

Corso di Formazione Professionale

Tecnico in Ingegnerizzazione del Suono

Donato Masci

- email: donatomasci@danzacosmica.com
- web: www.danzacosmica.com
- cellulare: +39.335.8233579
- appunti e materiale:
www.danzacosmicastudio.com/didattica/

Elettronica e Fisica del Suono

- richiami di matematica, fisica (4 ore)
- acustica (64 ore)
- nozioni di base di elettromagn. (4 ore)
- fondamenti di elettronica (58 ore)

cap I: Il suono e la percezione uditiva

- il suono (definizione)
- i fenomeni vibratorii e l'oscillatore pendolare
- il ritmo
- il metronomo

cap 2: La produzione e la percezione del suono

- campo di udibilità e misura della sensazione uditiva
- generalità sulle vibrazioni delle sorgenti sonore
- le vibrazioni delle corde: onde stazionarie
- vibrazioni armoniche (armonici) - (onde semplici e complesse)
- inviluppo
- le vibrazioni delle canne sonore
- strumenti a percussione
- la voce umana
- legge di Young
- direzione e spazio

cap 3: Caratteri distintivi del suono

- altezza
- intensità
- timbro
- effetto dei transitori di attacco e rilascio sul timbro

cap 4: Trasmissione di energia per onde

- propagazione del suono
- velocità del suono
- riflessione onde sonore
- eco
- riverberazione e rimbombo
- oscillazioni forzate
- risonanza
- interferenza
- suoni simultanei e battimenti
- suoni di combinazione
- consonanza e dissonanza

cap 5: Intervalli e scale musicali - la tonalità

- intervalli musicali e la loro misurazione
- scale musicali
- la tonalità
- sul carattere delle tonalità

Testi:

- Manuale della registrazione sonora
Modern recording Techniques
(Huber - Runstein) editore Hoepli Milano
- L'Acustica per il Musicista - Fondamenti
fisici della musica
(Pietro Righini) editore Zanibon
- Manuale di Acustica (editore ITA Hoepli)
The Master Handbook Of Acoustics
(Everest, Alton) (editore ENG McGraw Hill)

Unità di Misura

- Le unità di misura sono uno standard per la misurazione di quantità fisiche. In fisica e in metrologia, è necessaria una definizione chiara e univoca di tali quantità, al fine di garantire l'utilità e la riproducibilità dei risultati sperimentali, che è alla base del metodo scientifico.

Quantità fisica	Simbolo della quantità fisica	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI
lunghezza	l	metro	m
massa	m	chilogrammo	kg
tempo	t	secondo	s
corrente elettrica	I, i	ampere	A
temperatura termodinamica	T	kelvin	K
quantità di sostanza	n	mole	mol
intensità luminosa	I_V	candela	cd

Unità fondamentali

Quantità fisica	Simbolo della quantità	Nome dell'unità SI	Simbolo dell'unità SI	Equivalenza in termini di unità fondamentali SI	
<i>Nomi e simboli speciali</i>					
frequenza	f, ν	hertz	Hz	s^{-1}	
forza	F	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$	
pressione, sollecitazione	p	pascal	Pa	$N \cdot m^{-2}$	$= kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$
energia, lavoro	E	joule	J	$N \cdot m$	$= kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
potenza, flusso radiante	P, W	watt	W	$J \cdot s^{-1}$	$= kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
carica elettrica	q	coulomb	C	$A \cdot s$	
potenziale elettrico, forza elettromotrice	v	volt	V	$J \cdot C^{-1}$	$= m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
resistenza elettrica	R	ohm	Ω	$V \cdot A^{-1}$	$= m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
conduttanza elettrica	G	siemens	S	$A \cdot V^{-1}$	$= s^3 \cdot A^2 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}$
capacità elettrica	C	farad	F	$C \cdot V^{-1}$	$= s^4 \cdot A^2 \cdot m^{-2} \cdot kg^{-1}$
induzione magnetica	B	tesla	T	$V \cdot s \cdot m^{-2}$	$= kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
flusso magnetico	$\Phi(B)$	weber	Wb	$V \cdot s$	$= m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
induttanza	L	henry	H	$V \cdot s \cdot A^{-1}$	$= m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
temperatura	T	grado Celsius	$^{\circ}C$	$K^{[1]}$	
angolo piano ^[2]	ϕ, θ	radiante	rad	1	$= m \cdot m^{-1}$
angolo solido ^[2]	Ω	steradiano	sr	1	$= m^2 \cdot m^{-2}$
flusso luminoso		lumen	lm	$cd \cdot sr$	
illuminamento		lux	lx	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$	
rifrazione	D	diottria	D	m^{-1}	

unità derivate

Prefissi del Sistema Internazionale

10^n	Prefisso	Simbolo	Nome	Equivalente decimale
10^{24}	yotta	Y	Quadrillione	1 000 000 000 000 000 000 000 000
10^{21}	zetta	Z	Triliardo	1 000 000 000 000 000 000 000
10^{18}	exa	E	Trillione	1 000 000 000 000 000 000
10^{15}	peta	P	Billardo	1 000 000 000 000 000
10^{12}	tera	T	Bilione	1 000 000 000 000
10^9	giga	G	Millardo	1 000 000 000
10^6	mega	M	Millione	1 000 000
10^3	kilo o chilo	k	Mille	1 000
10^2	etto	h	Cento	100
10	deca	da	Dieci	10
10^{-1}	deci	d	Decimo	0,1
10^{-2}	centi	c	Centesimo	0,01
10^{-3}	milli	m	Millesimo	0,001
10^{-6}	micro	μ	Millionesimo	0,000 001
10^{-9}	nano	n	Millardesimo	0,000 000 001
10^{-12}	pico	p	Bilionesimo	0,000 000 000 001
10^{-15}	femto	f	Billardesimo	0,000 000 000 000 001
10^{-18}	atto	a	Trillionesimo	0,000 000 000 000 000 001
10^{-21}	zepto	z	Trillardesimo	0,000 000 000 000 000 000 001
10^{-24}	yocto	y	Quadrilionesimo	0,000 000 000 000 000 000 000 001

Lunghezza

Misura SCS	Equivalente SCS	Equivalente SI
Pollice (inch)	1/12 piede	2,54 cm
Piede (foot)	12 pollici o 1/3 iarda	0,3048 m
Iarda (yard)	36 pollici = 3 piedi	0,9144 m
rod	16 1/2 piedi = 5 1/2 iarde	5,0292 metri
furlong	220 iarda o 1/8 miglio	0,2012 km
Miglio terrestre (mile)	5.280 piedi = 1.760 iarde	1,6093 km

Massa

Misura SCS	Equivalente SCS	Equivalente SI
Grain	1/7000 pound	64,799 mg
Dram	1/16 oncia	1,7718 g
Oncia (ounce)	16 drams	28,349523 g
Libbra (pound)	16 once	453,59237 g
Ton (short)	2.000 pound	907,18 kg
Ton (long)	2.240 pound	1.016,0 kg

Volume

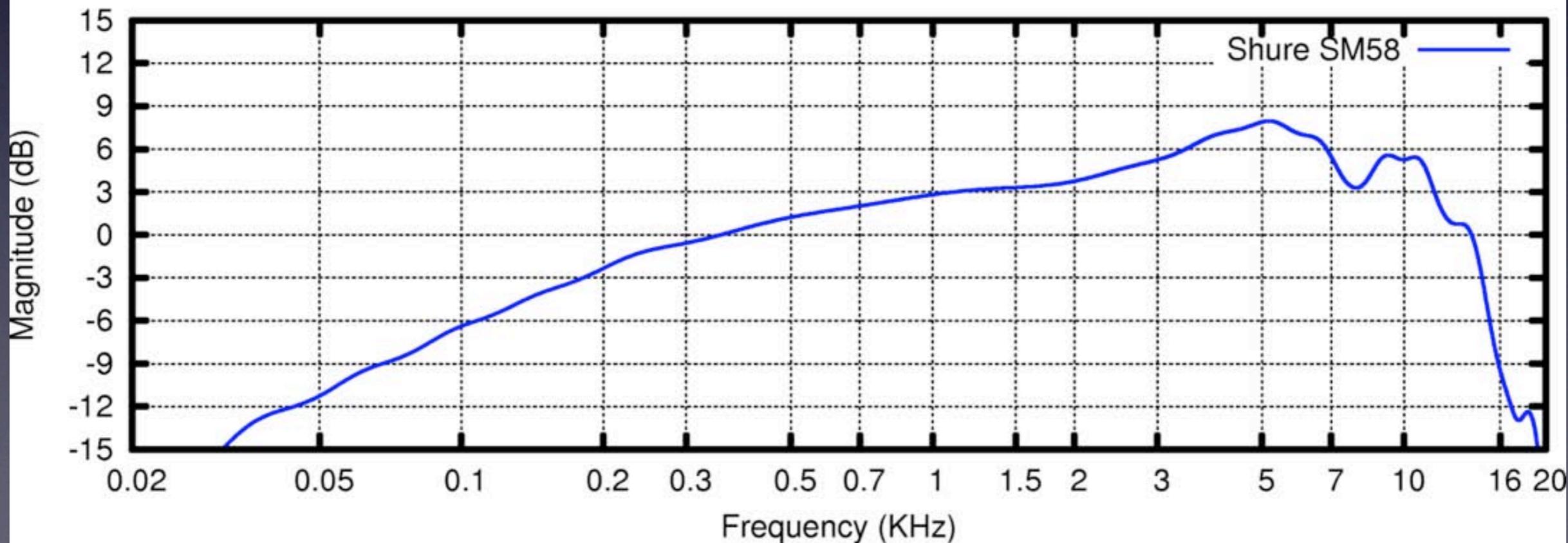
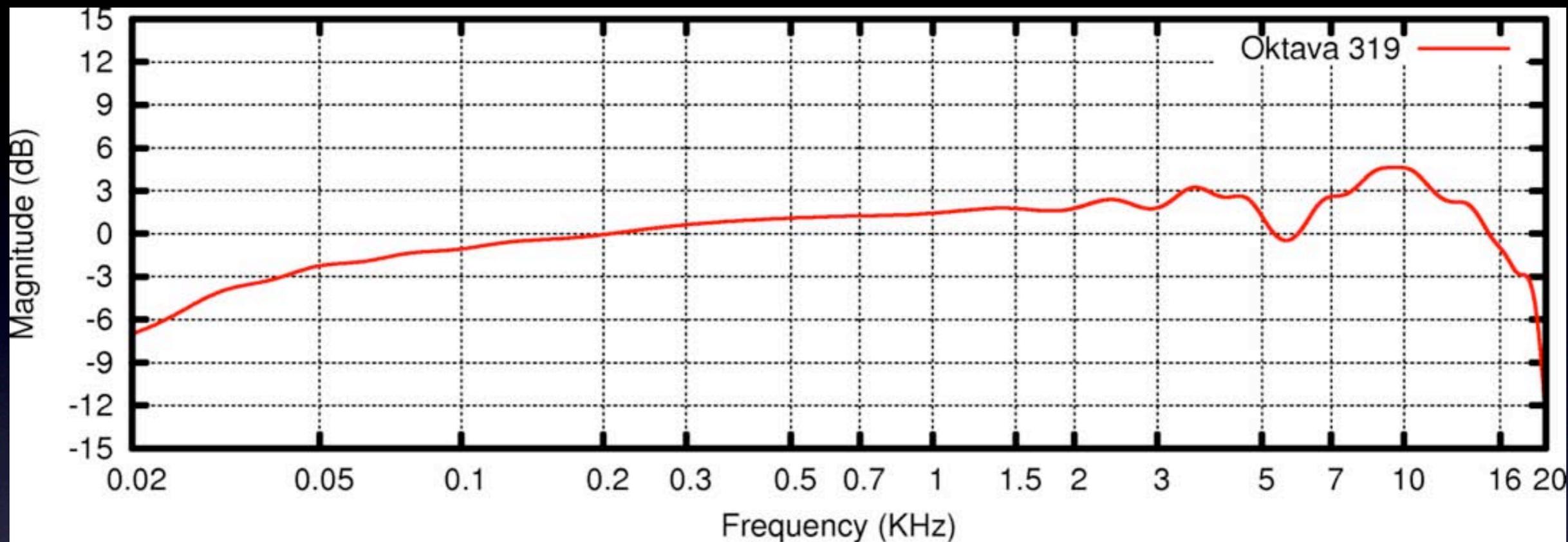
Misura SCS	Equivalente SCS	Equivalente SI
Oncia fluida (fluid ounce)	1/20 pinta	28,4 ml ⁽¹⁾
Gill	4 once	142 ml
Pinta (pint)	20 once fluide	568 ml
Quarto (quart)	2 pinte = 1/4 gallone	1,10122 l
Gallone (gallon)	160 once o 8 pinte	3,785306 l ⁽²⁾

Temperatura

Celsius	Fahrenheit	$^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32$
Fahrenheit	Celsius	$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) : (1,8)$

Sistema Statunitense

Scala Logaritmica



definizione logaritmo

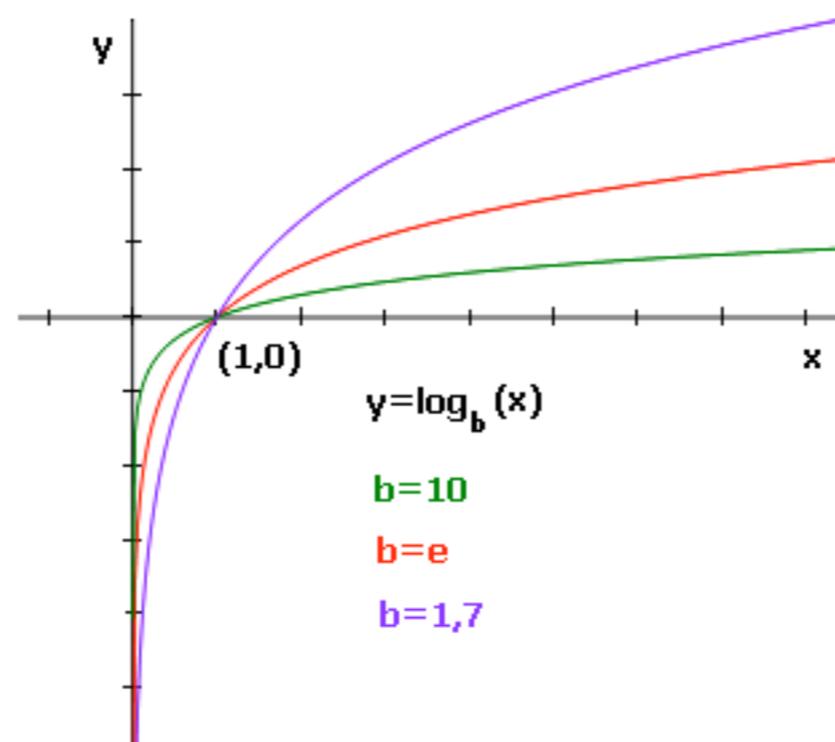
La funzione logaritmo in base a è la funzione inversa rispetto alla funzione esponenziale in base a .

Si dice, cioè, logaritmo in base a di un numero x l'esponente da dare ad a per ottenere x (x viene chiamato argomento del logaritmo).

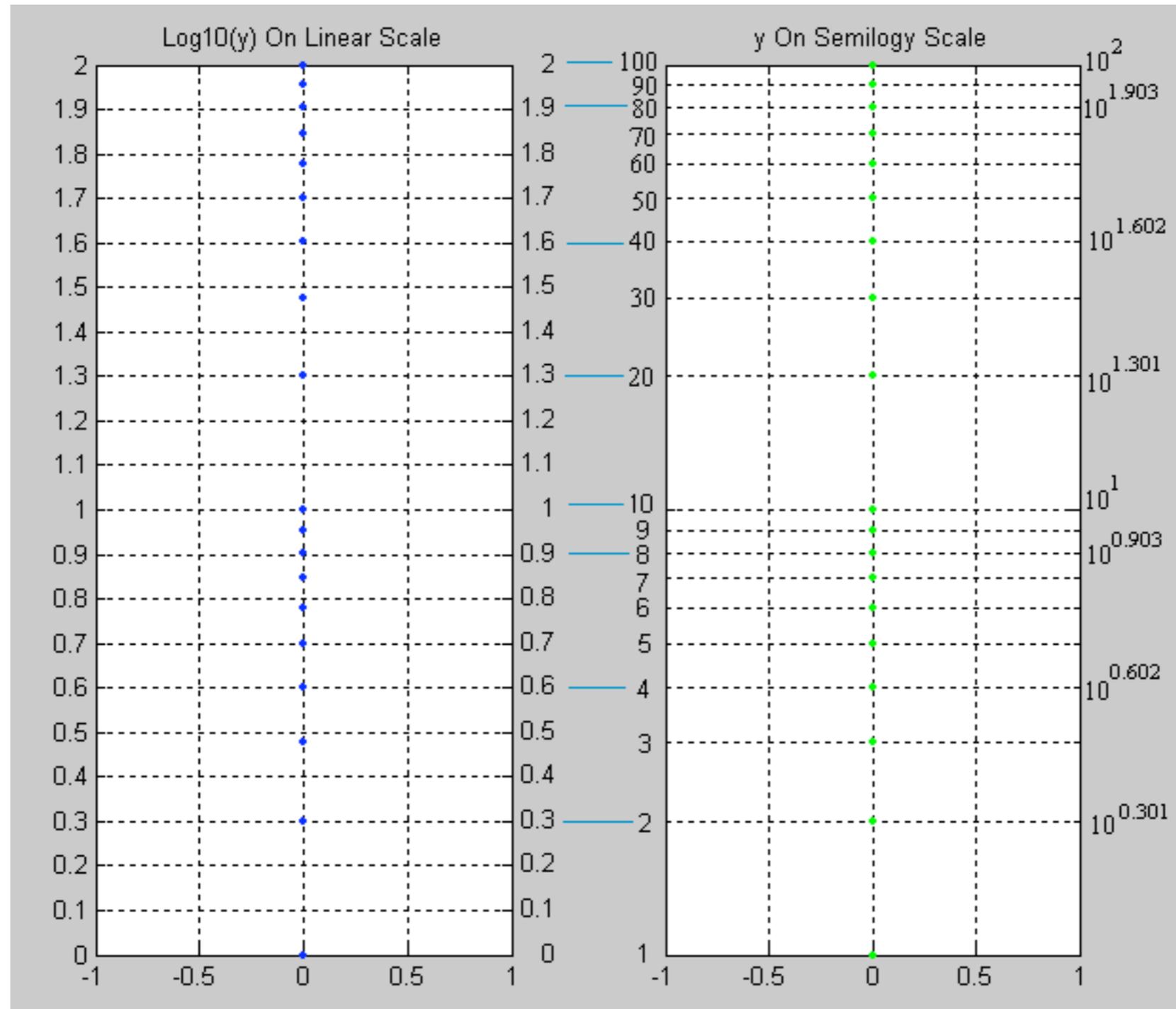
$$\text{if } b^n = x, \text{ then } \log_b(x) = n.$$

$$\log(x \times y) = \log x + \log y$$

$$\text{if } b^y = x, \text{ then } \log_b(x) = y.$$

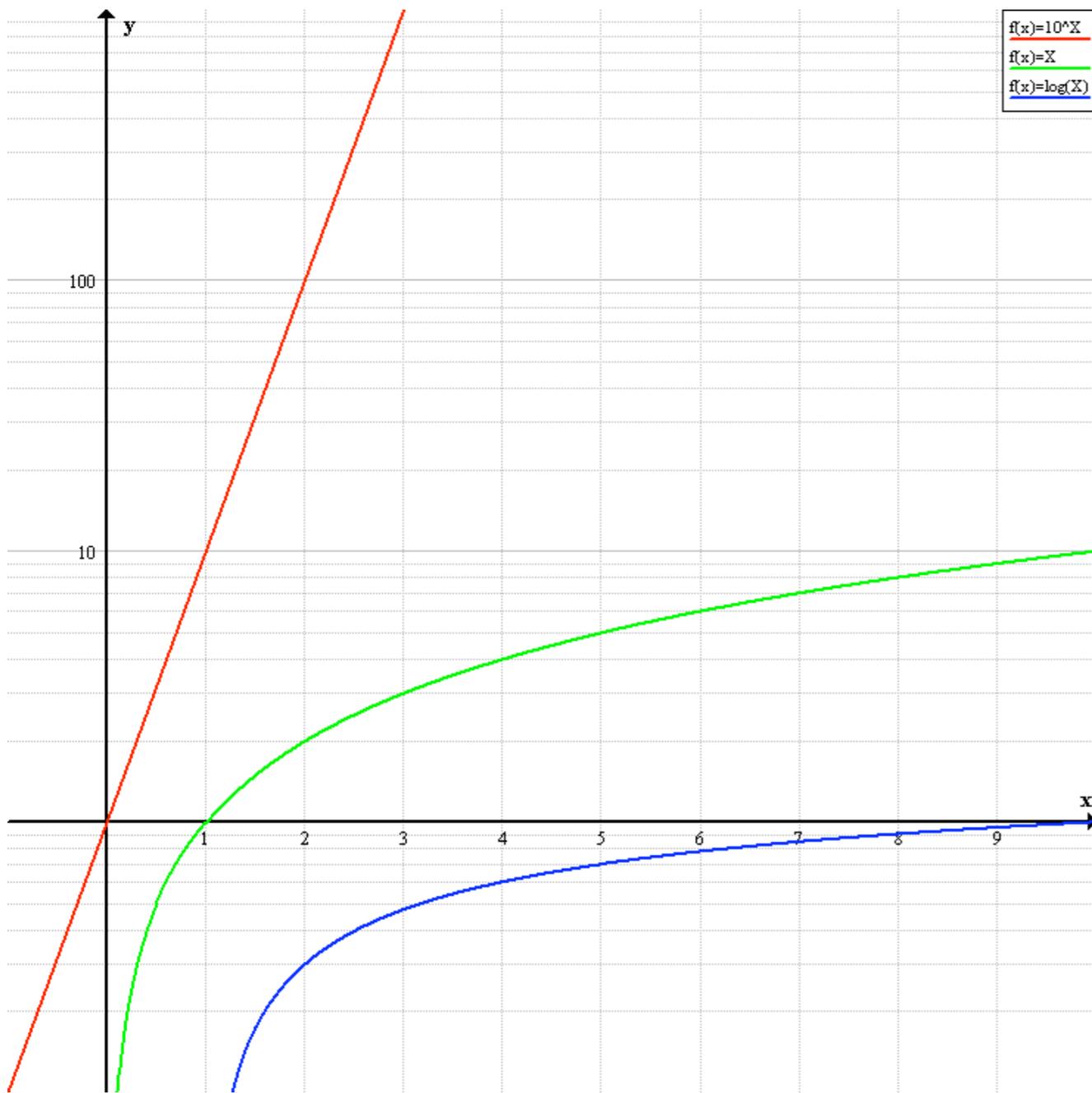


scala logaritmica



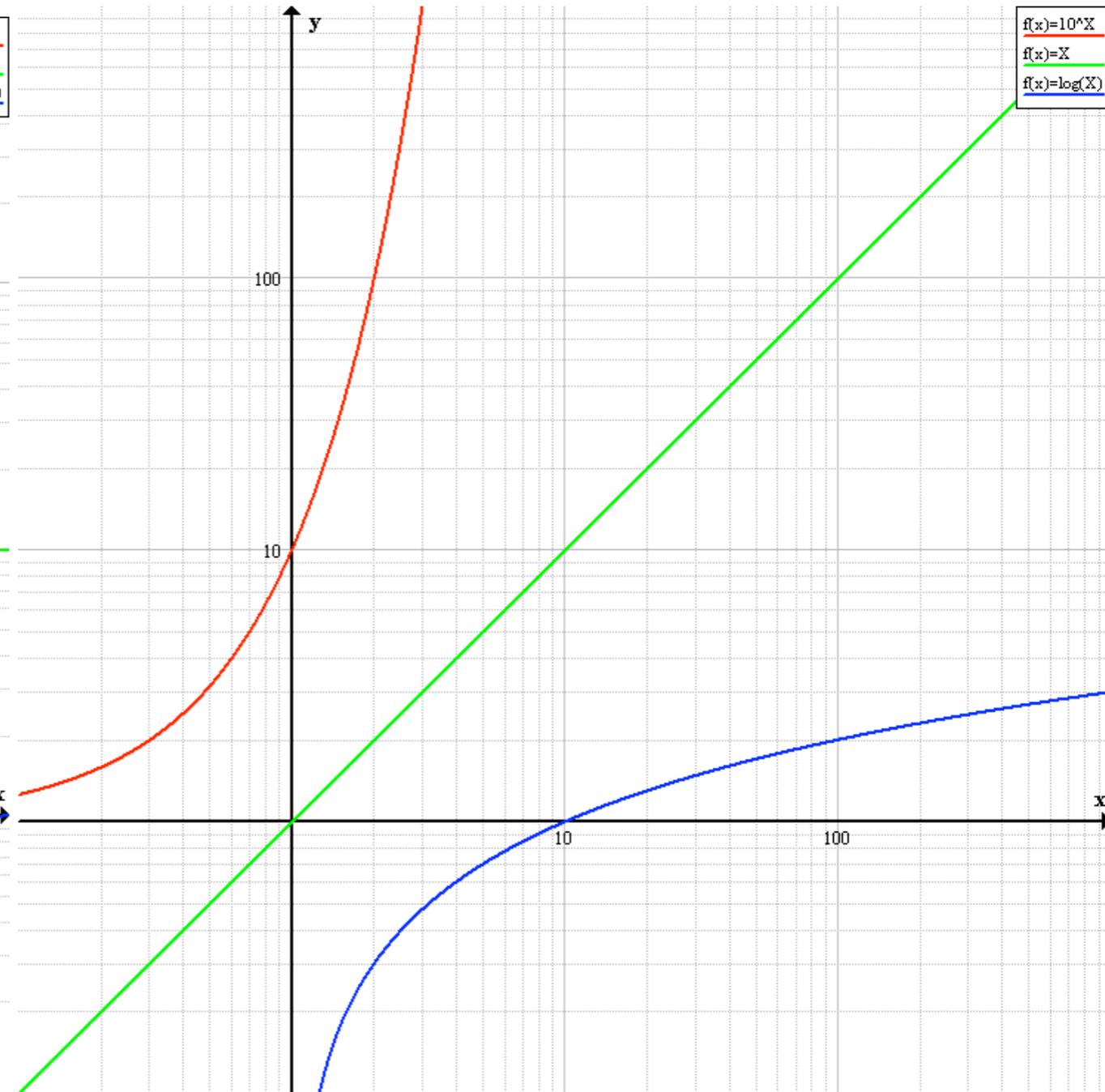
Scala

lineare(x) - logaritmica(y)



Scala

logarit.(y) - logarit.(x)



perchè scala logaritmica?

Per il decibel (dB) perchè è
definito come:

*10 volte il logaritmo in base 10 del
rapporto tra due numeri*

$$Ratio_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{N1}{N2} \right)$$

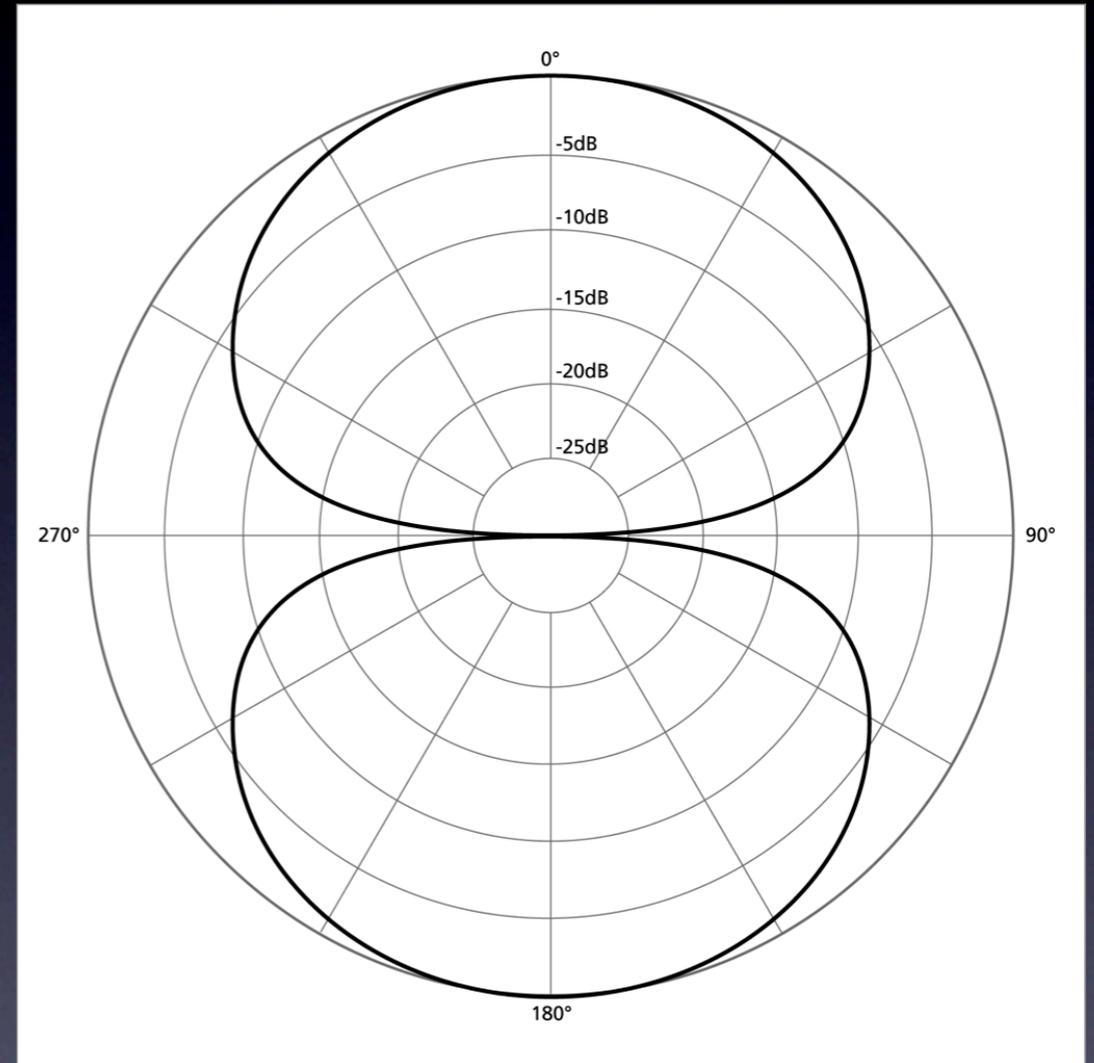
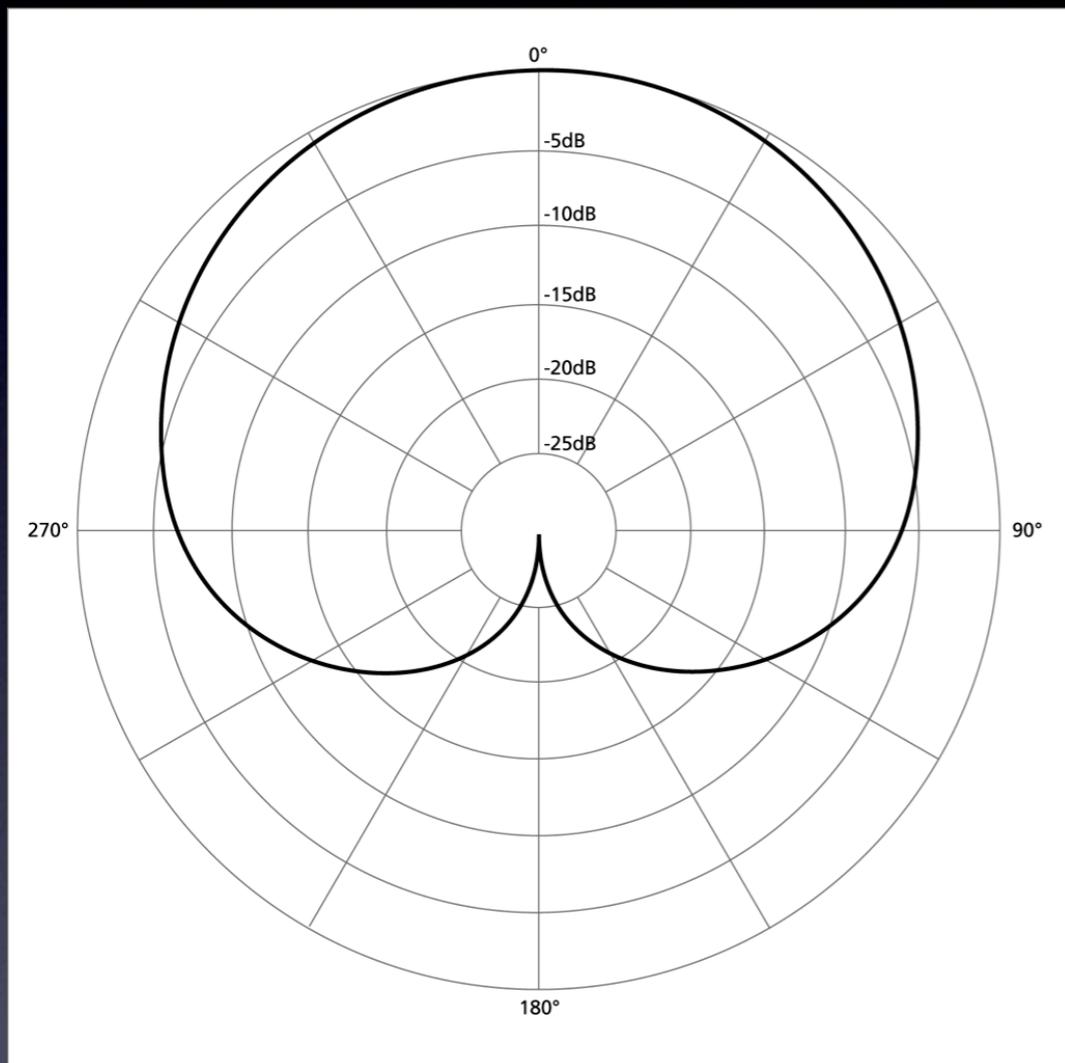
ESEMPI

il rapporto fra una tonnellata e un chilogrammo è 1000:1 ovvero 30 deciBel

il rapporto fra un eurocent e 1000 euro è 1:100000 ovvero -50 dB

il rapporto fra l'intensità sonora (espressa in W/m²) di un concerto rock e quella
di una normale conversazione è di 1000000:1 ovvero 60 dB.

Diagrammi Polari



definizione figura polare

La figura polare di un microfono è la rappresentazione grafica su di un piano della sensibilità di un microfono in funzione della direzione di provenienza di un segnale che lo colpisce.

Questo tipo di diagramma si presenta come una linea curva chiusa (o insieme di più linee di questo tipo) e simmetrica rispetto all'asse del microfono, al cui interno si trova contenuto il polo che rappresenta la "punta" del microfono stesso: la linea rappresenta curva di livello relativa ad un generico valore di intensità di risposta del microfono stesso, e come tale fornisce una rapida indicazione visiva di come l'intensità di risposta sia geometricamente distribuita intorno al microfono stesso.

Onde



definizione onde

Un'onda è una perturbazione che si propaga attraverso lo spazio.

Ad eccezione della radiazione elettromagnetica, ed a livello teorico della radiazione gravitazionale, che possono propagarsi nel vuoto, le onde esistono in un **mezzo** (che per deformazione è in grado di produrre forze elastiche di ritorno).

Attraverso di esso esse possono viaggiare e trasferire energia da un punto all'altro, senza che alcuna particella del mezzo venga dislocata permanentemente: non esiste, quindi, un trasporto di massa associato, ogni punto oscilla attorno a una posizione fissa.

classificazione onde

a seconda della loro:

- Propagazione
 - piane
 - sferiche
 - cilindriche
- Direzione Vettoriale
 - Onde longitudinali (paral. alla direz.)
 - Onde trasversali (perp. alla direzione)
- Dimensioni del mezzo
 - Onde unidimensionali o lineari
 - Onde bidimensionali
 - Onde tridimensionali

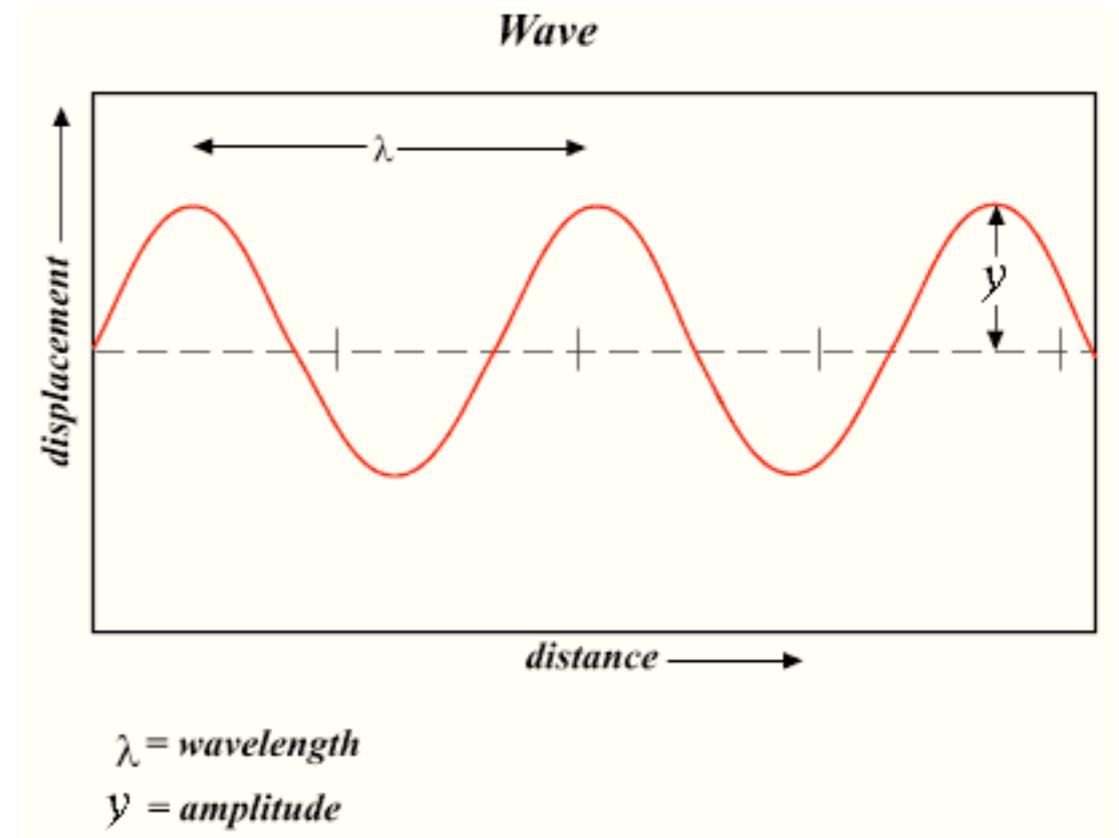
descrizione matematica

un'onda sinusoidale armonica è descritta dall'equazione

$$f(x,t) = A \sin(\omega t - kx + \Phi)$$

A, ampiezza: la distanza massima dal punto più alto (cresta) all'equilibrio

λ , lunghezza d'onda: la distanza tra due creste vicine



$$f(x,t) = A \sin(\omega t - kx + \Phi)$$

k , **vettore d'onda** è associato alla lunghezza d'onda con la relazione:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

T , **periodo** è il tempo necessario affinché un ciclo completo di oscillazione venga completato

ν , **frequenza** è il numero di periodi per unità di tempo

$$\nu = \frac{1}{T}$$

ω , **frequenza angolare** è legata alla frequenza con la relazione:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

Velocità

Ci sono due velocità associate alle onde:

v_p , **velocità di fase** dà la rate alla quale l'onda si propaga:

$$v_p = \frac{\omega}{k} = \lambda f$$

v_g , **velocità di gruppo** è la velocità con cui si propagano nello spazio le variazioni nella forma dell'ampiezza dell'onda; in altre parole è la velocità dell'involucro o modulante dell'onda.

$$v_g = \frac{\partial \omega}{\partial k}$$

$$f(x,t) = A \sin(\omega t - kx + \Phi)$$

Come si vede che si propaga e con quale velocità?

considero $\Phi=0$ per semplicità e mi metto
nell'istante $t=0$

considero il punto P in $x=0$ e vedo come si propaga:

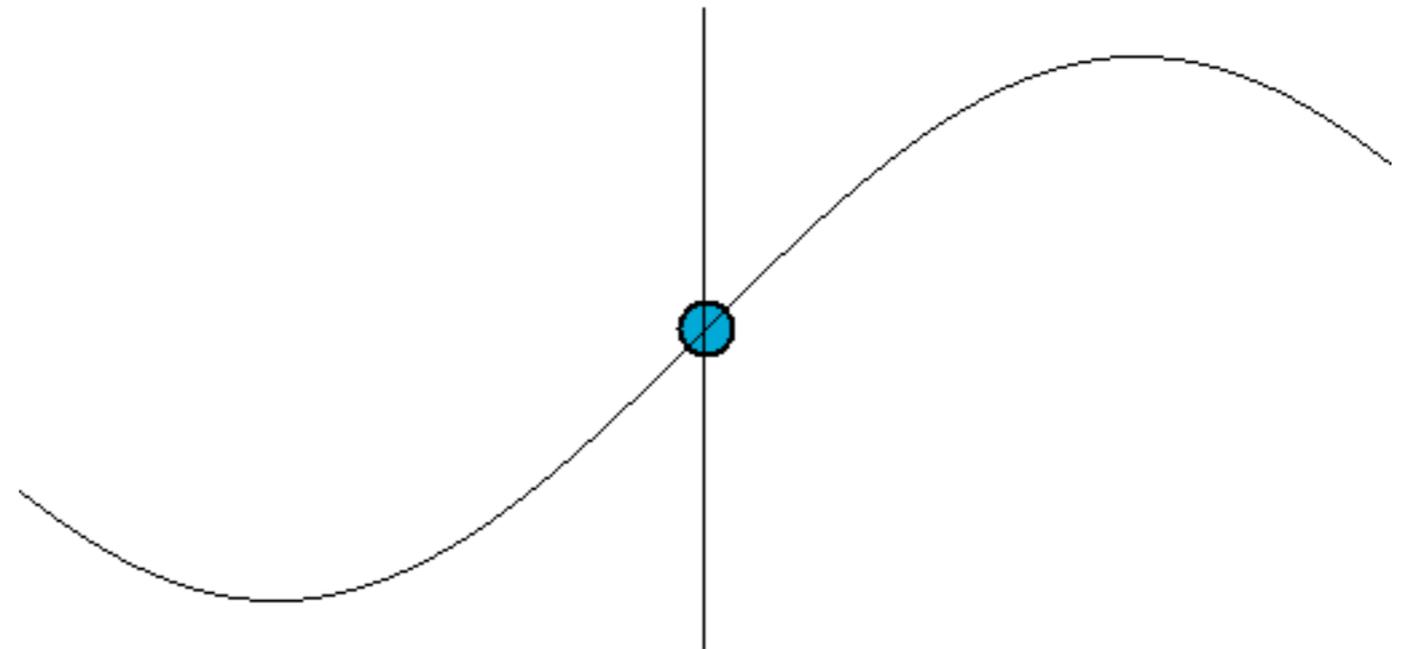
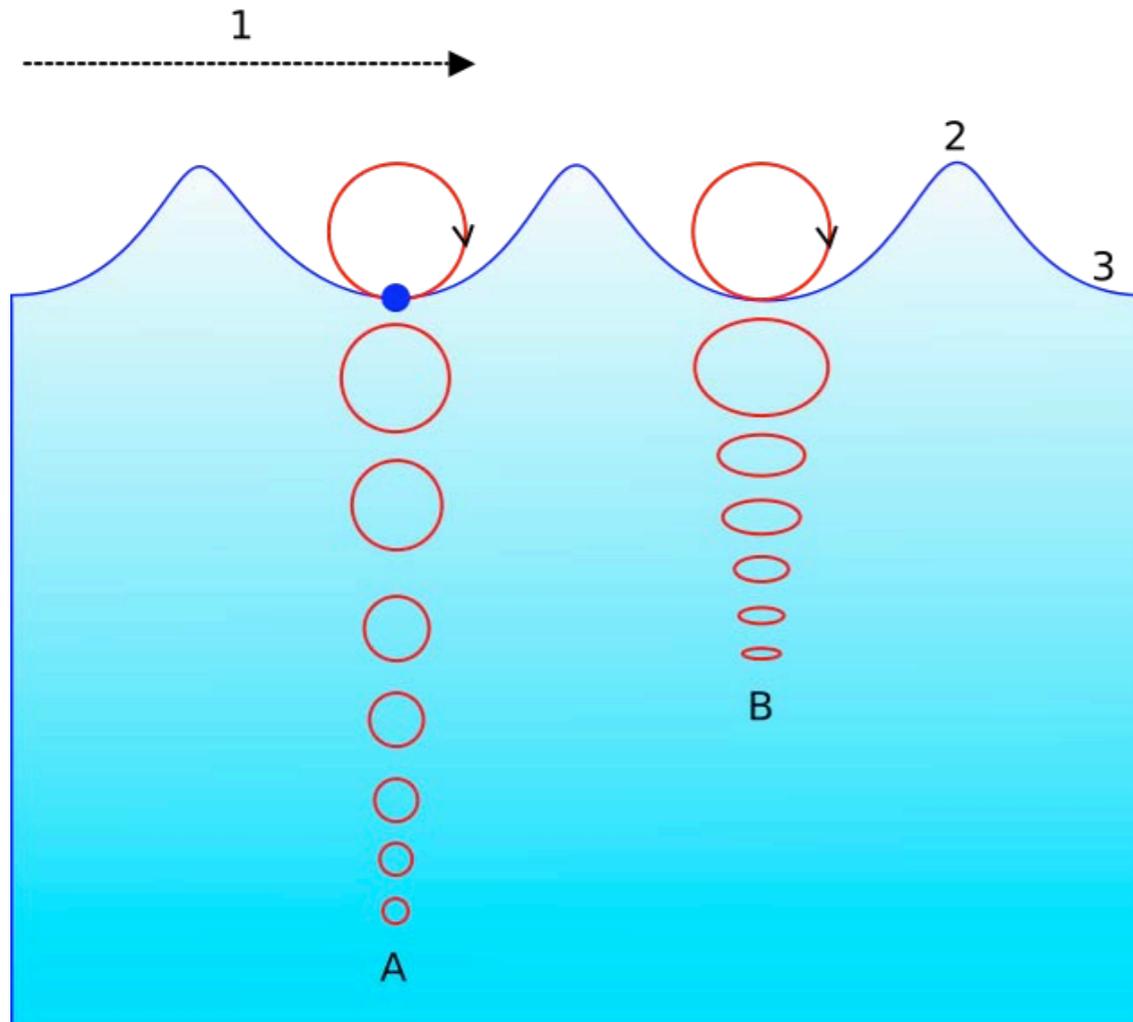
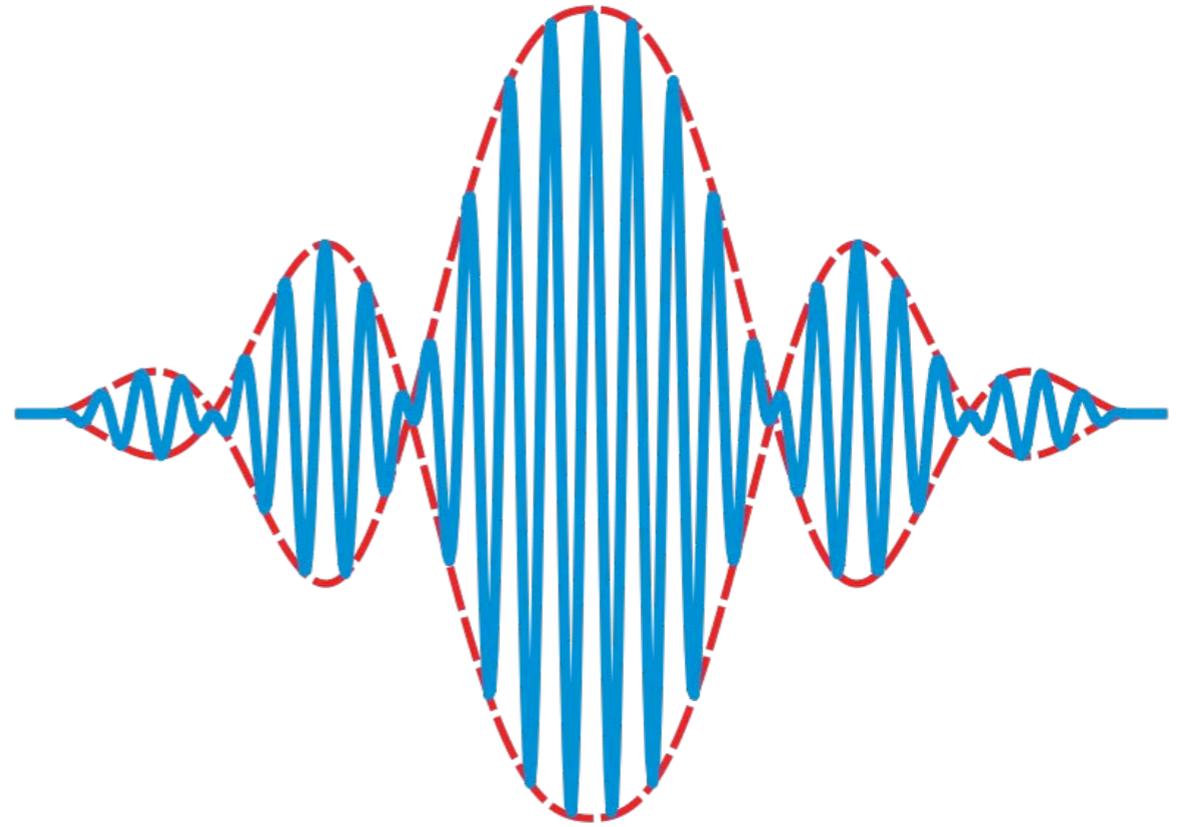
$$f(x,t) = A \sin(0) = A \sin(\omega t - kx)$$

$$\Rightarrow 0 = \omega t - kx$$

$$\Rightarrow x = (\omega/k) \cdot t$$

$$\Rightarrow v_p = x/t = \omega/k$$

Illustrazione di un'onda
(la curva blu che varia
velocemente) e il suo
involuppo (la curva rossa)



Onde Stazionarie

Un' onda stazionaria è una perturbazione periodica di un mezzo materiale, le cui oscillazioni sono limitate nello spazio. In pratica non c'è propagazione nello spazio.

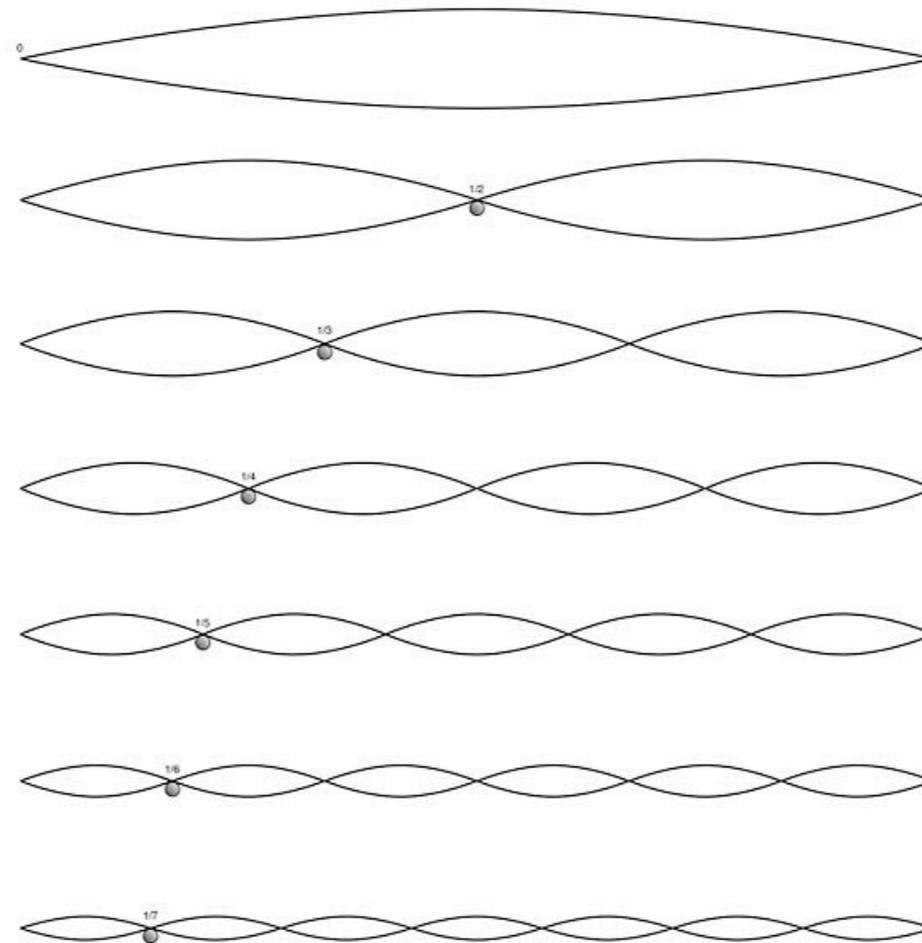
Le onde stazionarie sono il risultato dell'interferenza tra onde progressive e regressive sinusoidali, aventi la stessa frequenza.

Una caratteristica delle onde stazionarie è che ad esse non è associato alcun trasporto di energia.



Un esempio di onda stazionaria è la corda di una chitarra.

Per rendere meglio l'idea, proviamo ad immaginare una vasca piena d'acqua, dove un'onda incidente riflette contro la superficie verticale provocando un'onda riflessa: questa non si può distinguere da quella incidente perché sono sovrapposte ed hanno i nodi in comune.



Polarizzazione

Un'onda è polarizzata se può oscillare soltanto in una direzione.

La polarizzazione di un'onda trasversale descrive la direzione di oscillazione, nel piano perpendicolare alla direzione di propagazione.

Le onde longitudinali come il suono non possono essere polarizzate perché per queste onde la direzione di oscillazione è parallela alla direzione di propagazione.

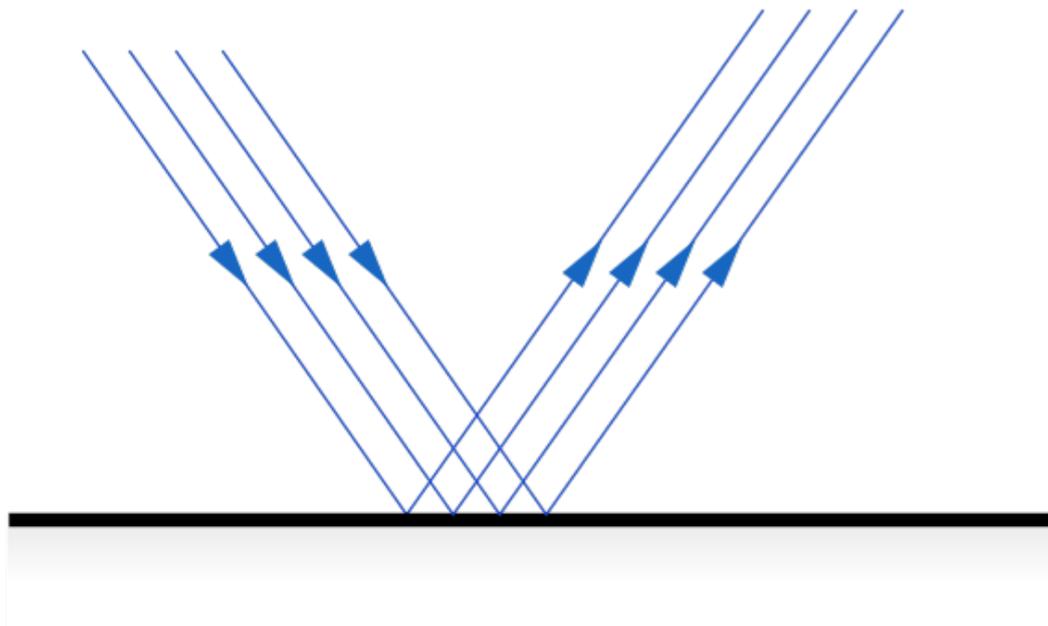
Comportamenti Ondulatori



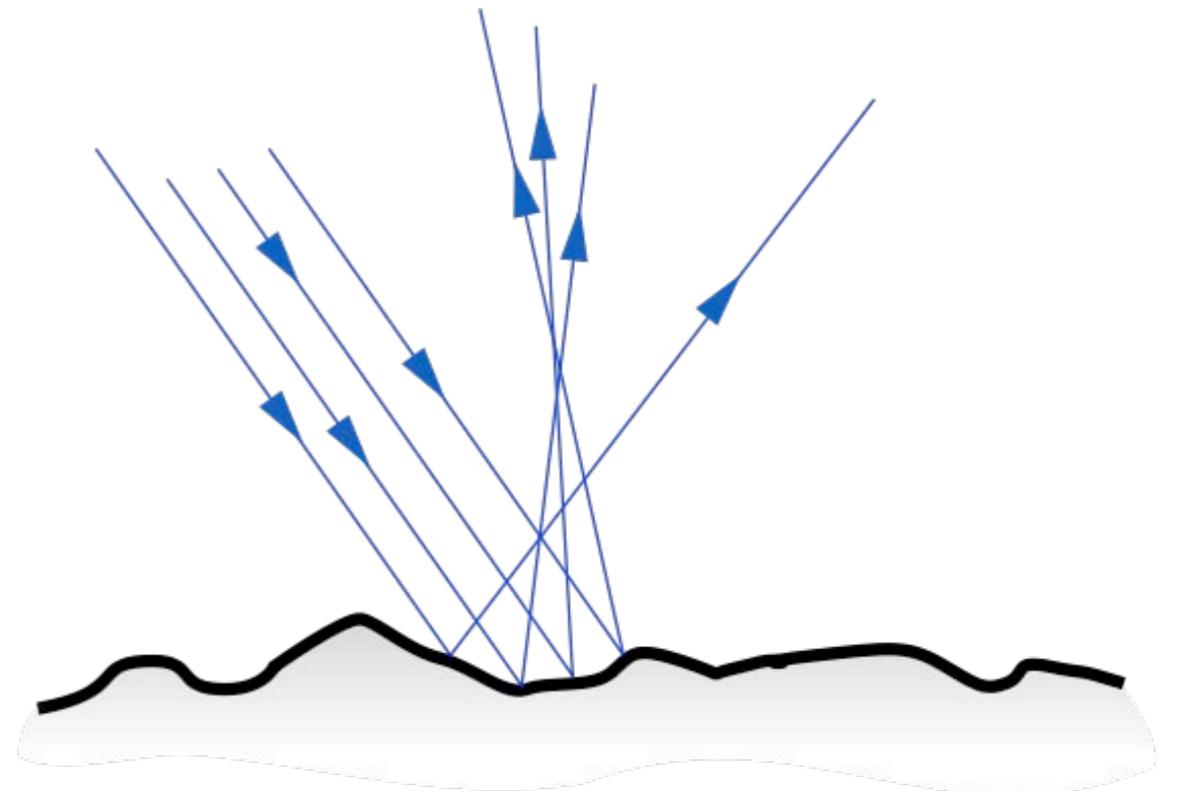
Riflessione

Si ha riflessione quando una onda cambia direzione a causa di uno scontro con un materiale riflettente

Riflessione speculare:



Riflessione diffusa:



Un'onda elettromagnetica riflessa può subire uno sfasamento. Questo dipende dagli indici di rifrazione del mezzo nel quale viaggia la luce (n_1) e del mezzo oltre la superficie riflettente (n_2):

- se $n_1 > n_2$ non c'è sfasamento;
- se $n_1 < n_2$ la radiazione riflessa è sfasata di π , cioè di mezza lunghezza d'onda.

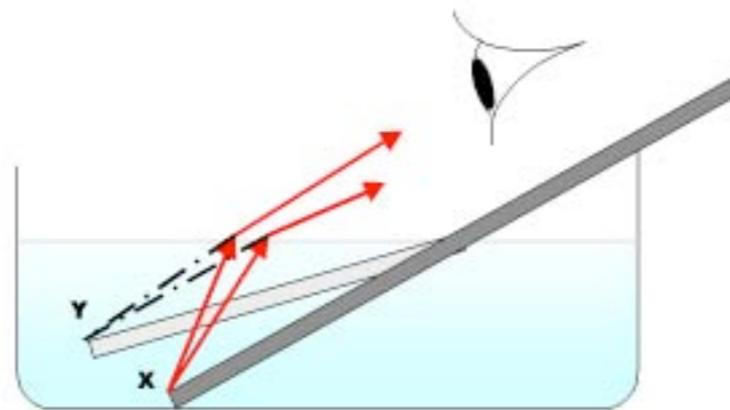
Rifrazione

La rifrazione è la deviazione subita da un'onda che ha luogo quando questa passa da un mezzo fisico ad un altro nel quale cambia la velocità di propagazione.

La rifrazione della luce è l'esempio più comunemente osservato, ma ogni tipo di onda può essere rifratta, per esempio quando onde sonore passano da un mezzo ad un altro o quando le onde dell'acqua si spostano a zone con diversa profondità.

In ottica, la rifrazione avviene quando una onda luminosa passa da un mezzo con un indice di rifrazione a un mezzo con un diverso indice di rifrazione.

Sul bordo dei due mezzi, la velocità di fase dell'onda è modificata, cambia direzione e la sua lunghezza d'onda è aumentata o diminuita mentre la sua frequenza rimane costante.



La rifrazione può essere osservata guardando all'interno di un bicchiere pieno d'acqua. L'aria ha un indice di rifrazione di circa 1.0003, mentre l'acqua ha un indice di circa 1.33. Se si guarda un oggetto dritto, come una penna parzialmente immersa e inclinata, l'oggetto appare piegato dalla superficie dell'acqua. Questo è dovuto al cambiamento di direzione dei raggi di luce che escono dall'acqua ed entrano nell'aria.

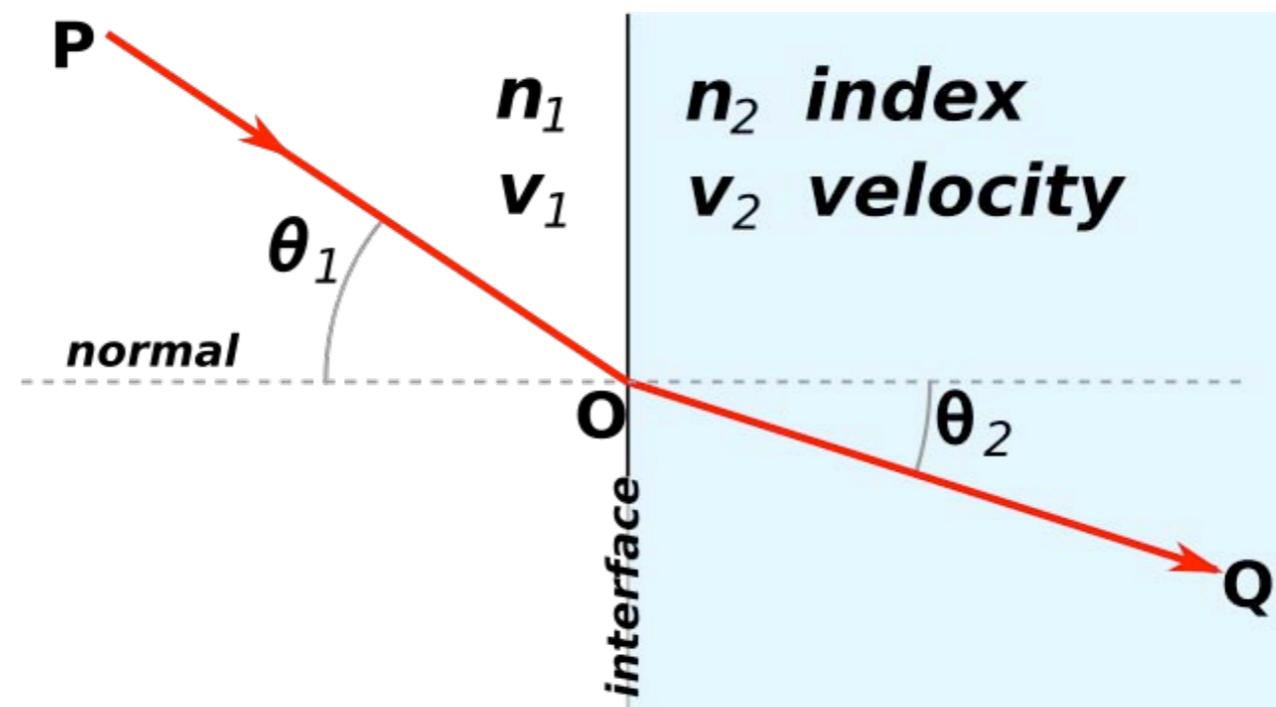
Legge di Snell per la rifrazione

La legge di Snell descrive quanto i raggi sono deviati quando passano da un mezzo ad un altro.

Se il raggio proviene da una regione con indice di rifrazione n_1 ed entra in un mezzo ad indice n_2 gli angolo di incidenza θ_i e di rifrazione θ_r sono legati dall'espressione:

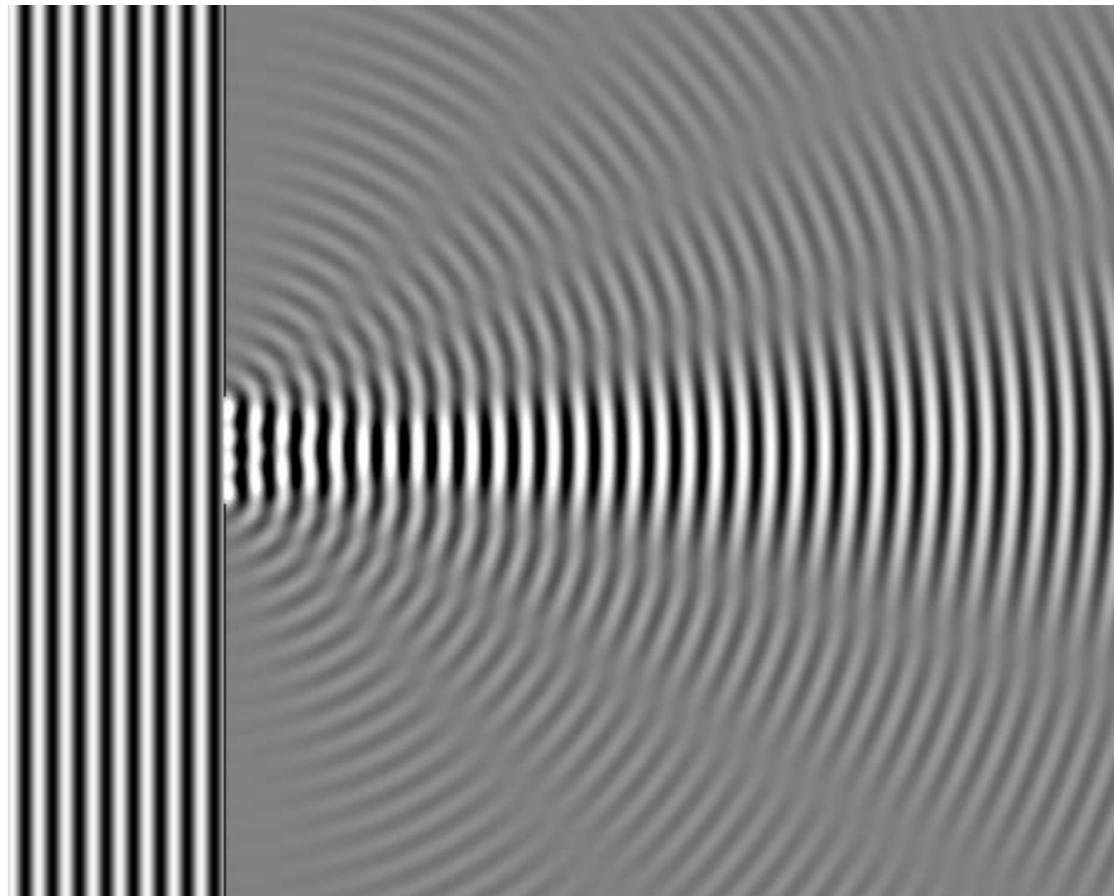
$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

dove v_1 e v_2 sono le velocità nei mezzi.



Diffrazione

La diffrazione può venire intuitivamente "letta" come una richiesta di continuità da parte del fronte d'onda che subisce una discontinuità dal bordo (o dai bordi) di un ostacolo (una fenditura ad esempio).



Caratteristiche qualitative della diffrazione

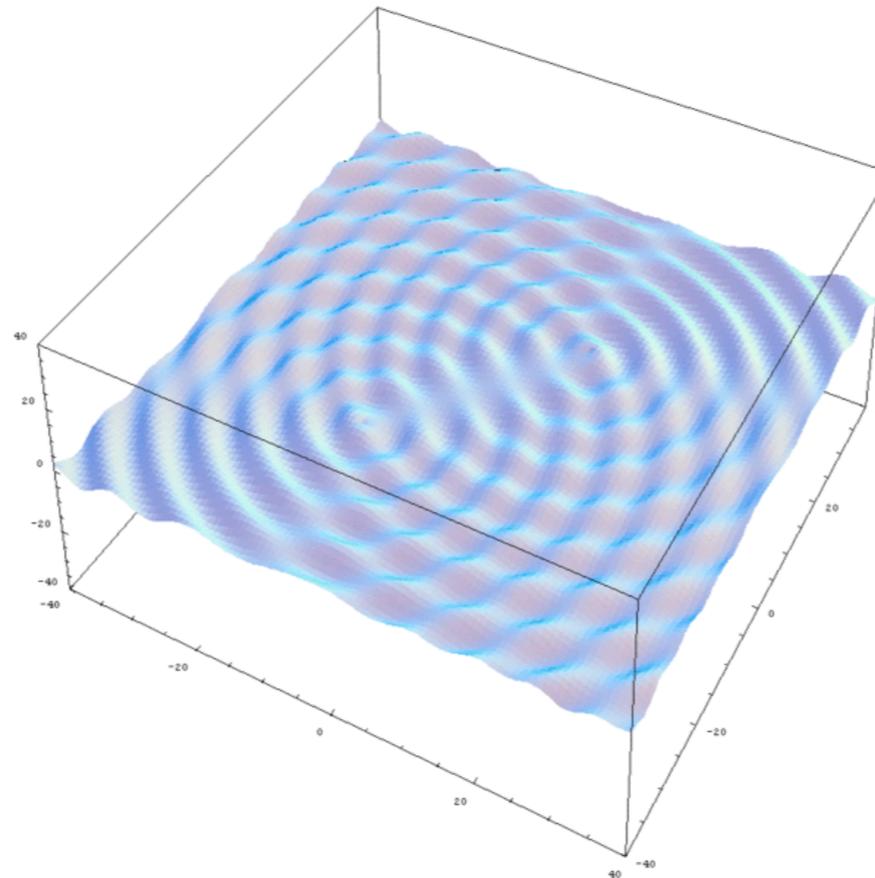
- La larghezza del massimo centrale della figura di diffrazione della fenditura singola è doppia delle frange laterali.
- La larghezza è inversamente proporzionale all'ampiezza della fenditura: a fessure molto piccole corrispondono frange di diffrazione molto larghe e viceversa.
 - Gli angoli sotto cui le frange sono viste, non dipendono dalla scala dell'esperimento, ma solo dal rapporto tra la lunghezza d'onda e l'ampiezza della fenditura.
- In qualunque fenomeno di Fresnel, un ostacolo simmetrico presenta sempre luce al centro dell'ombra (è il tipico caso della "macchia di Poisson").

Interferenza

Il fenomeno dell'interferenza è dovuto alla sovrapposizione, in un punto dello spazio, di due o più onde.

Si osserva che l'intensità dell'onda risultante, in un dato punto dello spazio, può essere maggiore o minore dell'intensità di ogni singola onda di partenza.

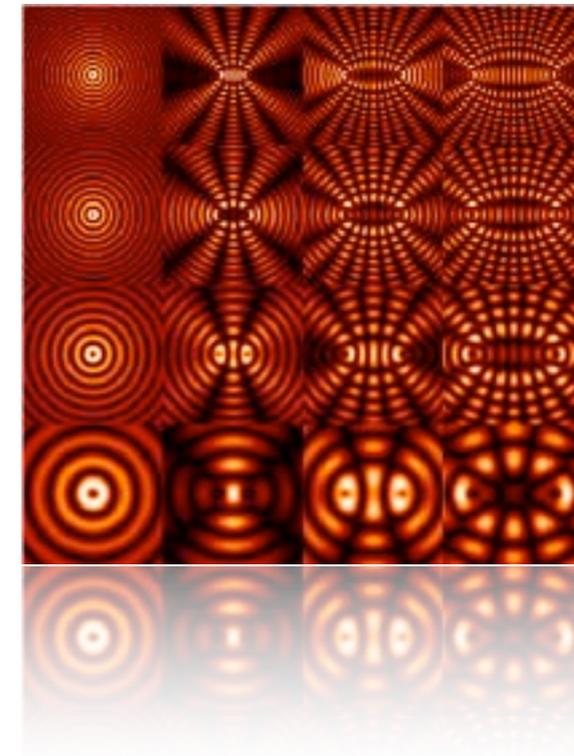
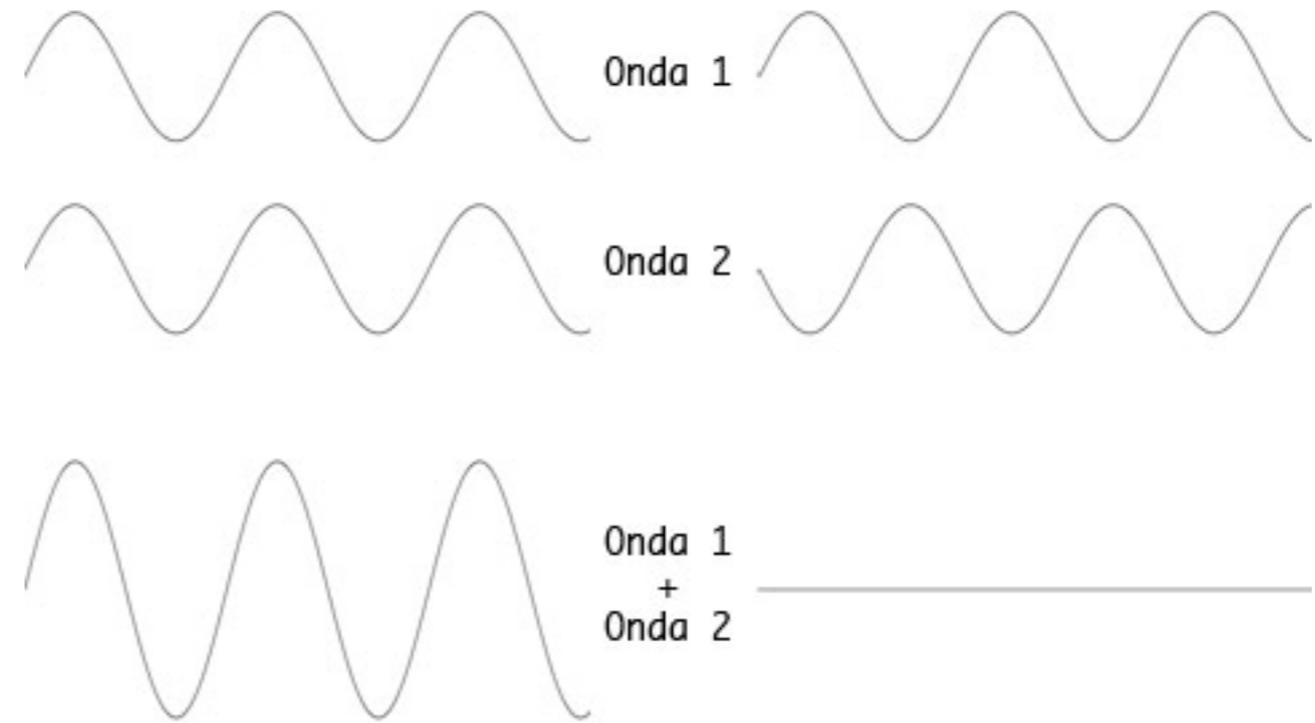
L'interferenza viene detta costruttiva, quando l'intensità risultante è maggiore di ogni singola intensità originaria, o distruttiva, quando risulta inferiore.



Consideriamo l'interferenza tra due sole onde aventi la stessa lunghezza d'onda e la stessa intensità. In figura è mostrata la dipendenza dal tempo di due onde identiche che giungono nello stesso punto dello spazio.

Nel primo caso le onde giungono in concordanza di fase. L'effetto risultante è che le due onde si sovrappongono esattamente e l'onda risultante ha ampiezza doppia rispetto alle onde componenti. Si parla quindi di interferenza totalmente costruttiva se due onde identiche giungono in un punto con differenza di fase nulla.

Nel secondo caso le onde arrivano in opposizione di fase. Le creste di un'onda si sovrappongono agli avvallamenti dell'altra, quindi le due onde si elidono a vicenda e la risultante è nulla. Si ha quindi interferenza totalmente distruttiva quando le due onde giungono in un punto con differenza di fase pari a 180° . Quando due sorgenti emettono onde nello spazio, possono esserci regioni in cui l'interferenza è costruttiva (detti massimi di interferenza) e altre in cui l'interferenza è distruttiva (detti minimi di interferenza).



Spiegazione Matematica

Considerando una generica onda in un punto che può essere descritta dalla funzione:

$$\phi(t) = A \sin(\omega t)$$

l'interferenza di questa con un'altra onda (di uguale frequenza e ampiezza, ma con una differenza di fase) può essere rappresentata dalla loro somma:

$$\begin{aligned} A \sin(\omega t) + A \sin(\omega t + \varphi) &= 2A \sin \frac{(\omega t) + (\omega t + \varphi)}{2} \cos \frac{(\omega t) - (\omega t + \varphi)}{2} = \\ &= 2A \cos \frac{\varphi}{2} \sin \left(\omega t + \frac{\varphi}{2} \right) \end{aligned}$$

Il risultato è un'altra onda con la stessa frequenza delle due onde iniziali, fase intermedia tra le due e ampiezza che dipende dallo sfasamento: da un massimo di due volte l'ampiezza originaria per onde in fase ($\varphi = 2k\pi, k \in \mathbb{N}$) e un minimo di zero per onde in opposizione di fase ($\varphi = (2k + 1)\pi, k \in \mathbb{N}$).

Interferenza da doppia fenditura

La figura mostra un metodo usato per produrre fasci di luce che interferiscono tra loro.

Un'onda luminosa incide su un piano su cui sono state praticate due fenditure. Si può supporre che l'onda incidente sia piana se la sorgente è posta sufficientemente lontana dalle fenditure. Le due fenditure agiscono quindi come due sorgenti puntiformi di luce coerente. Il passaggio da propagazione piana a propagazione sferica dopo l'attraversamento delle fenditure è detto diffrazione.

Le due onde emesse dalle fenditure interferiscono tra di loro. Se mettiamo uno schermo oltre le fenditure si osservano su di esso una serie alternata di bande illuminate e scure, dette frange di interferenza, corrispondenti ai massimi e ai minimi di interferenza.

