



# Telecomunicazioni

© Piangatello Guido  
(guido@piangatello.it)

per la IV Informatica articolazione Informatica

Totale audio attuale ?

Pag.  
quaderno  
n.

<b>1 Segnali e loro analisi</b>	Segnali elettrici	11'
1.1 Segnali	Campionatura – $f_{cifra}$ , $f_{simbolo}$	?'
1.2 Segnali in t	Introduzione al teor. di Fourier	4'
1.3 Segnali in f	Introduzione agli spettri	4'
1.4 Segnali in f periodici	Il teorema di Fourier	7'
1.5 Seg in f non periodici	La trasformata di Fourier	3...'
1.6 Elaboraz. numerica		
1.7 Oscill. D. anal. di sp.		

Preparazione al compito 1

## 2 s. audio/video e dati

2.1 Segnali acustici

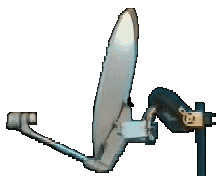
## 3 Linee metalliche

Introduzione alle linee	*4'
Dalle costanti primarie alla vel	*9'
Linee ideali	
La riflessione	
Adattamento di impedenza	

## 4 Portante radio

Natura-classificazione onde EH	7' ?
I 3 modi di propagazione di EH	3'
Introduzione all'irradiazione	2'
Induzione e irradiazione	
Diagramma di radiazione	
Guadagno e direttività	
Banda e angolo di apertura	
R di radiazione ed efficienza	
Attenuazione spazio libero	
Dim. collegamento via satellite	
Tipi di antenne	

## RIC. SATELLITARE



Introduzione a TV via satellite	3'
Satelliti per telecomunicazioni	2'
Frequenze utilizzate e LNB	4'
Impianto di ricezione base	4'
Impianto per 2/4/8 utenti	3'
Impianto dual feed	4'
Centralizzato a multiswitch	3'

<b>5 Fibre ottiche</b>	Introduzione alle fibre ottiche	4'
	Principio di funzionamento	2'
	Legge Snell, apertura numerica	5'
	Tipi di fibre ottiche	2'
	Dispersione modale/cromatica	8'
	Larghezza di banda	
	Attenuazione e scelta finestra	
	Attenuazioni nelle connessioni	
	Attenuazioni lungo il tragitto	
	Introduzione alle guide d'onda	3'
<b>Cenni sulle LAN</b>	Cavi e prese per LAN	3'
	Introduzione alle LAN	
	Ethernet 100 Mbps	
	Ethernet 1000 Mbps	

## 6 Qualità trasmissione

## 7 Elettronica analogic

## 8 Oscill-filtri-amplif

## 9 Trasmis. analogica

Modulazione di ampiezza	*'
Indice di modulazione	*' ?
Spettro di un segnale AM	?'
Modulazione e demod. DSB	
Modulazione SSB	
Radoricevitore AM	
Ruotando la sintonia	
Modulazione di frequenza	
Modulazione di fase	
Spettro di un segnale FM	

## 10 Rete telefonica

Introduz. alla rete telefonica	*4' ?
Rete telefonica nazionale	*4' ?
Comm. di circuito/di pacchetto	?'
IDN e modem	?'
PSTN+RFD+ITAPAC=>ISDN	*4' ?
ISDN: accesso base e primario	*6' ?
HDSL, ADSL e VDSL	*5' ?

## LABORATORIO IV

Oscilloscopio analogico	14'
PicoScope 6.6.23.2	6'
Oscilloscopio digitale	14'

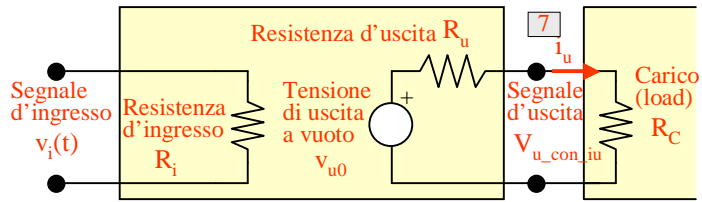


# Segnali elettrici

(11')

Un **segnale** elettrico è una *tensione variabile nel tempo* usata per trasportare informazione  
Cosa è un **circuito**? È un **quadripolo** che prende un segnale in I e fornisce uno seg. in U

Cosa è la **resistenza d'ingresso**?

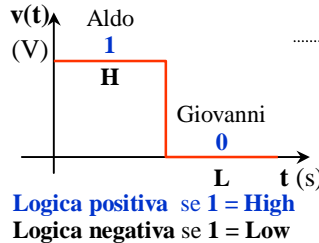


Cosa è il **carico** del circuito? !!!  $V_{u0}$  ( $V_u$  a vuoto) è... ! ? Col carico  $V_u < V_{u0}$

I segnali digitali usati oggi sono binari, cioè a due livelli: **tensione alta e tensione bassa**.

Questi due livelli possiamo chiamarli come ci pare, anche Aldo e Giovanni, ma i nomi più convenienti sono **H** (High) e **L** (Low) oppure **1** e **0**.

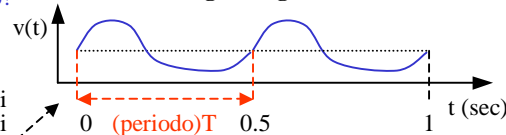
Se chiamiamo **1** il **livello alto** (High) abbiamo una **logica positiva**. Se invece chiamiamo **1** il **livello basso** (Low) abbiamo una **logica negativa**.



1) Quando è che un segnale si dice **periodico**?

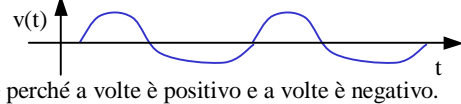
Quando, passato un intervallo di tempo detto **periodo** e indicato con **T**, i valori assunti dalla tensione si ripetono.

La **frequenza** è il numero dei periodi contenuti in un secondo (2 nell'esempio) e si calcola facendo  $1 \text{ sec} / T$  in  $\text{sec}$  ( $f = 1 / T$ ).



2) Segnali **uni** e **bidirezionali**

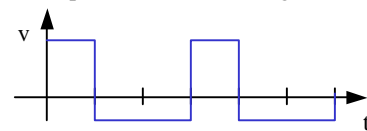
Questo è **unidirezionale** perché  $v(t)$  ha sempre lo stesso segno. Questo è **bidirezionale** perché a volte è positivo e a volte è negativo.



3) Il **duty cycle** (d.c.) di un'onda quadra è...

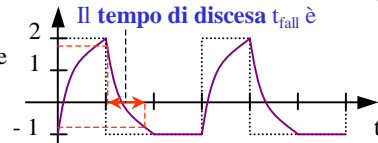
Nell'esempio d.c. = 33%

$$\text{duty\_cycle} = \frac{t_{\text{alto}}}{T}$$



4) Il **tempo di salita** (rise) di un'onda quadra è...

Il tempo impiegato per andare dal 10% al 90% del salto  
Nell'esempio il salto è di 3 V e  $t_r$  è il tempo per andare da -0.7 a 1.7 V

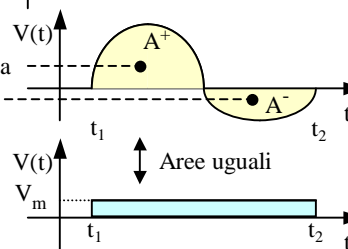


5) Cosa è il **valor medio**  $V_m$  di un segnale  $v(t)$ ?

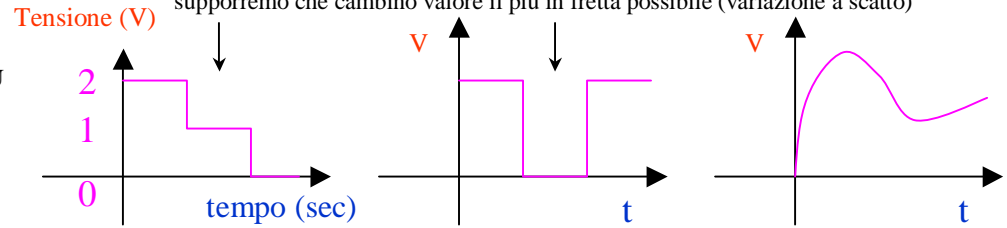
Premesso che con "area sotto la curva"  $v(t)$  s'intende questa e che le aree sotto le ascisse sono aree negative, l'area sotto la curva da  $t_1$  a  $t_2$  è  $A_{t1t2} = A^+ - A^-$

Per valor medio di  $v(t)$  nell'intervallo  $t_1 - t_2$  si intende la tensione fissa (continua)  $V_m$  di valore tale da essere equivalente come area sotto la curva, ovvero tale che:

$$V_m * (t_2 - t_1) = A_{t1t2}$$



In verità anche questi assumono tutti i valori, ma quelli intermedi "non ci interessano" e supporremo che cambino valore il più in fretta possibile (variazione a scatto)



Un segnale che assume solo alcuni valori, è detto **digitale**

Se i valori possibili sono due è detto digitale **binario**

Se può assumere tutti i valori, è un **segnale analogico**

## Electronica digitale

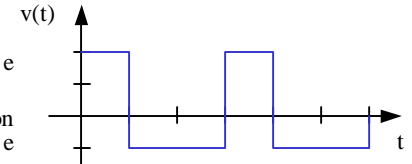
## Electronica analogica

Il valor medio dipende dall'intervallo temporale considerato. Se non altrimenti specificato, il valor medio di un segnale periodico s'intende calcolato su un intero periodo.

6) Un segnale si dice **alternato** se...

ha valor medio = 0 (ovvero se le aree positive e negative si equivalgono).

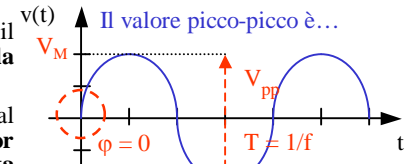
La sinusoide di rete è alternata, ma alternato non significa né sinusoidale né con valori massimi positivi e negativi uguali, ma centrato sullo zero.



7) Cosa è il **valore efficace**?

È sempre una tensione continua equivalente (come il valor medio), ma il valore efficace ( $V$  o  $V_{RMS}$ ) è la **continua equivalente come dissipazione di potenza**.

La potenza dissipata su una  $R$  è  $v^2 / R$  e dipende dal quadrato di  $v$ . Pertanto il **valore efficace** è il **valor medio di  $v^2$ , ma facendone poi la radice quadrata** per recuperare l'elevamento al quadrato fatto su  $v$



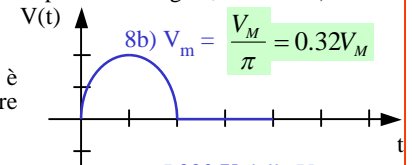
8) Una **sinusoide** è caratterizzata dai seguenti 3 parametri:

Un' **ampiezza**  $V_M$ , pari al valor massimo, una **frequenza**  $f$  (che in questo disegno diventa un periodo  $T$  pari a  $1/f$ ) e una **fase**  $\phi$  (quando la sinusoide parte dall'origine, la fase è 0)

$$8a) V_{\text{eff}} = \frac{V_M}{\sqrt{2}} = 0.707V_M$$

9) La **pulsazione**  $\omega = 2\pi f$

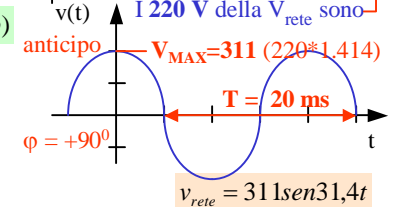
e si misura in **rad/sec** (che sono Hz perché il radiante è un numero puro, ma serve a ricordarci che il valore della frequenza è moltiplicato per 6.28)



$$8b) V_m = \frac{V_M}{\pi} = 0.32V_M$$

8c) La funzione sinusoidale di ampiezza  $V_M$  pulsazione  $\omega$  e fase  $\phi$  è ...  $v(t) = V_M \text{sen}(\omega t + \phi)$

8d) Una sinusoide che parte prima ha fase... positiva e si dice in anticipo



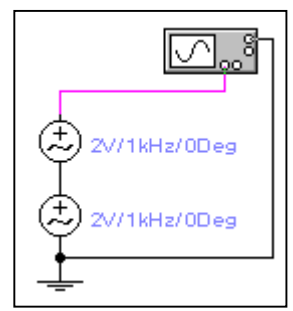
10) Le sinusoidi sono importanti perché (**Fourier**)

$$v(t) = v_m + A_1 \text{sen}(\omega t + \phi_1) + A_2 \text{sen}(2\omega t + \phi_2) + \dots$$



# Introduzione al teorema di Fourier

Mettendo in serie due generatori la tensione risultante è la somma delle due tensioni



Cosa vuol dire la frase:  $v(t)$  è composta da (o contiene) due armoniche di ampiezza 2 V, frequenza di 1 e 2 KHz e fase nulla?

Vuol dire che posso ottenere  $v(t)$  sommando due sinusoidi una di ampiezza 2 V e  $f = 1$  KHz, l'altra di ampiezza 2V e frequenza = 2 KHz, entrambe a fase nulla

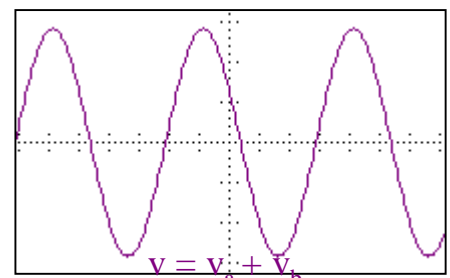
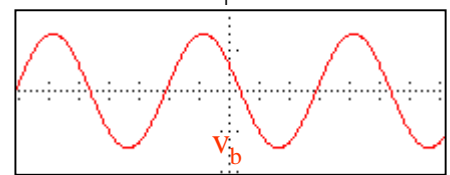
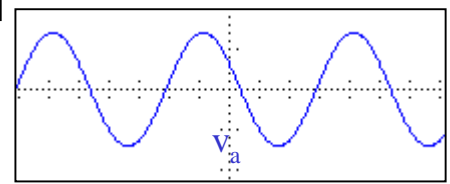
Il teorema di Fourier afferma che ogni  $f(t)$  periodica è esprimibile con una serie del tipo:

$$f(t) = A_0 + A_1 \text{sen}(\omega t + \varphi_1) + A_2 \text{sen}(2\omega t + \varphi_2) + A_3 \text{sen}(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$

armoniche di ordine superiore con frequenza multipla di  $f$

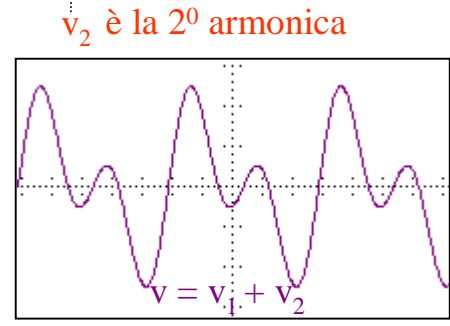
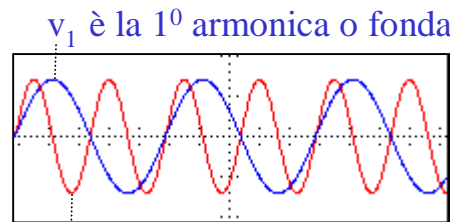
Le forme d'onda 'spigolose' (onda quadra, onda triangolare, dente di sega) contengono infinite armoniche, essendo necessarie frequenze alte per 'ricostruire' gli spigoli (le armoniche a frequenze alte sono di ampiezza minore perché servono solo a modellare gli spigoli nel piccolo)

(4) Cosa si ottiene sommando due sinusoidi di uguale frequenza?

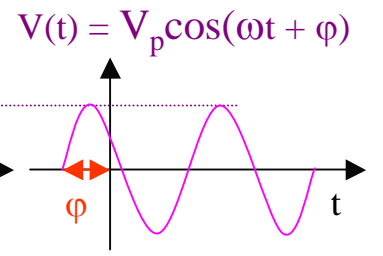
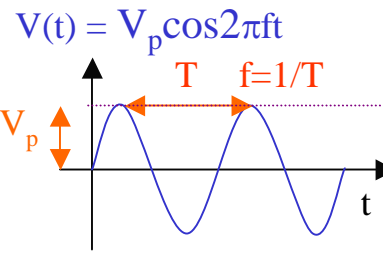


Si ottiene ancora una sinusoida

Cosa si ottiene sommando due sinusoidi di diversa frequenza (qui  $v_2$  ha  $f$  doppia della  $f$  di  $v_1$  e la stessa ampiezza)?



Si ottiene una forma d'onda non sinusoidale  $v(t)$

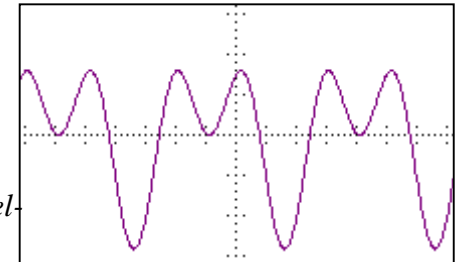
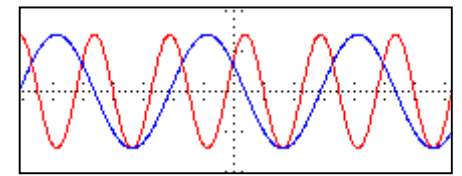


$v_1$  e  $v_2$  sono le sinusoidi componenti (armoniche) del segnale  $v$

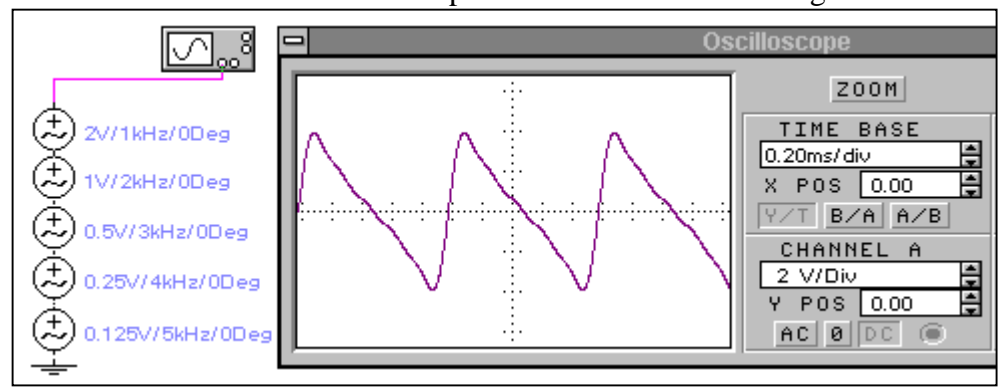
Segnale armonico = segnale sinusoidale

Notare che  $v$  è periodica con lo stesso periodo della fondamentale

Se la fase di una delle due armoniche è diversa da zero (qui la 2° armonica ha fase 90°), la tensione somma è la stessa o è diversa?



E' diversa, per cui bisogna precisare l'ampiezza ma anche la fase di ogni armonica





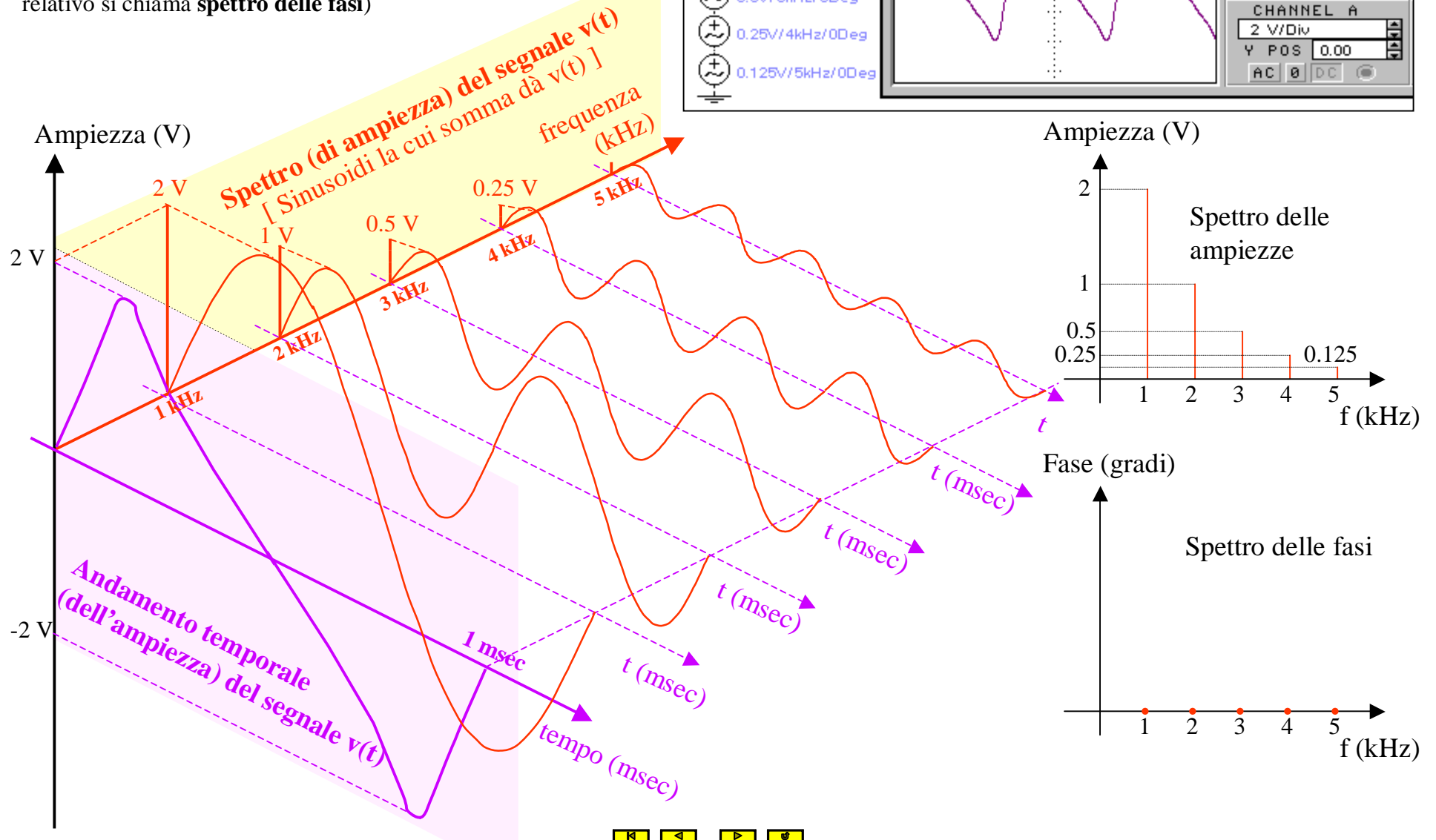
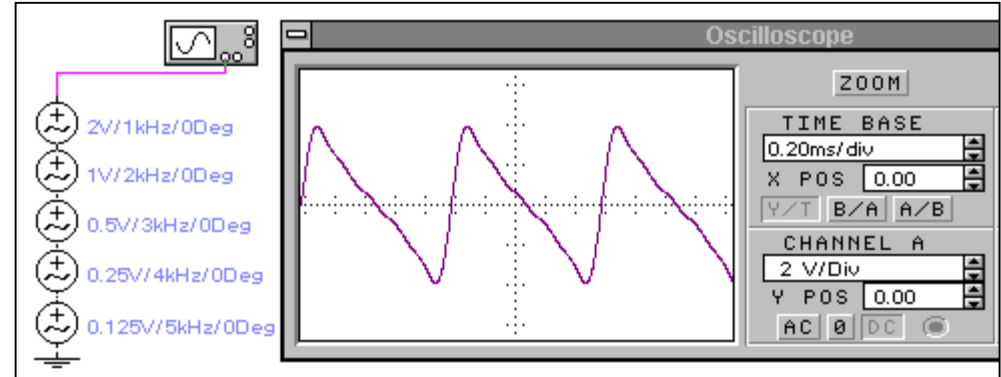
## Introduzione allo spettro delle ampiezze e delle fasi

(4)

Conoscendo le armoniche di  $v(t)$  (compresa quella a frequenza zero che poi sarebbe il valor medio), possiamo ricostruire  $v(t)$  sommandole tra loro.

Conoscere le armoniche significa conoscere *le ampiezze alle varie frequenze* (il grafico relativo si chiama **spettro delle ampiezze**) e *le fasi alle varie frequenze* (il grafico relativo si chiama **spettro delle fasi**)

Es.: disegnare gli spettri (delle ampiezze e delle fasi) del segnale mostrato





# Teorema di Fourier

(7)

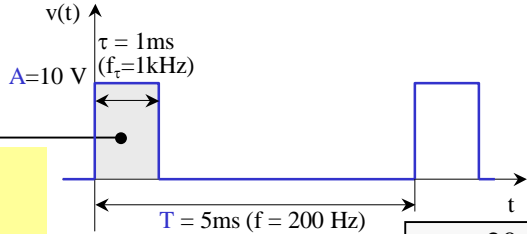
Il **Teorema di Fourier** dice che una tensione  $v(t)$  periodica con frequenza  $f$  si può scrivere nella forma (nota come *sviluppo in serie di Fourier*)

$$v(t) = f \left[ C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} 2|C_n| \cos(n\omega t + \angle C_n) \right] \text{ dove } C_n = \int_{-T/2}^{+T/2} v(t) e^{-jn\omega t} dt \quad [V \cdot \text{sec}]$$

$$A_0 = fC_0$$

$$A_n = 2fC_n$$

$$C_n = A\tau \frac{\text{sen}(n \frac{\pi}{T/\tau})}{n \frac{\pi}{T/\tau}}$$



$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t + \phi_1) + A_2 \cos(2\omega t + \phi_2) + \dots$$

Valor medio di  $v(t)$

$$A_0 = \frac{A}{T/\tau}$$

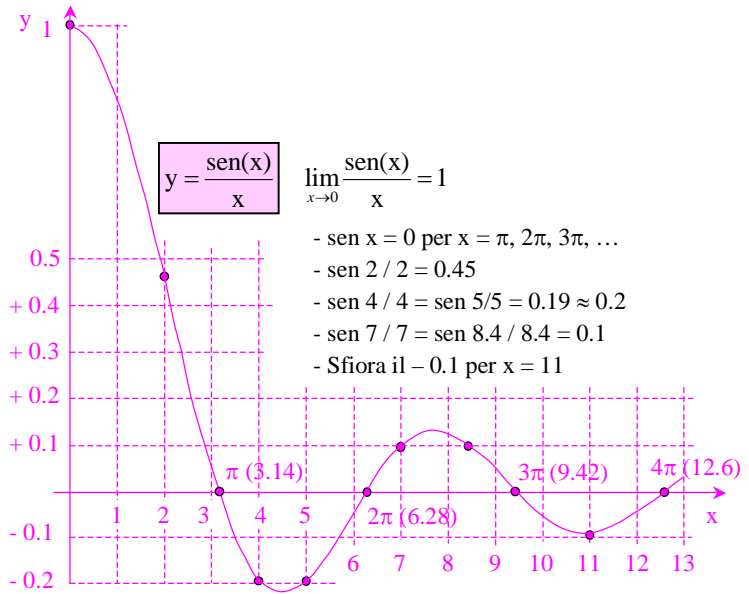
$$A_n = \frac{2A}{T/\tau} \frac{\text{sen}(n \frac{\pi}{T/\tau})}{n \frac{\pi}{T/\tau}}$$

$$A_0 = \frac{A}{5} = 2V$$

$$A_n = 4 \frac{\text{sen}(n \frac{\pi}{5})}{n \frac{\pi}{5}}$$

$$A_n = \frac{20}{n\pi} \text{sen}(n \frac{\pi}{5})$$

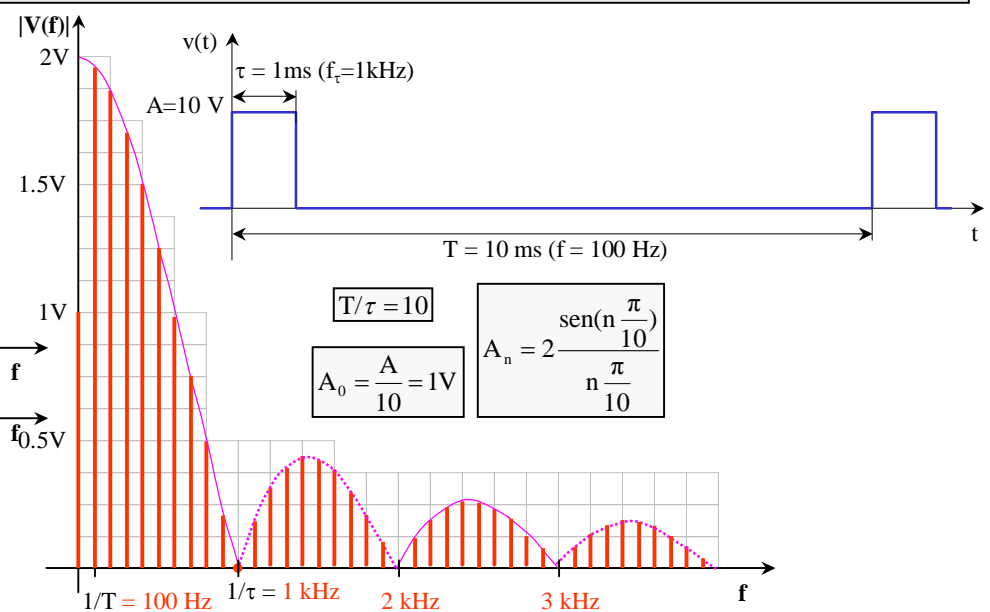
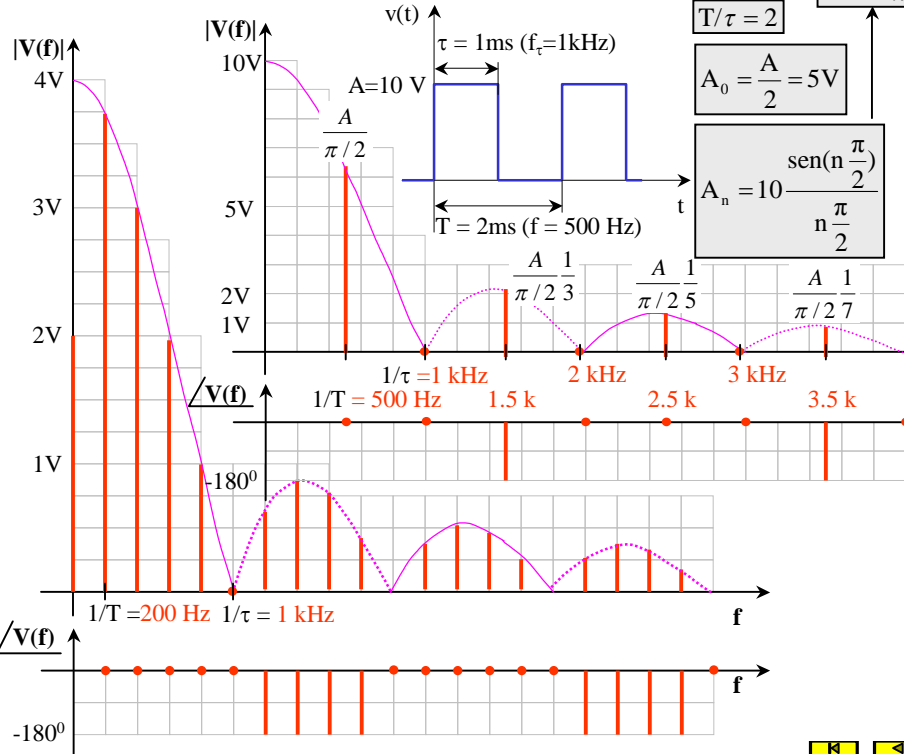
$$v(t) = \frac{A}{\pi/2} (\text{sen}\omega t + \frac{1}{3} \text{sen}3\omega t + \frac{1}{5} \text{sen}5\omega t + \dots) = \frac{A}{\pi/2} (\cos\omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \frac{1}{7} \cos 7\omega t + \dots)$$



$$y = \frac{\text{sen}(x)}{x}$$

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\text{sen}(x)}{x} = 1$$

- $\text{sen } x = 0$  per  $x = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots$
- $\text{sen } 2 / 2 = 0.45$
- $\text{sen } 4 / 4 = \text{sen } 5 / 5 = 0.19 \approx 0.2$
- $\text{sen } 7 / 7 = \text{sen } 8.4 / 8.4 = 0.1$
- Sfiora il  $-0.1$  per  $x = 11$





# Trasformata di Fourier

(2' 37" ...)

Data una tensione  $v(t)$  qualsiasi (quindi anche non periodica), si chiama **trasformata di Fourier** di  $v(t)$  e si indica con  $V(f)$  la funzione

$$V(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} v(t)e^{-j\omega t} dt$$

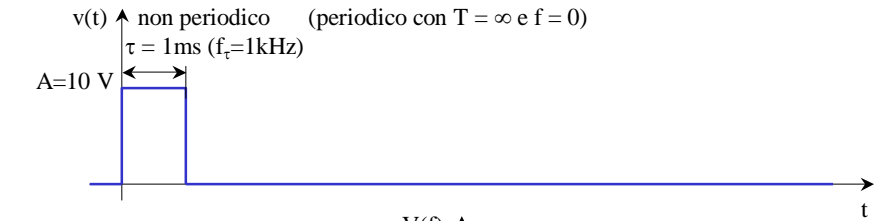
Si può riottenere  $v(t)$  dalla  $V(f)$  facendo la **antitrasformata di Fourier** con la seguente formula

$$v(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} V(f)e^{j\omega t} df$$

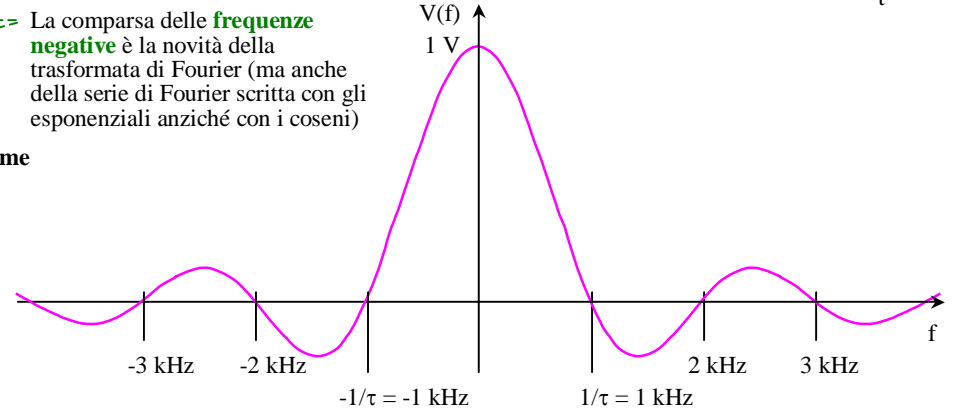
$$v(t) = f \left[ C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} 2|C_n| \cos(n\omega t + \angle C_n) \right]$$

$$v(t) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} C_n e^{jn\omega t}$$

$$C_n = \int_{-T/2}^{+T/2} v(t)e^{-jn\omega t} dt$$



La comparsa delle **frequenze negative** è la novità della trasformata di Fourier (ma anche della serie di Fourier scritta con gli esponenziali anziché con i coseni)



Sviluppo in serie di Fourier in **forma polare** in **forma esponenziale** **Vale per entrambe le forme**

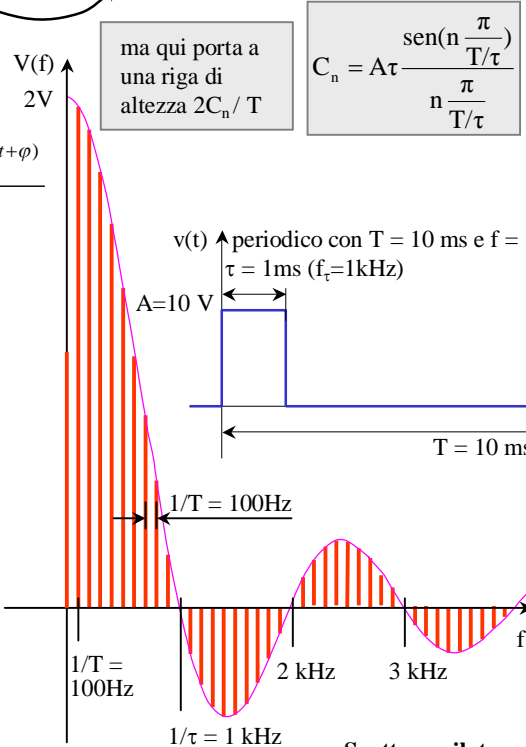
Questo perché dalla formula di Eulero

$$e^{j\alpha} = \cos\alpha + j\sin\alpha$$

si ricava questa formula:

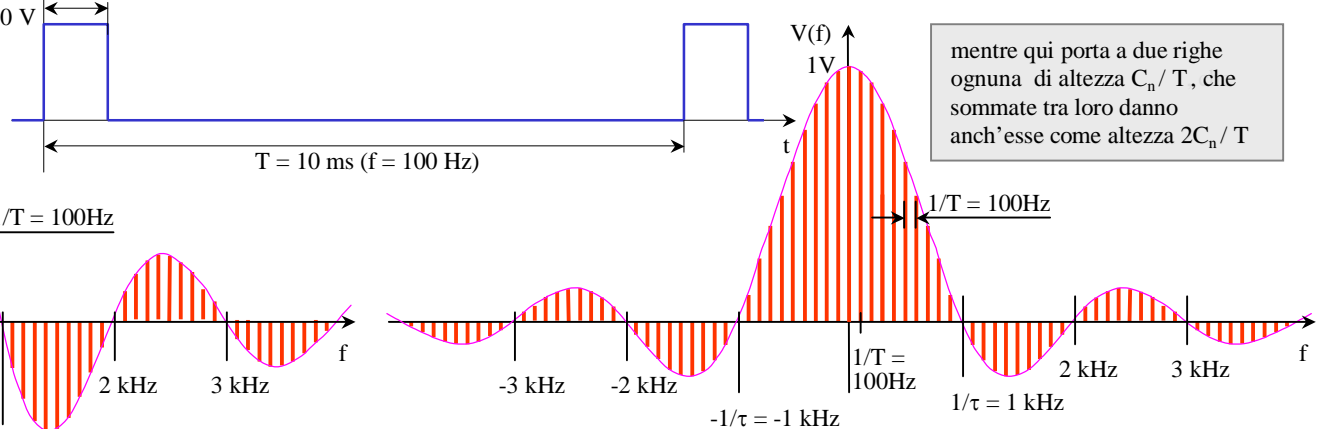
$$\cos(n\omega t + \varphi) = \frac{e^{j(n\omega t + \varphi)} + e^{-j(n\omega t + \varphi)}}{2}$$

per cui un **COS  $\alpha$**  si può esprimere come somma di due  **$e^{j\alpha}$**  a patto di ammettere gli "n negativi" ovvero le **frequenze negative** (che non hanno altro significato fisico oltre al fatto che bisogna sommare due esponenziali di segno opposto per ottenere un  $\cos \alpha$ .)



**Spettro unilatero**

$v(t)$  periodico con  $T = 10 \text{ ms}$  e  $f = 100 \text{ Hz}$   
 $\tau = 1 \text{ ms}$  ( $f_t = 1 \text{ kHz}$ )  
 $A = 10 \text{ V}$



**Spettro bilatero** (per ogni riga a una data  $f$  c'è una riga identica a frequenza  $-f$ )



# Natura e classificazione delle onde elettromagnetiche (7)

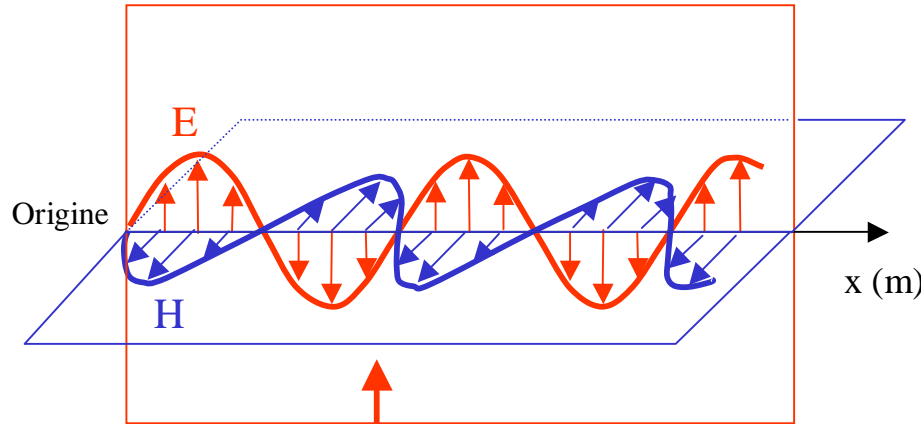
Quando l'energia accumulata nel campo elettrico ( $\frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$ ) diminuisce, aumenta quella accumulata nel campo magnetico ( $\frac{1}{2} \mu_0 H^2$ )

$$S = E_{eff} * H_{eff} = 1/2 E_{max} H_{max} \text{ (w/m}^2\text{)}$$

Vettore di Poynting

Un'onda elettromagnetica è composta da un campo elettrico E (V/m) e da un campo magnetico H (A/m) variabili, perpendicolari tra loro, che si propagano allontanandosi dal punto di origine ad una velocità che dipende dal mezzo in cui l'onda viaggia

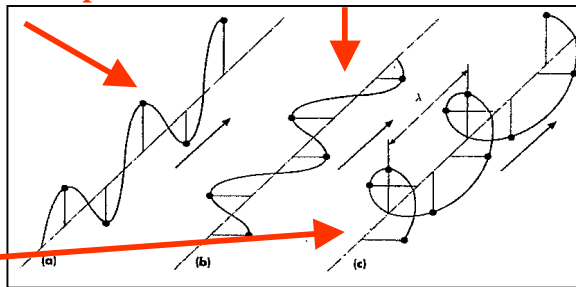
L'onda EH non va confusa con l'onda sonora, che è un'onda meccanica ed ha bisogno di un mezzo da far muovere (nel vuoto il suono non si propaga)



Quando il campo E varia su un piano verticale (come in questa figura) si dice che l'onda è polarizzata verticalmente.

Se varia su un piano orizzontale l'onda è polarizzata orizzontalmente.

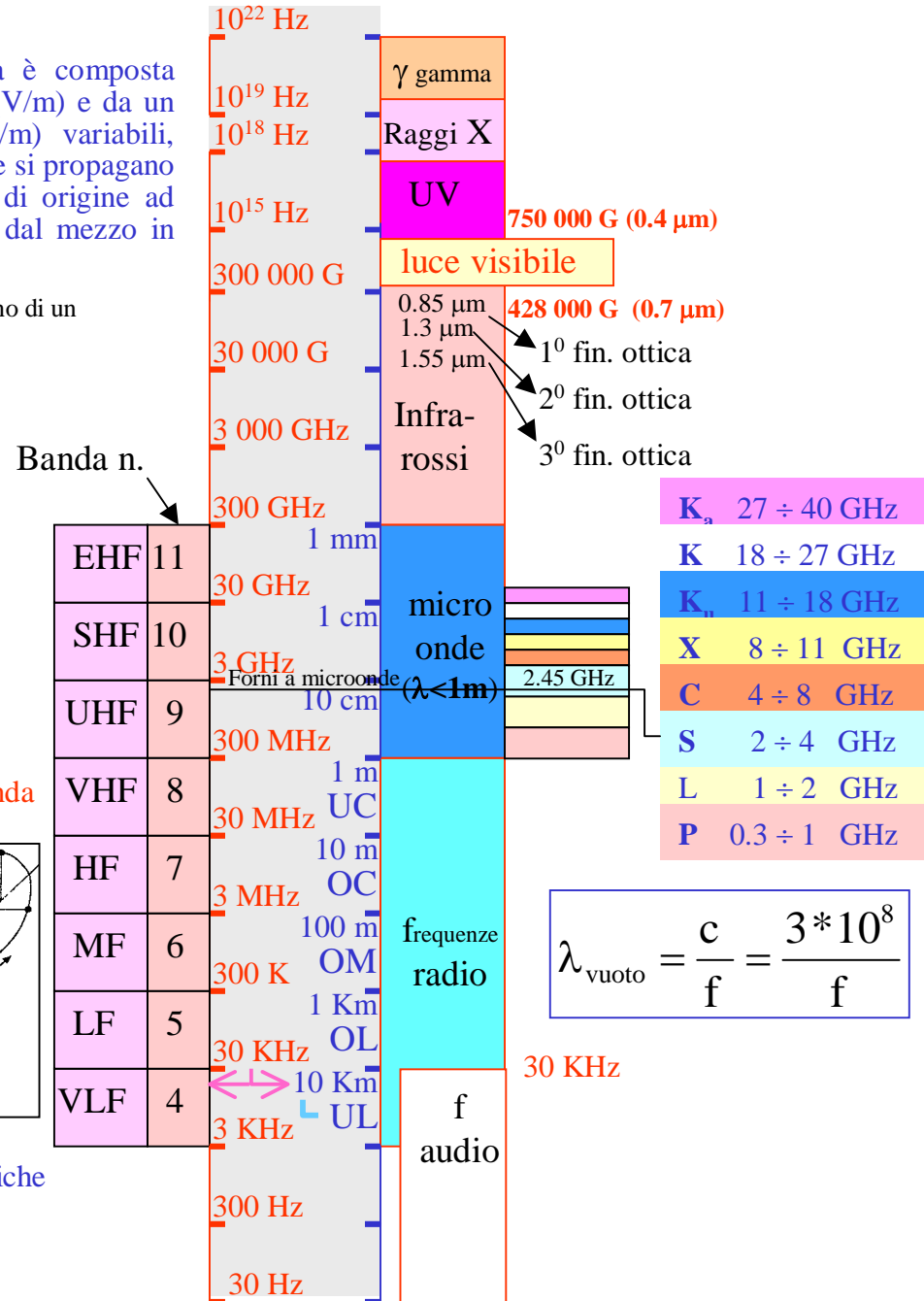
Quando cambia continuamente piano mentre avanza, descrivendo un'elica, l'onda ha una polarizzazione circolare (che può essere destra o sinistra)



Nell'aria la velocità di propagazione è quella della luce nel vuoto ( $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

Questo a patto che l'aria non sia ionizzata, cioè con cariche elettriche scoperte, come nella ionosfera

$$R_0 = \text{resistenza caratteristica} = \frac{E}{H} = 377 \Omega$$





## Domande e risposte su “Natura-classificazione onde EH”

Cosa è un campo gravitazionale? E un campo elettrico? E un campo magnetico?

Un **campo gravitazionale** è una regione dello spazio dove ci sono **forze gravitazionali** (una massa che viene attratta da un'altra massa).

Analogamente un **campo elettrico** è una regione di spazio dove ci sono **forze elettriche** (una carica elettrica che viene attratta o respinta a secondo del suo segno),

Un **campo magnetico** è una regione dello spazio dove ci sono **forze magnetiche** (un polo nord di un magnete che viene attratto da un polo sud e respinto da uno nord)

Cosa è un'onda elettromagnetica?

E' un campo elettrico e un campo magnetico **variabili** che si propagano. Le due forze, quella elettrica che agisce sulle cariche elettriche e quella magnetica che agisce sui magneti, sono tra loro **perpendicolari**.

Il campo EH va sempre alla velocità della luce?

Va a questa velocità nel vuoto e anche nell'aria, purché non ci siano ioni.

Cos'è l'indice di rifrazione  $n$  di un materiale?

E' il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e quella in quel dato materiale. Se un materiale ha  $n=2$  vuol dire che in esso la luce va a velocità dimezzata rispetto a quella che avrebbe nel vuoto

Che dimensioni ha il rapporto E/H (intensità di campo elettrico/intensità di campo magnetico)?

Il campo elettrico è parente della tensione, precisamente è la tensione per unità di lunghezza: V/m (così se su un condensatore ci sono 10 V e le armature distano tra loro di 2 mm, all'interno avremo una intensità  $E=5$  V/mm). Il campo H è prodotto dalla corrente ed ha le dimensioni di una corrente per unità di lunghezza: A/m (così se su un filo scorrono 10 A il campo magnetico H alla distanza di 1 m vale  $10/\text{circonferenza} = 10/6.28 = \text{circa } 2$  A/m). Dividendo i metri si semplificano e resta V/A ovvero Ohm

Qual è la resistenza caratteristica del vuoto?

Non è infinita, come si potrebbe pensare visto che nel vuoto non scorre corrente. Per resistenza caratteristica del vuoto, infatti, si intende il rapporto E/H, che vale  $377 \Omega$

Cosa è la rifrazione?

La luce (o una qualsiasi onda EH) si propaga in linea retta, ma solo se cammina sempre nello stesso mezzo. Passando da un mezzo con un indice di rifrazione  $n_1$  ad uno con un indice di rifrazione  $n_2 \neq n_1$ , la sua direzione cambia. Questo cambio di direzione è la rifrazione.

Mentre una parte dell'onda viene rifratta, un'altra parte viene riflessa.

Vero o falso? Vero

Quand'è che viene totalmente riflessa, senza attraversare la superficie di separazione tra i due mezzi a diverso  $n$ ?

Quando l'angolo di incidenza, misurato rispetto alla normale, è superiore ad un angolo che dicesi angolo limite

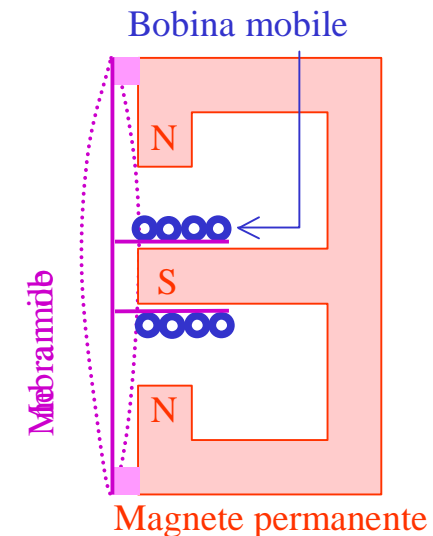
Cosa si intende con radio frequenze?

Si intende un'onda elettromagnetica con frequenza tra 3 KHz e 300 MHz. Il nome deriva dal fatto che sono usate nelle trasmissioni radio (le  $f$  più basse, che si sovrappongono alle  $f$  audio, in realtà sono usate per scopi particolare, per esempio nei sonar che scandagliano il fondo del mare, visto che a  $f$  basse la penetrazione è buona).

Che differenza c'è tra un'onda elettromagnetica e un'onda sonora?

L'**onda sonora** è un'onda di pressione (pressione del mezzo che oscilla aumentando e diminuendo) e **non si propaga nel vuoto**. L'**onda elettromagnetica** è invece una variazione del campo E (e quindi necessariamente del campo H visto che una variazione di E produce un campo H) e **si propaga nel vuoto alla velocità della luce**.

Altoparlante (microfono)  
a bobina mobile



Che differenza c'è tra MF e OM?

Nessuna, visto che entrambe le parole indicano onde EH a  $f$  comprese tra 300 KHz e 3 MHz. La prima terminologia (MF) guarda alle frequenze e la seconda (OM) alle lunghezze d'onda.

Che lunghezze d'onda abbiamo in banda VHF?

$\lambda$  va da 100 cm (30 MHz) a 1 m (300 MHz). E' facile ricordare questo secondo numero, perché  $\lambda = c/f$  e  $c$  è giusto 300 Mm/sec. Dividendo per 300 MHz ovviamente si ottiene 1. Trattandosi di una lunghezza d'onda, l'unità di misura è il m.

Che banda è la VHF nella terminologia numerica (banda 4, 5, ...)?

Il numero ci dice quanti zeri abbiamo. La banda 4 è pertanto **quella che finisce a 30000 Hz**. Poiché le VHF finiscono a 300.000.000 Hz esse saranno in banda 8 (ci sono 8 zeri)

Tra quali bande sono le microonde? E che lunghezza d'onda hanno?

Tra le frequenze radio e gli infrarossi. La lunghezza d'onda è inferiore ad 1 m

Sapendo che in una guida d'onda deve entrare almeno mezza onda, quanto dovrebbe essere larga una guida d'onda rettangolare per portare un'onda con  $\lambda = 1$  m  
0.5 m

Sarebbe una guida d'onda assai ingombrante e per questo si usano guide d'onda a  $f$  di almeno 3 GHz ( $\lambda = 10$  cm e quindi larghezza minima di 5 cm)

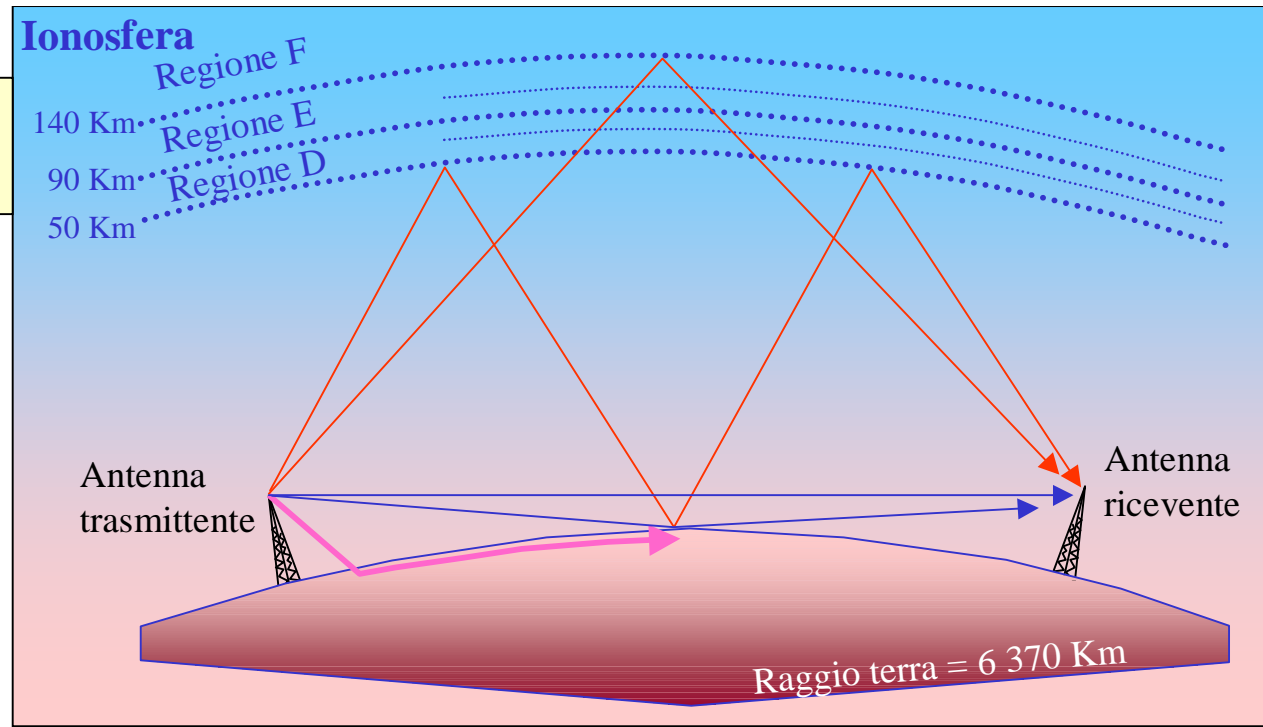
La terza finestra ottica usata nelle fibre è a  $f$  maggiore o minore della prima finestra ottica? A  $f$  minore





(3')

### I 3 modi di propagazione delle onde EH



EHF	11	300 GHz	1 mm
SHF	10	30 GHz	1 cm
UHF	9	3 GHz	10 cm
VHF	8	300 MHz	1 m
HF	7	30 MHz	UC
MF	6	3 MHz	OC
LF	5	300 K	OM
VF	4	30 KHz	OL
VLF	4	3 KHz	UL

1 – **L'onda superficiale** è l'onda che si propaga seguendo il terreno ed è una modalità di propagazione usabile solo a bassa frequenza perché a frequenze alte si estingue rapidamente

2 – Un'altra modalità di propagazione sfrutta l'**onda riflessa** dagli strati bassi della ionosfera o da quelli alti e si fa affidamento su di essa soprattutto nella banda 3 MHz - 30 MHz

3 – Poi c'è l'**onda diretta**, che segue le stesse leggi di propagazione della luce e che è usata a frequenze superiori ai 30 MHz

**$f < 300 \text{ KHz}$**  fino a 1000 Km onda superficiale (c'è anche l'onda riflessa ma quella superficiale è più forte). Oltre i 1000 Km onda ionosferica riflessa dalla bassa ionosfera (più forte di notte e in inverno)

**$300 \text{ KHz} < f < 3 \text{ MHz}$**  DI GIORNO solo onda di superficie fino a 100 Km (l'onda ionosferica penetra ed è attenuata).

DI NOTTE vicino con onda superficiale, lontano con onda ionosferica (in mezzo interferenza tra le due e cattiva qualità)

**$3 \text{ MHz} < f < 30 \text{ MHz}$**  Scomparsa l'onda di superficie, resta l'onda ionosferica, poco stabile. La riflessione avviene in alto, con bassa attenuazione, per cui si arriva molto lontano con poca potenza. Sotto ad una data distanza (skip) c'è silenzio

**$f > 30 \text{ MHz}$**  non c'è né onda di superficie né onda ionosferica (perché a queste f non c'è rifrazione) e si usa l'onda diretta e l'onda riflessa dal suolo.

C'è bisogno di visibilità ottica e con altezza di TX=36 m e altezza di RX=64 m la distanza di visibilità è 57 km (avendo tenuto conto dell'incurvatura della terra con raggio della terra maggiorato di 4/3)





## Introduzione all'irradiazione

(2)

L'antenna trasmittente è l'ultimo elemento di un sistema di trasmissione via radio

L'antenna ricevente è il primo elemento del sistema di ricezione

Un'antenna trasmittente riceve una corrente ed emette un campo elettromagnetico.

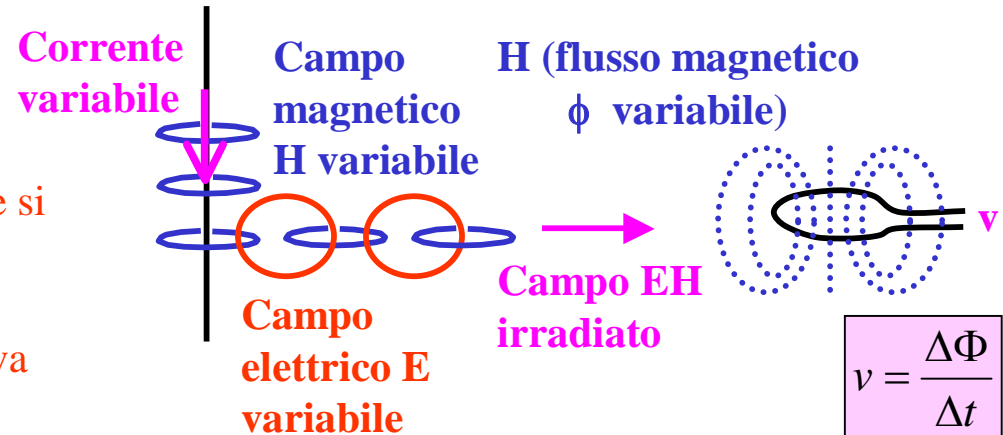
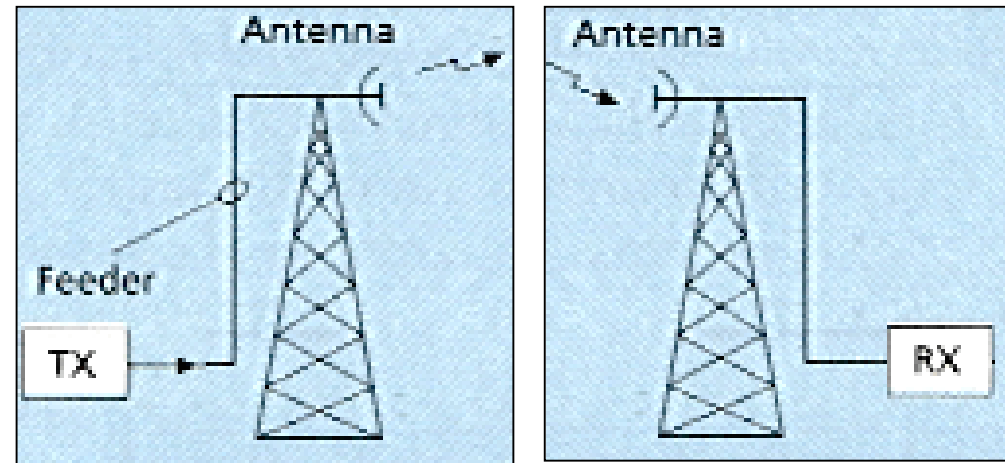
Una corrente variabile che scorre in un filo produce un campo magnetico variabile (la cui intensità si indica con H e si misura in A/m)

Un campo magnetico variabile produce un campo elettrico variabile (la cui intensità si indica con E e si misura in V/m)

Vicino all'antenna il campo elettrico variabile si richiude sul filo restituendo l'energia (che quindi va nello spazio intorno al filo e poi ritorna al filo)

Lontano dal filo, invece, il campo elettrico si richiude su se stesso e la sua energia non torna al filo ma viene usata per creare un nuovo campo magnetico. Questo crea un nuovo campo elettrico il quale ricrea il campo magnetico

C'è un campo elettromagnetico che si allontana dal filo. Esso viene chiamato **campo irradiato** (invece il campo che restituisce l'energia al filo viene chiamato **campo indotto**)



L'antenna ricevente riceve un campo H variabile

e fornisce una tensione v

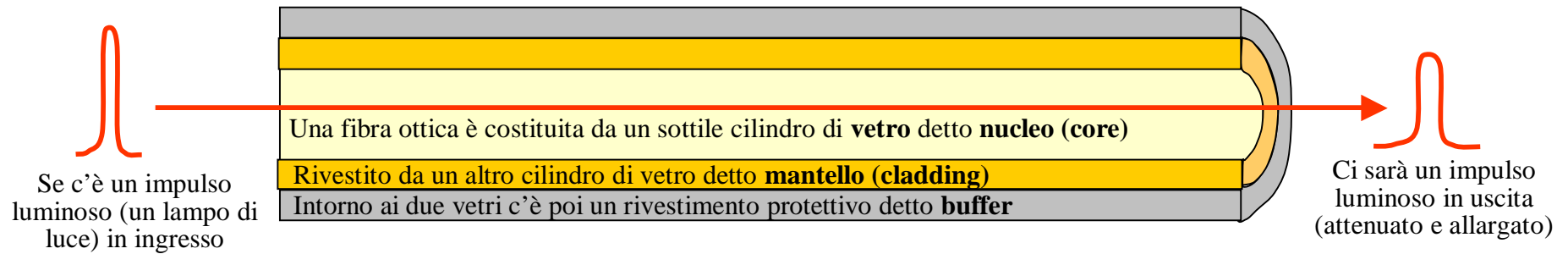
(per la legge dell'induzione)



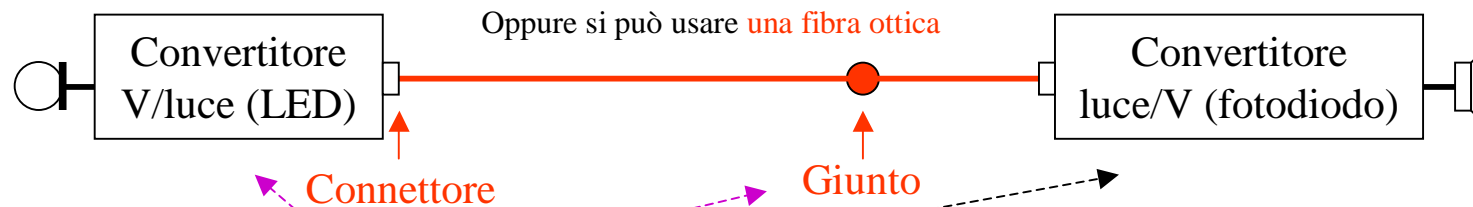
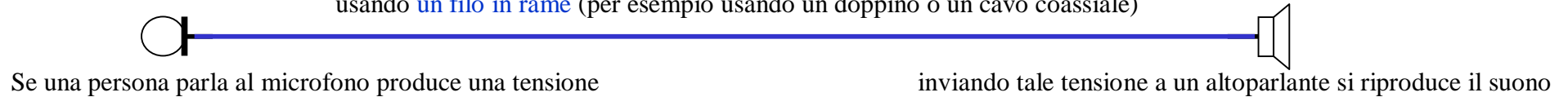
## Introduzione alle fibre ottiche

(4)

Un sottile cilindro di vetro rivestito si chiama **fibra ottica** perché trasporta la luce da un capo all'altro



si può portare il segnale elettrico dalla sorgente (microfono) alla ricevente (altoparlante) usando **un filo in rame** (per esempio usando un doppino o un cavo coassiale)



### Svantaggi della fibra ottica:

**Il costo aumenta** per una serie di motivi:

- Anche gli accessori sono costosi...
- ... e gli strumenti di prova sono costosissimi
- È uno svantaggio anche il fatto che la tecnologia delle fibre ottiche sia in rapida evoluzione, con componenti base ancora in fase di sviluppo...
- ... e che ci siano ancora problemi di standardizzazione (almeno nell'anno 2004, data di edizione del libro utilizzato come fonte)

La fibra ottica è costosa, ma così **veloce** che una sola fibra ottica è in grado di portare tutte le telefonate che sono fatte negli Stati Uniti ad un dato istante

### Vantaggi della fibra ottica:

- 1) **Banda elevata** che ci permette di inviare i dati molto velocemente
- 2) Bassa attenuazione (20 dB x 100 Km => non servono **amplificazioni** intermedie fino a 130 o 150 Km)
- 3) immunità ai disturbi elettromagnetici e impossibilità di spiare una linea senza interromperla
- 4) basso peso e basso costo del vetro
- 5) Installabile con i cavi di energia, installabile facilmente in condotti già esistenti e resistenza a condizioni ambientali difficili
- 6) Assenza di diafonia, non ha bisogno di equalizzazione, alta qualità del segnale e basso numero di errori

Si usano nelle linee telefoniche numeriche (a 140 o 565 Mbit/s, ma anche fino a 2 Gbit/s e oltre), dove è richiesta segretezza, in reti di computer a larga banda, nelle TV via cavo e in molti altri casi



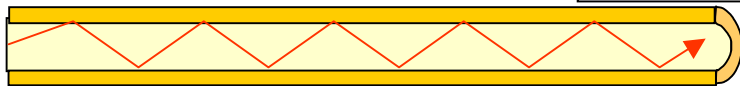
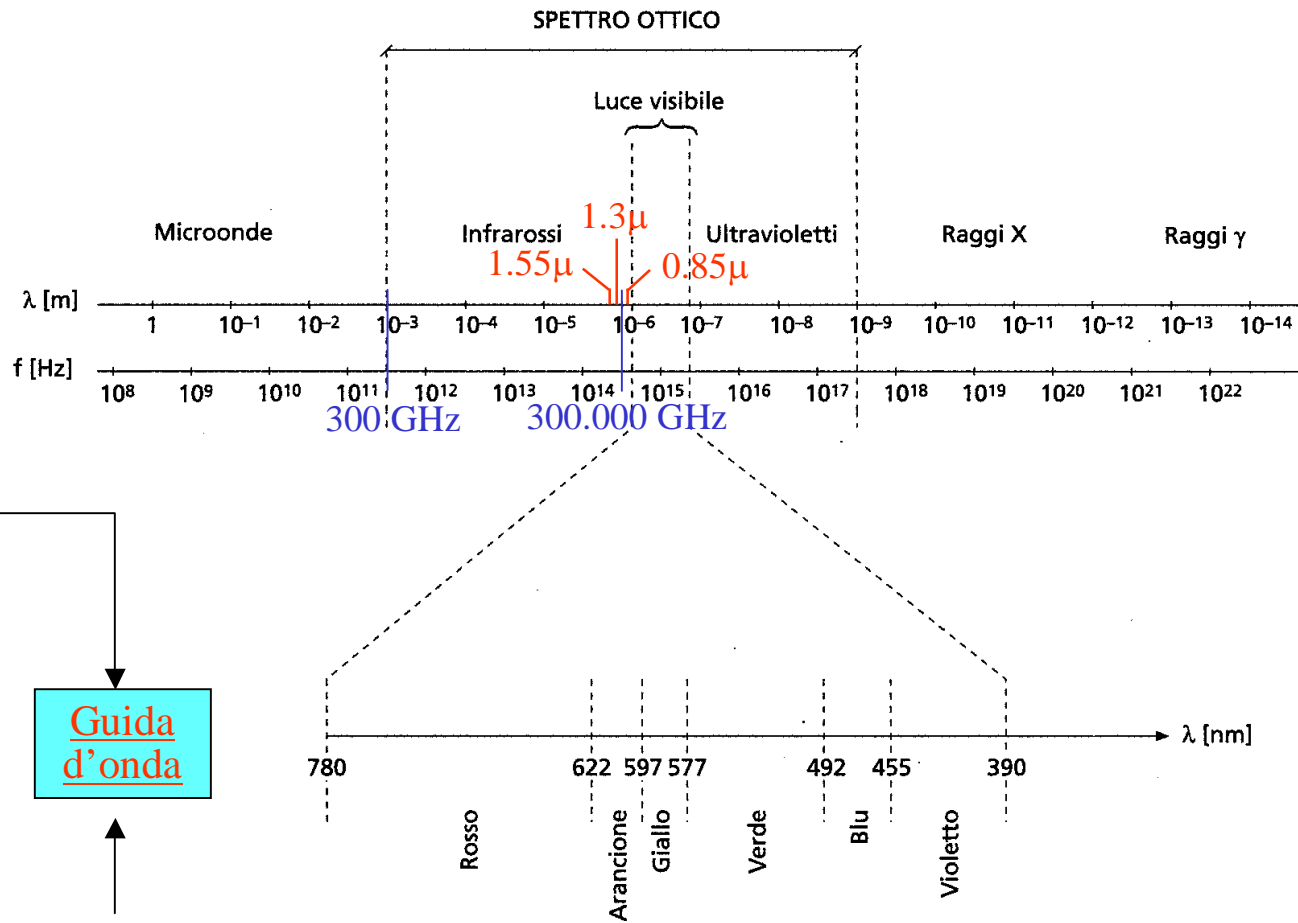
## Principio di funzionamento

(2)

Se come uso la fibra ottica rassomiglia ad un filo di rame, come funzionamento somiglia ad un collegamento radio

Un segnale radio è **un'onda elettromagnetica**, ed anche la luce è un'onda elettromagnetica, solo a frequenza molto alta (superiore a **300.000 GHz**, una frequenza mille volte maggiore del limite superiore delle microonde, che vanno da 300 MHz a **300 GHz**)

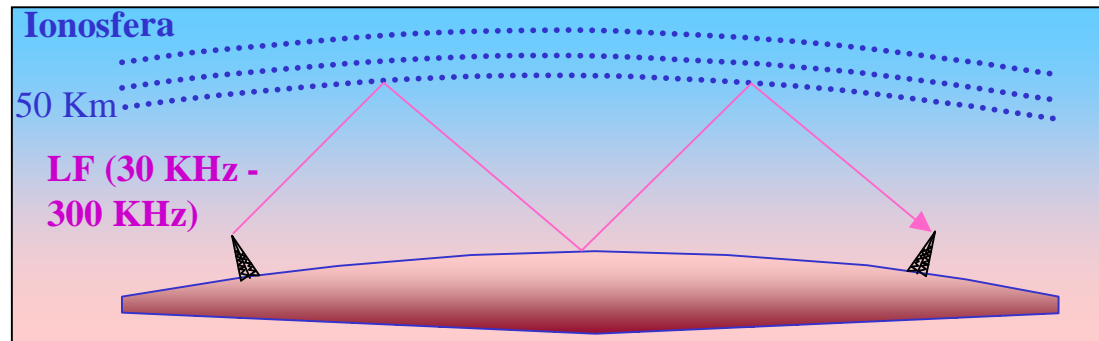
Le frequenze utilizzate sono nel campo degli **infrarossi** (regione posta tra la **luce visibile** e le **microonde**)



La luce si propaga nel vetro della fibra *anche quando questa fa una curva* perché si riflette sulla superficie di separazione tra nucleo e mantello

La riflessione si ha perché il vetro del mantello ha un indice di rifrazione diverso rispetto a quello del nucleo ( $n_{\text{mantello}} < n_{\text{nucleo}}$ )

$$n_{\text{mat.}} = \frac{\text{velocità della luce nel vuoto } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{\text{velocità della luce nel materiale}}$$



Anche nelle trasmissioni radio abbiamo incontrato una riflessione tra terra e ionosfera, che insieme si comportano come una guida d'onda.



## Legge di Snell e apertura numerica

(5)

Prendiamo un vetro con un indice di rifrazione  $n_1$  e un secondo vetro con un indice di rifrazione  $n_2 < n_1$

Nota la velocità della luce in un dato vetro, il suo indice di rifrazione vale

$$n_{\text{vetro}} = \frac{c}{v_{\text{luce\_in\_quel\_vetro}}}$$

$$c > v_{\text{vetro}} \Rightarrow n_{\text{vetro}} > 1$$

Velocità della luce nel vuoto ( $3 \cdot 10^8$ )

Se un raggio di luce cerca di attraversare la superficie di separazione tra i due vetri:

- una parte di esso passa dall'altra parte ma viene deviato rispetto al percorso rettilineo (**rifrazione**)

Vale che (**legge di Snell**):

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$$

$$n_2 < n_1 \Rightarrow \varphi_2 > \varphi_1 \text{ e la}$$

luce tende a "tornare giù"

- un'altra parte della luce incidente viene invece **riflessa**

L'angolo che da origine ad un raggio rifratto con un angolo di  $90^\circ$  si chiama angolo limite ( $\sin \varphi_{\text{limite}} = n_2 / n_1$ ) Se l'angolo di incidenza è maggiore dell'angolo limite, tutto il raggio viene riflesso !

Se la luce va da un  $n=1,48$  a un  $n=1,46$  con angolo di incidenza di  $81^\circ$  viene rifratta o riflessa e con quale angolo di uscita?  $\Rightarrow$  **riflessa con  $\varphi_r = \varphi_i = 81^\circ$**   
 $\arcsin(\sin^{-1}(1,46/1,48)) = 1,40 \text{ rad} \times 180/\pi = 80,5^\circ$

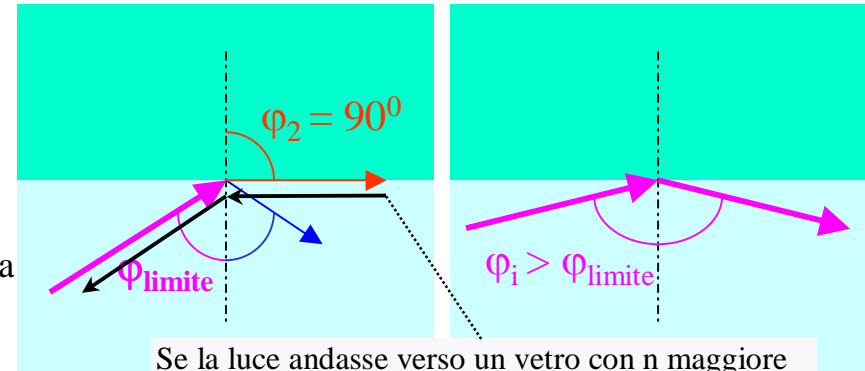
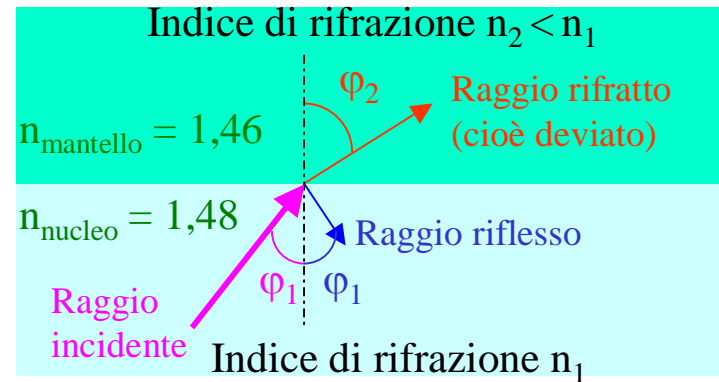
In una fibra ottica si propagano senza attenuazione solo i raggi che vanno a sbattere sul mantello con un angolo maggiore dell'angolo limite  $80,5^\circ$  (gli altri perdono energia ad ogni riflessione, perché parte della luce attraversa spegnendosi sul rivestimento esterno, e dopo poche riflessioni sono già azzerati)

Per propagarsi, un raggio deve entrare con un angolo non superiore ad un  $\varphi_{\text{max}}$  tale che, dopo la rifrazione all'ingresso, l'angolo con cui incide sul mantello sia quello limite

Il  $\sin \varphi_{\text{max}}$  dicesi **apertura numerica (NA)** della fibra

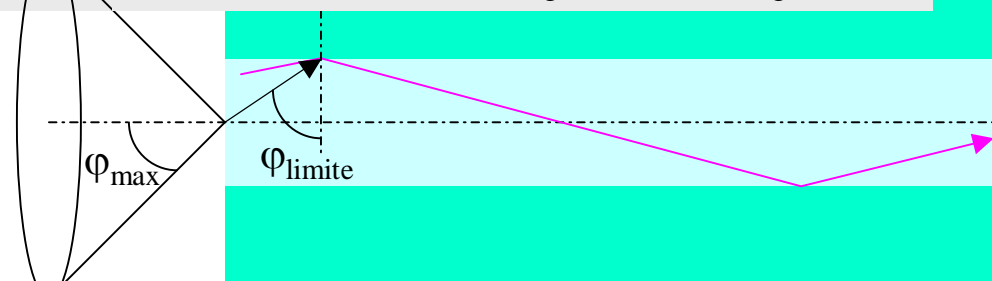
Trovare l'apertura numerica e l'angolo di accettazione di una FO con  $n_{\text{core}} = 1,479$  e  $n_{\text{cladding}} = 1,465$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,479^2 - 1,465^2} = 0,203 \quad \text{angolo di accettazione} = \arcsin(NA) = 0,204 \text{ rad} = 11,7^\circ$$



Se la luce andasse verso un vetro con n maggiore verrebbe sempre rifratta e mai riflessa

Poiché va verso un n minore, bisogna calcolare l'angolo limite



Il cono definito da tale angolo dicesi **cono di accettazione**  
L'apertura numerica dipende dai vetri utilizzati, perché usando la legge di Snell si può dimostrare che:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

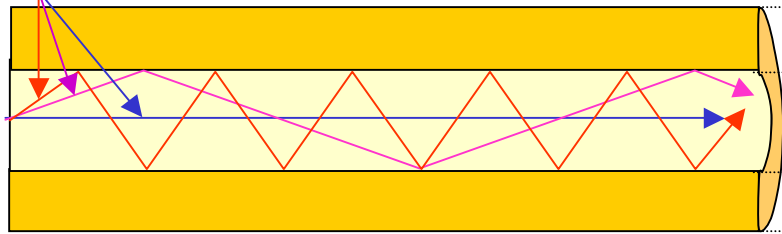
$$NA = 0,2 \div 0,3$$



## Tipi di fibre ottiche

(2)

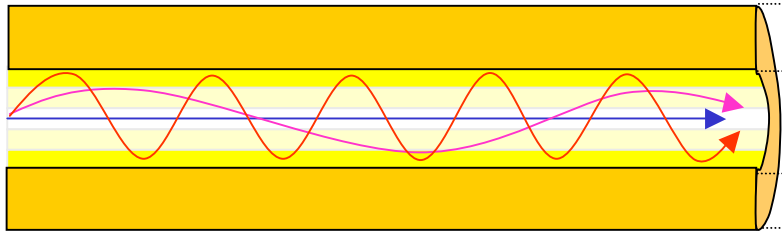
In una fibra multimodale la luce può propagarsi in diversi **modi** (con un maggiore o minore numero di riflessioni)



**Fibre ottiche multimodali (MMF, MultiMode Fiber)**

step index

graded index



La riflessione avviene a seguito di una serie di piccole **rifrazioni** (deviazioni)

**Fibre unimodali (SMF, Single Mode Fiber)**



In una monomodale, invece, a causa del ridotto diametro del nucleo, la luce può propagarsi solo in modo rettilineo (**modo fondamentale**)

$$n_2 = 1.46$$

$$n_1 = 1.48$$

n

x

x

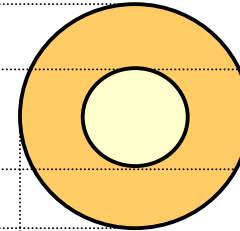
n

x

n

x

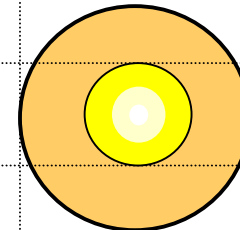
Ci sono anche SMF graduali, ma le più usate sono le step index



FO obsoleta

50 μm (o 62,5 μm)

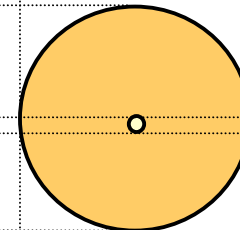
Costa poco di più e consente velocità almeno 10 volte superiori



50 μm (o 62,5 μm)

Nelle LAN o nelle distanze brevi

Le unimodali sono molto migliori, ma costano molto di più



8,2 μm

Per collegamenti su distanze lunghe o medie si usano le unimodali

125 μm

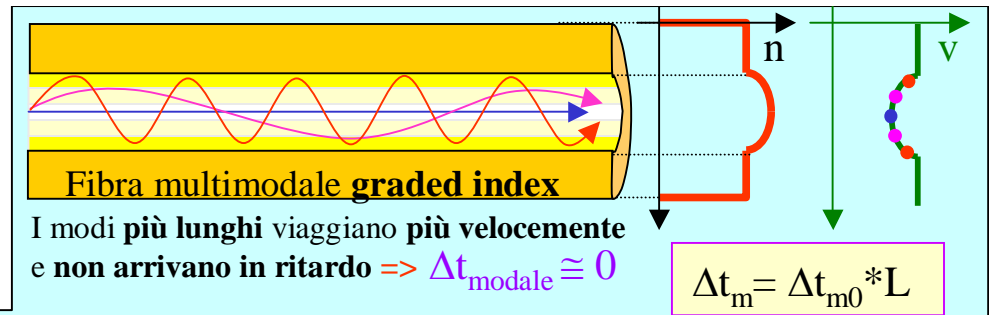




### Dispersione modale e cromatica (8')

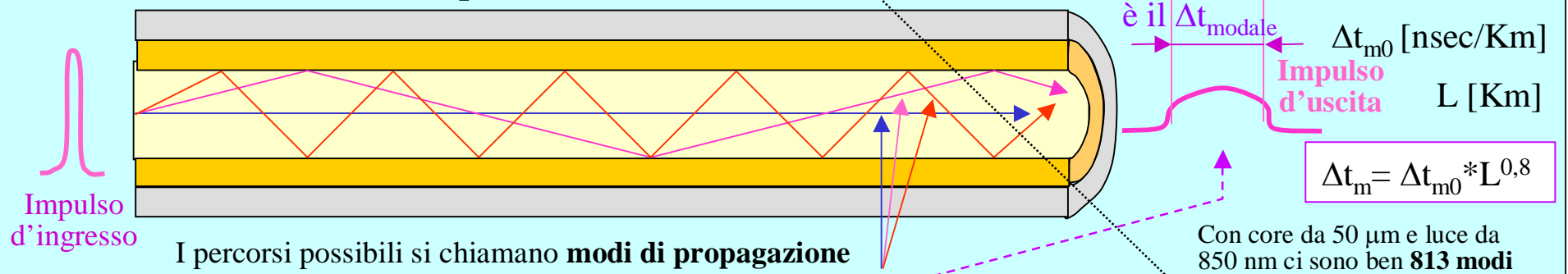
Si ha dispersione quando la forma dell'impulso luminoso in uscita è diversa dalla forma in ingresso. Le cause sono:

- **dispersione modale**
  - dispersione di guida d'onda
  - dispersione del materiale
- } **dispersione cromatica**



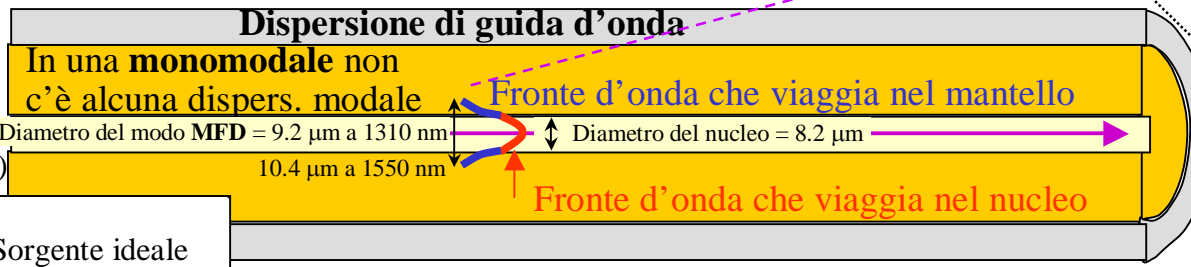
### Dispersione modale

#### Fibra multimodale step index

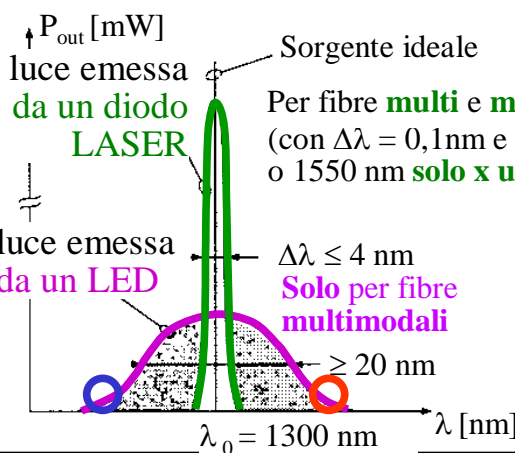


### Dispersione cromatica

$\Delta t_{\text{cromatica}}$  [ps/Km]  
con B 1000 volte superiore (infinita se...)

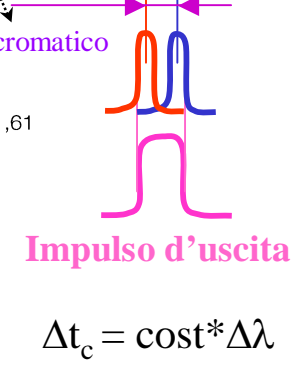
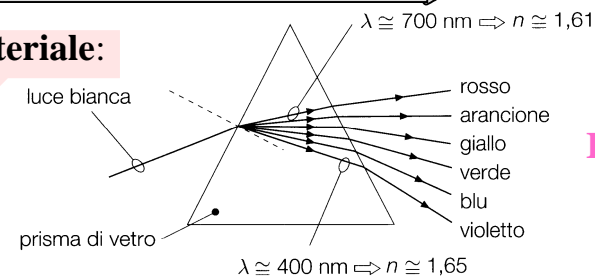


L'intervallo di tempo tra il colore che arriva primo e il colore che arriva ultimo è il  $\Delta t_{\text{cromatica}}$



### Dispersione del materiale:

deriva dal fatto che le frequenze **più basse** viaggiano **più velocemente** e quelle **più alte** **più lentamente**



La costante di proporzionalità si chiama **coefficiente di dispersione cromatica** e si indica con  $D_c$

$\Delta t_{c0} = D_c * \Delta\lambda$  [ps/Km se  $\Delta\lambda$  è in nm e  $D_c$  è in ps/nm\*Km]

$\Delta t_c = \Delta t_{c0} * L$





## Introduzione alle guide d'onda

(3)

Le **linee a coppie parallele** perdono sempre di più man mano che aumenta la frequenza perché l'irradiazione aumenta, col risultato che a frequenze alte il segnale scappa tutto per strada e la linea non è più utilizzabile per il trasporto

E' per questo che per trasportare fino alla televisione il segnale ricevuto da un'antenna terrestre (f da circa 50MHz a circa 1000 Mhz) si usa il cavo coassiale.

Nei **cavi coassiali** non si ha irraggiamento, perché il segnale non può uscire (il secondo conduttore, cioè la calza metallica, funziona da schermo e non lascia né entrare né uscire).

L'attenuazione, però, aumenta con la frequenza (e per questo, nella ricezione satellitare la prima operazione dopo l'amplificazione è quella di convertire il segnale ricevuto a 10 GHz a frequenze più basse, tra 1 e 2 GHz)

L'attenuazione diminuisce usando **conduttori cavi** (cioè levando il conduttore interno del coassiale e usando l'aria come isolante anziché una plastica) **OVVERO guide d'onda** (a sezione circolare o rettangolare)

- perché non irradia (per lo stesso motivo per cui non irradiano i coassiali)
- perché non ci sono perdite nell'isolante (essendoci, praticamente, il vuoto)
- perché nel coassiale il conduttore interno ha alta resistenza visto che la corrente scorre solo in superficie (effetto pelle) e nella guida il conduttore interno è eliminato

Nelle guide d'onda si possono inviare potenze elevate

A f elevate (molti GHz) l'antenna più usata è la parabolica

Per sfruttarla tutta bisogna illuminarla tutta e il modo migliore per illuminarla è quello di usare un'antenna a tromba = una guida d'onda che si allarga in fondo

Le guide d'onda sono usate per alimentare le antenne a f maggiori di 3 GHz

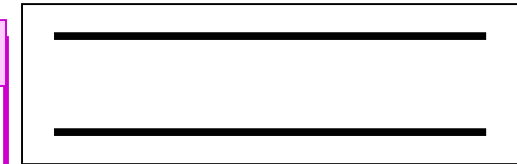
$$f_{\text{critica (minima)}} = f_c = c / 2a$$

con a = 10 cm

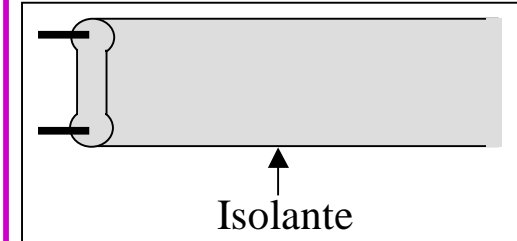
$$f_c = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 1.5 \cdot 10^9 = 1.5 \text{GHz}$$

Una R40 usata in mono-modale 3.3 ÷ 4.4 GHz

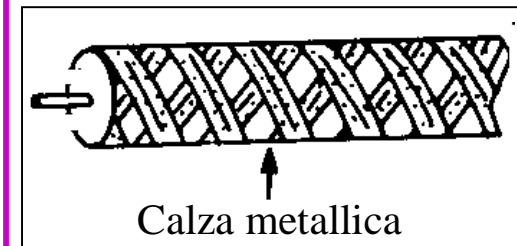
Aumentando f



Linea a coppie parallele



Isolante

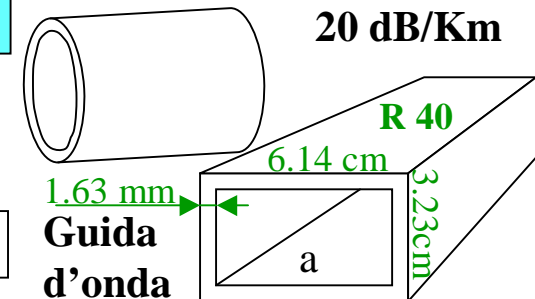


Calza metallica

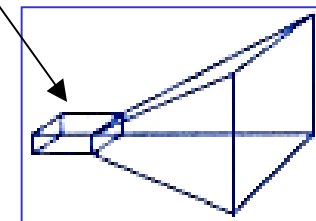
Cavo coassiale

a 3 GHz 100 dB/Km

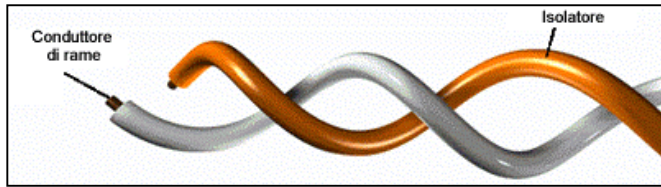
20 dB/Km



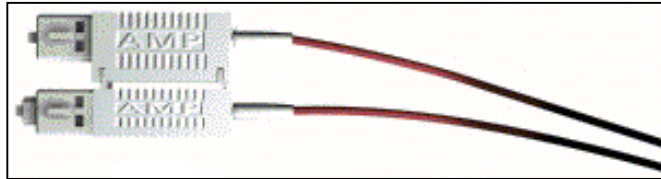
Antenna a tromba



2 fili paralleli sono un'antenna, ritorti no (meglio se con passo più fitto come nelle TP di cat. 5)



Doppino ritorto (TP da Twisted Pair)



Cavo a **fibre ottiche** (10 volte più costoso ma in grado di consentire velocità molto maggiori e privo di interferenze elettromagnetiche)

Con le reti **Ethernet a 10 Mbps** si usava il cavo coassiale sottile ( $\Phi_{\text{cond. int.}} = 1.2 \text{ mm}$  e  $\Phi_{\text{calza}} = 4.4 \text{ mm}$  contro i 2.6/9.5 mm del coax normale e gli 0.7/2.9 mm del microcoax) con impedenza caratt.  $Z_0 = 50 \Omega$ .  $V = 1-2 \text{ Gbps}$  fino a 1 Km

Con le **Ethernet a 100 Mbps**, invece, è previsto il cavo UTP di categoria 5

**UTP = Unshielded Twisted Pair = 4 doppini ritorti non schermati**

**STP = Schermato FTP = scherm. con un foglio S-FTP = singolar. scherm.**

	1 blu/bianco	Non usato
	2 blu	Non usato
	3 arancio/bianco	TX+
	4 arancio	TX-
	5 verde/bianco	RX+
	6 verde	RX-
	7 marrone/bianco	Non usato
	8 marrone	Non usato

**Diafonia**

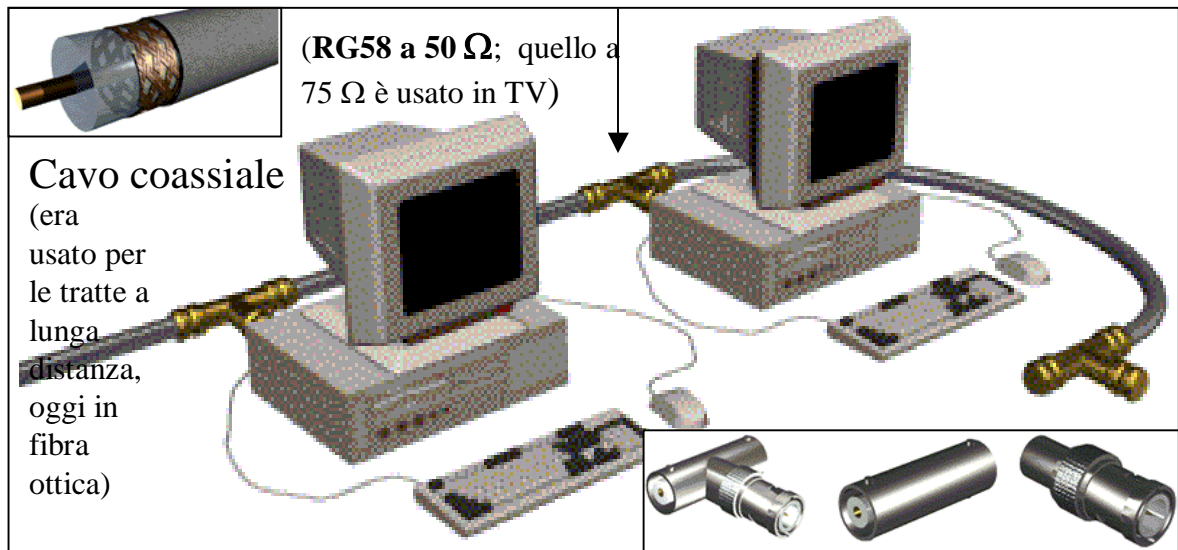
Usati a 1000 Mbps



**Cavi e prese per LAN**

(3)

Si collegava con un T e non serviva l'Hub, solo un ripetitore quando la distanza superava i 200 m

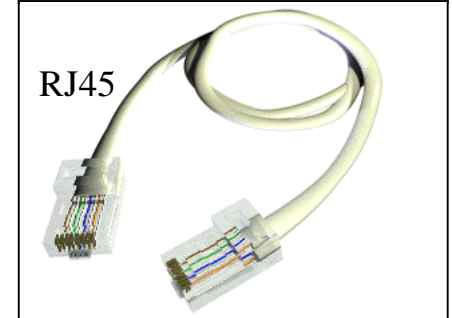
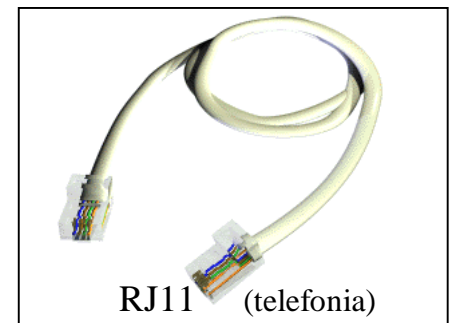
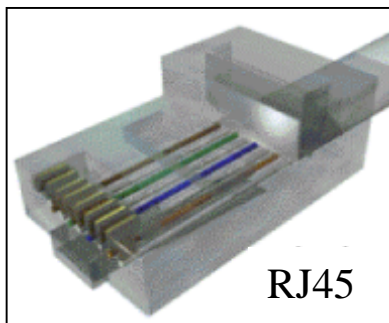
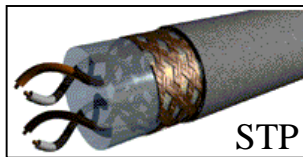


**Cavo coassiale** (era usato per le tratte a lunga distanza, oggi in fibra ottica)

(RG58 a  $50 \Omega$ ; quello a  $75 \Omega$  è usato in TV)

connettore BNC e terminatore a  $50 \Omega$

Nel **Gigabit Ethernet** si può usare sia l'UTP che la fibra ottica



# Guide d'onda

Aumentando f

Le **linee a coppie parallele** perdono sempre di più, man mano che aumenta la frequenza, perché l'irradiazione aumenta. A f alte, il segnale scappa tutto per strada e la linea non è più utilizzabile per il trasporto

E' per questo che nella discesa di una TV (100÷1000 Mhz) si usa il cavo coassiale

Nei **cavi coassiali** non si ha irraggiamento, perché il segnale non può uscire (il secondo conduttore, cioè la calza metallica, funziona da schermo e non lascia né entrare né uscire). L'attenuazione, però, aumenta con la frequenza

Per questo, nella ricezione satellitare la prima operazione è quella di convertire il segnale ricevuto (10 GHz) a frequenze più basse (1÷2 GHz)

L'attenuazione diminuisce usando **conduttori cavi** (cioè levando il conduttore interno del coassiale e usando l'aria come isolante anziché una plastica) ovvero **guide d'onda** (a sezione circolare o rettangolare)

- perché non irradia (per lo stesso motivo per cui non irradiano i coassiali)
- perché non ci sono perdite nell'isolante (essendoci, praticamente, il vuoto)
- perché nel coassiale il conduttore interno ha alta resistenza visto che la corrente scorre solo in superficie (effetto pelle) e nella guida il conduttore interno è eliminato

Nelle guide d'onda si possono inviare potenze elevate

0.2 dB/Km fibra U in 3<sup>o</sup> fin.

A f elevate (molti GHz) l'antenna più usata è la parabolica

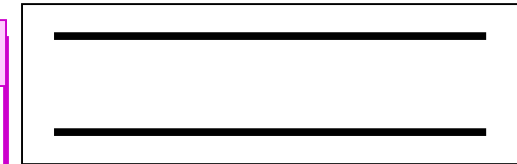
Per sfruttarla tutta bisogna illuminarla tutta e il modo migliore per illuminarla è quello di usare un'antenna a tromba = una guida d'onda che si allarga in fondo

Le guide d'onda sono usate per alimentare le antenne a f maggiori di 3 GHz

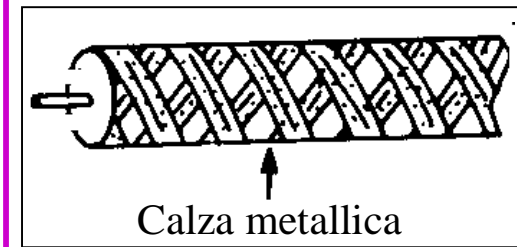
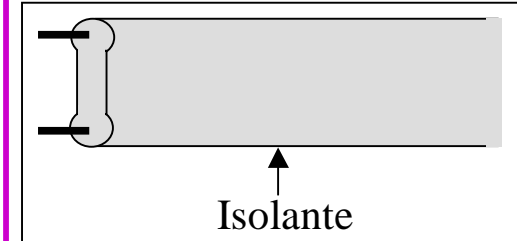
$$f_{\text{critica (minima)}} = f_c = c / 2a \quad \text{con } a = 10 \text{ cm}$$

$$f_c = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 1.5 \cdot 10^9 = 1.5 \text{ GHz}$$

Una R40 usata in mono-modale 3.3 ÷ 4.4 GHz



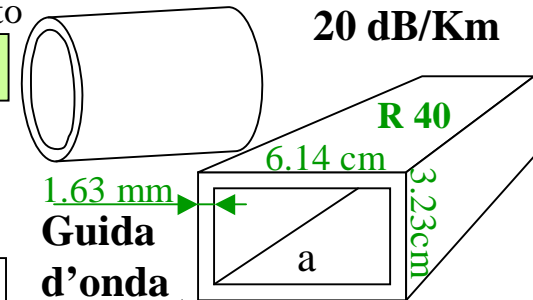
Linea a coppie parallele



Cavo coassiale

a 3 GHz 100 dB/Km

20 dB/Km



Guida d'onda

Antenna a tromba

# PicoScope 6.6.23.2 (oscilloscopi su PC da 200 a 10 000 €)

Specifiche

(6')

Il PicoScope è il software della ditta Pico Technology per i suoi oscilloscopi su PC di ugual nome.

The screenshot displays the PicoScope 6.6.23.2 software interface. The main window shows 'Oscilloscopio 1' with a square wave signal. The vertical axis ranges from -0.514 to 6.86 V, and the horizontal axis shows time values from -2.327 to -0.833 ms. A 'Zoom Overview' window is visible in the top right. On the right side, there is a 'Spettro del bin' (Bin Spectrum) window showing a spectrum plot with a peak at 0.074 V. Below it, the 'Spettro 1' window shows a zoomed-in view of the spectrum with a peak at 676.0 mV. The interface includes a menu bar (File, Modifica, Videate, Misure, Strumenti, Guida) and a toolbar with various icons for file operations, zooming, and triggering.

This screenshot shows the PicoScope 6.6.23.2 software interface with a PicoScope 2004 hardware device overlaid. The device is a blue rectangular unit with a USB port and two BNC connectors. The software interface shows 'Oscilloscopio 1' with a square wave signal. The vertical axis ranges from -1.333 to 6.86 V, and the horizontal axis shows time values from -2.327 to -0.833 ms. A 'Zoom Overview' window is visible in the top right. On the right side, there is a 'Spettro 1' window showing a zoomed-in view of the spectrum with a peak at 35.7 mV. The interface includes a menu bar (File, Modifica, Videate, Misure, Strumenti, Guida) and a toolbar with various icons for file operations, zooming, and triggering. A 'Trigger' window is also visible, showing 'Trigger Auto' and 'Intervallo di campionamento' set to 320 ns.

**PicoScope 2004 da 100 Ms/s e 10 Mhz (se ci basta la 5<sup>o</sup> armonica) 233 €**

Canale A  
Canale B  
AWG e generatore di funzione

Canale	Nome	Span	Valore	Min	Max	Media
B	Tempo di ciclo	Tutta la traccia	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
B	Frequenza	Tutta la traccia	999,6 Hz	999,6 Hz	999,6 Hz	999,6 Hz
B	Minimo	Tutta la traccia	1,526 mV	1,526 mV	1,526 mV	1,526 mV
B	Massimo	Tutta la traccia	4,928 V	4,928 V	4,928 V	4,928 V

Canale	Nome	Span	Valore
B	Ampiezza di picco	Al picco	2,031 V
B	Distorsione armonica totale (THD)%	Tutta la traccia	57,22 %
B	Rapporto segnale / rumore (SNR)	Tutta la traccia	-39,09 dBc



## Preparazione al compito 1

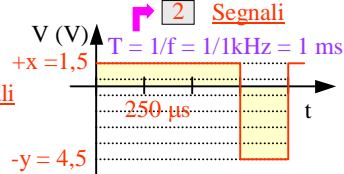
1) I segnali quadri sono importanti nelle telecomunicazioni perché... oggi i segnali inviati sono quasi tutti digitali e un segnale digitale binario è un segnale quadro ➡ **1 Segnali**

2) I segnali sinusoidali sono importanti nelle telecomunicazioni perché... i segnali quadri inviati nelle TLC digitali (e anche gli altri) sono (➡ **1** dia **Spettri**) somma di sinusoidi a f diverse. Sapendo cosa succede alle sinusoidi inviate dal TX lungo il canale sapremo com'è fatto il segnale che arriva al ricevitore e se contiene ancora le informazioni che aveva in partenza.

3) Disegnare su un grafico quotato un segnale quadro con Ampiezza picco-picco di 6 Volt, Duty Cycle del 75%, valor medio 0 V e frequenza di 1 KHz

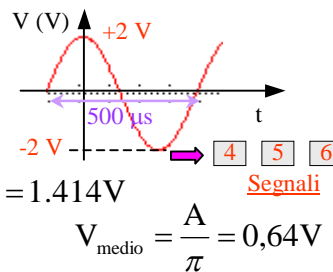
➡ Area+ (x\*3) = Area- (y\*1) ➡ **3** dia **Segnali**

$$\begin{cases} 3x = y \\ x + y = 6 \Rightarrow x + 3x = 6 \Rightarrow 4x = 6 \Rightarrow x = 6/4 = 1,5V \end{cases} \quad y = 3x = 4,5V$$



4) Disegnare su un grafico quotato un segnale sinusoidale con Ampiezza di 2 Volt, frequenza 2 KHz e fase di +90°

$$T = 1/f = 1/2\text{kHz} = 0,5 \text{ ms} = 500 \mu\text{s}$$



5) Scrivere l'espressione analitica della v(t) di cui al punto precedente e calcolare valor medio (tagliando la parte negativa) e valore efficace.

$$v(t) = 2\text{sen}(2\pi 2000t + 90^\circ) \quad V_{\text{efficace}} = \frac{A}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = 1,414V \quad V_{\text{medio}} = \frac{A}{\pi} = 0,64V$$

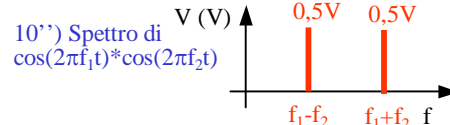
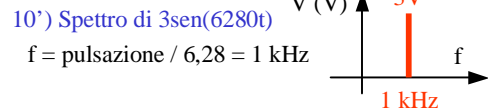
6) Nel passaggio da vuoto a carico (ovvero quando si collega qualcosa tra i morsetti di uscita del circuito assorbendo corrente) succede che la  $V_{\text{uscita}}$  diminuisce rispetto alla tensione a vuoto

7) Se erogando 1 mA la tensione di uscita si abbassa di 2 Volt allora la  $R_{\text{uscita}}$  vale 2 kΩ perché la V mancante è quella che cade su  $R_{\text{uscita}}$  quando ci passa 1 mA, ovvero  $R_{\text{uscita}} * 1\text{m}$ . Dovendo valere 2,  $R_{\text{uscita}}$  deve valere 2 kΩ ➡ **7 Segnali**

8) Sommando 2 sinusoidi di f uguale si ottiene una sinusoide ➡ **1 Introd. Fourier**

9) Sommando 2 sinusoidi di f diversa si ottiene un segnale non sinusoidale ➡ **2 Introd. Fourier**

10) Se la seconda sinusoide non parte insieme alla prima la somma ➡ **3 Introd. Fourier** verrà diversa rispetto a quando partono insieme



11) Spiegare la differenza tra il grafico V(t) e quello V(f) chiarendo cosa è lo spettro di ampiezza e lo spettro di fase ➡ **1 Spettri**

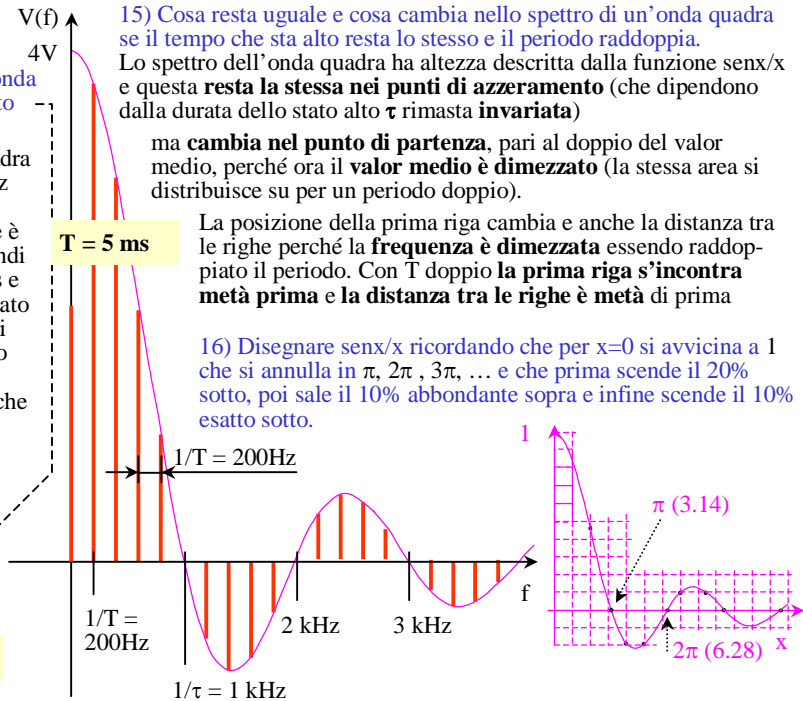
V(t) è quello che si ottiene sommando le sinusoidi la cui ampiezza è specificata dall'altezza delle righe dello spettro di ampiezza [V(f) delle ampiezze] e le cui fasi sono specificate dall'altezza delle righe dello spettro di fase [V(f) delle fasi]. Quindi V(f) sono "gli ingredienti" e V(t) è "la torta" che si ottiene con quegli ingredienti. Noi vediamo solo "la torta" V(t) (con l'oscilloscopio) ma sappiamo che "è fatto" di sinusoidi (che si possono vedere con l'analizzatore di spettro)

12) La luce è un campo elettromagnetico (campo elettrico che crea un campo magnetico che crea un campo elettrico...) a frequenza molto elevata...

13) I tre modi di propagazione del campo elettromagnetico sono: l'onda superficiale che si propaga nel terreno, l'onda ionosferica (onda riflessa dalla ionosfera) e l'onda diretta

14) Di quale onda quadra è questo spettro?

Dell'onda quadra con  $f = 100 \text{ Hz}$  (si vede dalla prima riga che è a 100 Hz) quindi con  $T = 10 \text{ ms}$  e durata dello stato alto di 1 ms (si vede dal primo zero posto a 1 kHz sapendo che esso vale  $1/\tau$ )

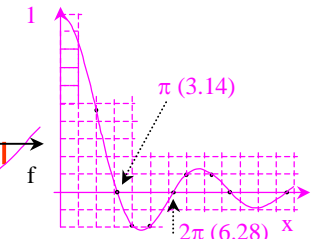


15) Cosa resta uguale e cosa cambia nello spettro di un'onda quadra se il tempo che sta alto resta lo stesso e il periodo raddoppia. Lo spettro dell'onda quadra ha altezza descritta dalla funzione  $\text{sen}x/x$  e questa **resta la stessa nei punti di azzeramento** (che dipendono dalla durata dello stato alto  $\tau$  rimasta **invariata**)

ma **cambia nel punto di partenza**, pari al doppio del valor medio, perché ora il **valor medio è dimezzato** (la stessa area si distribuisce su per un periodo doppio).

La posizione della prima riga cambia e anche la distanza tra le righe perché la **frequenza è dimezzata** essendo raddoppiato il periodo. Con T doppio **la prima riga s'incontra metà prima e la distanza tra le righe è metà di prima**

16) Disegnare  $\text{sen}x/x$  ricordando che per  $x=0$  si avvicina a 1 che si annulla in  $\pi, 2\pi, 3\pi, \dots$  e che prima scende il 20% sotto, poi sale il 10% abbondante sopra e infine scende il 10% esatto sotto.



17) Scrivere l'espressione di v(t) sapendo che il suo spettro ha due righe (3V a 1 KHz e 1V a 2 KHz)

$$v(t) = 3\text{sen}(2\pi 1000t) + 1\text{sen}(2\pi 2000t)$$

18) Come si trova graficamente il v(t) dell'es. sopra?

Si disegnano le due sinusoidi e per un dato valore di t si guarda il valore di una, quello dell'altra, si sommano tra loro e si disegna un punto della somma. Poi si ripete per un altro t

19) Una fibra ottica è un vetro rivestito da un secondo vetro avente indice di rifrazione minore

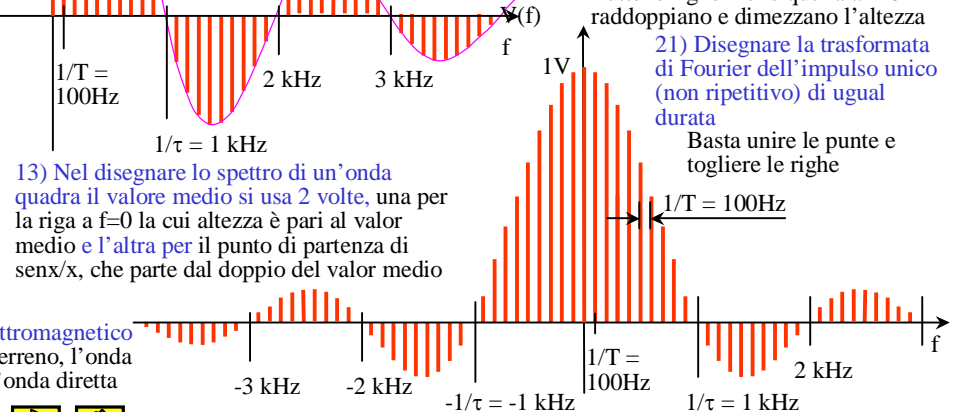
20) Disegnare lo spettro bilatero dello stesso segnale quadro

Tutte le righe meno quella a  $f=0$  raddoppiano e dimezzano l'altezza

21) Disegnare la trasformata di Fourier dell'impulso unico (non ripetitivo) di uguale durata

Basta unire le punte e togliere le righe

13) Nel disegnare lo spettro di un'onda quadra il valore medio si usa 2 volte, una per la riga a  $f=0$  la cui altezza è pari al valor medio e l'altra per il punto di partenza di  $\text{sen}x/x$ , che parte dal doppio del valor medio





8 domande obbligatorie  
 e 5 minuti per ognuna.

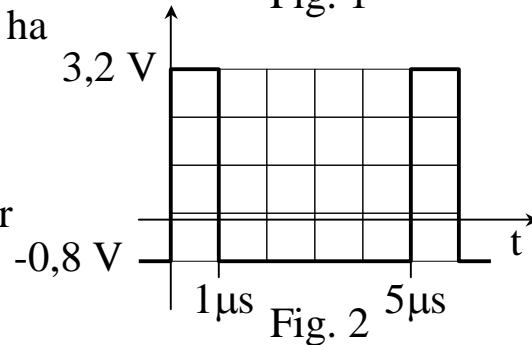
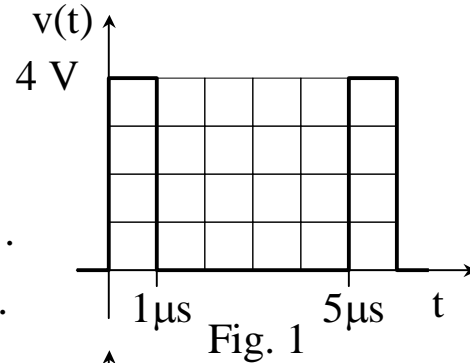
1) Il segnale di Fig. 1 ha:  
 Periodo  $T = \dots$  perché...

frequenza  $f = \dots$  perché...

Duty cycle = ... perché...

2) Il segnale di Fig. 1 ha  
 valor medio = 0,8 V  
 perché...

Traslato in basso di  
 0,8 V (Fig. 2) ha valor  
 medio = 0 perché...



3) Disegnare su un grafico quotato una sinusoide  
 alternata (cioè...) di ampiezza  $A = 5$  V pulsazione  
 $\omega = 6280$  rad/s e fase  $\varphi=0$ .

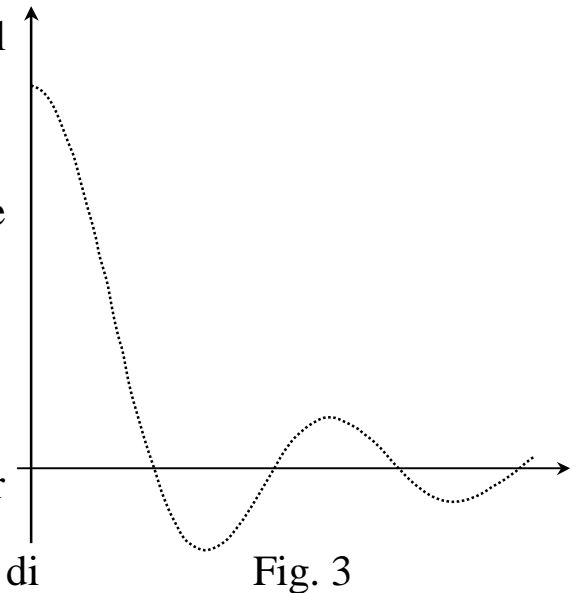
Scrivere l'espressione  $v(t)$  di tale sinusoide.  
 Il suo valore efficace è 3,54 V perché...

4) (vale 5) La curva  $\text{sen}x/x$  mostrata in Fig. 3  
 descrive l'altezza delle righe dello spettro nel caso  
 che il segnale sia...

Disegnare sulla Fig. 3 lo spettro di un segnale quadro  
 avente frequenza di 1 MHz, durata  $\tau$  dello stato alto  
 di  $0,5 \mu\text{s}$  e valor medio di 3 V, spiegando come è stato  
 costruito

● 4b) Se si raddoppia il  
 periodo dell'onda  
 quadra lasciando di  
 $0,5 \mu\text{s}$  la durata dello  
 stato alto, dire quale è  
 il nuovo valore della  
 frequenza e del valor  
 medio spiegando il  
 perché.

● 4c) Disegnare la  
 trasformata di Fourier  
 $V(f)$  dell'impulso  
 unico (non ripetitivo) di  
 valore 10V e durata 1 ms



5) Sapendo che lo spettro unilatero di  $g(t)$  ha tre  
 righe (1V a 0 Hz, 2V a 1 kHz e 1V a 2 kHz),  
 disegnare lo spettro bilatero di  $h(t)$  spiegando le  
 regole seguite per disegnarlo.

6) Poi scrivere l'espressione di  $h(t)$  giustificandola.  
 7) Inoltre dire come si procede graficamente per  
 ricavare la forma di  $h(t)$

8) Disegnare lo spettro di  $v_1(t) = 4\text{sen}(1000t)$  e di  
 $v_2(t) = 4\text{cos}(1000t) * \text{cos}(10000t)$  giustificandoli

- 6) I tre modi di propagazione del campo  
 elettromagnetico sono... e quello usato a  $f$  alte è...
- 7) (vale 1) Anche la luce è un campo elettromagneti-  
 co, solo che questo campo elettromagnetico è...
- 8) (vale 1) Una fibra ottica è un vetro rivestito da  
 un vetro avente indice di rifrazione minore nel quale  
 si propaga... ottenuta convertendo la tensione in...

8 domande obbligatorie  
 e 5 minuti per ognuna.

1) Il segnale di Fig. 1 ha:  
 Periodo  $T = \dots$  perché...

frequenza  $f = \dots$  perché...

Duty cycle = ... perché...

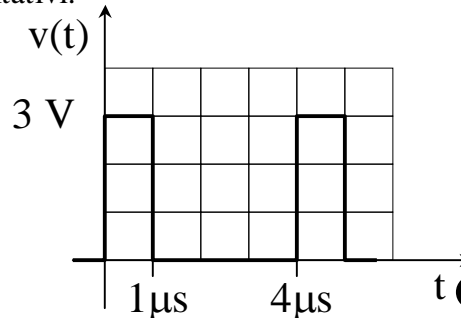


Fig. 1

2) Il segnale di Fig. 1 ha  
 valor medio = 0,75 V  
 perché...

Traslato in basso di  
 0,75 V (Fig. 2) ha  
 valor medio = 0 perché...

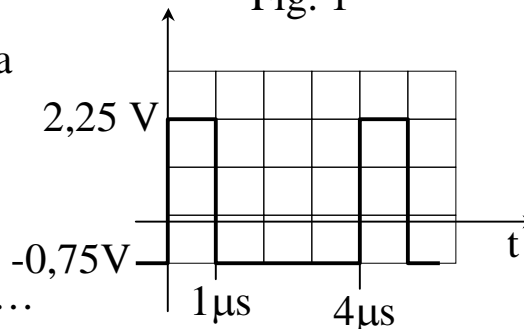


Fig. 2

3) Disegnare su un grafico quotato una sinusoide  
 alternata (cioè...) di ampiezza  $A = 4$  V pulsazione  
 $\omega = 628000$  rad/s e fase  $\varphi=0$ .  
 Scrivere l'espressione  $v(t)$  di tale sinusoide.  
 Il suo valore efficace è 2,83 V perché...

4) (vale 5) La curva  $\text{sen}x/x$  mostrata in Fig. 3  
 descrive l'altezza delle righe dello spettro nel caso  
 che il segnale sia...

Disegnare sulla Fig. 3 lo spettro di un segnale quadro  
 avente frequenza di 500 KHz, durata  $\tau$  dello stato  
 alto di  $0,5 \mu\text{s}$  e valor medio di 4 V, spiegando come è  
 stato costruito

● 4b) Se si dimezza il  
 periodo dell'onda  
 quadra lasciando di  
 $0,5 \mu\text{s}$  la durata dello  
 stato alto, dire quale è  
 il nuovo valore della  
 frequenza e del valor  
 medio spiegando il  
 perché.

● 4c) Disegnare la  
 trasformata di Fourier  
 $V(f)$  dell'impulso  
 unico (non ripetitivo) di  
 valore 10V e durata 1 ms

5) Sapendo che lo spettro unilatero di  $g(t)$  ha tre  
 righe (2V a 0 Hz, 2V a 10 kHz e 1V a 20 kHz),  
 disegnare lo spettro bilatero di  $g(t)$  spiegando le  
 regole seguite per disegnarlo.

6) Poi scrivere l'espressione di  $g(t)$  giustificandola.  
 7) Inoltre dire come si procede graficamente per  
 ricavare la forma di  $g(t)$

8) Disegnare lo spettro di  $v_1(t) = 10\text{sen}(100t)$  e di  
 $v_2(t) = 10\cos(100t) \cdot \cos(1000t)$  giustificandoli

- 6) I tre modi di propagazione del campo  
 elettromagnetico sono... e quello usato a  $f$  alte è...
- 7) (vale 1) Anche la luce è un campo elettromagneti-  
 co, solo che questo campo elettromagnetico è...
- 8) (vale 1) Una fibra ottica è un vetro rivestito da  
 un vetro avente indice di rifrazione minore nel quale  
 si propaga... ottenuta convertendo la tensione in...

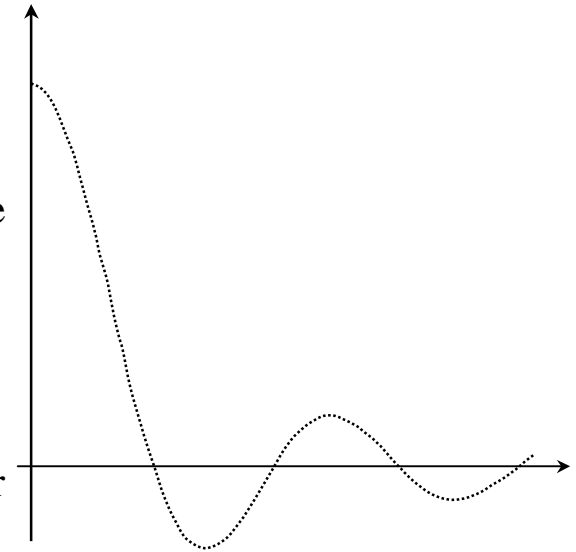


Fig. 3