quantità discrete le cui propagazioni avviene per onde elettromagnetiche
- onde elettromagnetiche: generata dall'oscillazione ciclica di campi elettrici e campi magnetici.



- Lunghezza d'onda: λ : distanza percorsa dall'onda durante un'oscillazione completa.
- Frequenza: f : n° di oscillazioni complete effettuate nell'unità di tempo.
- velocità di propagazione: c : velocità con cui si propaga l'onda elettromagnetica: $c = \lambda \cdot f$ (nel vuoto: $c = 10^8 \cdot 3$)

λ e f sono inversamente proporzionali
 λ cetera $\Rightarrow f$ cresce
 λ cresce $\Rightarrow f$ cetera.



In condizioni di intensità spettrale equivalente, allora:

$$\begin{cases} K(\lambda) I_e(\lambda) = K(\lambda_0) I_e(\lambda_0) \\ K(\lambda) \phi_e(\lambda) = K(\lambda_0) \phi_e(\lambda_0) \end{cases}$$

$$[K(\lambda)] = \rho_m / W !$$

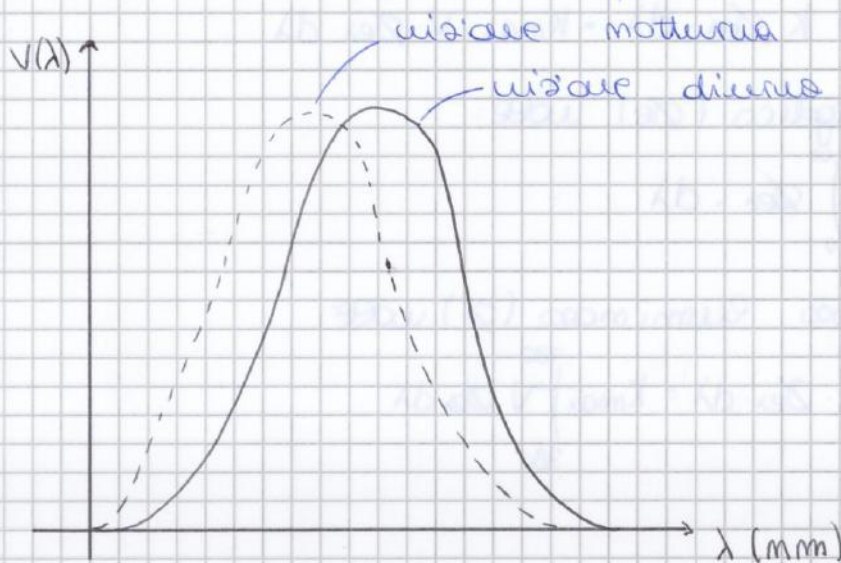
Viene definito FATTORE DI VISIBILITÀ RELATIVA :

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}}$$

$$0 < V(\lambda) < 1$$

dove K_{\max} rappresenta il valore massimo del fattore di visibilità. In visione diurna si ha $K_{\max} = 683 \text{ } \rho_m / W$ con $\lambda = 0,555 \mu\text{m}$, e in visione notturna si ha $K_{\max} = 1700 \text{ } \rho_m / W$ con $\lambda = 0,505 \mu\text{m}$.

La curva fotopica di visibilità relativa rappresenta pertanto il massimo ($V(\lambda) = 1$) con $\lambda = 0,555 \mu\text{m}$, mentre la curva scotopica ha il massimo per $\lambda = 0,505 \mu\text{m}$.



FLUSSO LUMINOSO: quantità di luce emessa da una sorgente, trasportata e ricevuta nell'unità di tempo

$$\phi = K(\lambda) \phi_e \quad [\rho_m]$$

$$\phi = K_{\max} \cdot V(\lambda) \cdot \phi_e$$

Per una radiazione composta, riferita ad un intervallo di lunghezza d'onda, occorre riferirsi al flusso energetico spettrale $\phi_{e,\lambda}$ [W/mm o $W/\mu m$].

Da cui ricaviamo il flusso luminoso come:

$$\Phi = K_{\max} \int_{\lambda_{20}}^{\lambda_{30}} V \cdot \rho_{\lambda} d\lambda = K_{\max} \cdot \sum_{i=1}^m V_i \cdot \rho_{\lambda i} \Delta\lambda = K_{\max} \Delta\lambda \sum_{i=1}^m V_i \cdot \rho_{\lambda i}$$

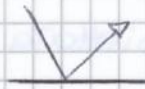
La luce che incide su una superficie viene in parte assorbita, in parte trasmessa ed in parte riflessa. Le rispettive frazioni vengono dette:

- FAT. DI ASSORBIMENTO $\rightarrow \alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi_i}$
 - FAT. DI TRASMISSIONE $\rightarrow \tau = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$
 - FAT. DI RIFLESSIONE $\rightarrow \rho = \frac{\Phi_r}{\Phi_i}$
- $$\left. \begin{array}{l} \alpha + \rho + \tau = 1 \\ (\alpha, \rho, \tau) = f(\lambda, \theta) \end{array} \right\}$$

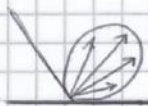
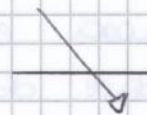
②

RIFLESSIONE

TRASMISSIONE



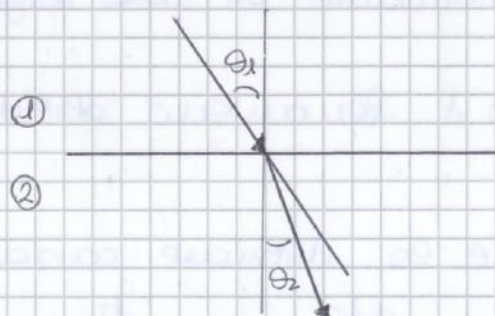
SPECULARE



DIFFUSA



Viene def. l'angolo di rifrazione θ_2 l'angolo che la traiettoria di propagazione della radiazione luminosa che s'ha nell'interfaccia tra due mezzi trasparenti:



$$d^2\phi \propto dA \cos\alpha$$

↑
proporzionale

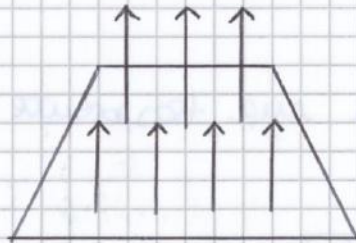
La luminanza può cambiare in funzione delle direzioni.

Una sup. diffusante emette con luminanza costante in tutte le direzioni.

EMITTENZA LUMINOSA: rapporto tra il flusso luminoso emesso (da un elemento di sup.) e l'area dell'elemento:

$$H = \frac{d\phi_e}{dA}$$

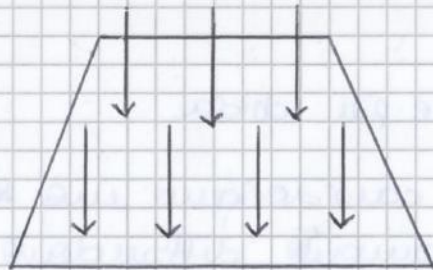
se il flusso è emesso in modo uniforme: $H = \frac{\phi_e}{A}$ [lm/m^2]



ILLUMINAMENTO: rapporto tra il flusso luminoso incidente su una sup. elementare e l'area della sup. elementare stessa:

$$E = \frac{d\phi_i}{dA}$$

se il flusso giunge in modo uniforme: $E = \frac{\phi_i}{A}$ [$\text{lm/W} = \text{lx}$]



Qui il flusso non è emesso ma è ricevuto!

d : angolo tra la normale e una particolare direzione
 $d\Omega$: marmarite
 dI_α : vettore di una generica direzione

$$dI_\alpha = \frac{d^2\Phi}{d\omega}$$

$$dI_\alpha = L_\alpha dA \cos\alpha$$

Per sup. perfettamente diffusiventi:

$dI_\alpha = dI_0 \cos\alpha$: legge del coseno : la legge lo esprime con la circonferenza in cui la lunghezza di ogni vettore è pari a $dI_0 \cos\alpha$

Scriviamo il flusso luminoso complessivamente emesso dalle nostre sup:

$$d\Phi = \int d^2\Phi = \int dI_\alpha d\omega = dI_0 \cdot \pi$$

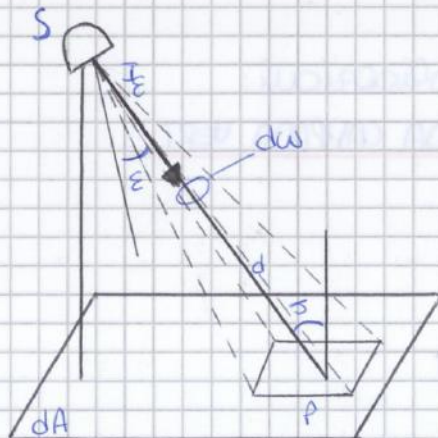
geniso. emispe.

Per sup. diffusiventi la luminanza non dipende dalle direzioni: è allora costante in ogni direzione:

$$L_\alpha = \frac{dI_\alpha}{dA \cos\alpha} = \frac{dI_0 \cos\alpha}{dA \cos\alpha} = L$$

$$\Rightarrow L_\alpha = L_0 = L \longrightarrow L = \frac{dI_0}{dA} = \frac{d\Phi}{\pi dA} = \frac{M}{\pi} = \frac{E \cdot \rho}{\pi}$$

ILLUMINAMENTO PUNTOALE DA SORGENTI PUNTOFORMI: ANG. ESTERNO

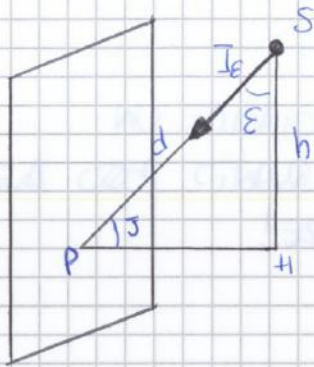


Sappiamo che: $E_p = \frac{I_E \cos^2 \epsilon}{d^2}$

ma: $E = \gamma$, $d = \frac{h}{\cos \epsilon}$ $\implies E_p = \frac{I_E \cos^3 \epsilon}{h^2}$

ϵ : variabile che cambia da punto a punto.

ILLUMINAMENTO SU SUP. VERT. DA CAVITÀ VERT.:



Sappiamo che: $E_p = \frac{I_E \cdot \cos^2 \epsilon}{d^2}$

ma: $\epsilon + \gamma = \frac{\pi}{2}$, $d = \frac{h}{\cos \gamma}$

$\implies E_p = \frac{I_E \cdot \cos^2 \gamma \cdot \cos^2 \gamma}{h^2}$, $E_p = \frac{I_E \cdot \cos^2 \epsilon \cdot \cos^2 \epsilon}{h^2}$

COLORIMETRIA:

- **COLORE:** insieme di attributi che concorrono a determinare la sensazione visiva.
- **TINTA O TONO** \rightarrow la radiazione luminosa viene percepita come rossa, verde, ...
- **INTENSITÀ** \rightarrow caratterizza la sensazione visiva prodotta da una radiazione luminosa.
- **SATURAZIONE** \rightarrow definisce la deviazione della radiazione luminosa rispetto al colore fondamentale I

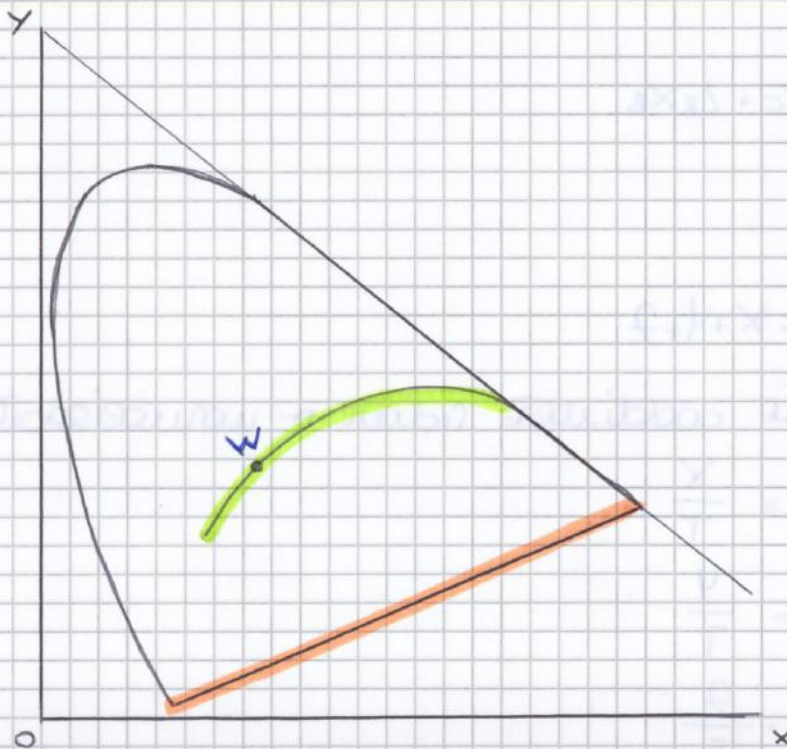
Temp. colore $\begin{cases} \nearrow$ cetera colori freddi \\ \searrow toni colori caldi \end{cases}

associato a come emette il corpo nero

LEGGI DI GRASSMAN:

- 1° → Colore: Tinta, saturazione, splendore
- 2° → se miscelo due colori le caratteristiche della miscela variano con continuità al variare delle proporzioni dei due colori (gradazioni graduali).
- 3° → aggiunta di un uguale colore a due colori uguali, produce ancora due colori uguali ($A \leftrightarrow B \Rightarrow A+C \leftrightarrow B+C$)
- 4° → la luminosità di una miscela di colori è la somma di una miscela dei colori componenti.

DIAGRAMMA CROMATICO CIE:



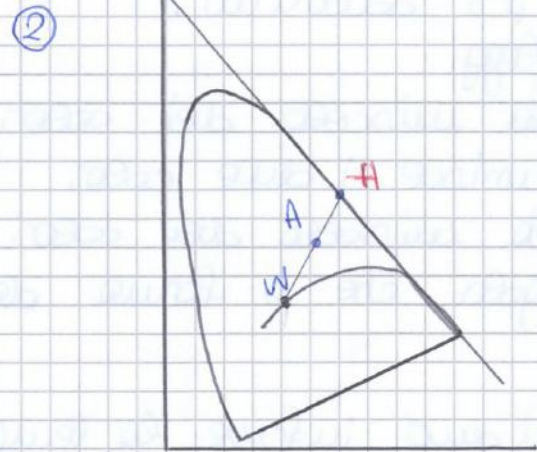
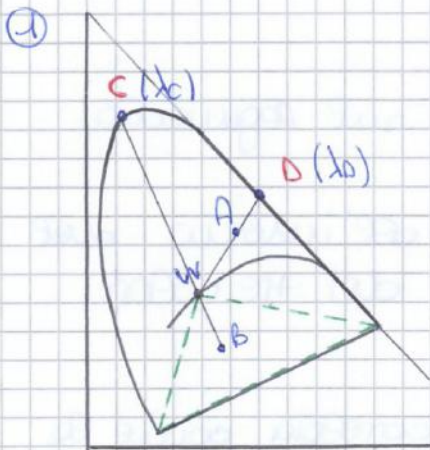
Qui troviamo solo due attributi, però l'attributo quantitativo: la luminosità viene definita a parte. Ho solo la tinta e la saturazione.

Secco verso obliquo: colori puri dell'arcobaleno

Linea orizzontale: LINEA DELLE PASTELLE

Linea verde: WAGO PLANCKIANO: a ogni punto ho una data temperatura (da rosso a bianco). È l'emissione del corpo nero a temp. diverse.

Luoghezza d'acido dominante e complementare:



Cosa quantifica la tinta? ①

Prendo A e traccio WA fino ad incontrare la curva dei colori puri dove ricavo D definito COLORE DOMINANTE che me rappresenta la tinta. Seggo (A) ovvero lo stesso punto corrisponde quel colore puro. Io mi definisce la TINTA del colore.

Il triangolo tratteggiato rappresenta la zona delle tinte

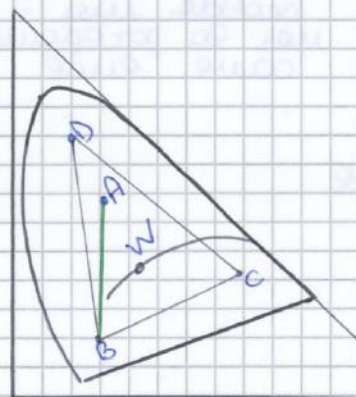
Prendo B all'interno del triangolo e me cerco il colore dominante, ma non essendo colori puri quelli che ricaverò sulla linea complementare WB, ovvero ricavo il punto C detto COLORE COMPLEMENTARE al punto corrispondente me etc.

Cosa quantifica la purezza? ②

Purezza o saturazione viene data da:

$$\frac{WA}{WH} \begin{cases} \text{se } A \equiv W \rightarrow (WA/WH) = 0 : \text{BIANCO} \\ \text{se } A \equiv H \rightarrow (WA/WH) = 1 : \text{PURO} \end{cases}$$

Miscela di colori:



Se una sup. oriz.:

- diretta
- diffusa
- riflessione dal terreno.

La radiazione solare presenta, fuori dall'atmosfera, uno spettro continuo, ossia simile a quello di un corpo nero a $T = 5800\text{ K}$. A questa temp. emette una energia spettrale pari a $3,88 \cdot 10^{26}\text{ W}$.

Alle distanze media tra Sole e Terra, l'irradiazione solare extratmosferica vale 1353 W/m^2 .

Fuori dall'atmosfera il cielo appare nero!

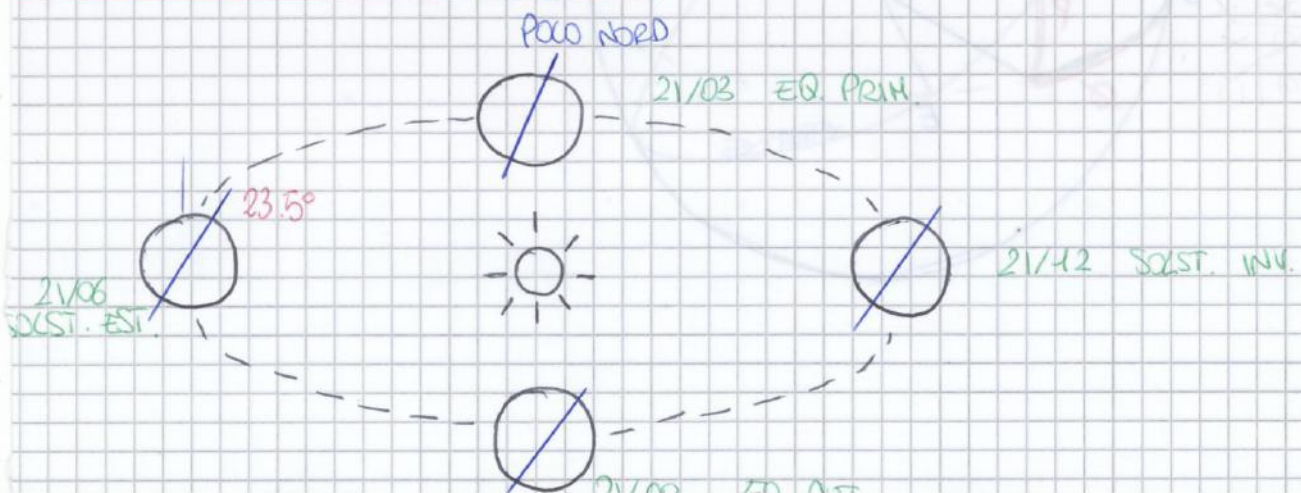
NB.: Lo Zenit mai è mai \perp al Zol: lo Zenit è \perp alle 12 per località tra tropico del Cancro e del Capricorno.

L'irradiazione solare, che è l'energia delle radiazioni inviate direttamente dal Sole sull'unità di sup., viene influenzata sia dalle posizione relativa del Sole rispetto alla sup., che dalle stati fisici degli strati atmosferici.

Se misuro l'irradiazione solare sul terreno (pianura) ho in un giorno in cui il Sole sorge alle 6:00 e tramonta alle 18:00:

- se il cielo è sereno: andamento regolare con il massimo alle 12:00 ($\approx 600\text{ W/m}^2$)
- se il cielo è coperto: andamento basso e irregolare e difficile da prevedere.

POSIZIONE DEL SOLE DURANTE L'ANNO



- La volta celeste è rappresentata come una sup. sferica con al centro l'osservatore.
- La Terra è rappresentata come un punto coincidente con l'osservatore.
- La retta verticale passante per l'osservatore (verde) interseca in alto la volta celeste nel punto denominato ZENIT (Z).
- Il Sole è rappresentato con un punto (S) che si muove sulla volta celeste percorrendo orbite giornaliere (eccentriche) appartenenti a piani fra loro paralleli: il piano passante per l'osservatore è detto EQUATORE.
- La retta passante per l'osservatore e perpendicolare al piano equatoriale interseca la volta celeste nel Polo Nord (P.N.).
- La proiezione della retta osservatore-PN sul piano dell'orizzonte interseca la volta celeste nei punti chiamati Nord (N) e Sud (S).
- La retta sul piano dell'orizzonte ortogonale all'asse N-S interseca la volta celeste nei punti EST (E) e OVEST (O).

Angoli fondamentali:

- $\delta \rightarrow$ declinazione
- $\beta \rightarrow$ altezza
- $z \rightarrow$ angolo zenitale
- $\alpha \rightarrow$ angolo azimutale

β : $\begin{cases} 0^\circ & \text{allo zenit} \\ 90^\circ & \text{quando il sole è all'orizzonte (alba / tramonto)} \end{cases}$

β e z sono complementari: $\begin{cases} \text{se } \beta = 90^\circ \Rightarrow z = 0^\circ \\ \text{se } \beta = 0^\circ \Rightarrow z = 90^\circ \end{cases}$

δ : cambia giornalmente: $\begin{cases} \text{valore max: } 21/06 \\ \text{valore min: } 21/12 \end{cases}$

L'illuminamento interno in un punto di un ambiente INTERNO è determinato da tre valori:

- $E_d \rightarrow$ Flusso DIRETTO proveniente dalle sorgenti esterne
 - $E_{re} \rightarrow$ Flusso RIFLESSO proveniente dalle superfici delle sup. esterne.
 - $E_{ri} \rightarrow$ Flusso INDIRETTO generato dalle riflessioni sulle sup. interne.
- $\rightarrow E_i = E_d + E_{re} + E_{ri} \quad [lx]$

Ogni sup. a seconda del colore emette un flusso riflesso che andrà su una altra sup.

Se l'ambiente ha sup. chiare, allora E_{ri} genera sugli altri termini.

Per studiare l'illuminazione interna in un INTERNO il procedimento consiste nel considerare le finestre come sorgenti luminose di illuminazione nota e nel calcolarne poi punto per punto i valori di illuminamento tenendo conto delle riflessioni interne.

I metodi di calcolo si basano su due fattori:

- COEFF. DI SBUZZAZIONE: fornisce un valore di illuminamento variabile nel tempo e in rapporto alle condizioni esterne di cielo.
- FATTORE DI LUCE PURA: quando abbiamo luce diffusa non cambia il valore temporale, quindi è costante nel tempo.

Quindi:

$$FCD = \frac{E_i}{E_{eh}}$$

dove: E_i = illuminamento orizzontale in un punto dell'ambiente interno.

E_{eh} = illuminamento orizzontale dell'esterno, misurato su una sup. non sottoposta a irraggiamento solare diretto e senza ostacoli che ostacolano il cielo.

Ipotesi che l'illuminamento interno sia uniforme:
 allora esso è l'illuminamento interno medio sulle sup.
 dell'ambiente che ospitano la luce.

→ tutto la sup. che racchiude l'ambiente

$$\rightarrow \Phi_a = E_{i,med} \cdot \Delta m \cdot A_{TOT} = E_{i,med} \cdot (1 - \rho_m) \cdot A_{TOT}$$

$$E_{eh} \cdot \epsilon \cdot A_p \cdot \gamma \cdot \psi = E_{i,med} \cdot (1 - \rho_m) \cdot A_{TOT}$$

quindi
$$E_{i,med} = \frac{E_{eh} \cdot \epsilon \cdot A_p \cdot \gamma \cdot \psi}{(1 - \rho_m) \cdot A_{TOT}}$$

ρ_m : fattore RIFLESSIONE MEDIO:

$$\rho_m = \frac{\sum \rho A}{\sum A}$$

e dipende dal colore delle sup.

compresa la finestra

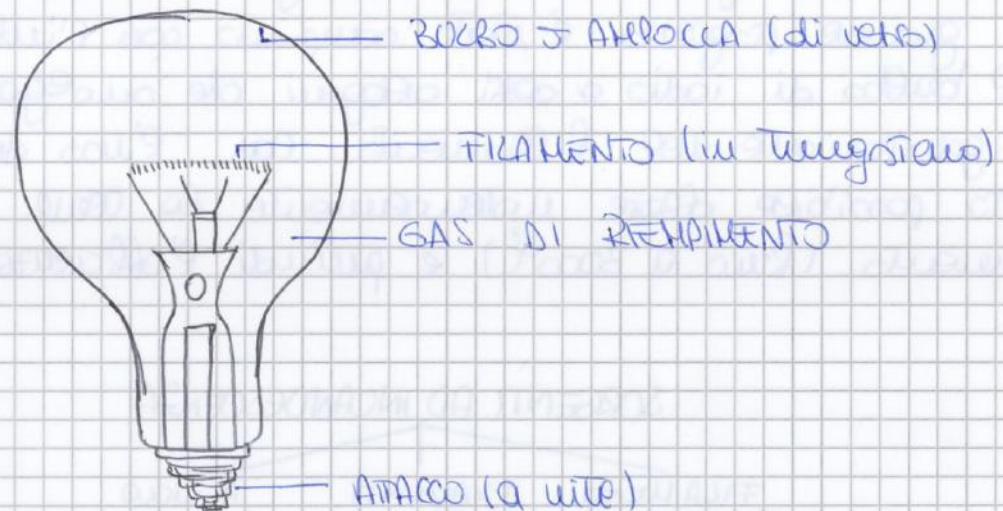
area finestra

$$\Rightarrow FLD_m = \frac{\epsilon \cdot A_p \cdot \gamma \cdot \psi}{(1 - \rho_{e,m}) \cdot A_{TOT}}$$

area pareti interne

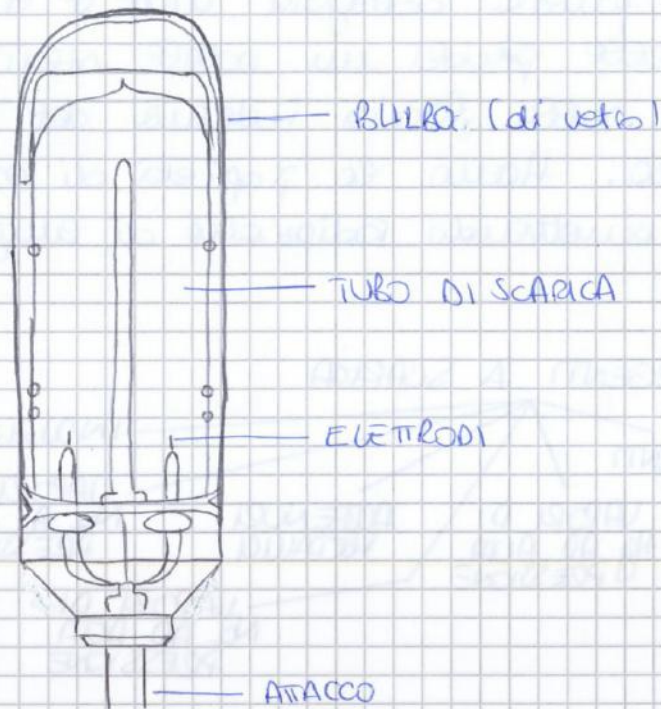
ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE:

LAMPADINE AD INCANDESCENZA:



Il funzionamento delle lampade ad incandescenza è basato sulla dissipazione di potenza per effetto Joule da parte di una resistenza (filamento) percorsa da corrente elettrica. A causa di ciò il filamento raggiunge alte temp. (2300-3000°C) e parte del plasma termico inglobato risulta visibile.

CAMPANE A SCARICA E A LUMINESCENZA:



Si introduce in un bulbo di vetro di forma allungata un gas o un vapore metallico. Agli estremi del bulbo ci sono due elettrodi che vengono sottoposti ad una differenza di potenziale. Il catodo emette elettroni che attraversano il tubo urtando gli elettroni periferici degli atomi del gas introdotti. Se l'energia cinetica degli elettroni è bassa, l'urto è di tipo elastico; superato un certo valore di ~~energia~~ differenza di potenziale, l'urto sarà anelastico e gli elettroni si ionizzano. Nel ripetersi dello stato ionizzato, emettono energia per esse differenze di livello energetico delle due orbite. La radiazione emessa sarà di tipo monocromatica. Al crescere della differenza di potenziale gli urti fra gli elettroni si moltiplicano. Al crescere della tensione la corrente cresce fino a raggiungere la saturazione. Gli elettroni liberati ionizzano gli atomi; il valore di tensione raggiunto dipende dal prodotto fra potenziale del gas e distanza fra gli elettrodi. Allo stato ionizzato la scarica luminescente, la tensione può essere ridotta, stabilizzando la corrente.

I principali gas impiegati sono i vapori di sodio e di mercurio. Negli altri vengono spesso aggiunti per

- 4) DIFFUSORI : riducono la luminosità dell'apparecchio
- 5) SCHERMI : catturano e convogliano la luce emessa
- 6) FILTRI : elementi assorbenti e servono per ottenere luce colorata.

I parametri usati per caratterizzare le sorgenti luminose sono:

- Flusso luminoso: Φ [lm] : quantità di luce emessa da una sorgente nell'unità di tempo in tutto lo spettro del visibile.
- Efficienza luminosa: $\eta = \frac{\Phi}{P_e}$: rapporto tra flusso luminoso emesso e la potenza elettrica assorbita [lm/W]
- Durata media: periodo di funzionamento, dopo il quale la lampadina cessa di vivere
- Rendimento del flusso luminoso: $\Delta = \frac{\Phi_e}{\Phi_i} \cdot 100$: rapporto tra il flusso emesso al termine della durata media e il flusso emesso iniziale.
- Indice di resa cromatica: R_a : grado di fedeltà nella restituzione dei colori in rapporto ad una sorgente di riferimento.
- Temperatura di colore: TCC : temperatura del colore della luce emessa da una sorgente.

Però i parametri usati nel caratterizzare gli apparecchi sono

- Indicatrice di emissione: curva che rappresenta la distribuzione dell'intensità luminosa di un apparecchio. (ad es.: riflettori, rifrattori, schermi).
- Rendimento luminoso: $\eta_a = \frac{\Phi_a}{\Phi_s}$: rapporto tra il flusso emesso dall'apparecchio e il flusso emesso dalla sorgente [%].