



*Università degli studi di Bologna*  
*Facoltà di Ingegneria*

***49498 - Acustica Applicata e  
Illuminotecnica L (A-K)***

PROGRAMMA DEL CORSO  
INTRODUZIONE E SUGGERIMENTI  
SISTEMA INTERNAZIONALE

Docente: Paolo Guidorzi

Rev. 9 gennaio 2008



Università degli studi di Bologna

49498 - ACUSTICA APPLICATA E  
ILLUMINOTECNICA L (A-K)  
Ing. Paolo Guidorzi

## ***Programma del corso***

Pag. 2

### **1. Acustica fisica**

La pressione acustica. Onde acustiche nei mezzi elastici. Cenni sull'equazione delle onde. La velocità del suono. Generazione dell'onda sonora. La lunghezza d'onda. Tipi di onde acustiche. Pressione efficace. Potenza, Intensità e Impedenza.

### **2. Livelli sonori, definizione di decibel**

La scala dei decibel. Somma e sottrazione di livelli in dB. Livelli di potenza, intensità e densità. Misura della potenza sonora. Integrazione esponenziale e lineare: il Leq e il SEL.

### **3. Analisi in Frequenza. Il sistema uditivo umano**

Analisi in frequenza. Filtri di 1/1 di ottava e 1/3 di ottava. Bande normalizzate IEC1260. Esempi di suoni e spettri. Il sistema uditivo umano. Curve isofoniche, pesatura "A". Pesatura e filtri nel fonometro. Descrittori acustici pesati.

(continua →)

## *Programma del corso*

Pag. 3

### **4. Microfoni e fonometri. Misura dell'intensità sonora**

Il fonometro. Il microfono a condensatore. Misura dell'intensità acustica. La trasformata di Fourier. Il prodotto di convoluzione. Delta di Dirac. Sistemi lineari-stazionari. Risposta all'impulso e risposta in frequenza.

### **5. Rumore in ambiente esterno**

La propagazione in campo aperto. Sorgente puntiforme, lineare e piana. La direttività della sorgente. Attenuazioni aggiuntive. Assorbimento dovuto all'aria. Effetto del suolo. La diffrazione. Relazione di Maekawa. Gradiente di temperatura e vento.

### **6. Assorbimento e trasmissione del suono**

Il coefficiente di assorbimento acustico apparente. Materiali fonoassorbenti. Materiali fonoassorbenti porosi. Il risonatore di Helmholtz. I pannelli forati. I pannelli vibranti. Misura del coefficiente di assorbimento con vari metodi. Misura nel tubo a onde stazionarie. Misura in camera riverberante. Misura con metodo a riflessione. Il potere fonoisolante. La legge di massa.

(continua →)

## *Programma del corso*

Pag. 4

Deviazioni dalla legge di massa. La frequenza di risonanza. La frequenza critica. Risonanza di una cavità. Pareti doppie. Misura in laboratorio e in opera del potere fonoisolante. Pareti composte, elementi in parallelo. Livello di rumore da calpestio.

### **7. Acustica degli ambienti chiusi**

Formazione del campo acustico riverberante. La coda sonora. Il tempo di riverberazione. La distanza critica. La formula di Sabine. La formula di Eyring. La formula di Millington-Sette. Correzione per l'assorbimento dell'aria. Il campo riverberante. Il campo semi-riverberante. La qualità delle sale. Parametri acustici (ISO 3382). Modi normali di vibrazione.

### **8. Cenni di illuminotecnica**

La propagazione della luce. Le grandezze fotometriche. Il flusso luminoso. L'intensità luminosa. La luminanza. L'illuminamento. La radianza. Superfici isotrope e lambertiane.

## Course content

### 1. *Physical acoustics*

The sound phenomenon. Main acoustics quantities. Speed of sound through an elastic medium. Plane, spherical, cylindrical, stationary waves.

### 2. *Sound levels, decibel*

Decibel scale. Sum and subtraction of dB levels. Power, intensity and sound density levels. Sound power measurement. Leq, SEL.

### 3. *Frequency analysis. The human hearing system*

Frequency analysis. 1/1, 1/3 octave filters. IEC1260 bands. The human hearing system. Equal loudness contour curves. A weighting.

### 4. *Microphones e Sound Level Meters. Sound Intensity Measurement*

The Sound Level Meter. The condenser microphone. Sound Intensity Measurement. The Fourier transform. Convolution. The delta of Dirac. Linear Stationary Systems. Impulse response and Frequency Response.

(continue →)

## Course content

### 5. *Sound in free space*

Sound propagation in free space. Sound sources. Source directivity. Air absorption. Acoustic barriers. Maekawa method.

### 6. *Sound absorption and transmission*

Absorption coefficient. Sound absorbing materials. Porous materials. Helmholtz resonator. Perforated planes. Sound absorption measurement: standing wave tube, reverberant chamber, reflection method. Sound insulation index. Mass law.

### 7. *Building acoustics.*

Room acoustics theory. Sabine, Norris-Eyring and Millington-Sette reverberation time formulas. ISO 3382 acoustical parameters.

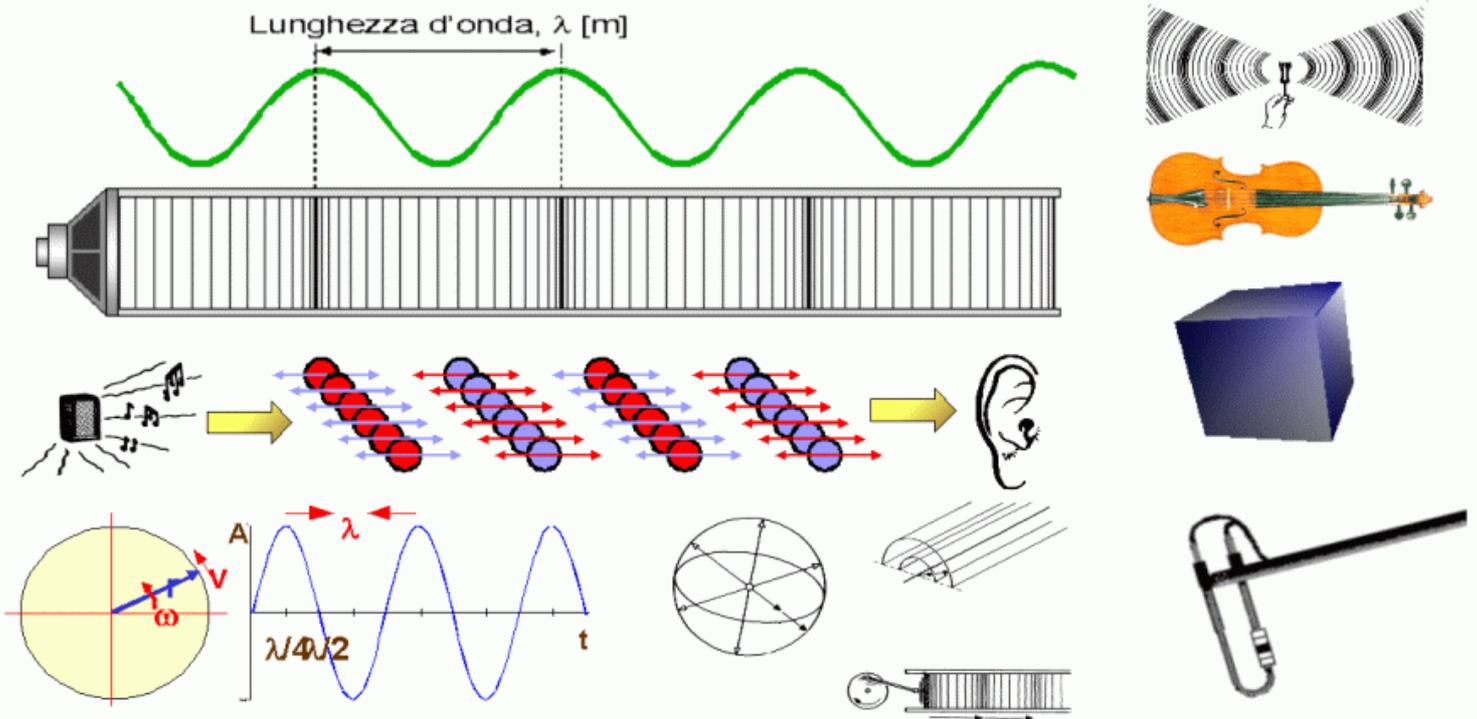
### 8. *Lighting technique traces*

Photometry and the human eye. Luminous flux. Luminous intensity. Luminance. Illuminance. Luminous emittance.

# Obiettivi del corso

## 1. Acustica fisica

La pressione acustica. Onde acustiche nei mezzi elastici. Cenni sull'equazione delle onde. La velocità del suono. Generazione dell'onda sonora. La lunghezza d'onda. Tipi di onde acustiche. Pressione efficace. Potenza, Intensità e Impedenza.

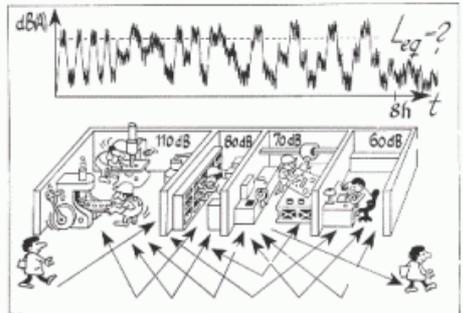
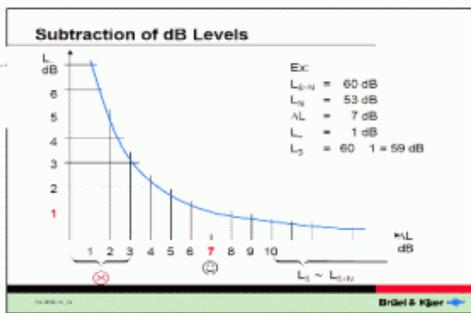
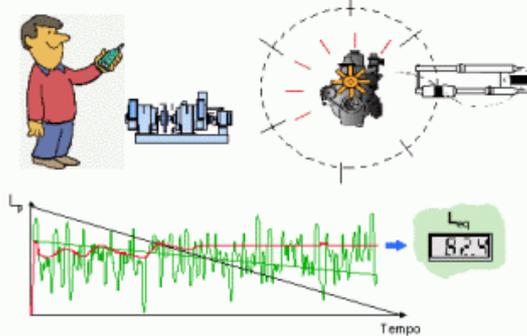
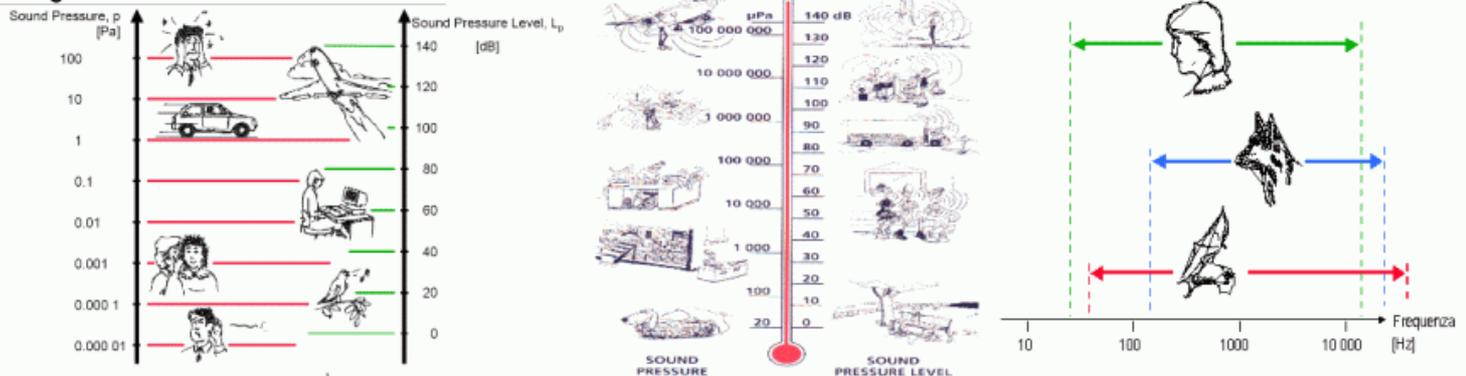


# Obiettivi del corso

## 2. Livelli sonori, definizione di decibel

La scala dei decibel. Somma e sottrazione di livelli in dB. Livelli di potenza, intensità e densità. Misura della potenza sonora. Integrazione esponenziale e lineare: il Leq e il SEL.

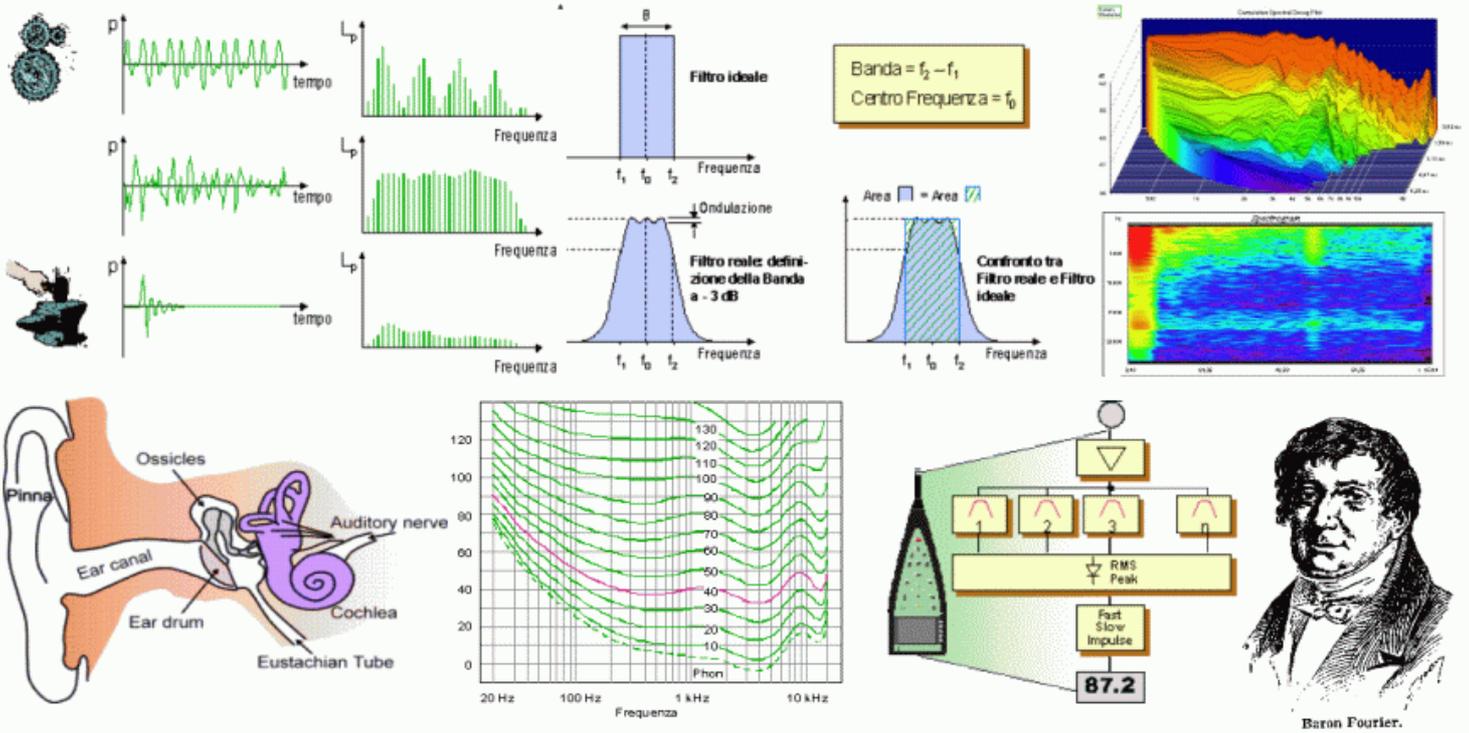
### Range of Sound Pressure Levels



# Obiettivi del corso

## 3. Analisi in Frequenza. Il sistema uditivo umano

Analisi in frequenza. Filtri di 1/1 di ottava e 1/3 di ottava. Bande normalizzate IEC1260. Esempi di suoni e spettri. Il sistema uditivo umano. Curve isofoniche, pesatura "A". Pesatura e filtri nel fonometro. Descrittori acustici pesati.

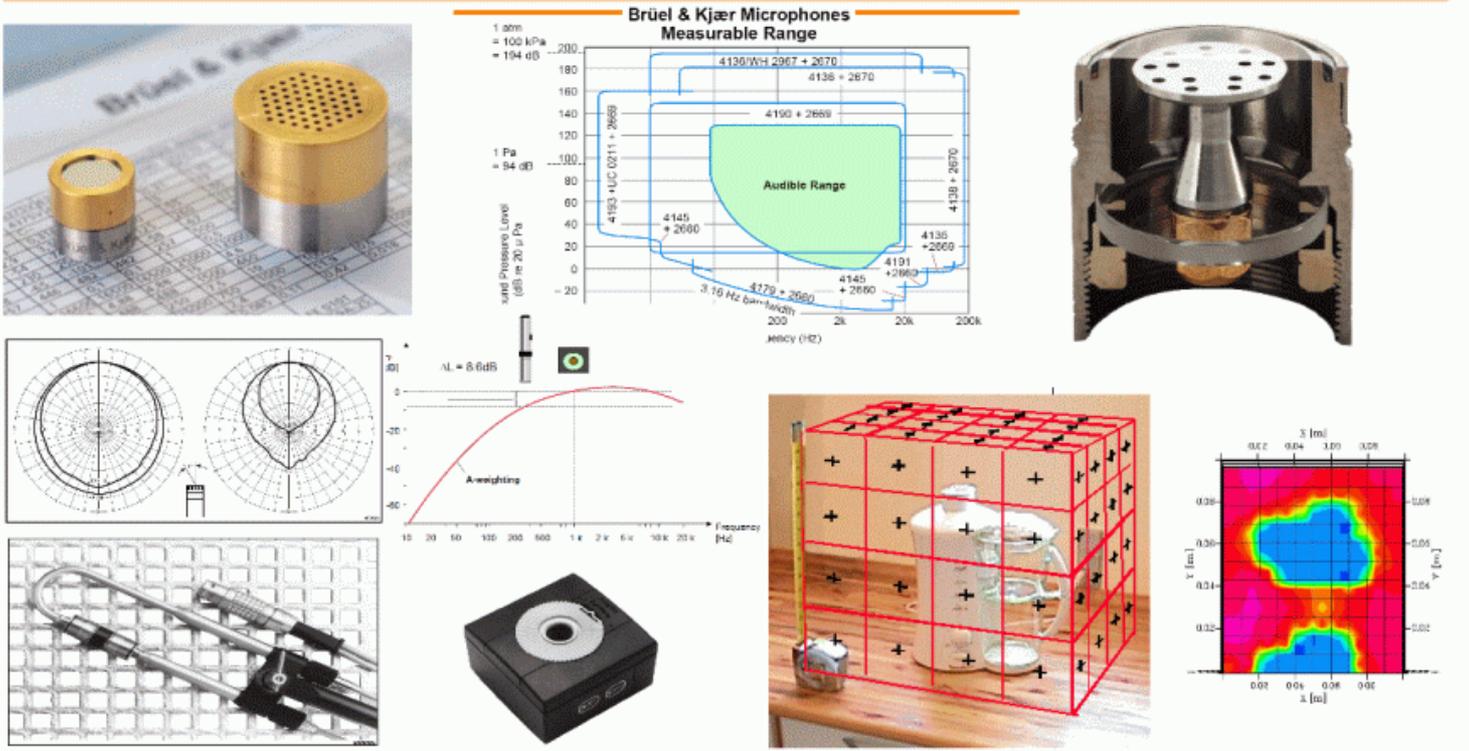


Baron Fourier.

# Obiettivi del corso

## 4. Microfoni e fonometri. Misura dell'intensita' sonora

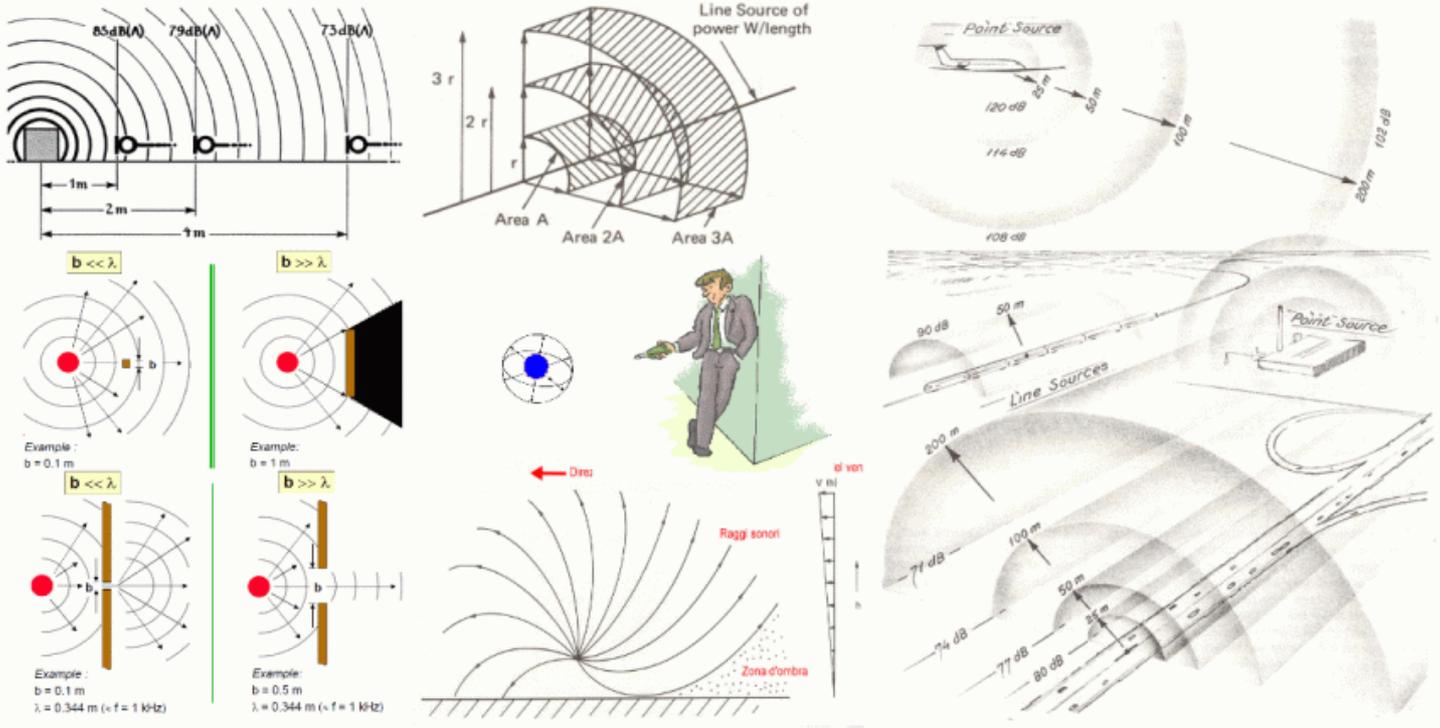
Il fonometro. Il microfono a condensatore. Misura dell'intensita' acustica. La trasformata di Fourier. Il prodotto di convoluzione. Delta di Dirac. Sistemi lineari-stazionari. Risposta all'impulso e risposta in frequenza.



# Obiettivi del corso

## 5. Rumore in ambiente esterno

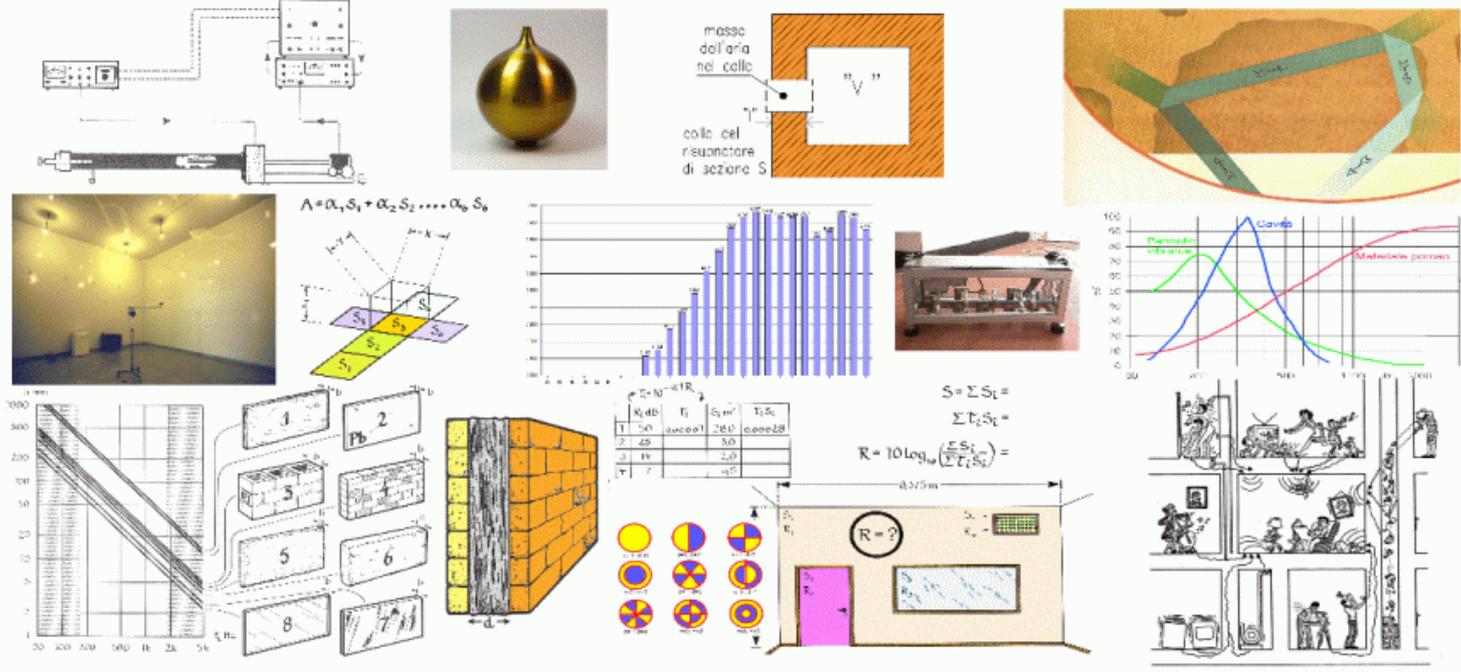
La propagazione in campo aperto. Sorgente puntiforme, lineare e piana. La direttività della sorgente. Attenuazioni aggiuntive. Assorbimento dovuto all'aria. Effetto del suolo. La diffrazione. Relazione di Maekawa. Gradiente di temperatura e vento.



# Obiettivi del corso

## 6. Assorbimento e trasmissione del suono

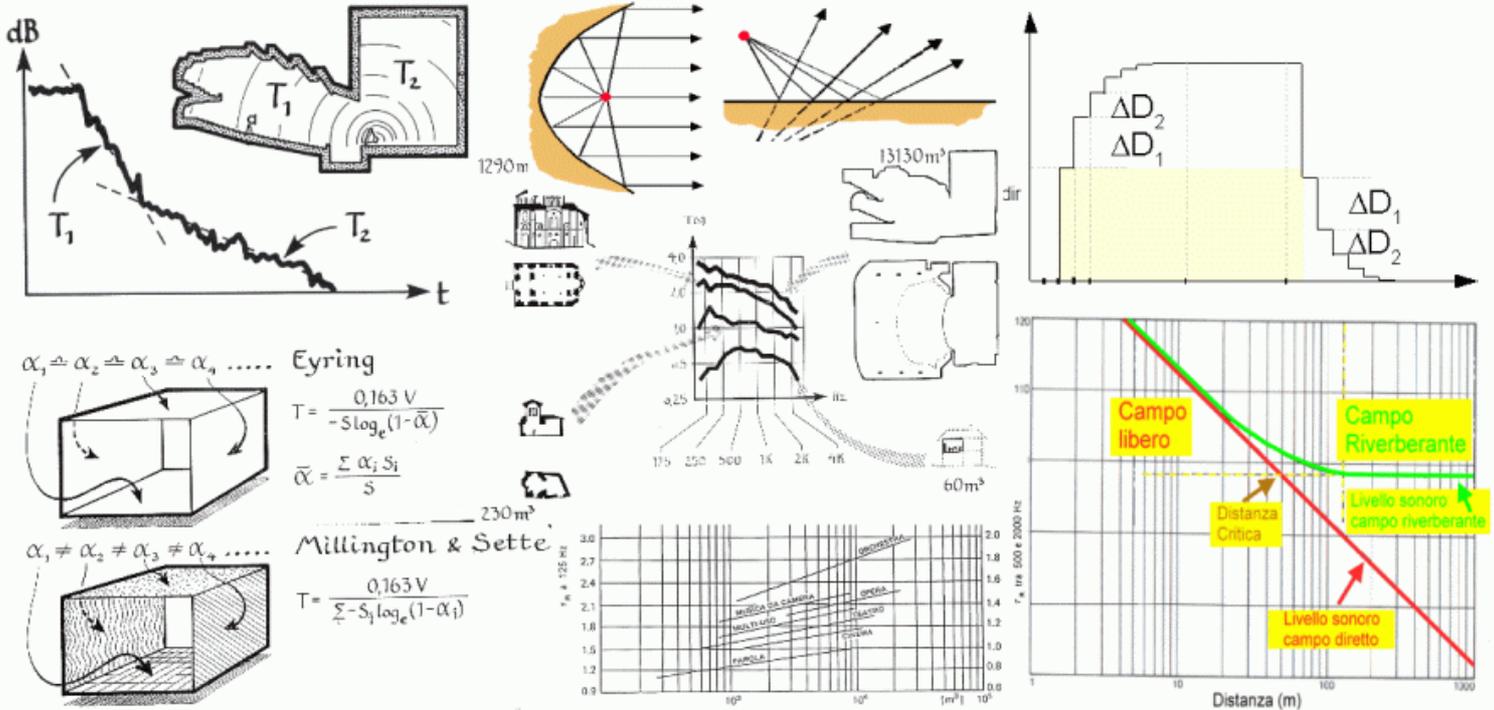
Il coefficiente di assorbimento acustico apparente. Materiali fonoassorbenti. Materiali fonoassorbenti porosi. Il risonatore di Helmholtz. I pannelli forati. I pannelli vibranti. Misura del coefficiente di assorbimento con vari metodi. Misura nel tubo a onde stazionarie. Misura in camera riverberante. Misura con metodo a riflessione. Il potere fonoisolante. La legge di massa. Deviazioni dalla legge di massa. La frequenza di risonanza. La frequenza critica. Risonanza di una cavità. Pareti doppie. Misura in laboratorio e in opera del potere fonoisolante. Pareti composte, elementi in parallelo. Livello di rumore da calpestio.



# Obiettivi del corso

## 7. Acustica degli ambienti chiusi

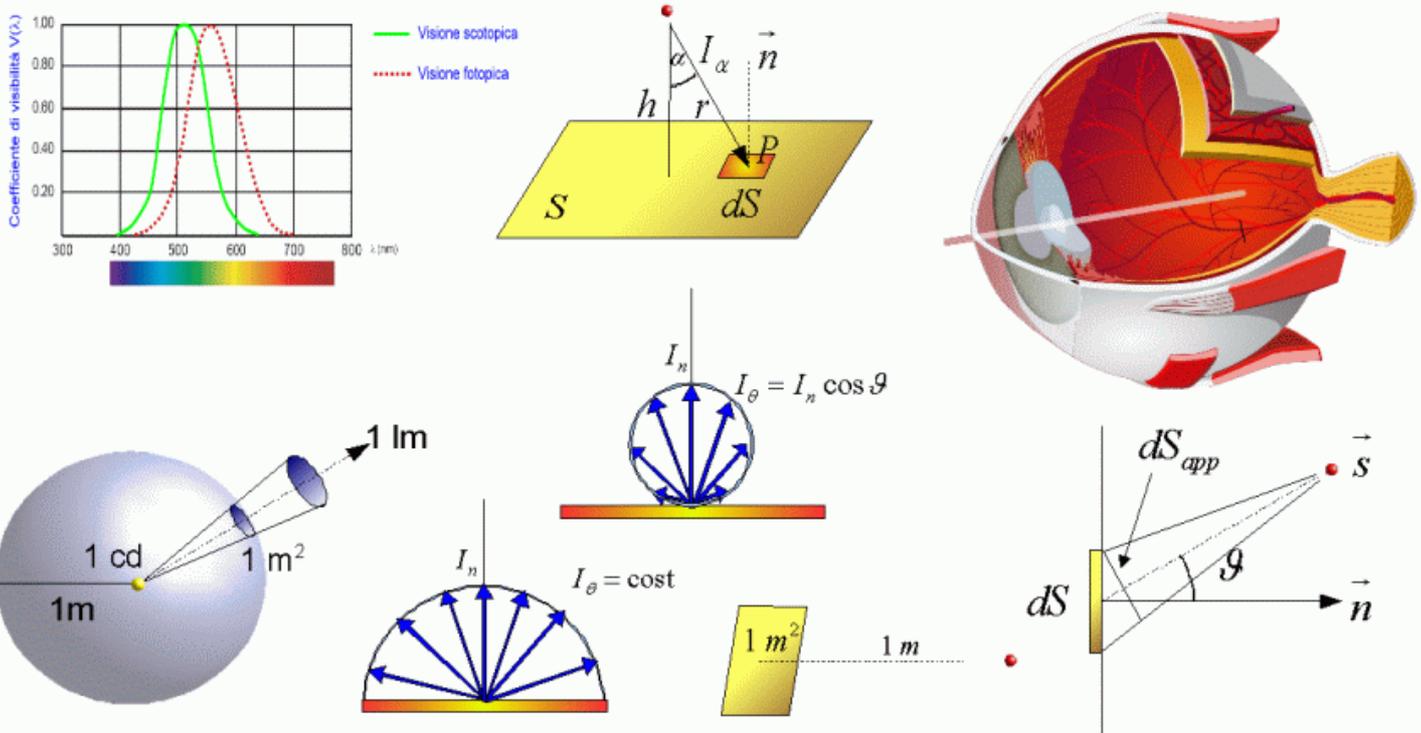
Formazione del campo acustico riverberante. La coda sonora. Il tempo di riverberazione. La distanza critica. La formula di Sabine. La formula di Eyring. La formula di Millington-Sette. Correzione per l'assorbimento dell'aria. Il campo riverberante. Il campo semi-riverberante. La qualità delle sale. Parametri acustici (ISO 3382). Modi normali di vibrazione.



# Obiettivi del corso

## 8. Cenni di illuminotecnica

La propagazione della luce. Le grandezze fotometriche. Il flusso luminoso. L'intensità luminosa. La luminanza. L'illuminamento. La radianza. Superfici isotrope e lambertiane.



# Introduzione

Pag. 15

## COME STUDIARE E COME NON STUDIARE

“Studio”

L'apprendimento di una materia consiste nell'assimilazione di un complesso di concetti e nozioni. I **concetti complessi** vanno scomposti nei loro **elementi costitutivi**: solo in questo modo la mente può comprenderli. Successivamente questi elementi saranno “riasmblati” dalla nostra mente e il concetto complesso sarà **assimilato**.

La mente ha bisogno di tempo perchè la nuova nozione appresa sia completamente assimilata e si stabiliscano legami con altre nozioni conosciute.

Cosa **NON** fare:

- cercare di imparare a memoria e senza capire
- studiare in fretta

# Introduzione

Pag. 18

## ANALISI



SPINACI

CAROTA

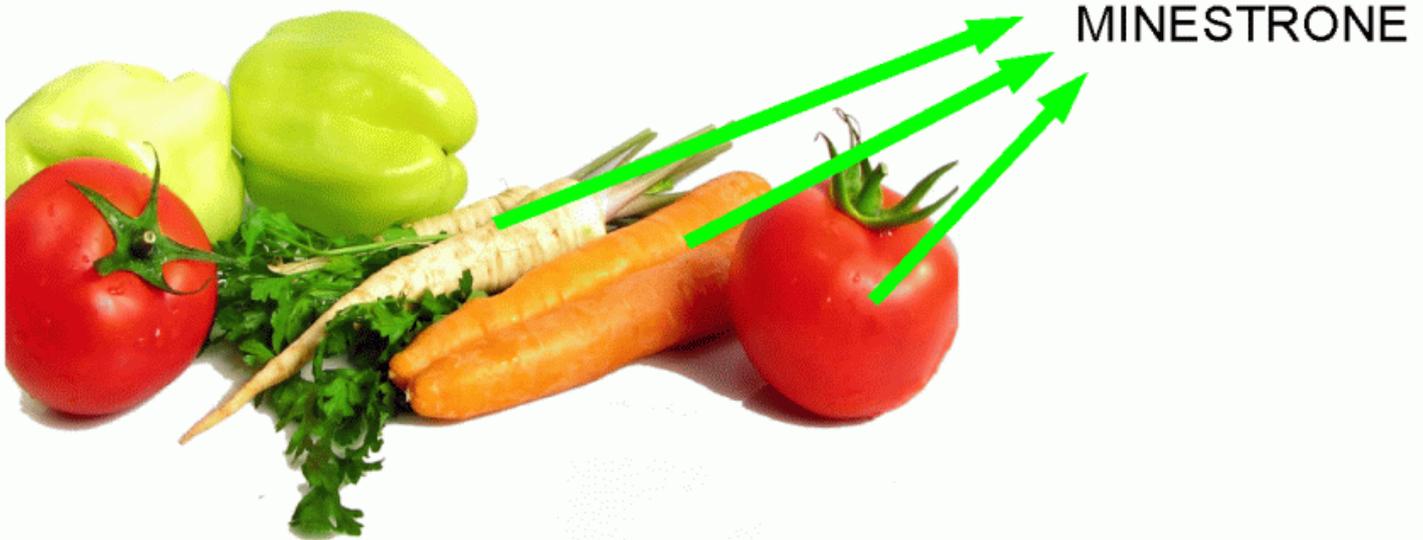
POMODORO

SEDANO

# Introduzione

Pag. 17

## SINTESI



Capire un concetto complesso significa trovare le connessioni tra i suoi "pezzi", ovvero trovare gli ingredienti del minestrone, e successivamente capire la "ricetta" che li tiene insieme. **ANALISI ⇒ COMPrensIONE ⇒ SINTESI**

# Introduzione

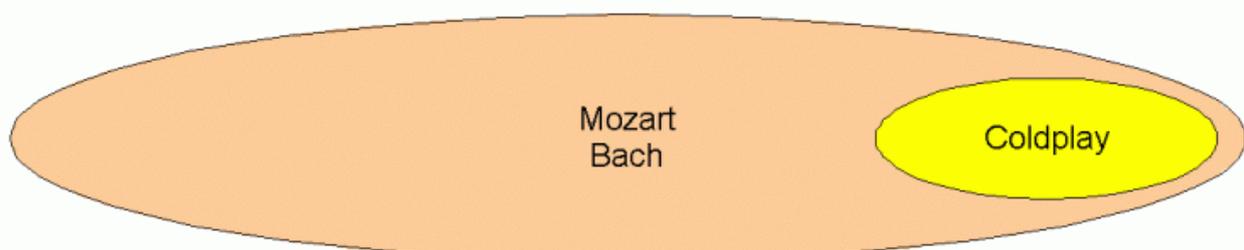
Pag. 18

## LA COMUNICAZIONE E IL RENDIMENTO

Occorre **capire** i concetti spiegati a lezione *giorno per giorno!* I concetti spiegati nelle lezioni successive non potranno essere capiti senza il bagaglio di nozioni spiegate precedentemente.

## ESEMPIO

- Se una persona vissuta ai tempi di Mozart o Bach avesse ascoltato una canzone dei Coldplay, l'avrebbe apprezzata?
- Un nostro contemporaneo, amante dei Coldplay, può facilmente apprezzare le opere di Mozart o Bach?



# Introduzione

Pag. 19

## ALTRO ESEMPIO

- Una persona dall'orecchio *non allenato* apprezzerà un brano di musica dodecafonica o la troverà noiosa e insulsa?
- Un grande compositore apprezzerà il motivetto Jingle Bells o lo troverà noioso e insulso?



In modo più formale:

L'**informazione** è il messaggio trasmesso (da una composizione artistica ma anche in una lezione universitaria)

Detta **I l'informazione** in una **comunicazione C**:

La quantità di informazione **I** ricevuta dipende anche dalla condizione di chi la riceve, e specialmente dall'insieme di conoscenze acquisite dal ricevitore. Questo insieme di conoscenze si chiama **thesaurus Th**. Esso condiziona la capacità di una persona di capire una comunicazione, traendone nuove informazioni.

# Introduzione

Pag. 20

Si può scrivere

$$I = I(C, Th)$$

per indicare che la quantità di informazioni ricevute **I** dipende dalla comunicazione **C** e dal thesaurus **Th**.

Per ogni comunicazione **C**, ci sono 2 casi estremi in cui l'informazione ricevuta **I** è nulla:

- quando **Th** è troppo povero e non permette di capire **C**
- quando **Th** è troppo ricco e **C** era già conosciuto

Per esempio se **C** è un libro di calcolo infinitesimale: un bambino non ne trarrà nessuna informazione, uno studente di matematica ne ricaverà il massimo di informazione e un professore di analisi non ne trarrà nessuna nuova informazione.

Lo stesso si può dire sulla comprensione della musica: l'*informazione artistica* è massima quando la composizione è differente ma non troppo dagli schemi che l'ascoltatore si aspetta.

## Introduzione

Pag. 21

Tutto ciò per ribadire il concetto che se non si capiscono i concetti delle lezioni precedenti non si capirà nulla delle lezioni successive!

**ATTENZIONE** a non focalizzarsi sulle formule o sulle dimostrazioni! Occorre **capire il concetto** che sta dietro una certa formula.

Se si è capito il concetto, la formula si impara facilmente. Imparare a memoria una formula senza averne capito il significato è solo un'inutile dispendio di energia (e non aiuta per niente a passare l'esame..).

Stesso discorso vale per gli esercizi: per risolvere un esercizio non serve a nulla avere imparato a memoria una certa formula se non si è capito il suo significato e come e quando si applica!



## Introduzione

Pag. 22

Un grande stimolo allo studio è la **curiosità intellettuale** in ciò che si sta apprendendo. La curiosità nasce sia dal desiderio di conoscenza che dallo studio dei fenomeni naturali.

La curiosità nella materia che si sta studiando è una grande alleata e permette di fare molta meno fatica nell'apprendimento.

Una volta che si sono appresi differenti argomenti di una materia, è necessario avere una visione organica e d'insieme e fare collegamenti tra ogni argomento. Solo così si avrà finalmente "capito" tutto l'esame.

Una somma di concetti non legati tra loro non è la stessa cosa di un insieme organico di nozioni organizzate e collegate.

# SISTEMA INTERNAZIONALE

## Grandezze fondamentali del Sistema Internazionale

Grandezza	Unità di misura	Simbolo
Intervallo di tempo	secondo	s
Lunghezza	metro	m
Massa	chilogrammo	kg
Temperatura	kelvin	K
Quantità di materia	mole	mol
Intensità di corrente elettrica	ampere	A
Intensità luminosa	candela	cd

- il **secondo** è l'intervallo di tempo che corrisponde a 9192631770 cicli della radiazione corrispondente alla transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'isotopo 133 del cesio
- il **metro** corrisponde alla distanza percorsa nel vuoto dalla luce in  $1 / 299792458$  secondi
- il **kilogrammo** è la massa uguale a quella del campione primario, cilindro di platino-iridio, conservato a Sévres presso il B.I.P.M. (Bureau Internationale Poids et mesures)
- il **Kelvin** è la frazione  $1 / 273,16$  della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua
- la **mole**, è la quantità di materia di un sistema che contiene tante unità elementari quanti sono esattamente gli atomi contenuti in 0,012 kg di carbonio 12
- l'**Ampere** è l'intensità di corrente che, se mantenuta in due conduttori paralleli, rettilinei, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile rispetto alla lunghezza e alla distanza di un metro l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra i conduttori una forza eguale a  $2 \times 10^{-7}$  N per metro di lunghezza
- la **candela** è l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza  $540 \times 10^{12}$  Hz e la cui intensità energetica in tale direzione è di  $1 / 683$  W/sr

Le notazioni Kg, KW, Kcal, KPa sono errate! Il prefisso *kilo* deve essere scritto con "k" minuscolo

# SISTEMA INTERNAZIONALE

## Alcune grandezze derivate

Grandezza	Unità	Simbolo	Conversione
Frequenza	hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$
Forza	newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg } 1 \frac{m}{s^2}$
Pressione	pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$
Lavoro, calore, energia	joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N } 1 \text{ m}$
Potenza	watt	W	$1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$
Temperatura Celsius	grado Celsius	°C	$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$

L'**energia** è definita come la capacità di un sistema di compiere lavoro.

Se  $s = s_0 \cos(\omega t)$ , la **frequenza**  $f$  del fenomeno periodico è l'inverso del suo periodo  $T$ :  $f = 1/T$  (Hz).  
 $\omega$  è la velocità angolare (rad/s). Vale la relazione  $f = \omega / 2\pi$  (Hz).

La **forza** unitaria di 1 N è la forza che imprime alla massa di 1 kg un'accelerazione di  $1 \frac{m}{s^2}$

La **pressione** unitaria di 1 Pa è la pressione esercitata su una superficie di  $1 \text{ m}^2$  dalla forza di 1 N, perpendicolare alla superficie. Pressione atmosferica a livello del mare: 100 kPa.

Un **joule** è il lavoro richiesto per esercitare una forza di 1 N per una distanza di 1 m. Es: lavoro richiesto per sollevare una massa di 102 g (una piccola mela) per un metro, opponendosi alla forza di gravità terrestre.  
Nota: una massa di 1 kg, in prossimità della superficie terrestre ha una *forza peso* di circa 9,81 N

La **potenza** di 1 W corrisponde al lavoro di 1 J svolto nell'intervallo di tempo di 1 s. Un wattora = 3600 joule

# Prefissi

<b>kilo</b>	1.000	<b>k</b>	Mille	$10^3$
<b>mega</b>	1.000.000	<b>M</b>	Un milione	$10^6$
<b>giga</b>	1.000.000.000	<b>G</b>	Un miliardo	$10^9$
<b>tera</b>	1.000.000.000.000	<b>T</b>	Mille miliardi	$10^{12}$
<b>peta</b>	1.000.000.000.000.000	<b>P</b>	Un milione di miliardi	$10^{15}$
<b>exa</b>	1.000.000.000.000.000.000	<b>E</b>	Un miliardo di miliardi	$10^{18}$
<b>zetta</b>	1.000.000.000.000.000.000.000	<b>Z</b>		$10^{21}$
<b>yotta</b>	1.000.000.000.000.000.000.000.000	<b>Y</b>		$10^{24}$

<b>milli</b>	1/1.000	<b>m</b>	Un millesimo	$10^{-3}$
<b>micro</b>	1/1.000.000	<b>μ</b>	Un milionesimo	$10^{-6}$
<b>nano</b>	1/1.000.000.000	<b>n</b>	Un miliardesimo	$10^{-9}$
<b>pico</b>	1/1.000.000.000.000	<b>p</b>	Un millimiliardesimo	$10^{-12}$
<b>femto</b>	1/1.000.000.000.000.000	<b>f</b>		$10^{-15}$
<b>atto</b>	1/1.000.000.000.000.000.000	<b>a</b>		$10^{-18}$
<b>zepto</b>	1/1.000.000.000.000.000.000.000	<b>z</b>		$10^{-21}$
<b>yocto</b>	1/1.000.000.000.000.000.000.000.000	<b>y</b>		$10^{-24}$

# Lettere greche

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>	<b>e</b>	<b>f</b>	<b>g</b>	<b>h</b>	<b>i</b>	<b>k</b>	<b>l</b>	<b>m</b>
α	β	χ	δ	ε	φ	γ	η	ι	κ	λ	μ
alfa	beta	chi	delta	epsilon	phi	gamma	eta	iota	kappa	lambda	mu
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>K</b>	<b>L</b>	<b>M</b>
<b>A</b>	<b>B</b>	<b>X</b>	<b>Δ</b>	<b>E</b>	<b>Φ</b>	<b>Γ</b>	<b>H</b>	<b>I</b>	<b>K</b>	<b>Λ</b>	<b>M</b>

<b>n</b>	<b>o</b>	<b>p</b>	<b>q</b>	<b>r</b>	<b>s</b>	<b>t</b>	<b>u</b>	<b>w</b>	<b>x</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
ν	ο	π	θ	ρ	σ	τ	υ	ω	ξ	ψ	ζ
nu	omikron	pi	theta	rho	sigma	tau	upsilon	omega	xi	psi	zeta
<b>N</b>	<b>O</b>	<b>P</b>	<b>Q</b>	<b>R</b>	<b>S</b>	<b>T</b>	<b>U</b>	<b>W</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
<b>N</b>	<b>O</b>	<b>Π</b>	<b>Θ</b>	<b>P</b>	<b>Σ</b>	<b>T</b>	<b>Υ</b>	<b>Ω</b>	<b>Ξ</b>	<b>Ψ</b>	<b>Z</b>