



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1182

DATA: 22/10/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Porcelli

MATERIA: Fisica Tecnica + Temi + Eserc.

Prof. Perino

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.

- ATTENZIONE A
- ① UNITÀ di MISURA da scrivere
 - ② CONVERTO tutte le unità di misura in S.I. subito!

8 CREDITI

Corso di laurea in

Ingegneria per L'Ambiente e il Territorio; Ingegneria Civile; Ingegneria Edile

AA 2013-2014

10AXY - FISICA TECNICA

Docente

(lezioni ed esercitazioni I squadra)

Prof. Marco Perino (marco.perino@polito.it - tel. interno 4423 - Dip.di Energia - DENERG
<http://www.polito.it/tebe>)

Orario di ricevimento: pubblicato ed aggiornato sul portale della didattica

Esercitatore

Esercitazioni II squadra: Ing. Ylenia Cascone (ylenia.cascone@polito.it - tel. interno 4519)
- Dip.di Energia - DENERG

Orario di ricevimento: comunicato dal docente in aula nel corso della I esercitazione

Obiettivi dell'insegnamento

Il corso si propone di fornire conoscenze tecnico-scientifiche di base e di sviluppare le capacità progettuali degli allievi nei settori della illuminotecnica, dell'acustica dell'ambiente esterno e confinato, della trasmissione del calore e della termodinamica.

Prerequisiti

Fondamenti di fisica, chimica, analisi matematica.

Competenze attese

Conoscenza dei principi teorici fondamentali nonché degli strumenti di valutazione quantitativa e dei dati di riferimento principali nei settori della illuminotecnica, dell'acustica dell'ambiente esterno e confinato, della trasmissione del calore e della termodinamica. Capacità di elaborare soluzioni progettuali di massima, ottimizzate anche sotto il profilo energetico/ambientale, per i principali problemi di natura fisico-tecnica che si presentano oggi agli operatori del settore.

Programma

Elementi di illuminotecnica: sistema energetico e sistema fotometrico, curva di visibilità, sorgenti naturali, fattore di luce diurna, sorgenti artificiali, lampade a basso consumo energetico, apparecchi illuminanti, efficienza luminosa, analisi costo/benefici, altri parametri di caratterizzazione. Criteri progettuali per l'illuminazione artificiale di interni ed esterni.

Elementi di acustica: grandezze fondamentali, meccanismo dell'udito, sensazioni auditive, audiogramma normale. Fonoassorbimento e fonoisolamento, caratteristiche di assorbimento e di attenuazione acustica dei materiali. Calcolo del tempo di riverberazione in un ambiente chiuso (formula di Sabine) e scelta del suo valore ottimale. Calcolo del fonoisolamento tra due ambienti chiusi adiacenti. Criteri progettuali per interventi di acustica architettonica. Valutazione del rumore e Curve di ponderazione

Fondamenti di termodinamica: equazioni di conservazione. Trasformazioni termodinamiche reversibili e non, lavoro e calore. I° principio della termodinamica per sistemi chiusi e aperti. Energia interna ed entalpia. II° principio della termodinamica. Entropia. Diagramma delle fasi, liquidi e vapori, gas ideali. Macchine termiche a ciclo diretto e inverso. Concetto di efficienza.

M. Perino - Rev. del 28/9/12

Regole d'Esame e Criteri di valutazione della prova scritta

Corso Amb. E Terr., Civili, Edili – Fisica Tecnica 10AXY

REGOLE D'ESAME

L'esame è costituito da una prova scritta obbligatoria ed una prova orale facoltativa (da svolgersi contestualmente alla parte scritta).

Gli appelli d'esame si tengono ESCLUSIVAMENTE nelle sessioni ufficiali.

L'iscrizione online all'appello è obbligatoria.

Nel caso in cui si decida di non sostenere la prova orale il voto massimo registrabile è di 24/30 (ovvero il voto dell'esame viene determinato come media aritmetica fra il voto della prova scritta e 18/30. Per cui se risulta: scritto = 30/30 il voto registrabile sarà: $(30+18)/2 = 24/30$).

COMPITO SCRITTO

Il compito scritto consta di 2 parti: una parte di Teoria ed una parte di Esercizi.

Ciascuna parte vale 32/30 (corrispondente al 30 e lode) ed il voto finale risulta dalla media aritmetica delle due parti, a condizione che ciascuna di esse risulti superiore a 15/30 (se anche una sola delle 2 parti viene valutata meno di 15/30 il compito scritto risulta non superato).

Parte di Teoria

E' costituita da:

- 32 affermazioni del tipo vero/falso
- 4 definizioni sintetiche

Durante la prova di teoria non si possono utilizzare libri, dispense, formulari, appunti esercizi svolti ed altro materiale di supporto.

La prova dura 45 minuti, ma se si termina prima è possibile consegnare ed iniziare in anticipo la parte di esercizi (guadagnando tempo utile).

punteggi:

- per ogni affermazione vera/falsa giusta: +0.75
- per ogni affermazione vera/falsa sbagliata: -0.60
- per ogni affermazione vera/falsa non data: 0
- valore di ogni definizione sintetica: da 0 a 2

Parte di Esercizi

E' costituita da 4 esercizi numerici da svolgere in 1 ora e mezza (Si possono utilizzare le dispense ed i formulari, non gli appunti. La valutazione degli esercizi è fatta per i soli candidati la cui parte di teoria sia risultata al di sopra di 15/30 – Per gli altri le soluzioni degli esercizi sono messe sul portale la settimana successiva all'appello in modo che tutti possano verificare come si doveva fare lo svolgimento)

punteggi:

- Esercizio di illuminotecnica: 6 pt.
- Esercizio di acustica: 6 pt.
- Esercizio di Termodinamica: 10 pt.
- Esercizio di Trasmissione del calore: 10 pt.

• $\phi_e(\lambda) = \frac{d\phi_e}{d\lambda} \left[\frac{W}{\mu m} \right]$ Flusso energetico monocromatico

• $\phi_e = \int_0^\infty \phi_e(\lambda) d\lambda \quad [W]$ flusso energetico integrale

• $\phi(\lambda) = k(\lambda) \phi_e(\lambda) \left[\frac{lm}{\mu m} \right]$ flusso luminoso monocromatico

• $\phi = \int_0^\infty k(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda \quad [lm]$ (2) Flusso luminoso \rightarrow ^{ANTIFORME} FLUSSO

• $v(\lambda) = \frac{k(\lambda)}{k_{max}} \quad (0 \div 1)$ (1) $k_{max} = 683 \frac{lm}{W}$ $v(\lambda) =$ FATTORE di VISIBILITÀ RELATIVO

$k(\lambda) =$ Fattore di visibilità

• $I = \frac{d\phi}{d\omega} \left[cd = \frac{lm}{sr} \right]$ Intensità luminosa \rightarrow ^{ANTIFORME} DIREZIONE FLUSSO

• $\phi = \int_{\Omega} I d\omega$
 $\hookrightarrow 4\pi$

• $\eta = \frac{\phi}{\phi_e} \left[\frac{lm}{W} \right]$ (3) EFFICIENZA LUMINOSA SORGETTI NATURALI

$\eta = \frac{\text{EFFETTO UTILE}}{\text{SPESA SOSTENUTA}}$

• $\eta = \frac{\phi}{W} \left[\frac{lm}{W} \right]$ EFFICIENZA LUMINOSA SORGETTI ARTIFICIALI

CANDELA = quantità di luce emessa da una sorgente monocromatica che emette luce alla frequenza di $540 \cdot 10^{12}$ Hz lungo una data direzione all'interno di un angolo solido unitario corrispondente a $\lambda = 0,555 \mu m$ la cui intensità energetica ϕ_e lungo la medesima direzione vale $\frac{1}{683} \frac{W}{sr}$

$\omega = \int \frac{1}{s}$

Dalla (1) $v(\lambda) = \frac{k(\lambda)}{k_{max}}$ • $k(\lambda) = v(\lambda) k_{max}$

sostituendo nella definizione di flusso luminoso (2)

$\phi = \int_0^\infty k(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda = \int_0^\infty \underbrace{v(\lambda) k_{max}}_{\text{costanti}} \phi_e(\lambda) d\lambda$

• $\phi = v(\lambda) k_{max} \cdot \int_0^\infty \phi_e(\lambda) d\lambda$ (4)

(1)

ESERCIZI

1.1 $\sigma(\lambda) = ?$ $K(\lambda) = 410 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$

$$\sigma(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}} = \frac{410}{683} = 0.6$$

1.2

$\lambda = ?$ corrispondente a 448 lm/W

$$K(\lambda) = 448 \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad \sigma(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{\max}} = \frac{448}{683} = 0.7 \quad \begin{cases} \lambda = 0.52 \mu\text{m} \\ \lambda = 0.59 \mu\text{m} \end{cases}$$

1.3 $\lambda = ?$ tale che

$\sigma(\lambda)$ ha stesso valore in visione scotopica e fotopica.

λ_{\max} FOTOPICA = $0.555 \mu\text{m}$

λ_{\max} SCOTOPICA = $0.505 \mu\text{m}$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = \frac{0.555 + 0.505}{2} = 0.530 \mu\text{m}$$

1.4 $\phi_e(\lambda) = 1000 \frac{\text{W}}{\text{nm}}$ $\phi = ?$ su tutta la gamma del visibile

$0.38 \leq \lambda \leq 0.78 \mu\text{m}$

trascurando i fattori di visibilità relativi inferiori a 10^{-2}

$$\phi = \int_{0.43}^{0.67} \phi_e(\lambda) K(\lambda) d\lambda =$$

$$= \int_{0.43}^{0.67} \sigma(\lambda) K_{\max} \phi_e(\lambda) d\lambda \approx K_{\max} \sum_{0.43}^{0.67} (\sigma(\lambda) \phi_e(\lambda) \Delta\lambda)$$

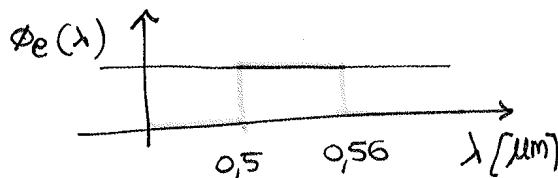
\uparrow
 $0.01 \mu\text{m}$

$$= K_{\max} \phi_e(\lambda) \sum_{0.43}^{0.67} \left(\frac{f(\lambda_{i+1}) + f(\lambda_i)}{2} \Delta\lambda \right) = 42850 \text{ lm}$$

1.5

$\phi_e = 50 \text{ W}$ per $0.5 < \lambda < 0.56 \mu\text{m}$

$\phi = ?$ $\eta = ?$



$$\phi = \int_{0.5}^{0.56} \phi_e(\lambda) K(\lambda) d\lambda = \int_{0.5}^{0.56} \sigma(\lambda) K_{\max} \phi_e(\lambda) d\lambda$$

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

$$\phi = K_{\max} \int_{0.5}^{0.56} \sigma(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda = K_{\max} \phi_e \int_{0.5}^{0.56} \sigma(\lambda) d\lambda = K_{\max} \phi_e \sum_{0.5}^{0.56} (\sigma(\lambda) \Delta\lambda)$$

FISICA TECNICA

Marco Perino

Marco.perino@polito.it

Mercoledì: esercitazione (dalla 2^a settimana)

4 GROSSI ARGOMENTI

- 1/3 [• Illuminotecnica (TESINA)]
 - 1/3 [• Acustica (TESINA)]
 - 1/3 [• Termodinamica]
 - 1/3 [• Trasmissione del calore (TESINA)]
- lezioni + esercitazioni →

importante valutare al risultato corretto NUMERO e non solo al procedimento

TESINA (non dà voti in più ma dimostra la presenza alla lezione)

- Illuminotecnica (simula illuminazione esterna)
- Acustica (coerenza acustica di un ambiente)
- Trasmissione del calore (progetto termocrometro di una parete edilizia)

- Fenomeno
- Grandezze fondamentali
- Principi fondamentali
- Applicazione

PROVA SCRITTA [OBBLIGATORIA]

1. TEST = 32 VERO/FALSO

+ 4 DEFINIZIONI SINTETICHE

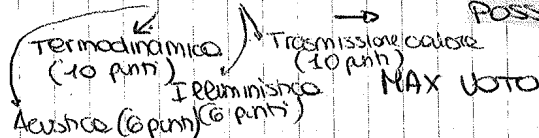
(45 min)

[15 minimo] anche

se consegna prima la prima parte no più tempo per gli esercizi

2. 4 ESERCIZI NUMERICI [15 minimo]

POSSO USARE DISPENSE E FORMULARIO MIO



24/30

[Teoria + esercitazione = Voto / 2]

PROVA ORALE FACOLTATIVA

[MINIMO 15/30 allo scritto]

PREREQUISITI

- Logaritmi
- Integrali
- Geometria di base
- Derivate
- Equazioni differenziali

• Fisica concetti fondamentali

→ OTTIE SEGUIRE LE LEZIONI

CALCOLATRICE SCIENTIFICA

ILLUMINOTECNICA - capitolo 1

PSICOLOGIA

Comfort

Tecniche del controllo ambientale

↓
luce sufficiente, non abbaglia,
voce recepita senza rumore

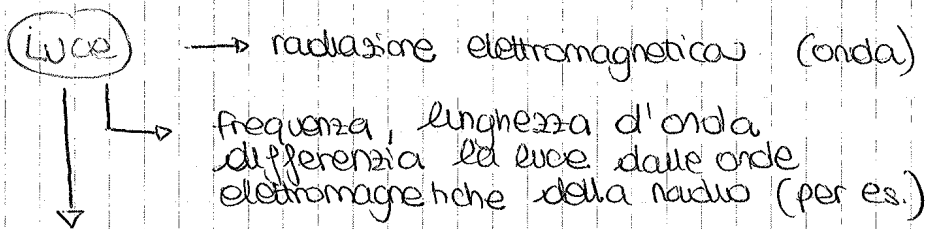
percezioni → soggettive
↳ legate alle azioni

Studiare → le leggi fisiche
↳ percezione delle leggi fisiche → per rendere confortevole l'ambiente

- fenomeno fisico (cause)
- percezione del fenomeno
- range di valore gradito dalle persone
- rendere confortevole

Impatto sui consumi energetici: impianto illuminazione
↓
consumo di energia
limitare i consumi!

- studiare il fenomeno dell'ambiente luminoso e consentire la progettazione coerente dell'ambiente sfruttando al massimo la luce naturale.



Insieme delle lunghezze d'onda delle onde elettromagnetiche a cui è sensibile l'occhio umano.
(sistema percettivo)

$$0,38 \leq \lambda \leq 0,78$$

Campo del VISIBILE

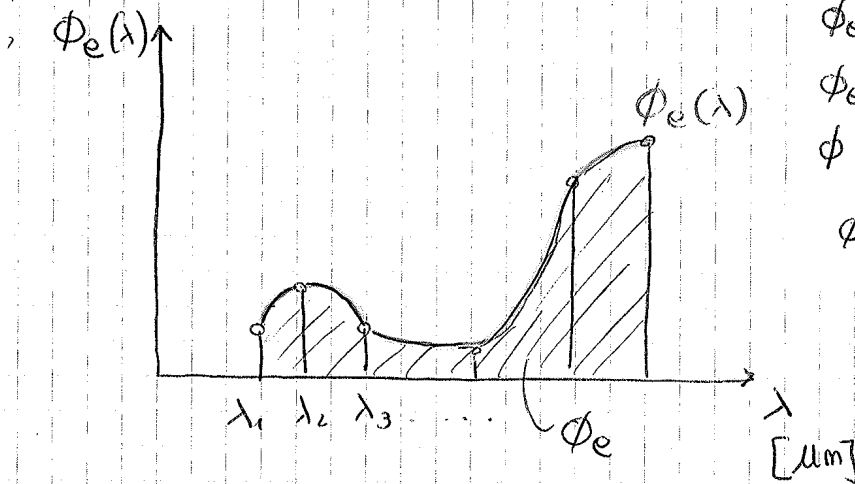
$$d\phi_e = \phi_e(\lambda) d\lambda$$

Il flusso energetico tot associato dalla lampadina è dato dalla somma dei contributi infinitesimi

$$\phi_e = \int_0^{\infty} \phi_e(\lambda) d\lambda$$

FUSSO ENERGETICO INTEGRALE [W]

su tutte le lunghezze d'onda



Ho capito bene?

$$\phi_e(\lambda) = \frac{W}{\mu m}$$

$$\phi_e = W$$

$$\phi(\lambda) = \frac{lm}{\mu m}$$

$$\phi = lm$$

A intervalli infinitesimi ottengo una curva

l'integrale = area sottesa \Rightarrow curva = $\phi_e(\lambda)$
area sottesa = ϕ_e

Come il flusso si trasforma in luce? la sensibilità umana varia al variare della lunghezza d'onda. Ogni lunghezza d'onda fornisce un contributo alla sensazione.

$$\left[\frac{lm}{\mu m} \right]$$

$$\phi(\lambda) = K(\lambda) \cdot \phi_e(\lambda)$$

FUSSO LUMINOSO MONOCROMATICO

quantità di luce percepita

costante che dipende da λ

CARATTERISTICA DELL'OCCHIO

FATTORE di VISIBILITÀ relativo

funzione di λ (costante di calibrazione del nostro occhio e che varia nell'intervallo di visibilità)

pagina precedente

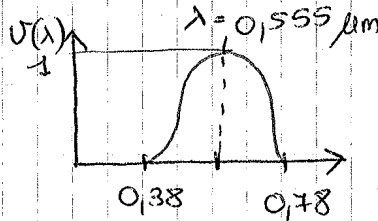
Se la luce fosse monocromatica vedrei un solo colore

SPETTRO COMPLESSO ELETTROMAGNETICO = mondo in cui l'uomo è immerso

BASTONCELLI = sensibili solo alla quantità di luce e non alla lunghezza d'onda
 [CONTRASTO DI LUMINANZA] poca luce VISIONE NOTTURNA

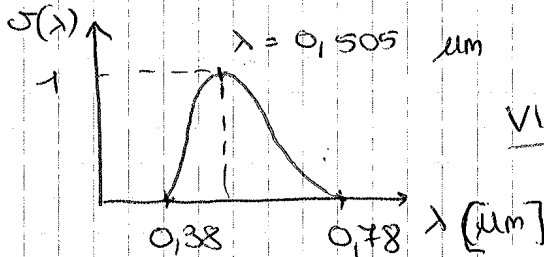
CONI = tanta quantità di luce e sensibili anche alla radiazione
VISIONE DIURNA

modalità DIURNA



curva di visibilità
 in condizioni FOTOPICA
 (diurna)

modalità NOTTURNA



VISIBILITÀ SCOTOPICA

VISIONE FOTOPICA → $K_{max} = 683 \frac{lm}{W}$ (spesa energetica + bassa)

VISIONE SCOTOPICA → $K_{max} = 1700 \frac{lm}{W}$

[pag 177]

Se sostituisco il concetto di visibilità relativa nella funzione ϕ ottengo

$$[\text{lm}] \quad \phi = K_{max} \int_0^{\infty} V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda$$

costante e posso portarlo fuori dall'integrale

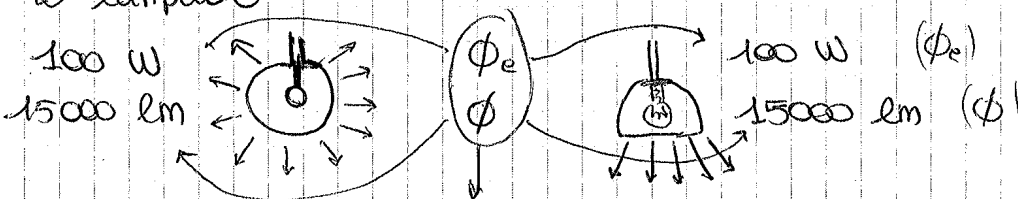
$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{max}}$$

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

LA GRANDEZZA fondamentale in ILLUMINOTECNICA è I = INTENSITÀ LUMINOSA
 [cd]

- Grandezza fondamentale → viene definita l'unità di misura
- Grandezza derivata → attraverso operazioni delle grand. fond. → condela

2 lampade



mi dice solo la quantità di luce prodotta
 ma non mi spiega come questa venga distribuita
 nello spazio

(se devo illuminare la scrivania uso la 2ª lampada)

Capitolo 2

SORGENTI LUMINOSE

NATURALI
= SOLE, VITA CELESTE

ARTIFICIALI
= LAMPADINE → 1880 Edison le fa conoscere a larga scala

EFFICIENZA LUMINOSA

η LUMINOSA

$$\eta = \frac{\text{EFFETTO UTILE}}{\text{SPESA SOSTENUTA}}$$

↳ grandezza adimensionale

devo mangiare 1 kg di mele, per mangiarne effettivamente 1 kg devo comprarne di più perché le mele hanno la buccia, il torsolo...

EFFETTO LUCE → flusso integrale luminoso ϕ
SPESA SOSTENUTA → flusso integrale emesso ϕ_e] sorgenti NATURALI

$$\eta = \frac{\phi}{\phi_e} \quad \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$\begin{cases} W = J/s \\ J = W \cdot s \end{cases}$$

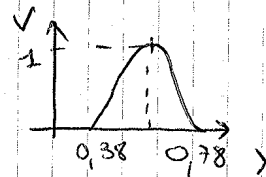
EFFETTO UTILE → flusso integrale luminoso ϕ
SPESA SOSTENUTA → potenza elettrica assorb. W] sorgenti ARTIFICIALI

$$\eta = \frac{\phi}{W}$$

$$\phi = K_{\max} V \int_0^{\infty} \phi_e(\lambda) d\lambda$$

↓
flusso luminoso integrale

⇓
EFFETTO UTILE



spesa per sorgenti naturali → avviene in maniera "radiativa".

$$\phi_e = \int_0^{\infty} \phi_e(\lambda) d\lambda$$

⇓
SPESA SOSTENUTA

$$\eta = K_{\max} \frac{\int_0^{\infty} V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \phi_e(\lambda) d\lambda}$$

← EFFICIENZA LUMINOSA

→ EFFETTO UTILE

→ SPESA SOSTENUTA

$K_{\max} = 683$
 $0 \leq V(\lambda) \leq 1$

se $V(\lambda) = 1$ $K_{\max} = 683$ → $\eta_{\max} = 683$ → in natura non esiste

SCAMBIO CALORE

- IRRAGGIAMENTO → in funzione dell'esposizione del corpo
 - CONDUZIONE → scambio termico tra SOLIDI
 - CONVEZIONE → scambio tra sorgente di calore (solida) e FLUIDO
- CIRCONVEZIONE tra 2 fluidi

$$\eta = 100 / 200 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

↳ RADIACIONE del SOLE

ARTIFICIALI

- ① INCANDESCENZA → AUCGENT (sottocategoria)
- ② LUMINESCENZA → FLUORESCENZA
- ③ SSD → LED
 ↳ OLED

INCANDESCENZA → - BULBO o AMPOLA
 - ATTACCO
 - FILAMENTO
 - GAS di RIEMPIMENTO

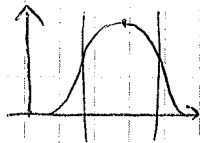
prime sorgenti luminose ad alto consumo vietate dal 2012 circa.

- Lampadine ad incandescenza = fanno un filamento collegato alla rete elettrica attraverso un attacco (vite), riceve una corrente elettrica e dissipa potenza per effetto Joule, si scaldano diventando incandescenti ed emette radiazione secondo le leggi del corpo nero (grigio)

→ parte della potenza per $\left\{ \begin{array}{l} \text{scaldare l'ambiente} \\ \text{trasforma in flusso} \end{array} \right.$

↓ lampadina al TUNGSTENO

maggiore è la temperatura migliore è il funzionamento, il picco di emissione si sposta nel campo del visibile e aumenta la POTENZA di EMISSIONE



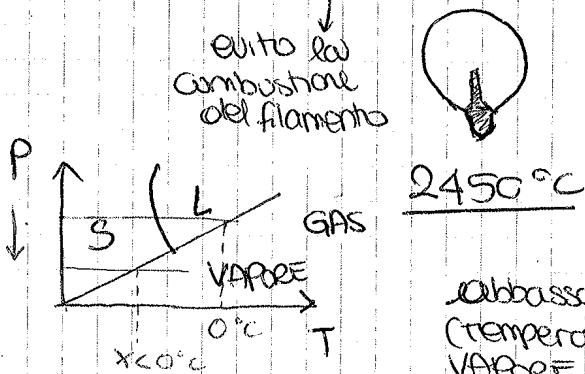
$$P = RI^2$$

P potenza elettrica = resistenza R opposta al passaggio della corrente elettrica I

Inizialmente usato il TUNGSTENO = (W), sostanza chimica naturale che ha una temperatura di fusione molto alta (3370°C).

→ uso del BULBO IN VETRO = garantisce un'atmosfera rarefatta per evitare la combustione della lampadina, crea quasi il vuoto in modo tale da abbassare la pressione.

→ pressione bassa = possibilità SUBUMAZIONE (da solido a gassoso)



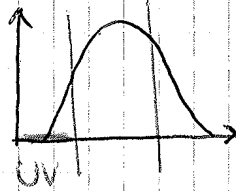
abbassando la pressione anche a T minori (temperature) ottengo il passaggio da solido a VAPORE

Il tungsteno però sublimando tende a depositarsi sulla faccia interna del bulbo opacizzandola parzialmente. Per evitare tale problema vengono introdotti GAS INERTI (Argon, Azoto, Krypton) che consentono di raggiungere temperature del filamento di 2800°C

- A-B aumenta la tensione ma non la corrente scade
 - B-C ho salto di volente e la corrente di scacca cresce
 - In C ho la VALANGA ELETTRONICA o EFFETTO VALANGA che crea un innalzamento della tensione tale da accendere la lampadina
- Se non controllo la tensione la corrente di scacca aumenta troppo e si verifica la ROTTURA → EFFETTO ARCO

3) Lampade a Fluorescenza (sottogruppo luminescenta)

Come le lampade a luminescenta ma all'interno del bulbo viene spruzzato un sottile strato di sostanza luminescente / fluorescente. Queste sostanze hanno la capacità di assorbire la radiazione ultravioletta (UV) aumentando la lunghezza d'onda e riemettendole → aumenta l'EFFICIENZA.



la potenza più o meno delle lampadine e di 100 W	<u>LUM (Fluo)</u>	<u>LED/LED</u>	<u>INCAND</u>	<u>ALO</u>
	50-80 $\frac{lm}{W}$ 8'000 h	90-120 $\frac{lm}{W}$ 5'000 h	10-20 $\frac{lm}{W}$ 1'000 h	30 $\frac{lm}{W}$ 3'000 h

2 PROBLEMI

- Resa cromatica
- Tensione di accensione (tempo di accensione)

SSD → SOLID STATE DRIVE

UNITA' A STATO SOLIDO
SORGENTE A STATO SOLIDO

- LED → light emitting diode
 - OLED → organic light emitting diode
- } diffusione da anni '90
'50 come spie (computer) risulta dal

PROBLEMI

- Potente bassissime (non oltre 0,1 W) -100 $\frac{lm}{W}$
- colore → Rosso
↳ VERDE



pm

parte carica positivamente (+) } salti di potenziale
parte carica negativamente (-) } emissione fotoni

I primi LED facevano luce solo grazie alla SINTESI ADDITIVA → ottengo la luce bianca solo passando attraverso le 3 luci principali → verde, rosso, blu

7/10/2013

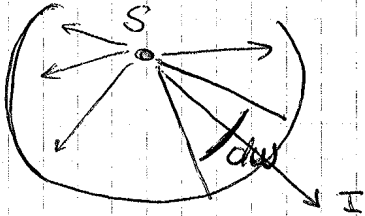
Intensità luminosa e candela

$[cd] \quad I = \frac{d\phi}{d\omega}$

$\Phi = \int_{4\pi} I d\omega \quad [lm]$

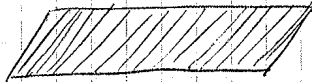
L FLUSSO LUMINOSO

$k_{max} = 683 \frac{lm}{W}$



Sorgente concentrata in un punto \rightarrow devo sapere il Φ (flusso luminoso) e l'intensità I

Se invece ho una SUPERFICIE EMETTRICE



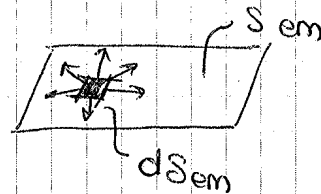
più scade che da un punto (all'altro la superficie emette luce in modo diverso e quantità diversa)

Per misurare quanta luce viene emessa

EMITTENZA M

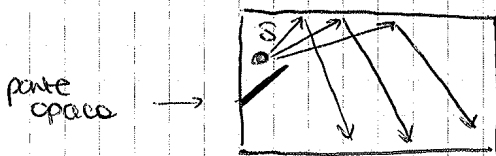
EMITTENZA = quantità di flusso luminoso emesso da un'area elementare

$M = \frac{d\phi}{dS_{em}}$



$[M] = \frac{lm}{m^2} \Rightarrow \text{lux sul bianco} = [lx_{sb}]$

Spesso uso i fenomeni di RIFLESSIONE per distribuire la LUCE



$S =$ sorgente che produce la luce riflessa da specchio opaco e la luce illumina così gli ambienti \rightarrow la luce arriva dal soffitto come se si accendesse

luce emessa da S e riflessa

\rightarrow Non è necessariamente la superficie che emette la luce ma anche una superficie che la riflette \rightarrow ne posso calcolare l'EMITTENZA (per es. del muro)

Luminanza: grandezza importante x progetto illuminotecnico ambienti → il nostro occhio grazie alle luminanze può capire quanto percepisce luminoso un ambiente e mediante la luminanza il mio occhio si "accomoda" a percepire la luce.
 Come la macchina foto capisce per quanto tempo e per quanto (grandezza) deve mantenere il diaframma aperto, così il nostro occhio si "adatta" all'ambiente in cui si trova d'occhio ricevendo contributi da tutte le parti si "accomoda" sulla LUMINANZA MEDIA. Ma in ambiente luminoso la foto viene bene se però il sole arriva direttamente all'occhio l'immagine non viene bene poiché la media è alta → l'occhio perde i dettagli delle zone luminose e in ombra ⇒ **ABBAGLIAMENTO** se la sorgente luminosa è diretta ⇒ devo sapere la direzione luminosa [SOLE IN FACIA]

Base progettazione luminosa ⇒ sapere come la luce è distribuita.

Per esempio → lamelle nelle luci al NEON → riducono l'effetto dell'abbagliamento ma permettono al flusso luminoso di illuminare la stanza.

ILLUMINAMENTO E

OBIETTIVO PRINCIPALE = far arrivare quantità di luce sufficiente e darci una corretta percezione di ciò che sto facendo (es. leggere o scrivere).

ILLUMINAMENTO → mi dice quanta energia arriva alla superficie

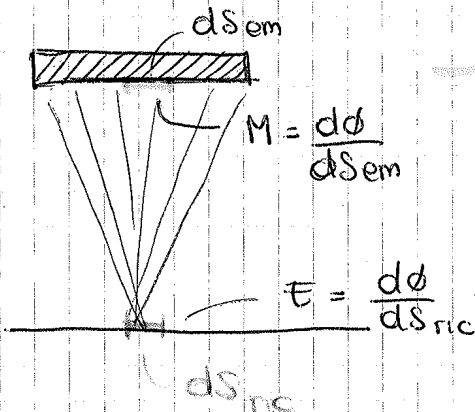
↳ quantità di flusso luminoso che raggiunge la superficie ricevente (elementare)

↓
 in ogni punto il flusso ricevuto cambia

$$E = \frac{d\phi}{dS_{ric}}$$

$$\left[\frac{lm}{m^2} \right] = lux \quad [lx]$$

(N.B) Anche se emettitore ha la stessa unità di misura ma $S_{em} \neq S_{ric}$!



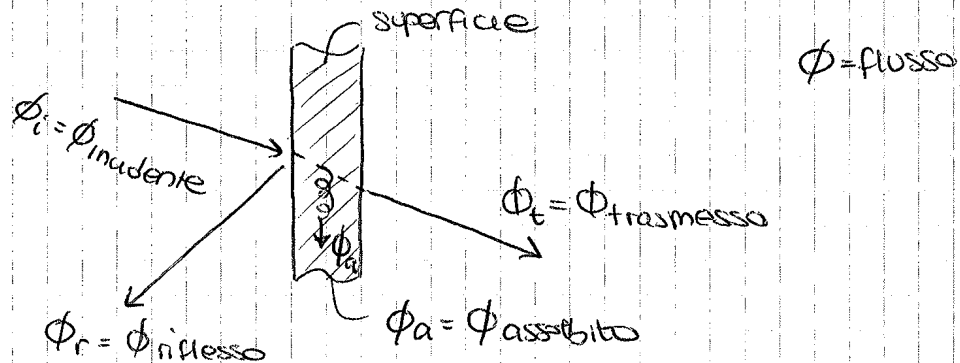
è la GRANDEZZA "BASE" il REQUISITO FONDAMENTALE al cui si basa il PROGETTO ILLUMINOTECNICO!

GRANDEZZE e CONCETTI

come la luce interagisce con l'oggetto solido

INTERAZIONE LUCE/SUPERFICIE

la luce emessa incontra /incide su una superficie solida



Flusso che incide la superficie solida in parte

- ↑ riflesso [o non vedi l'oggetto e il suo colore]
- ↓ trasmesso
- ↓ assorbito

Vedo un oggetto e il suo colore perché esso assorbe e riemette la luce (riflette)

Parte della radiazione non riflotta né trasmessa è assorbita dall'oggetto e trasformata in calore

- RIFLESSIONE
- ASSORBIMENTO
- TRASMISSIONE

Anche questo fenomeno deve rispondere al PRINCIPIO di CONSERVAZIONE dell'ENERGIA

FUSSO LUCE INCIDENTE = FUSSO ASSORBITO + FUSSO riflesso + FUSSO trasmesso

$$\phi_i = \phi_a + \phi_r + \phi_t$$

Divido i membri per ϕ_i

$$\frac{\phi_i}{\phi_i} = \left(\frac{\phi_a}{\phi_i}\right) + \left(\frac{\phi_r}{\phi_i}\right) + \left(\frac{\phi_t}{\phi_i}\right)$$

GRANDEZZE ADIMENSIONALI

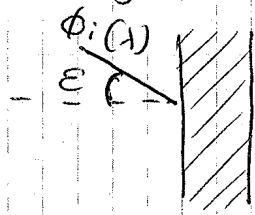
$$\alpha_e \quad \rho_e \quad \tau_e$$

$$1 = \alpha_e + \rho_e + \tau_e$$

Misurati in laboratorio:
usando il secondo del calore dalla superficie

- α_e = coeff. di ASSORBIMENTO LUMINOSO ($0,38 \mu m \leq \lambda \leq 0,78 \mu m$)
↳ $\frac{\phi_a}{\phi_i}$
- ρ_e = coeff. di RIFLESSIONE LUMINOSA = $\frac{\phi_r}{\phi_i}$
- τ_e = coeff. di TRASMISSIONE LUMINOSA = $\frac{\phi_t}{\phi_i}$

α, ρ, τ → funzione e della lunghezza d'onda (λ)
 e
 → funzione dell'angolo di incidenza (ϵ)



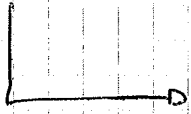
$\alpha, \rho, \tau \Rightarrow f(\lambda, \epsilon)$
 (funzione di)

Nel vetro mi specchia solo per determinati ϵ , per $\epsilon=0$ non vedo la mia immagine

$\alpha(\lambda, \epsilon), \rho(\lambda, \epsilon), \tau(\lambda, \epsilon)$ → coefficienti spettrali o monocromatici ($f(\lambda)$) e angolari ($f(\epsilon)$)

$\alpha(\lambda), \rho(\lambda), \tau(\lambda)$ → valori spettrali o monocromatici ($f(\lambda)$) EMISFERICI (medi su tutte le direzioni (ϵ))

α, ρ, τ → coeff. integrali ($\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} d\lambda$ o $\int_0^\infty d\lambda$) EMISFERICI (non dipendono da ϵ)
 ⇒ LUMINOSI



↑
 Trasmissione del calore

$$M = \rho_e \cdot \frac{d\phi_{inc}}{ds} = \rho_e \cdot E$$

$$L = f(E)$$

$$\rightarrow M = \rho_e E$$

$$L = \frac{\rho_e E}{\pi}$$

solo
de superfici
dambertiane

$$\textcircled{1} M = \pi L$$

CAPITOLO 3 ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE

La sorgente luminosa non viene mai usata da sola ma usata all'interno di un complesso che prende il nome di LAMPADA o APPARECCHIO LUMINOSO

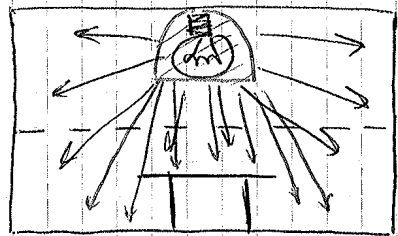
Le SORGENTI sono inserite in un sistema più complesso detto APPARECCHIO LUMINOSO

perché? $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \text{carattere illuminotecnico} \\ \rightarrow \text{pratico} \end{array} \right.$

- ASPETTO PRATICO
- Tutte le sorgenti sono alimentate elettricamente \rightarrow sistema che collega alla rete e crea isolamento elettrico (per evitare shock)
- Gli apparecchi elettrici spesso sono pericolosi (problemi di scattatura) e le sorgenti sono calde \rightarrow ISOLAMENTO MECCANICO per evitare che la sorgente si accenda o rotoli
- evitare che l'acqua entri a contatto con la sorgente e il circuito elettrico \rightarrow PROTEZIONE (e non solo isolamento)

ASPETTO LUMINOTECNICO

Tipicamente in uno spazio io occupo e l'ausilio in uno spazio basso



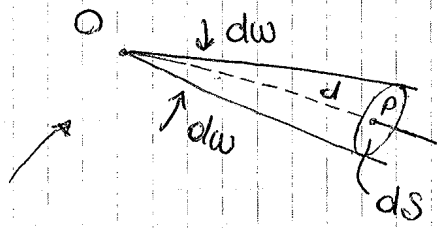
Una lampadina diffonde luce in tutte le direzioni \rightarrow SORGENTE MOLTO INEFFICACE

poiché energeticamente illumina parti che non mi interessano illuminare

APPARECCHIO \rightarrow aiuta a dirigere il flusso luminoso in modo che sia flusso utile e illumini le zone che mi interessano, all'interno posso avere superficie riflettente che concentra la luce sfruttandola nella zona che desidero.

\rightarrow il flusso arriva quindi nelle zone che mi servono

- Modifica attraverso fenomeni di
 - RIFLESSIONE
 - RIFRAZIONE
 - DIFFUSIONE
- La luce e ripartisce il flusso luminoso prodotto

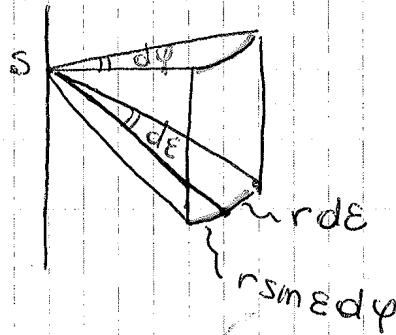
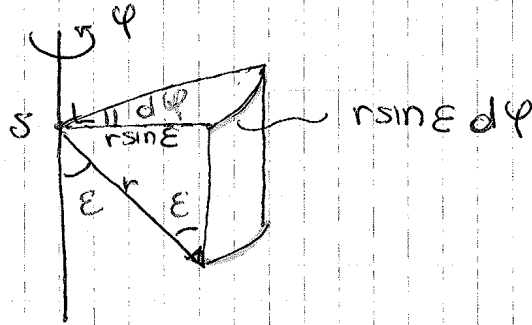


$$dw = \frac{ds}{d^2} \text{ [sr]}$$

superficie di base
 (distanza)² = angolo solido infinitesimo

Immagino di prendere l'angolo solido e farlo ruotare attorno all'asse. [Figura 1]

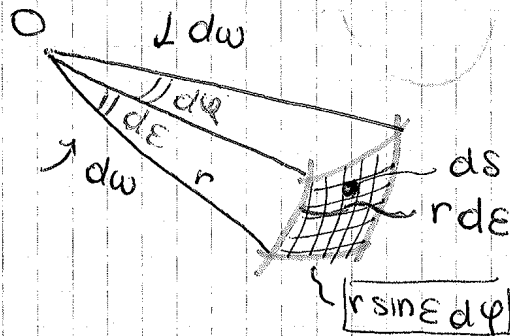
ruoto prima di $d\phi$ e poi di $d\epsilon$



$$dw = \sin \epsilon d \epsilon d \phi$$

$$ds = r \sin \epsilon d \phi \cdot r d \epsilon$$

$$dw = \frac{ds}{r^2}$$



$$dw = \frac{ds}{r^2} = \frac{(r d \epsilon) (r \sin \epsilon d \phi)}{r^2}$$

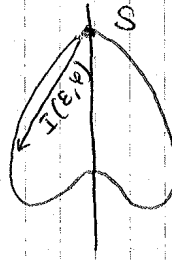
$I = I(\epsilon, \phi) \rightarrow$ SUPERFICIE : luogo geometrico dei vettori intensità luminosa
 $z = f(x, y)$

Spesso lausco con 2 indicatori di emissione

$$\varphi = \varphi_1$$



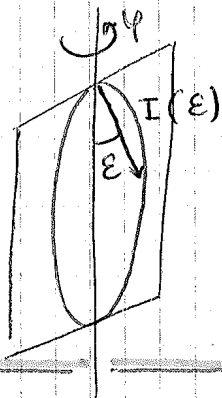
$$\varphi_2 = \varphi_1 + \pi/2$$



se il solido fotometrico è di rotazione, affronto un problema semplice poiché l'influenza dell'angolo φ sparisce

se il solido fotometrico è di ROTAZIONE $\Rightarrow I = I(\epsilon)$
 I è solo funzione di ε

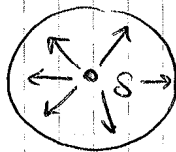
è SUFFICIENTE una sola indicatrice di emissione per caratterizzare computazionalmente l'apparecchio.



CASO PARTICOLARE

\Rightarrow SOLIDO FOTOMETRICO SPERICO

\rightarrow come se sorgente al centro sferico



indica la direzione \equiv I eguale in ogni punto

$I = I_0 = \text{cost}$
 l'equazione dell'INDICATRICE di emissione

$$I = \frac{d\phi}{d\omega}$$

$$y = ax \quad \text{eq. algebrica}$$

eq. differenziale di 1° ordine, ordinaria a variabili separabili

$$d\phi = I d\omega$$

$$\int_{\phi} d\phi = \int_{\Omega} I d\omega$$

$$\Omega = 4\pi \quad (\text{angolo solido})$$

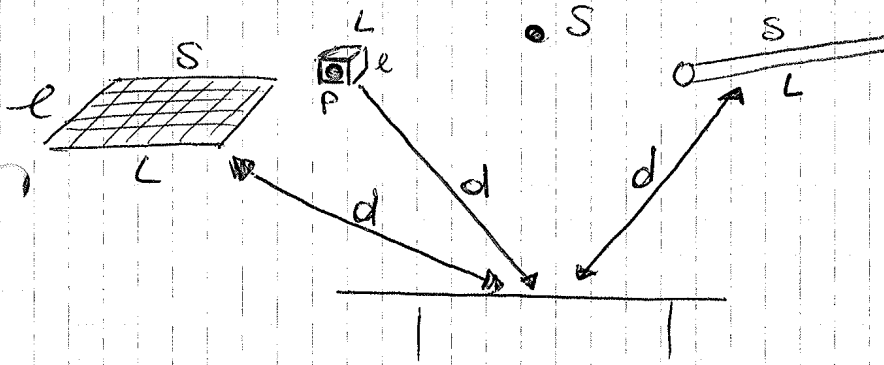
$$\phi = \int_{4\pi} I d\omega$$

ma poiché

$$I = I_0 = \text{cost}$$



$$\phi = I_0 \int_{4\pi} d\omega \rightarrow$$



PROGETTO ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE DI ESTERNO

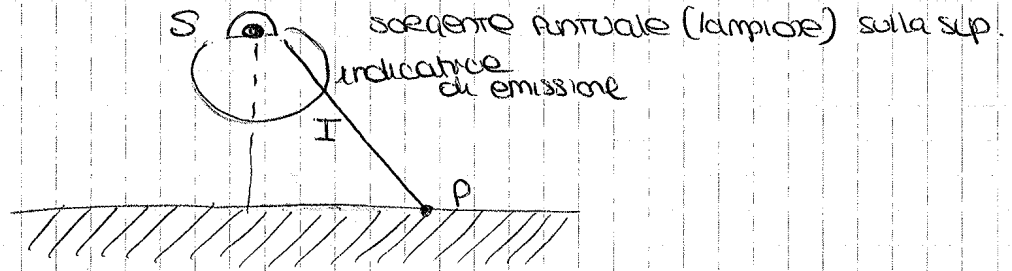
9/10/2013

→ CALCOLO DI PROGETTO PRELIMINARE

Il problema si riduce a: quanto deve essere potente o grande la sorgente per garantire in tutti i punti della superficie illuminata un'illuminamento adeguato -

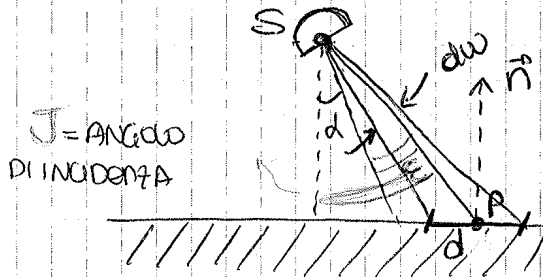
→ CALCOLO DELL'ILLUMINAMENTO SU UN PUNTO DI UNA SUPERFICIE DOVUTO AD UNA SORGENTE PUNTIFORME

↓
rappresenta spesso bene la realtà



vedere qual è in P il valore dell'illuminamento L delo conoscere l'indicatrice di emissione di S e il valore di I lungo la direzione considerata.

Asse lampada = inclinazione di d rispetto alla verticale, prendo P e S generico con la normale \vec{n} // verticale
→ OBIETTIVO → quanto vale L in P?



ANGOLO DI INCIDENZA

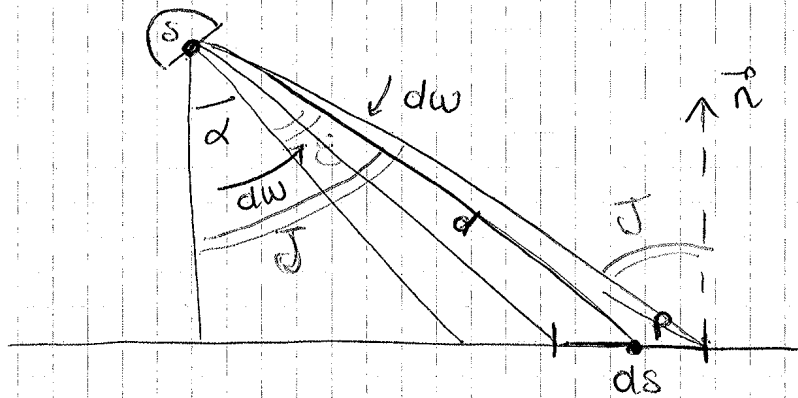
J = ANGOLO DI EMISSIONE + ANGOLO DI INCLINAZIONE

① $J = \epsilon + \alpha$

Individuo area ds attorno a P e vedere di tutto il flusso che finisce l'angolo solido spale intercetta la sup. ds (area elementare)

$E_p =$ QUANTITÀ FLUSSO ELEMENTARE che incide su ds

② $E_p = \frac{d\phi}{ds}$



$sp = d$

$$\hat{j} = \hat{\alpha} + \hat{\epsilon}$$

\hat{j} = angolo di incidenza
 $\hat{\alpha}$ = angolo di inclinazione dell'asse della lampada
 $\hat{\epsilon}$ = angolo di emissione

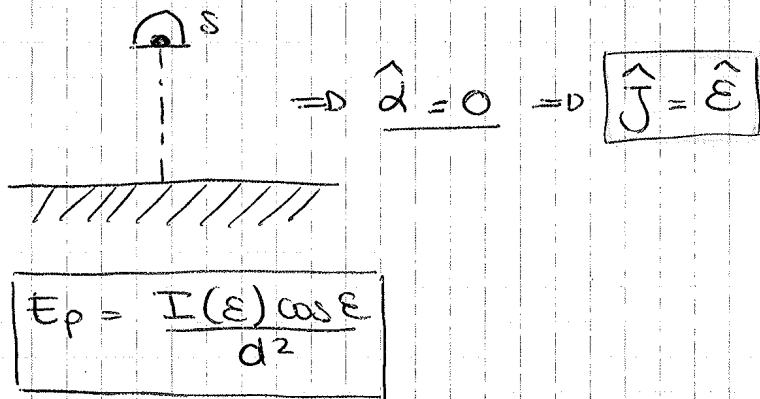
CASI

① Se l'indicatrice di emissione genera un cono fotometrico di ROTAZIONE $\Rightarrow I = I(\epsilon)$

$$E_p = \frac{I(\epsilon) \cos j}{d^2}$$

② Cono fotometrico di ROTAZIONE $\Rightarrow I = I(\epsilon)$

⊥ asse della lampada verticale e sp. illuminata orizzontale



\Rightarrow Se guardo l'eq. generale $E_p = \frac{I(\epsilon, \rho) \cos j}{d^2}$

tutti e 3 gli elementi dell'eq. dipendono dalla posizione relativa punto-sorgente

In particolare $\cos j$ diminuisce e d aumenta all'allontanarsi dal piede della lampada

$\frac{\cos j}{d^2}$ diventa sempre più piccolo! ($d^2 > \cos j$)

Rispettando il requisito di

UNIFORMITÀ di ILLUMINAMENTO

$$U_o = \frac{E_{min}}{\bar{E}}$$

\bar{E} = illuminamento medio sulla superficie

adimensionale

$$(0 \div 1)$$

$$U_l = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

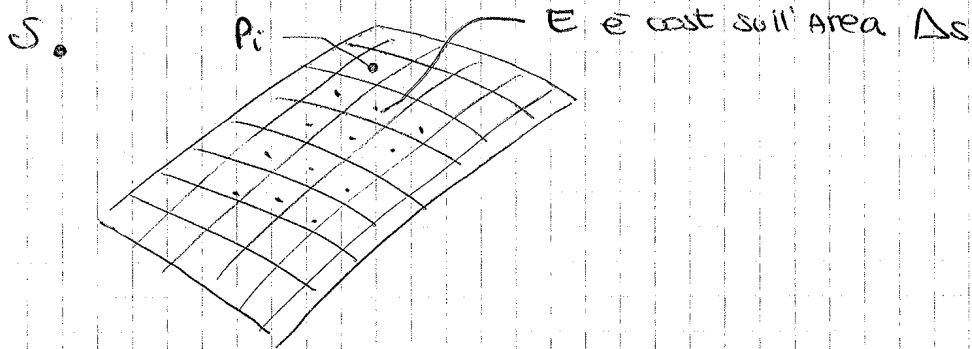
[-]

U_o = fattore di UNIFORMITÀ GENERALE

U_l = fattore di UNIFORMITÀ LONGITUDINALE

$$U_o > U_{o\ min} \quad \text{e} \quad U_l > U_{l\ min}$$

Prendo la Sup. da illuminare e la divido in aree ΔS piccole in modo da poter considerare l'illuminamento costante



Calcolo ad ogni area nel baricentro l'illuminamento E_i

$$E_{P_i} \quad \forall i \in 1-n$$

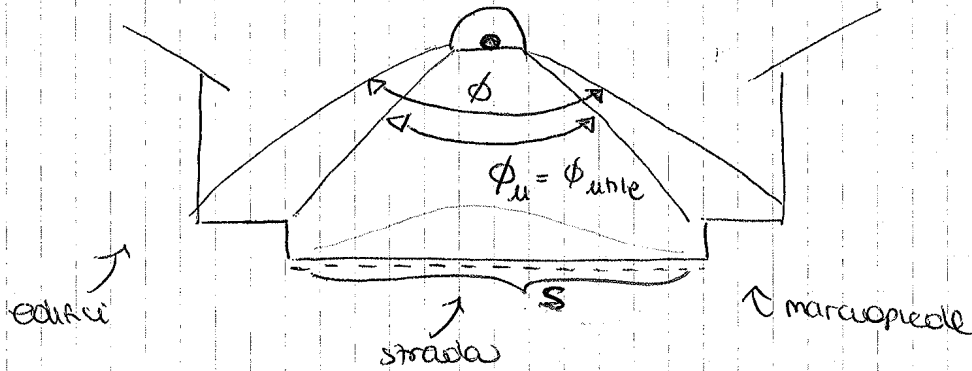
$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \Delta S_i}{S_{TOT}}$$

da prima so $\bar{E} = \frac{\phi_{sulla\ sup.}}{S_{sup}} = \frac{1}{S} \int_S E ds \approx \frac{\sum E_i \Delta S_i}{S_{TOT}}$

$E_{P_{min}} = \min(E_{P_i}) \Rightarrow$ VERIFICO SE $E_{P_{min}} > E_{min}$

$E_{P_{max}} = \max(E_{P_i})$

$\Rightarrow U_o = \frac{E_{min}}{\bar{E}} \Rightarrow$ VERIFICO SE $> U_{o\ min}$



Non è detto che l'illuminamento sia dato solo da S, parte del flusso di S viene disperso e non riesce ad illuminare tutta la strada correttamente

ϕ = flusso totale

ϕ_u = flusso utile \Rightarrow parte di luce che viene utilizzata realmente

Per misurare la prestazione del sistema a utenza si chiama C_u

C_u = COEFFICIENTE DI UTILIZZAZIONE DEL FLUSSO

$$\bar{E} = \frac{\phi_u}{S} \quad \phi_u = \phi C_u$$

$$\bar{E} = \frac{\phi C_u}{S}$$

$$C_u = \frac{\phi_u}{\phi} \quad [-] \quad (0 \div 1)$$

$$\phi = \frac{\bar{E} S}{C_u}$$

$$\phi = \frac{\bar{E} S}{C_u D.M.}$$

\hookrightarrow facciamo in modo che C_u sia il + grande possibile x

usare la maggior parte del flusso emesso

$\phi = \bar{E} C_u$ sostituendola dentro la definizione di \bar{E}

SILODYX

PRESTAZIONE PER IMPIANTO NUOVO!

$$\bar{E} = \frac{\phi_u}{S} = \frac{C_u \phi}{S}$$

\rightarrow

$$\bar{E} = \frac{C_u \phi}{S}$$

\Leftrightarrow

$$\phi = \frac{\bar{E} S}{C_u}$$

Gli ingegneri introducono coeff correttivi \rightarrow le sorgenti invecchiano e tendono ad emettere meno luce nel tempo

\rightarrow le sorgenti invecchiano e tendono ad emettere meno luce nel tempo

\downarrow

* introduco 2 coeff.

\Rightarrow

$$\phi = \frac{\bar{E} \cdot S}{D.M. C_u}$$

D = coeff. di deprezzamento tiene conto del decremento della prestazione della sorgente

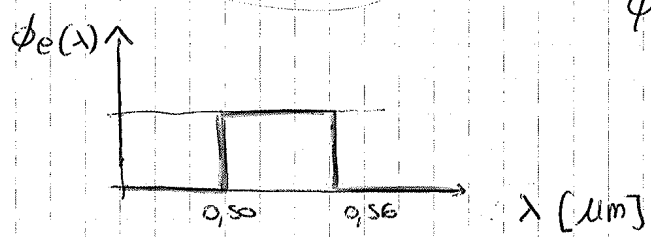
M = coeff. di manutenzione tiene conto del decremento della prestazione dell'apparatus

$$\left\{ \begin{array}{l} D < 1 \quad M < 1 \\ D \approx 0,80 \div 0,90 \quad M \approx 0,55 \div 0,80 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} D \approx 0,80 \div 0,90 \quad M \approx 0,55 \div 0,80 \end{array} \right.$$

ES. 1.5.

Sorgente luminosa S che emette un flusso energetico pari a 50 W ha un flusso costante fra $\lambda = 0.50 \mu\text{m}$ e $\lambda = 0.56 \mu\text{m}$ e 0 al di fuori - $\phi_e = 50 \text{ W}$



Qual è il flusso luminoso e l'efficienza della sorgente?
 $\phi = ?$ $\eta_e = ?$

legame tra $\phi_e \rightarrow \phi$ passa da $V(\lambda)$ e K_{max}
 $\phi_e \rightarrow V(\lambda) \xrightarrow{K_{max}} \phi$

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

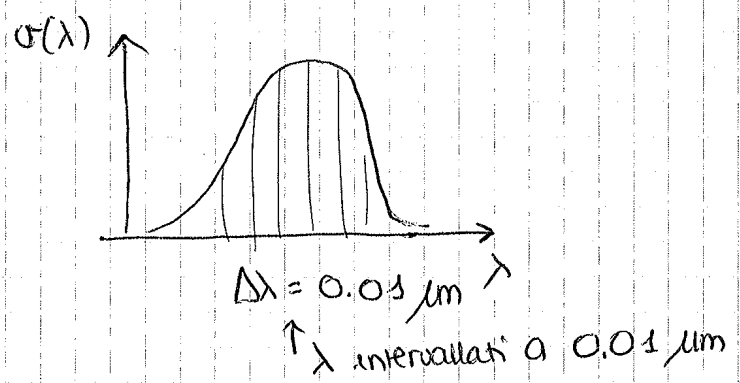
$$\rightarrow \phi = \int_0^\infty \phi(\lambda) d\lambda = \int_0^\infty V(\lambda) \phi_e(\lambda) K_{max} d\lambda$$

$$V(\lambda) = \frac{K(\lambda)}{K_{max}} \quad K_{max} = 683 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$\phi = K_{max} \int_0^\infty V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda$$

$V(\lambda)$ la conosciamo solo sperimentalmente
 \rightarrow tabella pag 177

λ	$V(\lambda)$
0.50	0.503
0.51	0.503
0.52	0.710
...	...



Allora
$$\phi = K_{max} \int_0^\infty V(\lambda) \phi_e(\lambda) d\lambda \approx K_{max} \sum_0^\infty (V(\lambda) \phi_e(\lambda) \Delta\lambda)$$

$$* A_i = \frac{f(\lambda_1) + f(\lambda_2)}{2} \cdot (\lambda_2 - \lambda_1) = \frac{f(\lambda_1) + f(\lambda_2)}{2} \cdot \Delta\lambda$$

$$A_{TOT} = \sum A_i = \frac{f(\lambda_1) + f(\lambda_2)}{2} \Delta\lambda + \dots + \frac{f(\lambda_2) + f(\lambda_3)}{2} \Delta\lambda$$

Essendo $\phi_e = \text{cost}$ (problema) allora posso uscire dall' \int

$$\phi = k_{max} \phi_e(\lambda) \int_{0,50}^{0,56} v(\lambda) d\lambda$$

$$\Rightarrow \phi = k_{max} \cdot \phi_e(\lambda) \cdot \sum_{0,50}^{0,56} \left(\frac{v(\lambda_{i+1}) + v(\lambda_i)}{2} \right) \Delta\lambda$$

passo per il
fuso perché
in tabella
fisso $\Delta\lambda = 0,01 \mu m$

$$\phi_e(\lambda) = \frac{d\phi_e}{d\lambda} = \frac{\phi_e}{\Delta\lambda} = \frac{50}{0,56 - 0,50} = 833,3 \frac{W}{\mu m}$$

$$k_{max} = 683 \frac{lm}{W}$$

$$\phi = 683 \cdot 833,3 \cdot 0,01 \cdot \left[\frac{0,323 + 0,503}{2} + \frac{0,503 + 0,710}{2} + \dots + \frac{0,995 + 0,995}{2} \right] = 833,3 \cdot 683 \cdot 0,01 \cdot (0,413 + 0,6065 + 0,786 + 0,908 + 0,9745 + 0,995) = 26621 \text{ lm}$$

$$\boxed{\phi = 26621 \text{ lm}}$$

$$\eta_e = \frac{k_{max} \int_0^\infty \phi_e(\lambda) v(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty \phi_e(\lambda) d\lambda} = \frac{\phi}{\phi_e}$$

$$\eta_e = \frac{26621}{50} = 532,4 \frac{lm}{W}$$

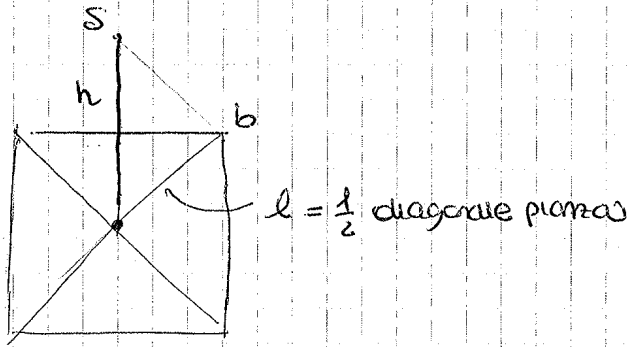
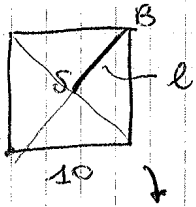
[Oggi le sorgenti artificiali con efficienza maggiore possono arrivare a $300 \frac{lm}{W}$]

- lampadina a incandescenza $\eta_e = 7 \div 10 \frac{lm}{W}$
- lampadine alogena $\eta_e = 15 \div 20 \frac{lm}{W}$
- lampadine fluorescente $\eta_e = 30 \div 50 \frac{lm}{W}$
- lampade a vapori di sodio e mercurio $\eta_e = 150 \div 200 \frac{lm}{W}$

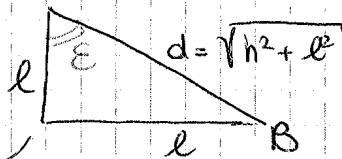
$$E_A = \frac{500(1+\mu) \cdot 1}{4^2} = 62,5 \text{ lx} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right]$$

E_{\min}

$$E_{\min} = E_B$$



$$l = \frac{\sqrt{10^2 + 10^2}}{2} = 7,07 \text{ m}$$



$$d = \sqrt{4^2 + 7,07^2} = 8,12 \text{ m}$$

$$h = d \cos E \Rightarrow \cos E = \frac{h}{d} = \frac{4}{8,12} = 0,492 \rightarrow$$

$$\rightarrow E = \arccos(0,492) \cong 60^\circ, 5'$$

$$E_B = \frac{500(1 + \cos E) \cos E}{d^2} = \frac{500 + (1 + 0,492) 0,492}{8,12^2} = 5,56 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = E_B = 5,56 \text{ lx}$$

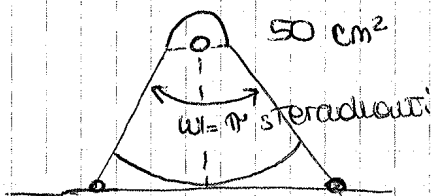
$$E_{\max} = E_A = 62,5 \text{ lx}$$

$$U_e = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{5,56}{62,5} = 0,09 \quad (9\%) \rightarrow \text{schifo!}$$

ES. 1.13 \rightarrow RISULTATO $\Rightarrow 809,3 \text{ lm} = \phi$

ES. 1.8

$$S = S_{\text{csg}} = 50 \text{ cm}^2 \quad \phi = 250 \text{ cm}$$



\rightarrow emettente
 $M = ?$
 $I = ?$
 $L = ?$

Perché $\phi = \cos \theta$

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} = \frac{\phi}{\omega} \quad (I = I_0 = \cos \theta \text{ entro } \omega)$$

Capitolo 4

ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE di INTERNI

REQUISITI dell'ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE di INTERNI

- ① - ILLUMINAMENTO E
- UNIFORMITÀ di E (ILLUMINAMENTO)
- ② - CONTRASTO
- ③ - ABBAGLIAMENTO
- ④ - RESA del colore

① Vengono richiesti valori medi minimi e massimi di illuminamento E , questo dipende dal tipo di locale

non sapere a memoria

UFFICI	500 lux	di \bar{E} (illuminamento medio)
AULA da DISEGNO	750 lux	
SALA OPERATORIA	30000 lux	
LOCALI A USO DOMESTICO	300 lux	

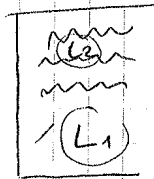
- UNIFORMITÀ di ILLUMINAMENTO E

$$U_0 = \frac{E_{min}}{\bar{E}} > 0,8$$

L_{medio}

② FATTORE DI CONTRASTO

$$C = \frac{|L_2 - L_1|}{L_1}$$



L_1 = luminanza sfondo

L_2 = luminanza scritte

ha un limite, il contrasto non deve superare determinati valori

- FOGLIO e PIANO LAVORO $C < 3$
- OGGETTO - AMBIENTE CIRCOSTANTE $C < 10$
- Sorgente - sfondo $C < 20$



③ ABBAGLIAMENTO → sconfort

se la sorgente è troppo luminosa

ABBAGLIAMENTO → continuo
→ momentaneo

Per evitare abbagliamento si prescrive che $L < 1400 - 3000 \text{ cd/m}^2$
dipende dall'ambiente

④ RESA CROMATICA

- 1 - Temperatura di colore $T_c [K]$
- 2 - Tonalità di colore
- 3 - Indice di Resa cromatica (CRI)
- 4 - Resa del colore (R_a)

entra in gioco $M =$ FATTORE di MANUTENZIONE

$$\phi_{em} = \phi_{tot} \cdot D \cdot M$$

$D =$ deprezzamento
 \Rightarrow dato dal disfacimento del filo di tungsteno

$$C_u = \frac{\phi_u}{\phi_{em}}$$

$$\phi_{em} = \frac{\phi_u}{C_u}$$

$\phi_{tot} =$ flusso totale

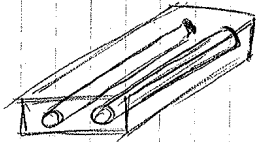
$$\frac{\phi_u}{C_u} = \phi_{tot} \cdot D \cdot M$$

$$\phi_{tot} = \frac{\phi_u}{C_u \cdot D \cdot M}$$

$$\phi_{tot} = \frac{E \cdot S}{C_u \cdot D \cdot M}$$

FLUSSO TOTALE

\rightarrow mediante questo passo calcoleremo quante lampade servono per illuminare un ambiente



$$\phi_{app} = \phi_s \cdot n_s$$

flusso apparecchio

flusso sorgente

numero di sorgenti

$\phi_{tot} = n^{\circ}$ apparecchi \times flusso emesso da ogni apparecchio

$$M_{app} = \frac{\phi_t}{\phi_{app}}$$

\rightarrow APPROSSIMATO per ECCESSO

[EFFICIENZA LUMINOSA APPARECCHIO

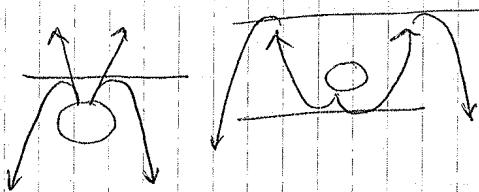
TIPO APPARECCHIO

$C_u \rightarrow$ tipo di apparecchio
 \rightarrow colore pareti
 \rightarrow geometrie locali

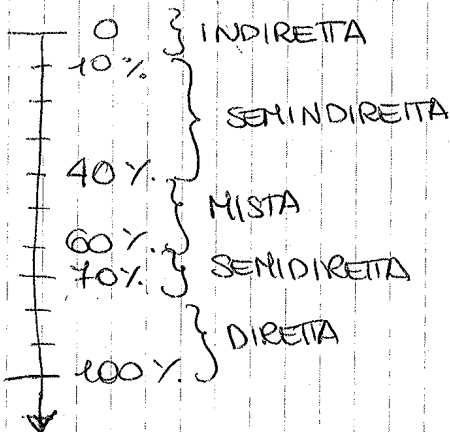
indice del locale i

(classe che varia da $A \div H$)

apparecchi che riflettono verso il basso o l'alto

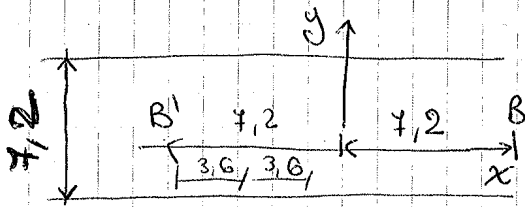


FLUSSO verso il BASSO



- 0 ÷ 10 indiretta
- 10 ÷ 40 semindiretta
- 40 ÷ 60 mista
- 60 ÷ 70 semidiretta
- 70 ÷ 100 diretta

1



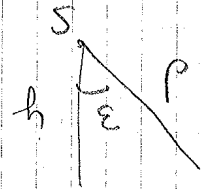
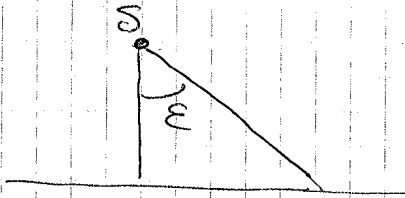
$h = 6.4 \text{ m}$

Decido Parzialmente
fino ad arrivare a 3,6
(costante media AB)

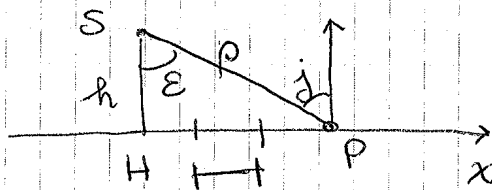
$I = I_0 (1 + \cos \epsilon)$

$I_0 = 1200 + (N + C) \cdot 5$

N = nome
C = cognome



$p = h \cos \epsilon$



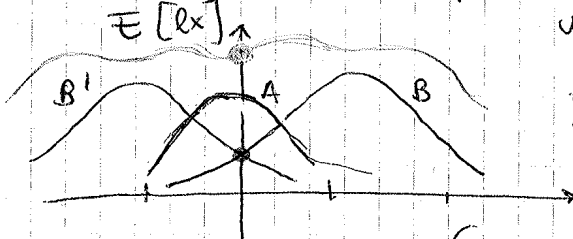
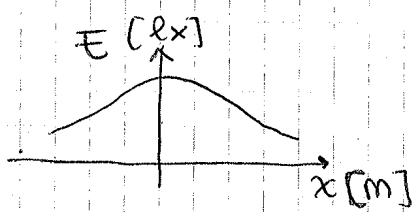
$E_p = \frac{I(\epsilon) \cos \epsilon}{r^2}$
r → distanza

$\cos \epsilon = \frac{h}{p}$

$p = \sqrt{h^2 + HP^2} = \sqrt{h^2 + x_i^2 + y_j^2}$

valori della sezione
A, B e B1
valori sommati di
A, B e C

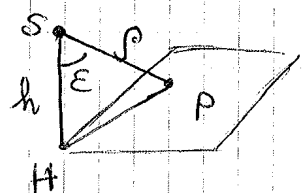
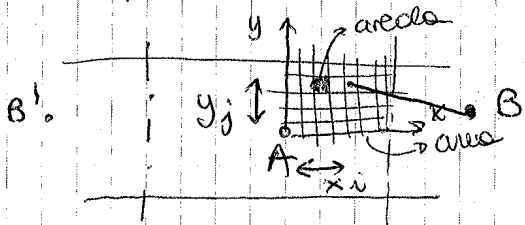
2



$P_i = (x_i, y_j)$

3

Divido l'area in areole più piccole → calcolo l'illuminamento E in ogni area e poi faccio la media



$\cos \epsilon = \frac{h}{p}$

$p = \sqrt{h^2 + HP^2}$

$p = \sqrt{h^2 + x_i^2 + y_j^2}$

$x_i, y_j =$ coordinate su x, y di P.

⑨ $E_{el} = \phi_{e, lamp} \cdot \tau \Rightarrow \times 1 \text{ lampione}$

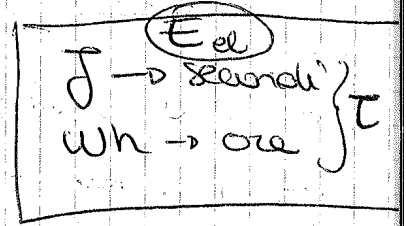
↑ Flusso energetico ↑ numero di ore

$$\phi = \int \phi_e(\lambda) d\lambda k(\lambda)$$

$$\tau = 3650 \text{ h}$$

$$J/Wh$$

↓ Joule ↓ Watt/ora



$\Gamma \rightarrow$ flusso luminoso per 1 lampione

$$\eta = \frac{\phi}{\phi_e} \quad \phi_e = \frac{\phi}{\eta}$$

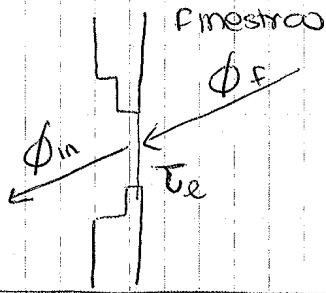
→ scegliamo noi il valore della luminescenza e incandescente
 ⇒ scegliamo η

$$\phi_{e, ikm} = n^{\circ} \text{ lamp.} \cdot \phi_e$$

kWh

$$E_{el} = n^{\circ} \text{ lamp.} \cdot \frac{\phi}{\eta} \cdot \tau \cdot 10^{-3} \text{ [kWh]}$$

$$L \rightarrow E_{el} = \phi_{e, ikm} \cdot \tau$$

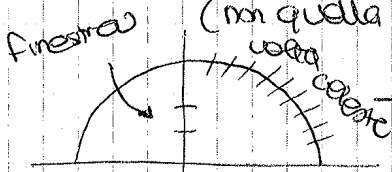


$\Phi_f =$ flusso luminoso che entra dalla finestra

In fatti $\Phi = \int I \, d\omega$
 $\rightarrow \Phi = E \cdot S$

Flusso luminoso entrante dalla finestra (parte vetrata)
 $\Phi_f = E_f \cdot A_v$

↑ illuminamento esterno riferito al piano verticale (non quella verticale E_0 !)



$F = 0,5$

ILLUMINAMENTO FINESTRA

$E_f = E_0 \cdot F$

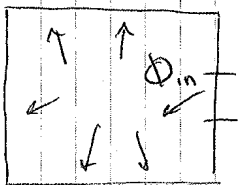
↑ esterno FATTORE FINESTRA (diffusione dalla finestra)

$E_f = E_0 \cdot F$
 $\Phi_f = E_f \cdot A_v$
 $\Phi_{in} = \Phi_f \cdot \tau_e$

$\Phi_{in} = \tau_e \cdot A_v \cdot F \cdot E_0$

FATTORE FINESTRA
 FLUSSO INTERNO
 AREA FINESTRA
 ILLUMINAMENTO ESTERNO

FLUSSO USCENTE



Nell'area finestra! considero anche la finestra!

$\Phi_{out} = E_{i,m} \cdot A_{tot} \cdot \alpha_{l,m}$

$E_{i,m}$ = illuminamento medio interno

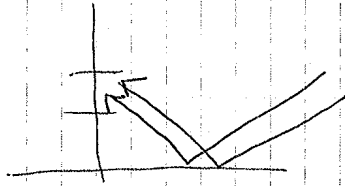
A_{tot} = area pareti interne (considero la finestra)

$\alpha + \rho + \tau = 1$

= 0 se punto di componenti dalle quali non passa la luce (pareti)

$\alpha + \rho = 1 \rightarrow \alpha = 1 - \rho$

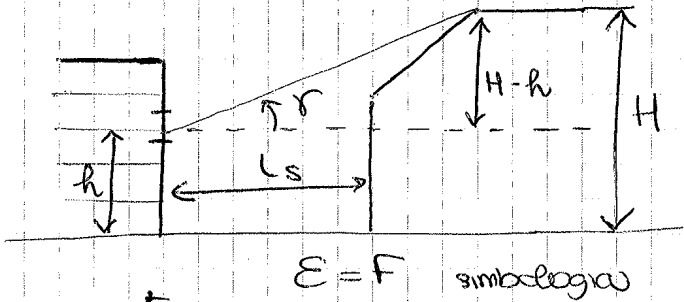
$\Phi_{out} = E_{i,m} \cdot A_{tot} (1 - \rho_{l,m})$



$$1 - F = \frac{1 - \cos(\epsilon + \gamma)}{2}$$

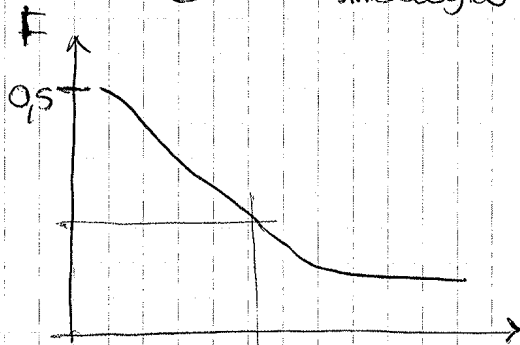
$$F = \frac{1 + \cos(\epsilon + \gamma)}{2} + \rho_t \frac{1 - \cos(\epsilon + \gamma)}{2}$$

ρ_t = coefficiente di riflessione del terreno



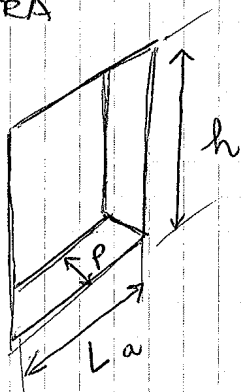
h = altezza "media" finestra

L_s = larghezza strada



$$\frac{H - h}{L_s} \rightarrow \tan \gamma$$

FINESTRA

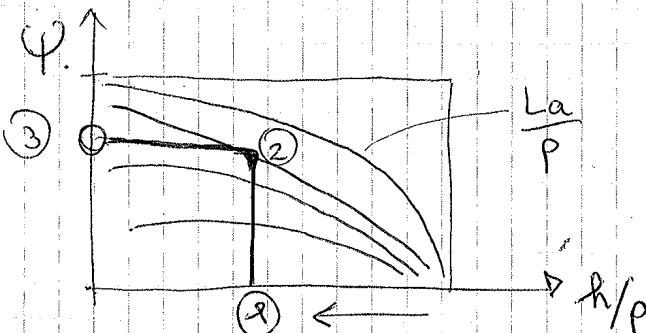


p = profondità

L_a = larghezza

p = profondità

h = altezza



(PS1)
 ψ = fattore di riduzione del fattore finestra

① calcolo h/p

② interseca curva

③ legge ψ

ACUSTICA III PARTE

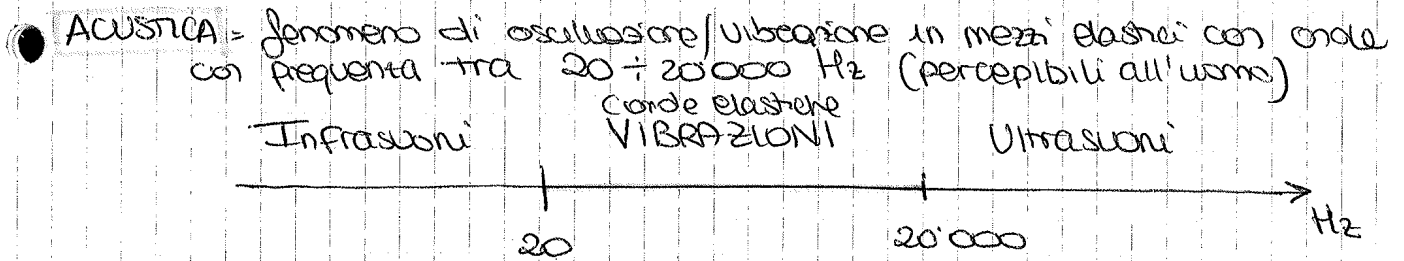
22/10/2013

Fenomeno che determina **SENSAZIONI** → sensibile all'uomo
 ↳ percezione umana
 ↳ Sottinteso degli STUDI delle OSCILLAZIONI (VIBRAZIONI)

Studio della loro propagazione nei mezzi ELASTICI (così come la loro generazione e propag. nelle elettromagn.)

lo chiamo **VIBRAZIONE** → se PERCEPITA
OSCILLAZIONE → non percepita

ORECCHIO = senso che a captare oscillazioni e sensibile a oscillazioni con frequenza compresa tra circa **[20 ÷ 20'000 Hz]**
 ↳ in mezzi elastici



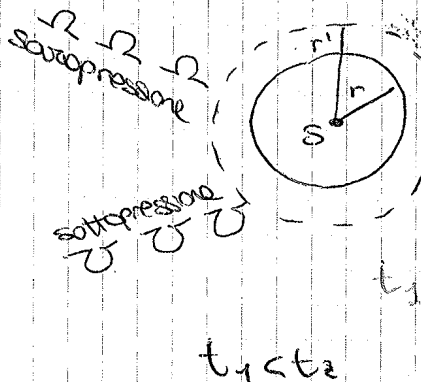
- Abbinata la **FISICA** alla **FISIOLOGIA** (percezione umana)
 - Stabilito su "esperimenti" sull'uomo
- LEGGI DETERMINISTICHE** ↔ **RISULTATO INDAGINE EPIDEMIOLOGICA (STATISTICA sull'uomo)**

Come si genera oscillazione?

Vibrazione oggetto solido (SORGENTE SONORA)

Circonfereza

facciamo variare il raggio da r a r' ($r' > r$)



I primi strati di aria vengono schiacciati, compressi
 ↳ la pressione in questo strato cresce per **ESPANSIONE** rapida della sfera, l'aria non ha tempo di spingere subito l'aria attorno (per un secondo) poi l'aria torna (poiché è un mezzo elastico) nel suo stato originario lo strato adiacente invece aumenta la pressione

PERTURBAZIONE NEL MEZZO ELASTICO CHE SI PROPAGA RADIALMENTE ALLONTANANDOSI

ONDA di
PRESSIONE
SONORA /
PERTURBAZIONE
di PRESSIONE

$$\Delta p(t) = p(t) - (P_{atm}) \rightarrow \text{pressione atmosferica}$$

$$[Pa] \quad \hookrightarrow 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \quad (10^5 \text{ Pa})$$

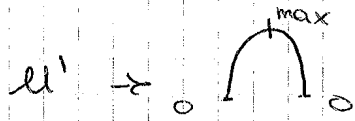
Se analizzo i segnali acustici $\Delta p(t)$ è una quantità piccolissima e provoca la sensazione di rumore, bastano piccole variazioni di pressione

$$10^{-5} \text{ Pa} < \Delta p(t) < 10 \text{ Pa}$$

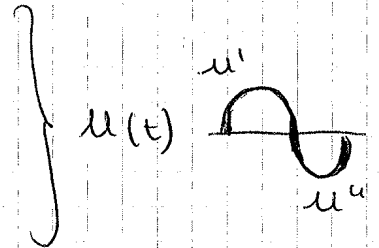
A 1000 Hz, con 20 Pa = $\Delta p(t)$ \Rightarrow SOGLIA del DOLORE

Altra perturbazione

- sfera che si espande spinge le molecole verso l'esterno ad una certa velocità u' , inizialmente $u' = 0$ poi cresce, quando la sfera si ferma $u' = 0$



- per sfera che si contrae u''



PERTURBAZIONE di VELOCITÀ \Rightarrow particelle di aria oscillano attorno al loro punto di equilibrio se la sfera si muove sinusoidalmente anche le particelle si muovono sinusoidalmente

① ONDA di PRESSIONE: $\Delta p(t)$

② ONDA di VELOCITÀ o di OSCILLAZIONE: $u(t)$

\rightarrow N.B Non è la velocità vera e propria ma velocità di vibrazione

la velocità di PROPAGAZIONE \neq velocità di oscillazione
 \downarrow
 È l'onda che si PROPAGA

velocità di oscillazione
 \downarrow
 particelle che si muovono

VELOCITÀ di PROPAGAZIONE = velocità di propagazione dell'onda sonora
 c

determinata analiticamente

VELOCITÀ di PROPAGAZIONE del suono c

• MEZZI ELASTICI IDEALI, OMOGENEI e UNIFORMI

LIQUIDI
SOLIDI

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad [m/s]$$

$[Pa]$ (K) = modulo di compressione elastica del materiale

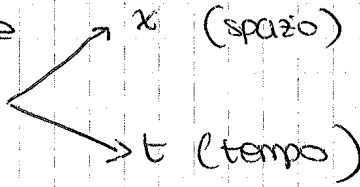
$[kg/m^3]$ (ρ) = densità (massa volumica) del mezzo

Ci dice a seconda del mezzo che la velocità con cui il suono si propaga è diversa.

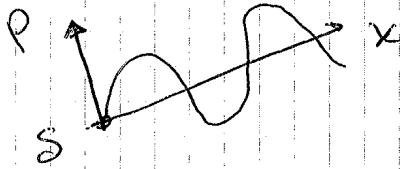
Studio come ONDA ELASTICA

→ ONDE ELASTICHE

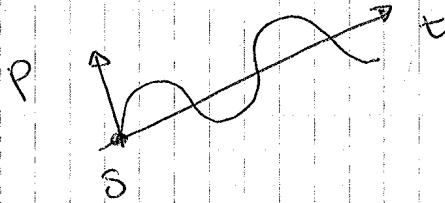
onde di perturbazione di velocità IN FUNZIONE di



SPAZIO



TEMPO



Vorrei sapere quanto vale $\Delta p(t, x)$ ^{valore di perturbazione sonora} per un punto P in un certo istante t.

CONOSCENZA del CAMPO di una GRANDEZZA → a seconda di t e x
 → valore delle variabili di un fenomeno in uno spazio in un istante

↓ CAMPO è descritto come derivate parziali [tipo $\frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{\partial f}{\partial z} = k \frac{\partial f}{\partial t}$]

Studio il CAMPO sonoro = insieme delle perturbazioni nello spazio e nel tempo.

$$\nabla^2(\Delta p(t)) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2(\Delta p(t))}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2(u(t)) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u(t)}{\partial t^2}$$

EQUAZIONE DIFFERENZIALE dell'ONDA AUSTICA o SONORA

saperi dire per ogni punto l'onda di oscillazione e perturbazione

→ Per trovare la soluzione esistono casi semplici

- CAMPO LIBERO ⇒ negli sport aperti
- CAMPO di RIVERBERO ⇒ sport confinati / semiconfinati (interno o ostacolo)
- CAMPO LIBERO da soluzione delle 2 eq. differenziali danno una soluzione del tipo...

Δp → dipende da x , solo dalla distanza

$$\Delta p = \Delta p_{max} \cdot \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

ONDA di PRESSIONE

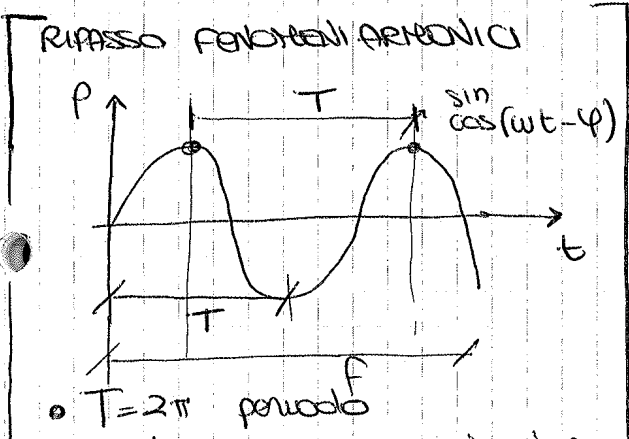
valore max di perturbazione
inversa

- t = tempo
- x = distanza P-S
- c = velocità propagazione del suono
- ω = pulsazione dell'oscillazione (armonica)

costante del fenomeno armonico

$$\omega = 2\pi f$$

f = frequenza
 T = periodo



• $T = 2\pi$ periodo f

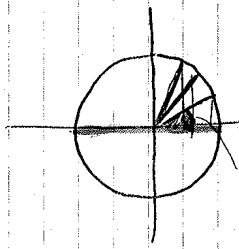
↳ ogni 2π i valori di f si ripetono e due massimi si ripetono ogni periodo di tempo = T [s]

• $f = n^\circ$ di onde (oscillazioni) nell'unità di tempo $f = \frac{1}{T}$ [Hz]

• $\omega = 2\pi f$
oppure

• $\omega = \frac{2\pi}{T}$ = velocità angolare

Velocità con cui si genera il fenomeno



vettore che ruota attorno all'origine la sua proiezione sull'asse x o y è un punto che si muove avanti e indietro sull'asse delle ascisse

Nel campo libero il risultato è un SEGNALE ARMONICO di pressione → funzione sinusoidale in cui compare ω, c, x, t .

Allo stesso modo

$$u(t) = \frac{\Delta p_{max}}{\rho c} \cdot \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{c} \right) \right]$$

$$\rightarrow u(t) = \frac{\Delta p}{\rho c}$$

ρc = impedenza acustica del mezzo elastico $\left[\frac{kg}{m^2 s} \right]$

ρ = densità del mezzo elastico [Aria a $T=20^\circ C$ $\rho = 1.2 \text{ atm}$]

$\rho c = 413 \frac{kg}{m^2 s}$

23/10/2013

① $\Delta p = \rho c u(t)$

GRANDEZZE

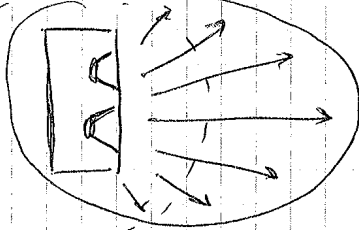
• **potenza sonora** = potenza emessa dalla sorgente
 W [W]

Δp è molto piccolo $20 \div 2$
 Nei fenomeni reale la potenza W è molto bassa, anche le sorgenti che emettono tanto rumore

qualche 10 millesimo di Watt a qualche Watt

$10^{-4} \div 1$ W

caso stereo

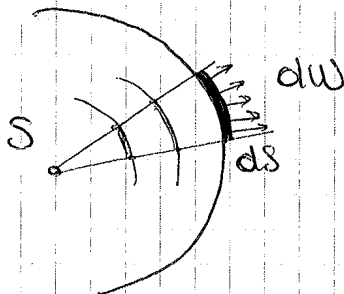


non emette uniformemente ma in maniera preferenziale lungo certe direzioni, mi interessa che il suono sia emesso anteriormente
 => come le S luminose (Venne nelle direzioni)

• **INTENSITÀ SONORA** = come W viene emessa nelle direzioni dello spazio

dW → potenza infinitesimale

→ dW distribuita sulla superficie ds del fronte d'onda



se cambio il fronte d'onda ds cambia → cambia dW

$$I = \frac{dW}{ds} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

ds = superficie infinitesima del fronte d'onda

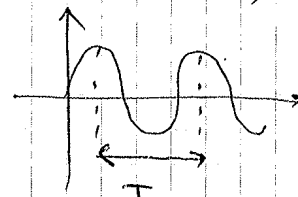
Dimostro che I si può misurare in funzione di $\Delta p(t)$ e $u(t)$

$I = f(\Delta p(t), u(t))$

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta p(t) u(t) dt$$

Il segnale è stazionario nel periodo con unica frequenza (tipo pendolo)

② = T = periodo di un'oscillazione
 t = tempo



dalla ①

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta p(t) \frac{\Delta p(t)}{\rho c} dt = \frac{1}{\rho c} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \Delta p^2(t) dt \right] = I$$

→ costante

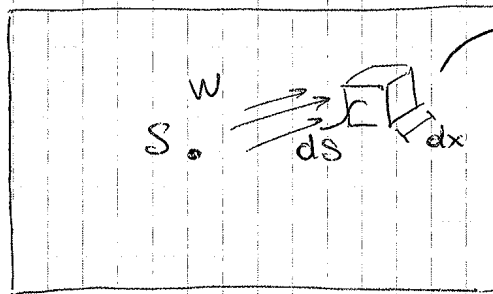
② $I = \frac{P^2}{\rho c} \left[\frac{W}{m^2} \right]$ • INTENSITÀ SONORA

Se conosco punto per punto l'intensità sonora posso scrivere

$I = \frac{dW}{ds}$ → $W = \int_s I ds$

DENSITÀ di ENERGIA SONORA U

Sapete è che esiste nello spazio, se isolo un cubo di sezione ds di lati dx, posso immaginare che per t+dt (istante) dentro al cubetto ho un'energia acustica a causa dell'emissione di S, so che $dE = W dt$



dE = ENERGIA ACUSTICA
Nel tempo dt l'intensità I riempie il cubetto con energia acustica dE

$dE = W dt$

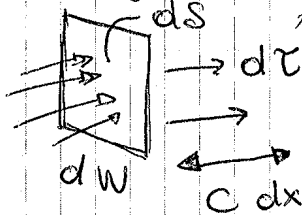
$W = \frac{dE}{dt} \left[\frac{J/s}{s} \right] \rightarrow [W]$

$U = \frac{dE}{dV}$

$\left[\frac{J}{m^3} \right]$

dV = volume infinitesimale

Nel tempo dt viaggiando a velocità punto spazio percorre lo spazio sonoro?



$dV = ds \cdot dx = ds \cdot \frac{c \cdot dt}{dx}$

assumendo

$U = \frac{dE}{dV} = \frac{dW dt}{ds c dt} = \frac{I}{c} \rightarrow \frac{dW}{ds}$

- Assenza di onda riflessa
- monofrequenza
- onda piana

un cubetto esterno

$U = \frac{I}{c} = \frac{P^2}{\rho c^2}$

1] PRIME BANDE CONFRONTABILI: BANDE di OTTAVA

$$f_2 = 2 f_1$$

$$f_1 = \frac{1}{2} f_2$$

$$f_c = \sqrt{f_2 \cdot f_1}$$

↑
frequenza centrale della banda

frequenza superiore = 2 volte frequenza inferiore

→ ampiezza di banda cambia!
perché ho una suddivisione che non ha la stessa frequenza in una banda, ma la STESSA ENERGIA nella BANDA

2] BANDE di N-ESIME di OTTAVA

Bande minori, informazioni più accurate

$$f_2 = 2^{1/n} f_1$$

• bande in terza di ottava (n=3)

- Ampiezza banda più piccola (effetto in modo simile la funzione)
- Ripeto + volte i calcoli!

Circa alle bande di ottava ho relazioni + semplici

ACUSTICA FISIOLOGICA - capitolo 2

① ORECCHIO UMANO sensibile a VIBRAZIONI 20 ÷ 20'000 Hz
↳ sensibilità non costante!

② Come per l'occhio la sensibilità dell'orecchio è funzione della FREQUENZA

3'000 ÷ 4'000 Hz (campo dove l'orecchio è + sensibile)

↳ molto importante se ho 2 sorgenti che emettono entrambe 1 W, la macchina A le emette tra 50 ÷ 60 Hz, la macchina B tra 3'000 a 4'000 Hz

la macchina A non è fastidiosa quanto la macchina B!

diversa SENSAZIONE = STESSA POTENZA, FREQUENZA DIVERSA

③ Sono a $f = 1'000$ Hz

la minima pressione efficace in grado di generare una sensazione sonora è di

$$20 \mu Pa = 20 \cdot 10^{-6} Pa = 2 \cdot 10^{-5} Pa$$

20 Pa → SOGLIA del DOLORE a 1'000 Hz

20 μPa → SOGLIA di UDIBILITÀ a 1'000 Hz

↗ Valore convenzionale ma variabile alla soglia di frequenza di sensibilità dell'orecchio umano.

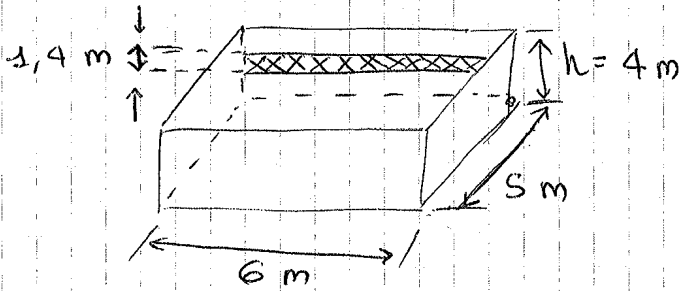
In Acustica si lavora non tanto sulle grandezze fisiche, ma sui loro livelli (3 livelli):

① $L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0}$
↳ livello di pressione sonora

② $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$
↳ livello di intensità sonora

③ $L_W = 10 \log \frac{W}{W_0}$
↳ livello di potenza sonora

ES. 1.18



Nastro ad altezza 1,4 m

$$f_{pav} = 0,7$$

$$f_{pav} = 0,6$$

$$f_{puro} = 0,3$$

$$\tau_v = 0,6$$

$$FLD_m = ?$$

⇒ devo calcolare l'illuminamento interno riferito all'illuminamento esterno su un piano orizzontale!

da finestra cui parzialmente illuminamento solo se ho luce esterna! ⇒ posso calcolare l'illuminamento interno che dipende dall'illuminamento esterno!
di notte all'interno è zero

DOMANDA ESAME

Il fattore di luce diurna media dipende dall'esterno?

No! Introduco questo fattore proprio perché NON sia dipendente da E_0 !

$$FLD_m = \frac{\bar{E}}{E_0} = \frac{aE_0}{E_0}$$

$$FLD_m = \bar{E} \cdot \omega$$

INDIPENDENTE da E_0

$$FLD_m = \frac{\bar{E}}{E_0} = \frac{\tau_v \cdot A_v \cdot F}{(1 - f_m) \cdot S} = \frac{0,6 \cdot (1,4 \cdot 6) \cdot 0,5}{(1 - 0,6) \cdot [2(5 \cdot 6) + 2(5 + 6) \cdot 4]}$$

mi permette di caratterizzare il rapporto tra esterno e interno

superficie cubrite (anche vetro)

148 m²

F = rappresenta la porzione di volta celeste che vedo dalla finestra

- Tutta la volta F=1
- semi sfera F=0,5
- oppure inclinata di 45° calcolo il coseno

Superficie parallelepipedo = $2(a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h = S = 148 \text{ m}^2$

* f_m = media pesata!

$$f_m = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S} = \frac{0,6(5 \times 6) + [2[5 \cdot 6] \cdot 4 - 8,4]}{148}$$

3 apparecchi = illuminazione diretta

$$W_{\text{tot el}} = 200 \text{ W}$$

$$\eta_{\text{app}} = 75\%$$

$$\eta_e = 45 \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

$$\bar{P}_{\text{em}} = 50\%$$

$$\bar{P}_{\text{soff}} = 45\%$$

a) $\phi_{\text{tot}}, \phi_u$

b) E sul piano utile e coefficiente se è a norma

1) $\eta_{\text{app}} = \frac{\phi_{\text{tot}}}{\phi_{\text{soff}}}$

$$\eta_e = \frac{\phi_{\text{soff}}}{W_{\text{el}}} \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

$$\phi_{\text{soff}} = \eta_e \cdot W_{\text{el}} = 45 \cdot 200$$

$$\phi_{\text{soff}} = 9000 \text{ lm}$$

secondo l'ambiente ho il flusso dell'apparecchio

$$\phi_{\text{tot}} = \eta_{\text{app}} \cdot \phi_{\text{soff}} = 0,75 \cdot 9000 = 6750 \text{ lm}$$



2) mi interessa quello che arriva sia per emissione diretta che per riflessione

⇒ ricerca al COEFFICIENTE di UTILIZZAZIONE C_u

$$C_u = \frac{\phi_u}{\phi_{\text{tot}}}$$

→ flusso sul piano utile

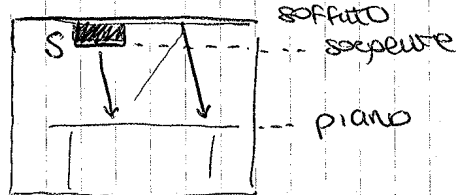
→ flusso apparecchio

$$\Rightarrow \boxed{\phi_u = C_u \cdot \phi_{\text{tot}}}$$

$C_u = f(\text{geometria problema}, \bar{P}_{\text{parete}}, \bar{P}_{\text{soffitto}}, \text{tipo illuminazione})$

↳ i
 diretta / indiretta / semidiretta / semindiretta

⇒ $\left[\begin{array}{l} \text{Illuminazione diretta} = \text{distanza} = \text{SORGENTE} - \text{PIANO} \\ \text{Illuminazione indiretta} = \text{distanza} = \text{SOFFITTO} - \text{PIANO} \end{array} \right.$



Determino C_u

PAG 210 - 208

$$i = \frac{5 \times 4}{1,80 (5+4)} = 1,23$$

↑
distanza parete - piano utile

① LOCALI CLASSE D

② $C_u = 0,50$ dalla tabella

Livelli

$$L_p = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}]$$

$$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$$

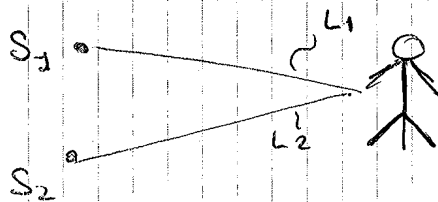
- ⇒ valore convenzionale che non corrisponde a nulla
- Quello che sente il mio orecchio è p o I = onda sonora dovuta alla pressione
- W è solo la potenza emessa dalla sorgente

Si emette W che si propaga
 → lo percepisco I e p

(N.B) W CARATTERIZZA SOLO LA SORGENTE, W_0 = valore totalmente convenzionale che corrisponde al valore di I_0

(N.B) I LIVELLI NON SI SOMMANO, ma si COMPONGONO

Se ho una sorgente che genera un'onda sull'ascoltatore di livello L_1 e un'altra S_2 che genera un'onda di livello L_2 sull'ascoltatore. Quale livello L_{TOT} genera $S_1 + S_2$?



~~$L_1 + L_2$~~ No!

Si sommano, grazie al principio di conservazione dell'energia,

- I e W
- p^2

ma NON

- L_1 e L_2 !

P = livello di pressione 28/10/2013
 sonda

P_0 = pressione sonora di riferimento

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$$

L > soglia di udibilità @ 1000 Hz

se compongo i due livelli il livello totale è il maggiore dei 2 o se sono eguali al valore + 3 dB

$$L_{TOT} = L_1 + L_2 = \text{Max}(L_1, L_2) + (0 \div 3)$$

$$3 \approx 10 \log 2$$

OSSERVAZIONE

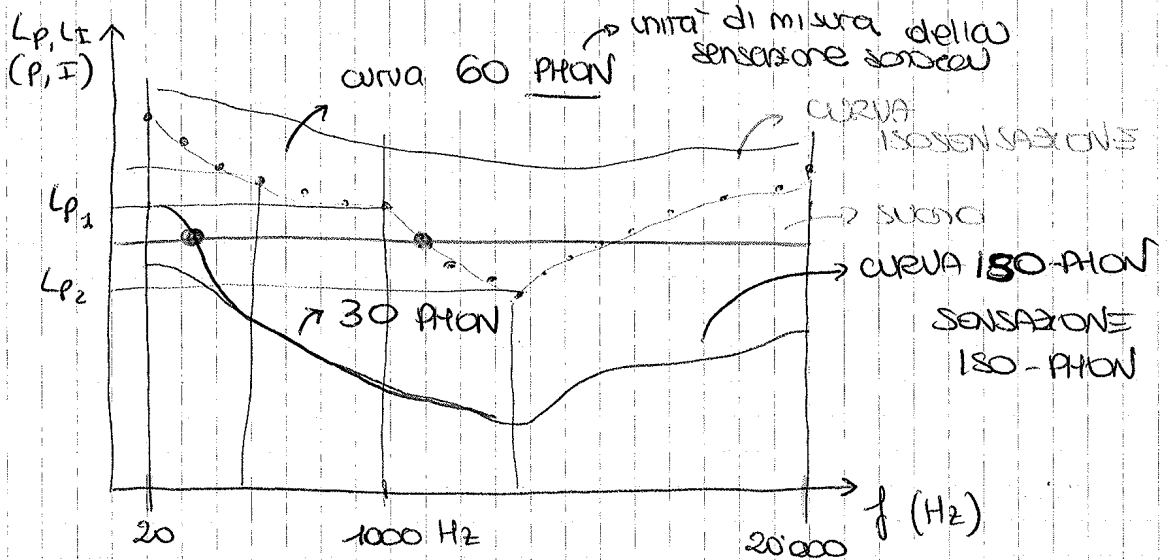
- I livelli NON si sommano
- un aumento di 3 dB corrisponde ad un **RADDOPPIO** dell'EFFETTO acustico \Rightarrow aumento
- Percepisco SOLO il livello dominante! [es in casa se accendo radio] 120 dB

AUDIOGRAMMA UMANO

è stato normalizzato nel 1961, è basato sullo studio di Fletcher e Munson.

→ Hanno dato una misura razionale e rigorosa all'INTENSITA' SONORA

- I, W, P, L_F, L_p, L_w → **GRANDEZZE OGGETTIVE**
- S, L_s → **GRANDEZZE SOGGETTIVE** (basate su studi epidemiologici sulla percezione)



- Sono a 1000 Hz riprodotto ad un certo livello L_{p1}
- Altro suono a frequenza più bassa \Rightarrow aumentando il livello del suono lo aumento a tal punto da sentire il suono alla stessa intensità del primo suono \Rightarrow stessa intensità di sensazione sonora
- Cambio frequenze e ripeto l'esperimento per frequenze tra 20 ÷ 20.000 Hz (campo udibile)

Ricostruisco per punti una curva sperimentale

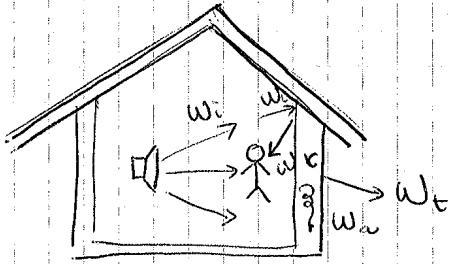
[\Rightarrow È LUOGO dei PUNTI che DANNO ORIGINE alla STESSA SENSAZIONE SONORA S]
CURVA ISOSENSAZIONE

→ Nell'acustica degli ambienti mi interessa r e la somma di $a+t$

In acustica $a+t = \alpha \Rightarrow$ Coeff. di ASSORBIMENTO SONORO APPARENTE

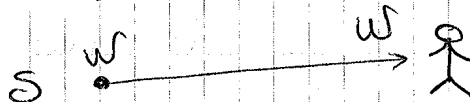
A differenza della luce $\Rightarrow a+r=1$ che significa NON che $t=0$ ma che invece t in $a = a'+t$

$$a = 1 - r$$



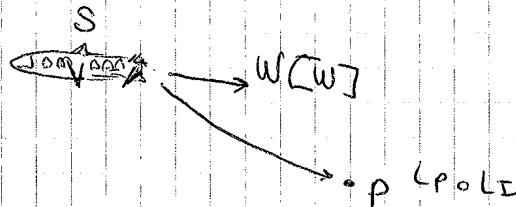
In ambiente chiuso \Rightarrow ha riflessione
In campo libero \Rightarrow non ha contributo dalla riflessione

CAMPO LIBERO \Rightarrow Non ha contributo dalla riflessione (es. aereo)



esiste solo la componente diretta del suono (non w_r)

ES. Aereo



$$U = \frac{I}{c}$$

DENSITÀ di ENERGIA SONORA

LEGGINE $L_p \leftrightarrow L_e$ in CAMPO LIBERO \Rightarrow

N.B. SOLO in CAMPO LIBERO

$$I = \frac{p^2}{\rho c^2} \quad p^2 = I \rho c$$

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{\rho c I}{p_0^2}$$

$$\rho c = 400 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

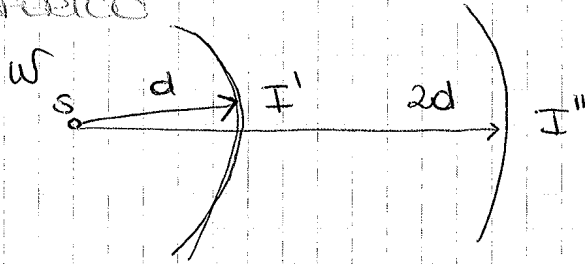
$$p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$$

$$p_0^2 = 400 \cdot 10^{-12} \text{ Pa}^2$$

SOLO in CAMPO LIBERO!

VARIAZIONE di L_I (o L_p) al RADDOPPIARE della DISTANZA

• SPERICO



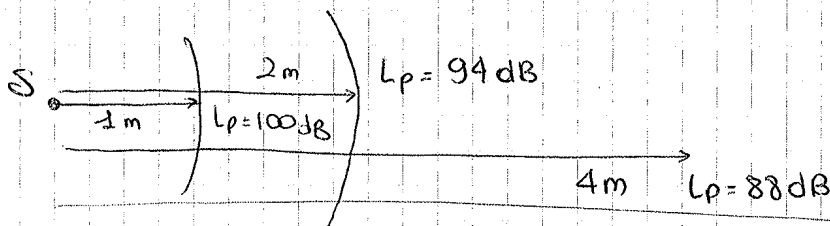
$$L_{I'} = 10 \log \frac{I'}{I_0} = 10 \log \frac{W}{4\pi d^2 I_0}$$

$$L_{I''} = 10 \log \frac{I''}{I_0} = 10 \log \frac{W}{4\pi (2d)^2 I_0}$$

~~$L_{I'} = 10 \log \frac{I'}{I_0}$~~ $\Delta L = L_{I'} - L_{I''} = 10 \log \frac{I'}{I_0} - 10 \log \frac{I''}{I_0} =$
 $= 10 \log \left(\frac{I'}{I_0} \cdot \frac{I_0}{I''} \right) = 10 \log \left(\frac{W}{4\pi d^2} \cdot \frac{4\pi (2d)^2}{W} \right) =$

$= 10 \log 4 \approx \underline{\underline{6,02 \text{ dB}}}$

In campo libero (semi) sferico il livello decresce di $\approx 6 \text{ dB}$ ad ogni raddoppio di distanza



$L_{p_i} = L_{p_{i+1}} - 6$

$Q_0 =$ coefficiente di DIRETTIVITÀ

$$Q_0 = \frac{I}{I_m}$$

medio

dove $I_m = \frac{W}{4\pi d^2}$

Quando $a \rightarrow 1$ ho campo libero anche in una stanza \Rightarrow CAMERA ANECHOICA.

$$L_p = L_I = f(d)$$

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1}{I_0} \left(\frac{W Q_e}{4\pi d^2} \right) =$$

$$= 10 \log \left(\frac{W}{I_0} \cdot Q_e \cdot \frac{1}{4\pi d^2} \right) = 10 \log \frac{W}{I_0} + 10 \log Q_e - 10 \log(4\pi d^2)$$

\downarrow
 10^{-12} W/m^2

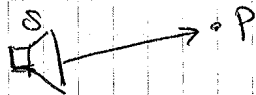
$$\Rightarrow 10 \log \frac{W}{W_0} = L_w$$

N.B dal punto di vista aritmetico il risultato di $10 \log \frac{W}{I_0} = 10 \log \frac{W}{W_0}$ ma SOLO NUMERICAMENTE!

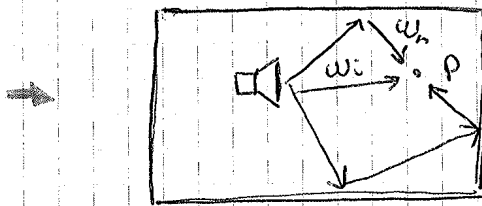
$$L_I = L_p = L_w + 10 \log Q_e - 10 \log(4\pi d)$$

CAMPO RIVERBERATO

- CAMPO LIBERO \rightarrow suono dovuto solo all'onda della sorgente (diretta)



- CAMPO RIVERBERATO \rightarrow infinite di situazioni, suono = segnale del suono diretto + suono riflesso



Cgni riverberazione da origine ad un campo complesso. Se ho molta riflessione la maggiore parte del suono è della componente riflessa, viceversa da quella diretta.

Se ho molte riflessioni potrebbe accadere che in prima fila si sente bene quanto in ultima fila

\rightarrow Nel caso reale ho riflessioni ma non preponderanti

(1) COMPONENTI PREPONDERANTI

I



(lo percepisco L_p)

Talmente tante riflessioni che I netta è NULLA \Rightarrow INTENSITÀ NETTA NULLA

(B) da densità di ENERGIA sonora U è UNIFORME in tutto l'ambiente

Tempo convenzionale di riverberazione τ_{60}

Tempo necessario affinché il livello di pressione sonora si riduca di 60 dB rispetto al valore che esso aveva quando era sorgente era in funzione.

Tempo necessario affinché la densità di energia sonora si riduca di 1 milione di volte al cessare dell'emissione sonora

→ vedo qual'è il tempo dopo il quale cessato il suono esso si riduce di 60 dB, si misura con τ_{60} quindi.

$$U = \frac{p^2}{\rho c^2}$$

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{\left(\frac{p^2}{\rho c^2}\right)}{\left(\frac{p_0^2}{\rho c^2}\right)} = 10 \log \frac{U}{U_0} \quad *$$

$$\frac{U}{U_0} = 10^{-6} \Rightarrow * \quad \boxed{10 \log 10^6 = 60 \text{ dB}}$$

Il τ_{60} si può quantificare attraverso la formula di Sabine:

$$\tau_{60} = 0,163 \frac{V}{A_{TOT}} \quad [s] \quad \text{COSTANTE DIMENSIONATA}$$

A_{TOT} = potere fonoassorbente del locale a UNITÀ di fonoassorbimento del locale

$$A_{TOT} = [m^2] \quad V = [m^3]$$

↳ parametro sintetico che mi permette di caratterizzare la capacità del locale di assorbire onde sonore

$$A_{TOT} = \sum_{i=1}^n a_i S_i$$

(N.B.) Non ho considerato gli oggetti che ci sono dentro!

- n = n superfici che circondano l'ambiente
- S_i = superficie $[m^2]$
- a_i = coeff. di assorbimento apparente $[-]$

Gli arredi contribuiscono ad assorbire il suono \Rightarrow devo aggiungere il loro contributo ma non posso cominciare con la stessa tecnica di A_{TOT} perché devo calcolare ogni oggetto? (persone, tappeto, banchi ...) Parlando di oggetti e di frizione definire la superficie degli oggetti!

$$A_{TOT} = \sum_{i=1}^n a_i S_i + \sum N_j \cdot A_j$$

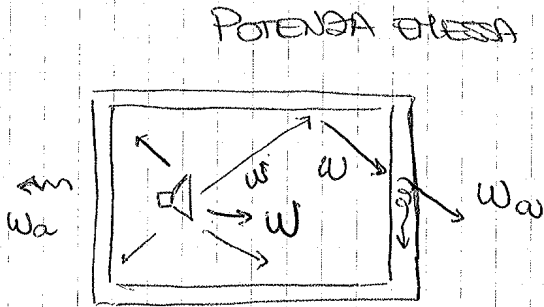
N_j = n° oggetti
 A_j = area oggetti

DIMOSTRAZIONE FORMULA di SABINE

30/10/2013

Applica il principio di conservazione dell'energia

Spazio chiuso corrispondente che emette ad una certa potenza, la quale incontra le superfici acustiche



POTENZA UGUA → POTENZA INCIDENTE

in parte
 ↓
 RIFLESSA r
 ↓
 trasmessa + assorbita
 t + a' = 1

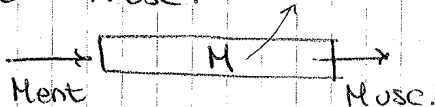
$W_{ent} = W_{usc}$

potenza entrante = pot. uscente

alla MASSA...

• REGIME STAZIONARIO! M è costante nel tempo

$M_{ent} = M_{usc}$



(per es acqua attraverso un tubo)

REGIME TRANSITORIO / DINAMICO

Palloncini con acqua



varia nel tempo

→ aumenta

Il principio non funziona perché è un principio semplificato

CASO IDEALE (raro in natura)

$M_{ent} = M_{usc}$

funziona SOLO in REGIME STAZIONARIO

condizioni del sistema tali che le grandezze sono costanti indipendentemente dal tempo.

Tutte le grandezze che caratterizzano il fenomeno sono costanti nel tempo

Fenomeni reali → le grandezze cambiano (almeno una) nel tempo

REGIME TRANSITORIO

una o più grandezze che caratterizzano il fenomeno variano nel tempo.

$M_{ent} = M_{usc}$ ⇔ REGIME STAZIONARIO

perché valga anche nel regime transitorio devo introdurre il concetto di variazione di grandezza nel tempo ⇒ derivata della grandezza che varia

$M_{ent} - M_{usc} = \frac{dM}{dt}$ REGIME TRANSITORIO

⇒ Nella CODA SONORA ←

differenza tra ciò che entra e esce = variazione nel tempo di ciò che resta