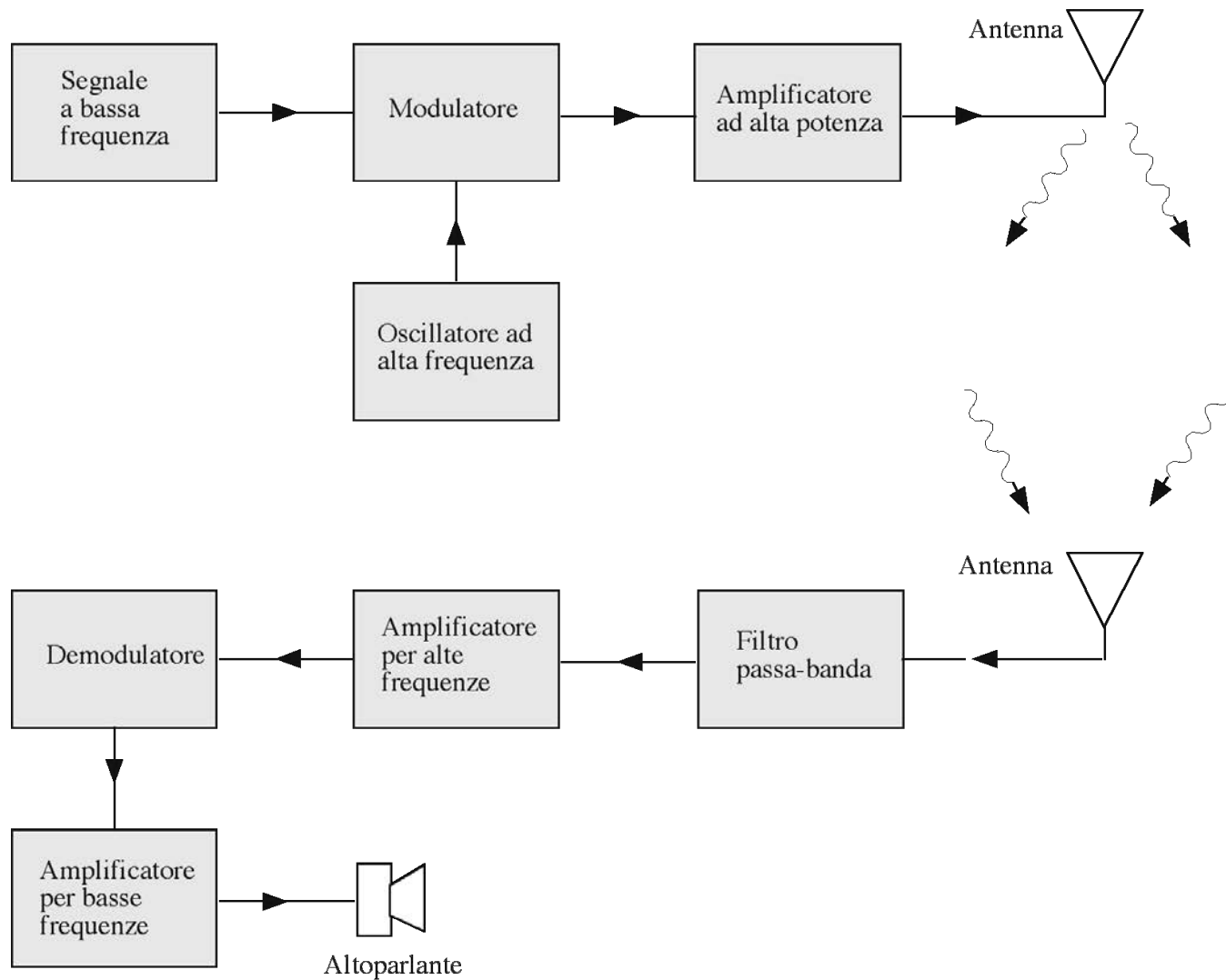


# *Tecnologia della radio*

*Edoardo Milotti*

*Corso di Fondamenti Fisici di Tecnologia Moderna*


*A. A. 2022-22*



# Codifica dell'informazione audio per mezzo della modulazione di ampiezza (AM)

$$\begin{aligned} V(t) &= V_m(t) \cos(\omega_c t + \varphi_c) \\ &= \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\omega) e^{i\omega t} d\omega \right] \times \cos(\omega_c t + \varphi_c) \\ &= \frac{1}{2} \left[ \frac{e^{i\varphi}}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\omega) e^{i(\omega_c + \omega)t} d\omega + \frac{e^{-i\varphi}}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} V(\omega) e^{-i(\omega_c - \omega)t} d\omega \right] \end{aligned}$$

Questa decomposizione mostra che si possono analizzare individualmente le singole componenti di Fourier.

$$V_0 \cos \omega_m t \cos \omega_c t = \frac{V_0}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$


Una singola componente si spezza in due a frequenze simmetriche rispetto quella della portante (bande laterali – sidebands)

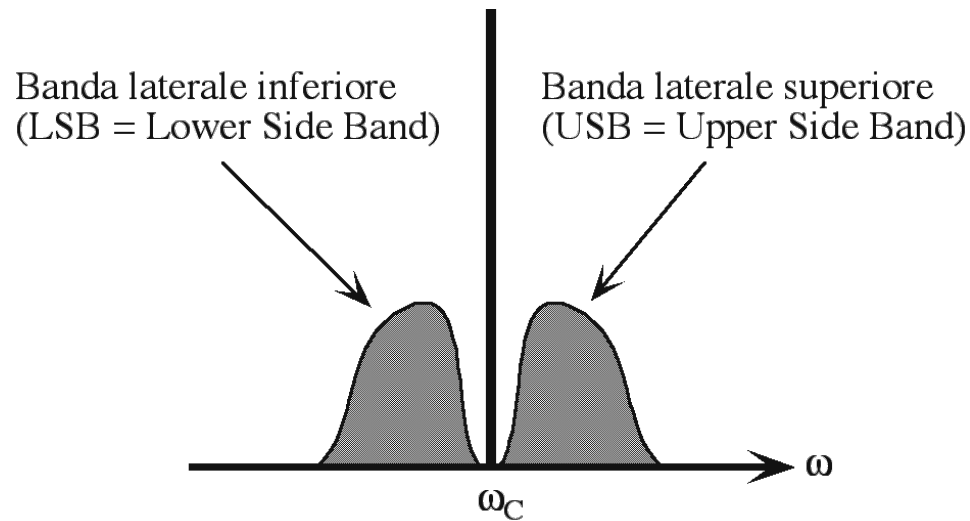
# In pratica la modulazione non è completa

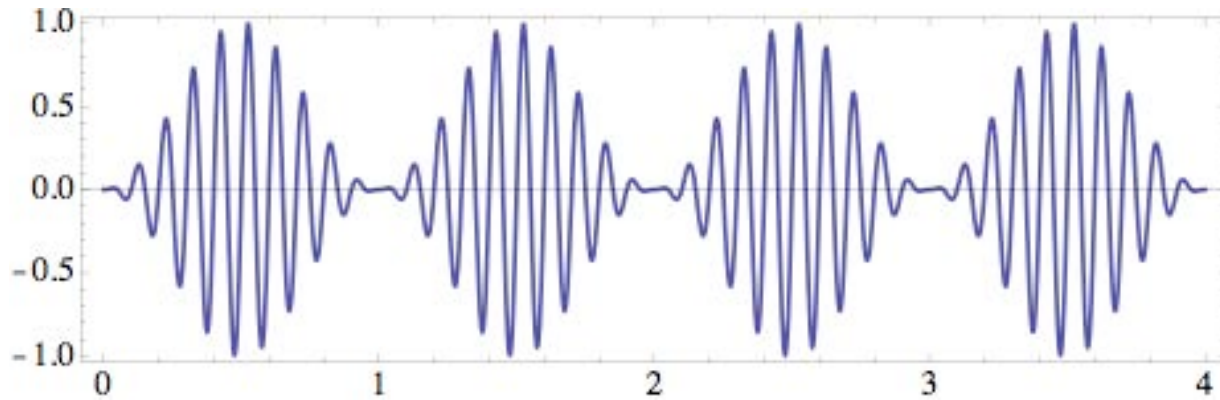
$$(1 + m \cos \omega_m t) \cos \omega_c t = \cos \omega_c t + \frac{m}{2} [\cos(\omega_c + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_m)t]$$

indice di modulazione

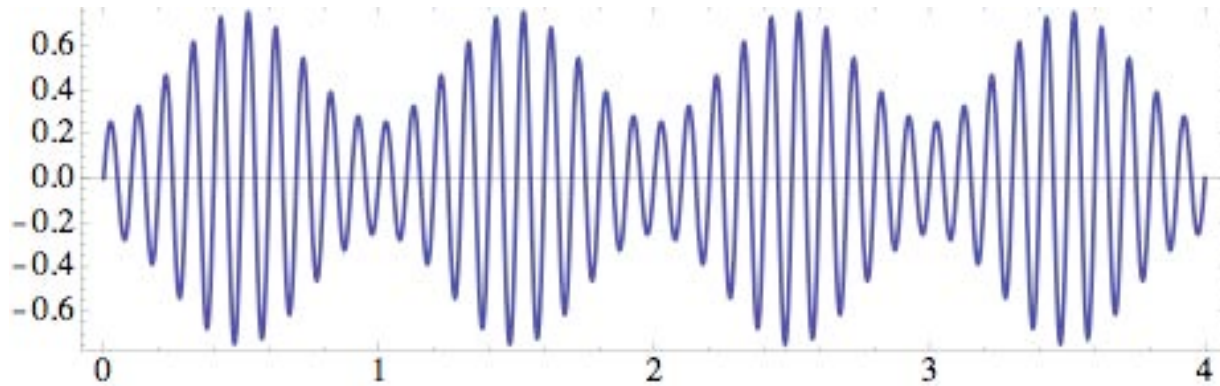
portante  
(carrier)

bande laterali  
(sidebands)





Segnale modulato in ampiezza: in questo caso il rapporto tra frequenza della portante e della modulazione vale 10, e l'indice di modulazione vale 1.



Segnale modulato in ampiezza: in questo caso il rapporto tra frequenza della portante e della modulazione vale 10, e l'indice di modulazione vale 0.5.

# Un modulatore elementare basato su diodo semiconduttore

$$I_d = I_0(e^{qV/k_B T} - 1)$$

$$V = \frac{k_B T}{q} \ln[I_d/I_0 + 1]$$

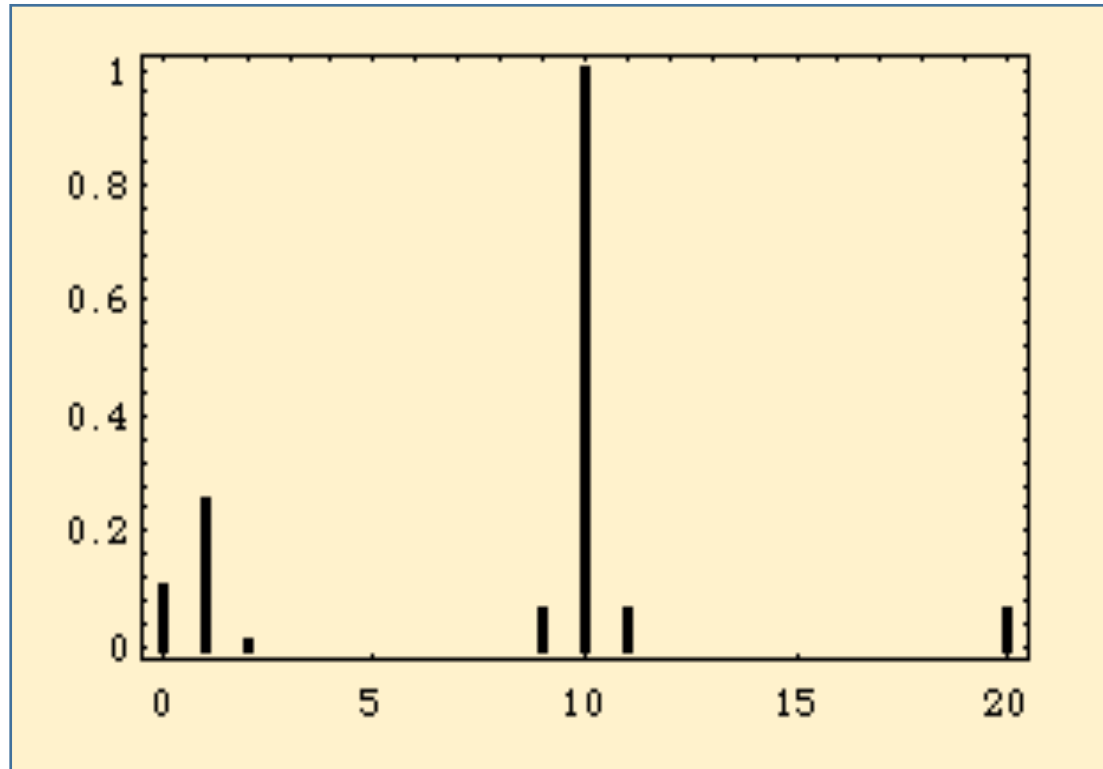
Così, intorno al punto di lavoro,  $V \approx AI_d + BI_d^2$  quindi

$$I = I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t$$

(e questo lo si può fare mettendo in parallelo i due generatori di corrente). Allora

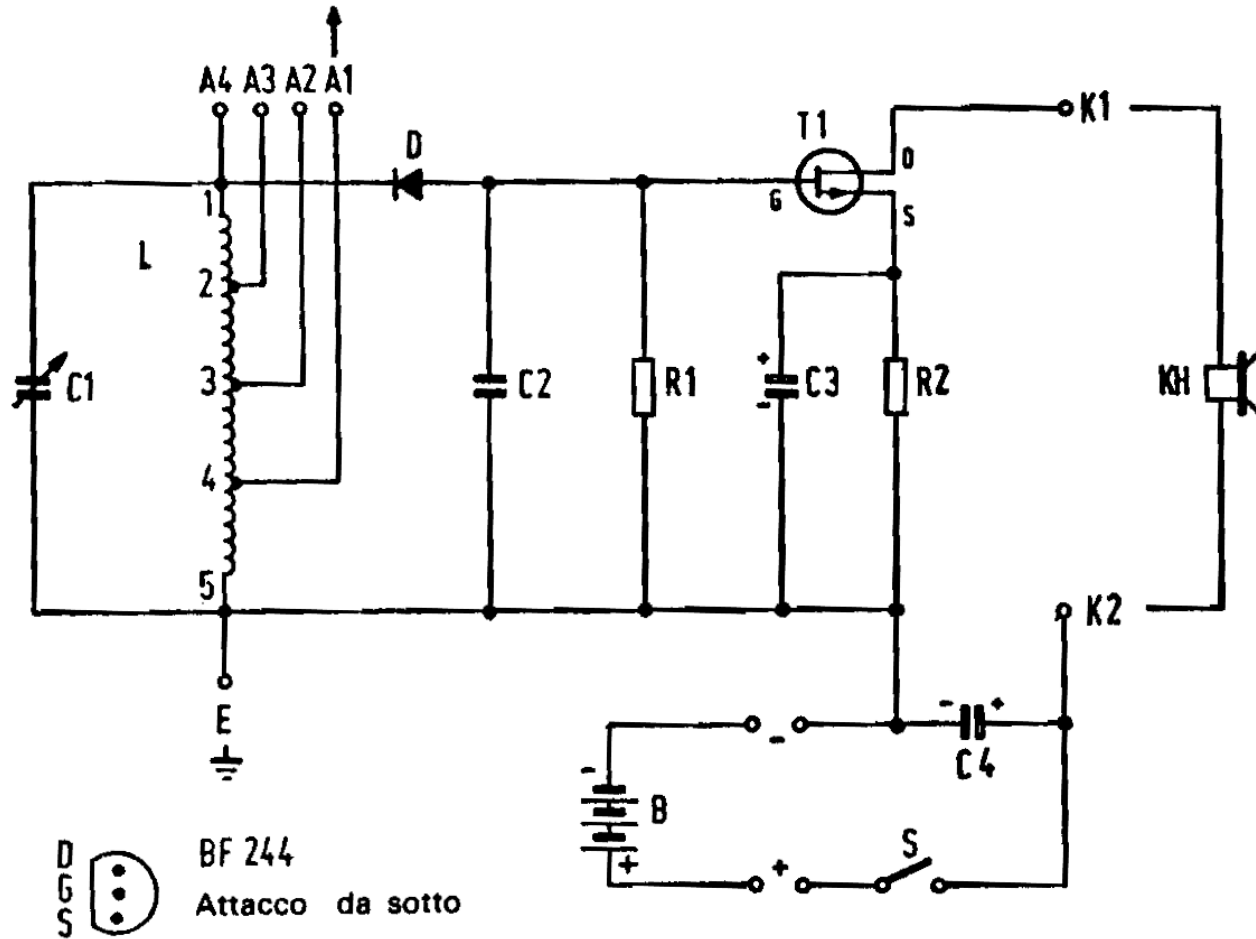
$$\begin{aligned} V &= A(I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t) + B(I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t)^2 \\ &= A(I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t) \\ &\quad + B(I_C^2 \cos^2 \omega_C t + I_A^2 \cos^2 \omega_A t + 2I_C I_A \cos \omega_C t \cos \omega_A t) \\ &= A(I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t) \\ &\quad + B \left( \frac{I_C^2}{2} (1 + \cos 2\omega_C t) + \frac{I_A^2}{2} (1 + \cos 2\omega_A t) + I_C I_A (\cos(\omega_C + \omega_A)t + \cos(\omega_C - \omega_A)t) \right) \end{aligned}$$

$$A(I_C \cos \omega_C t + I_A \cos \omega_A t) + B \left( \frac{I_C^2}{2} (1 + \cos 2\omega_C t) + \frac{I_A^2}{2} (1 + \cos 2\omega_A t) + I_C I_A (\cos(\omega_C + \omega_A)t + \cos(\omega_C - \omega_A)t) \right)$$

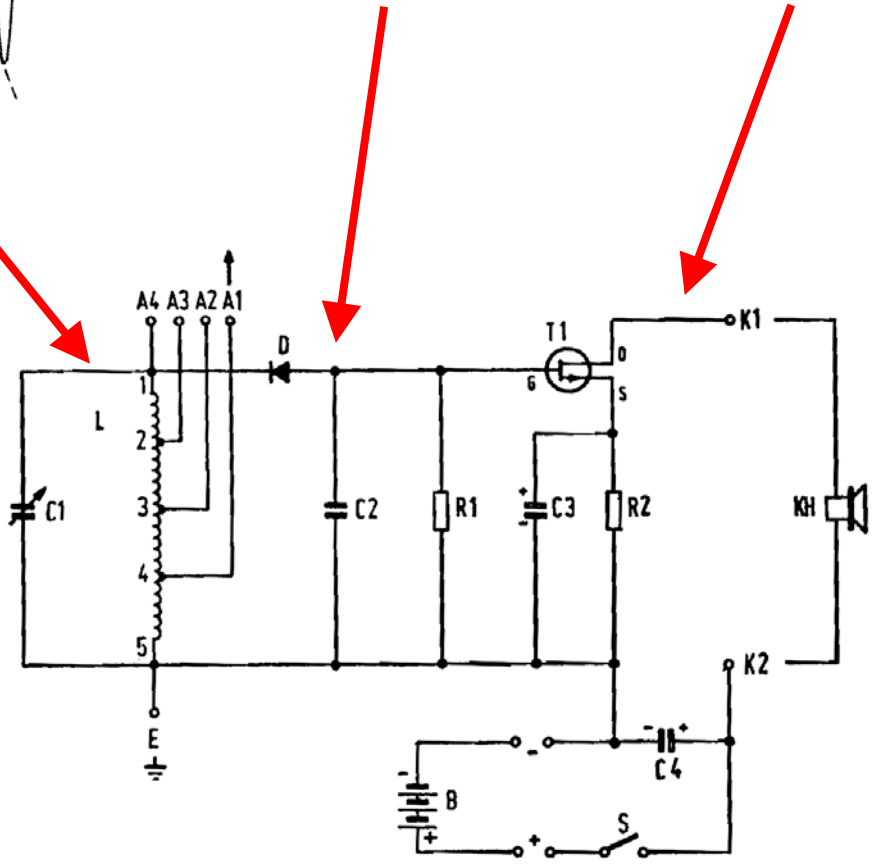
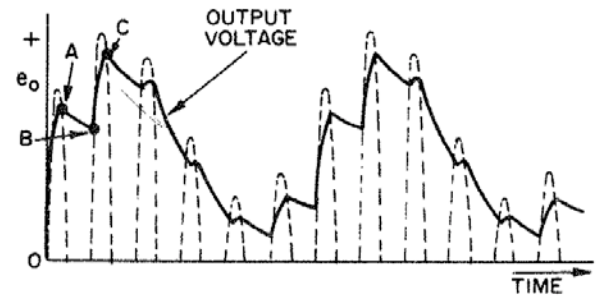
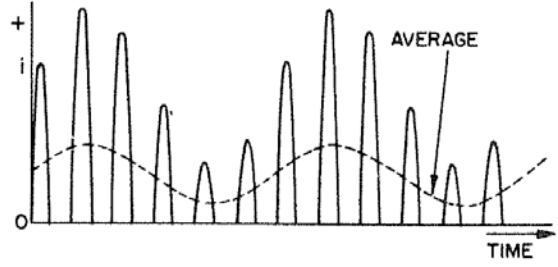
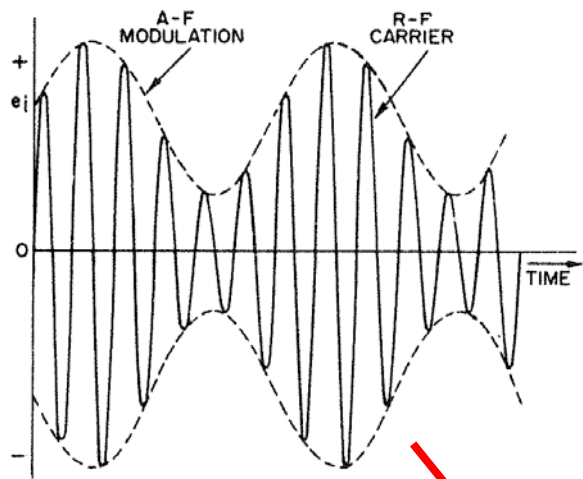


Forma generica dello spettro in uscita da questo modulatore

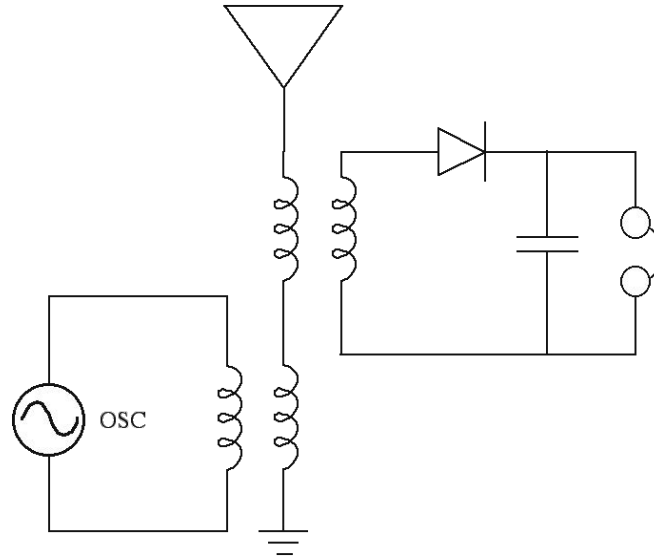
# Semplice circuito radio ricevente AM







# Schema di radio eterodina



$$[V_0 \cos(\omega_c + \omega_m)t] \times V_l \cos \omega_l t = \frac{V_0 V_l}{2} [\cos(\omega_c + \omega_l + \omega_m)t + \cos(\omega_c - \omega_l + \omega_m)t]$$
$$\rightarrow \frac{V_0 V_l}{2} \cos \omega_m t$$

$\omega_c = \omega_l$  + filtro passa-basso

## Altri tipi di modulazione: la modulazione FM

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{relazione tra frequenza e fase}$$

La modulazione di frequenza (FM) è più difficile da trattare matematicamente della modulazione di ampiezza, ma possiamo farci un'idea almeno approssimativa dello spettro di un segnale FM notando che se la frequenza al tempo  $t$  è data da  $\omega(t) = \omega_C(1 + m \cos \omega_M t)$  (con  $m$  molto minore di 1), allora la fase è data da

$$\varphi(t) = \varphi_0 + \int_0^t \omega_C(1 + m \cos \omega_M t') dt' = \varphi_0 + \omega_C t + m \frac{\omega_C}{\omega_M} \sin \omega_M t$$

e quindi le componenti di Fourier del segnale si ottengono dall'espansione

$$\begin{aligned} \cos \left[ \varphi_0 + \omega_C t + m \frac{\omega_C}{\omega_M} \sin \omega_M t \right] &= \cos(\varphi_0 + \omega_C t) \cos \left( m \frac{\omega_C}{\omega_M} \sin \omega_M t \right) - \sin(\varphi_0 + \omega_C t) \sin \left( m \frac{\omega_C}{\omega_M} \sin \omega_M t \right) \\ &\approx \cos(\varphi_0 + \omega_C t) - m \frac{\omega_C}{\omega_M} \sin(\varphi_0 + \omega_C t) \sin \omega_M t \end{aligned}$$

dove si è fatta l'ipotesi che  $m \frac{\omega_C}{\omega_M}$  sia molto minore di 1.

$$\cos(\varphi_0 + \omega_c t) - m \frac{\omega_c}{\omega_M} \sin(\varphi_0 + \omega_c t) \sin \omega_M t$$

La formula mostra che in prima approssimazione lo spettro di un segnale in FM è simile a quello di un segnale in AM, con un indice di modulazione uguale a

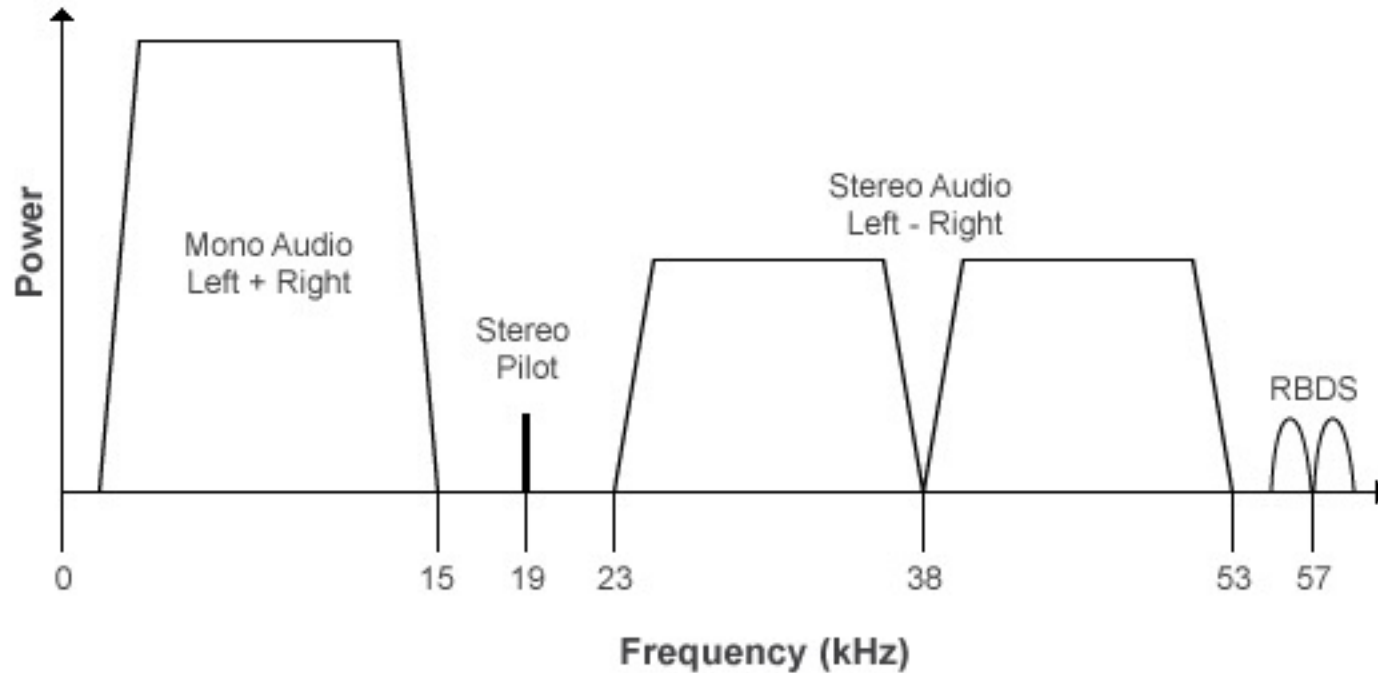
$$m \frac{\omega_c}{\omega_M}$$

(Narrow Band FM = NBFM)

# Spettro di una trasmissione FM



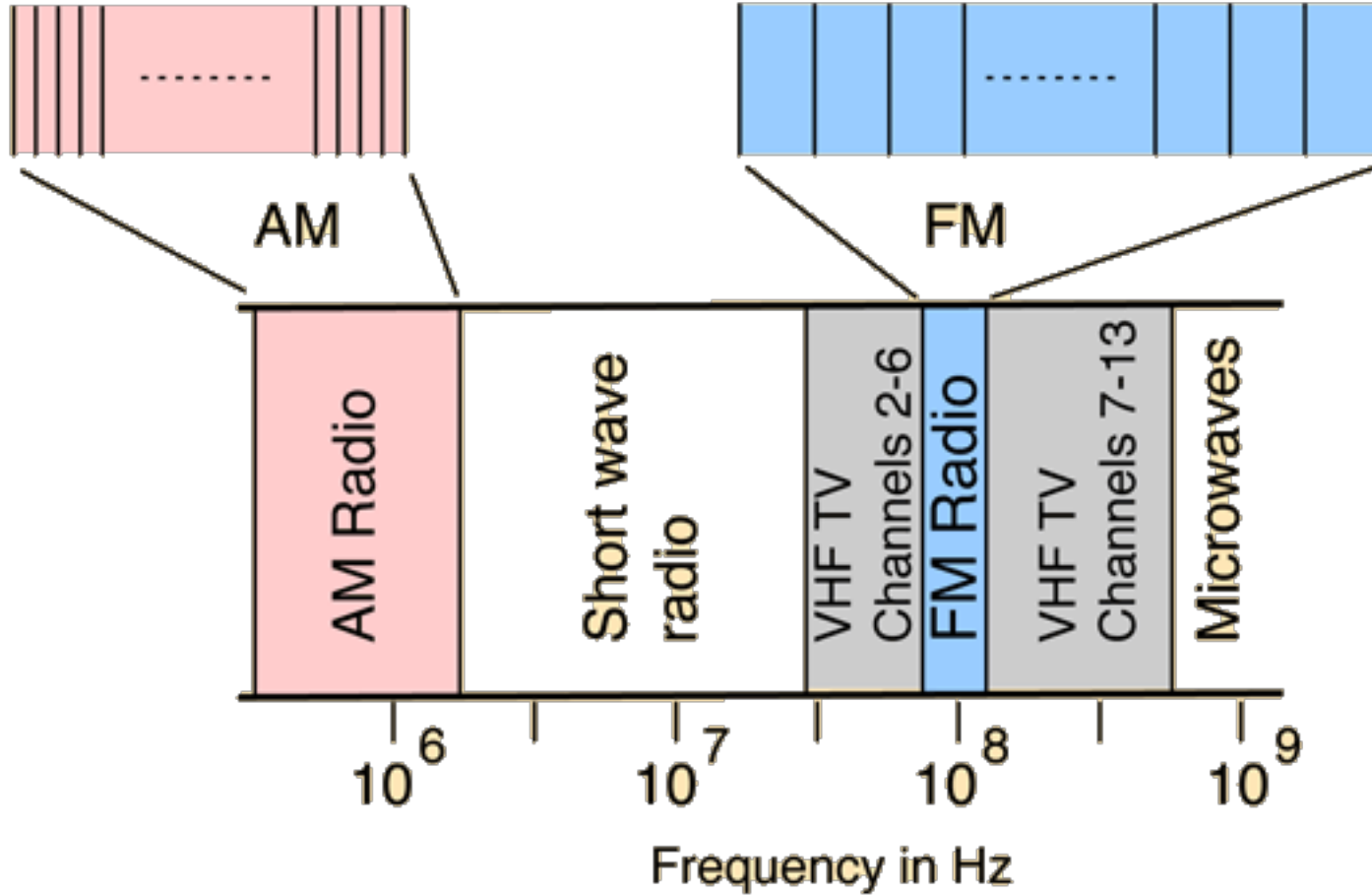
## Spettro di una trasmissione FM



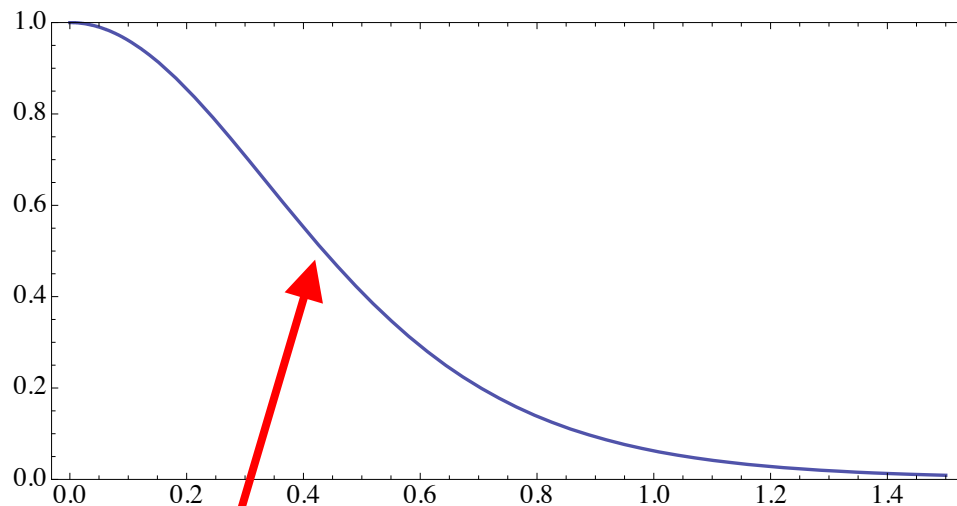
The FM broadcast modulator supports stereophonic and monophonic operations. To support stereo transmission, the left (L) and right (R) channel information (L+R) is assigned to the mono portion of the spectrum (0 to 15 kHz). The (L-R) information is amplitude modulated onto the 23 to 53 kHz region of the baseband spectrum using a 38 kHz subcarrier signal. A pilot tone at 19 kHz in the multiplexed signal enables the FM receiver to coherently demodulate the stereo and RDS/RBDS signals. Here is the spectrum of the multiplex baseband signal.

10 kHz bandwidth from  
540-1600 kHz for  
106 possible bands

200 kHz bandwidth from  
88.1-108.1 MHz for  
100 possible bands



## Semplice esempio di demodulatore FM: lo slope detector



punto di lavoro del  
filtro passa-basso

Vantaggi:

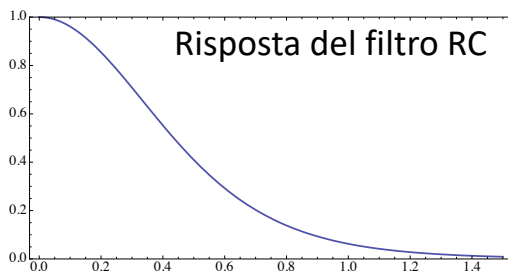
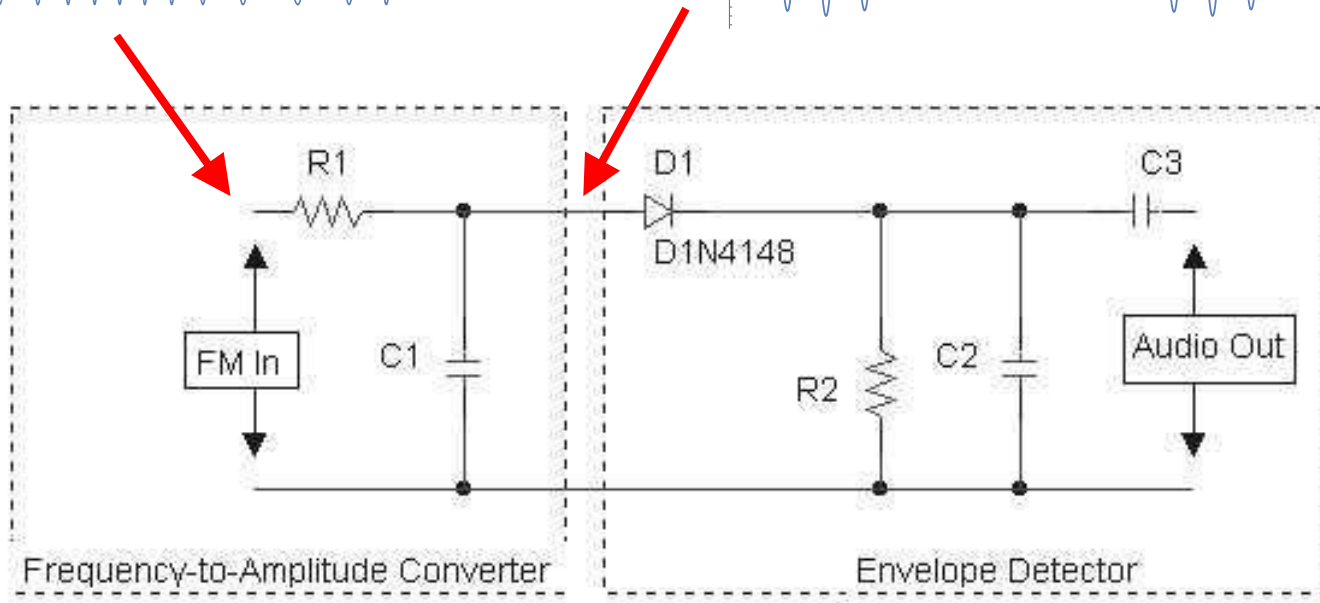
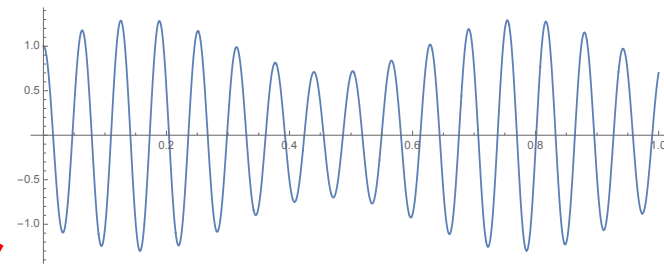
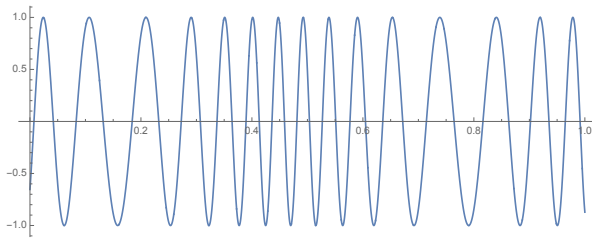
- semplice da costruire

Svantaggi

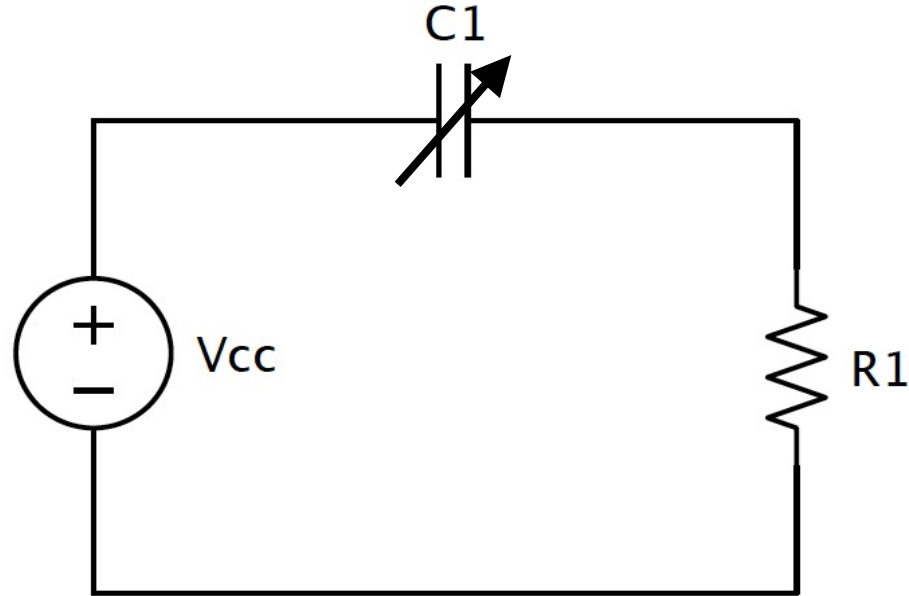
- non lineare (dipende dalla risposta del filtro)
- rumore elevato a frequenza alta (risposta del filtro più bassa)
- permette l'ingresso di modulazione di ampiezza, quindi anche l'ingresso di rumore di fondo



# Semplice esempio di demodulatore FM: lo slope detector



# Trasduttore capacitivo (capacitive microphone, electret microphone)



$$V_{cc} = \frac{Q}{C(t)} + IR$$

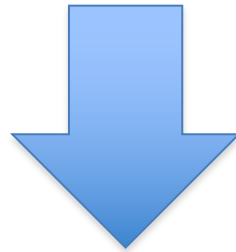
$$V_{cc}C(t) = Q + IRC(t)$$

$$V_{cc} \frac{dC}{dt} = I + IR \frac{dC}{dt} + RC(t) \frac{dI}{dt}$$

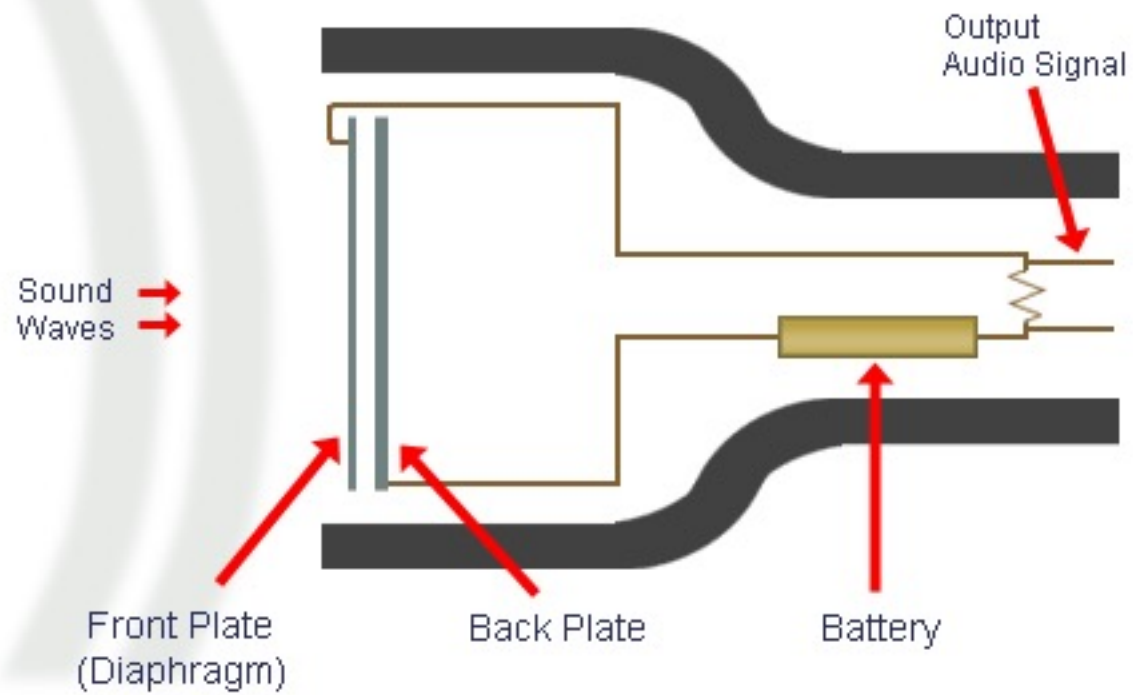
$$V_{cc} \frac{dC}{dt} = I + IR \frac{dC}{dt} + RC(t) \frac{dI}{dt}$$

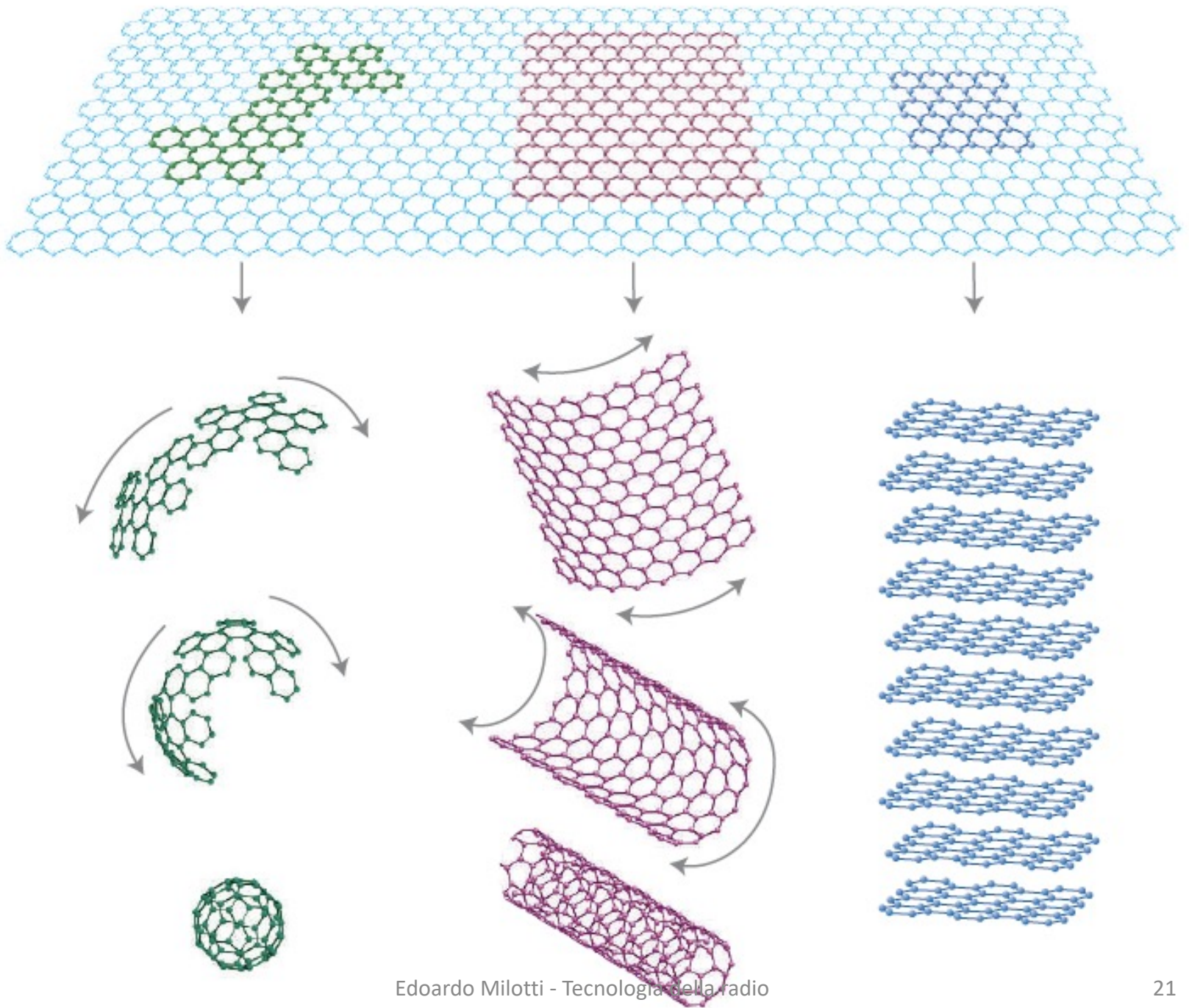


$$C(t) = C_0 + C_1(t); \quad (C_1(t) \ll C_0)$$



$$V_{cc} \frac{dC_1}{dt} \approx I + RC_0 \frac{dI}{dt}$$



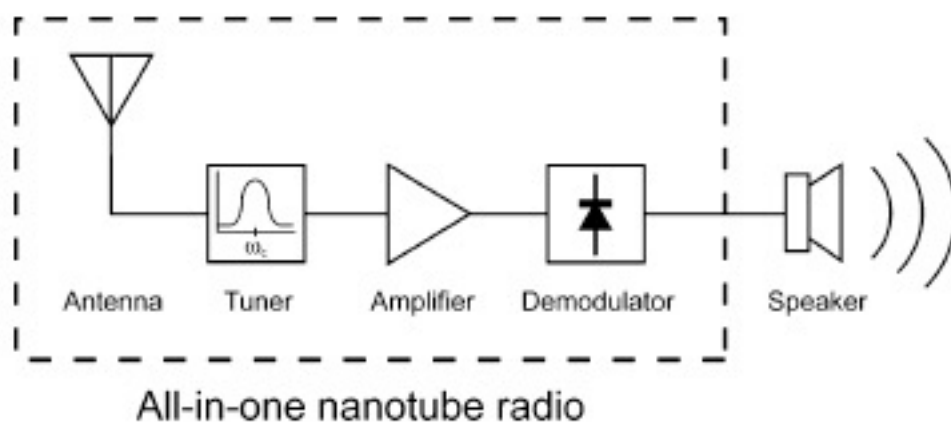


# Nanotube Radio

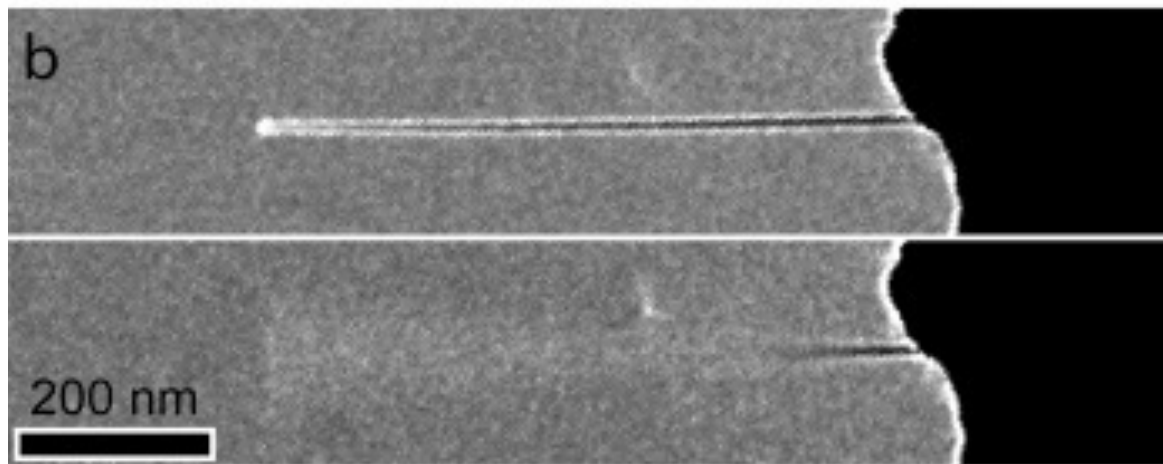
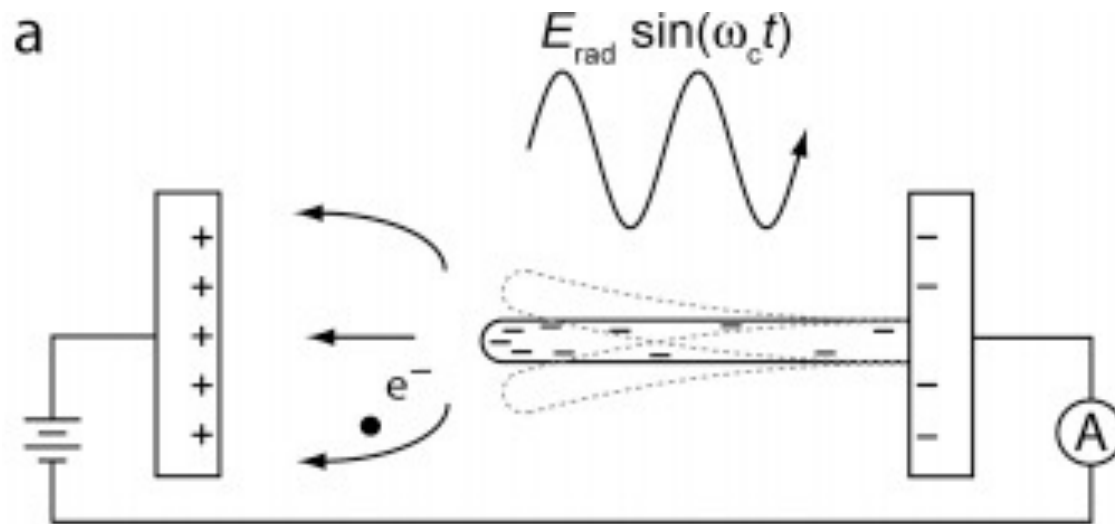
K. Jensen, J. Weldon, H. Garcia, and A. Zettl\*

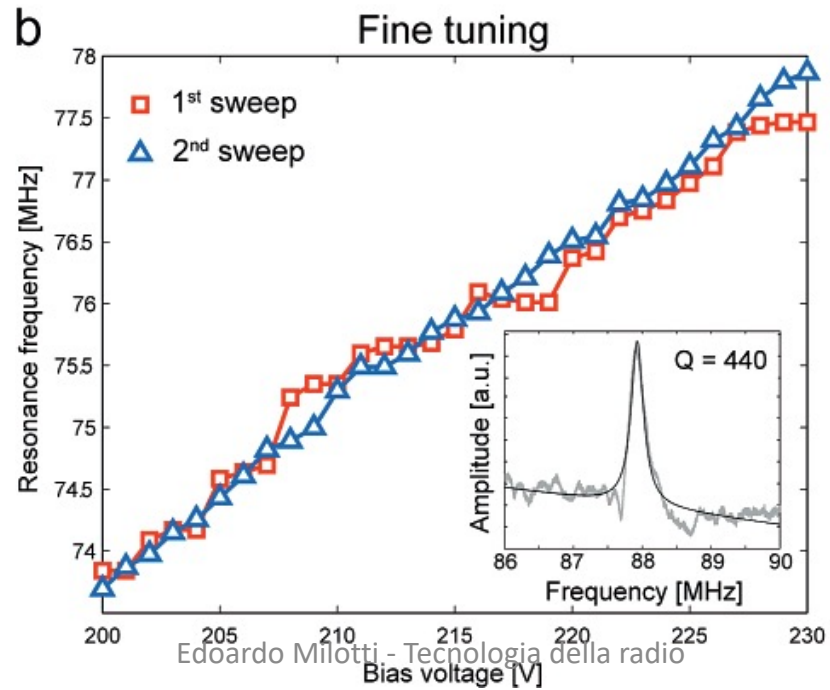
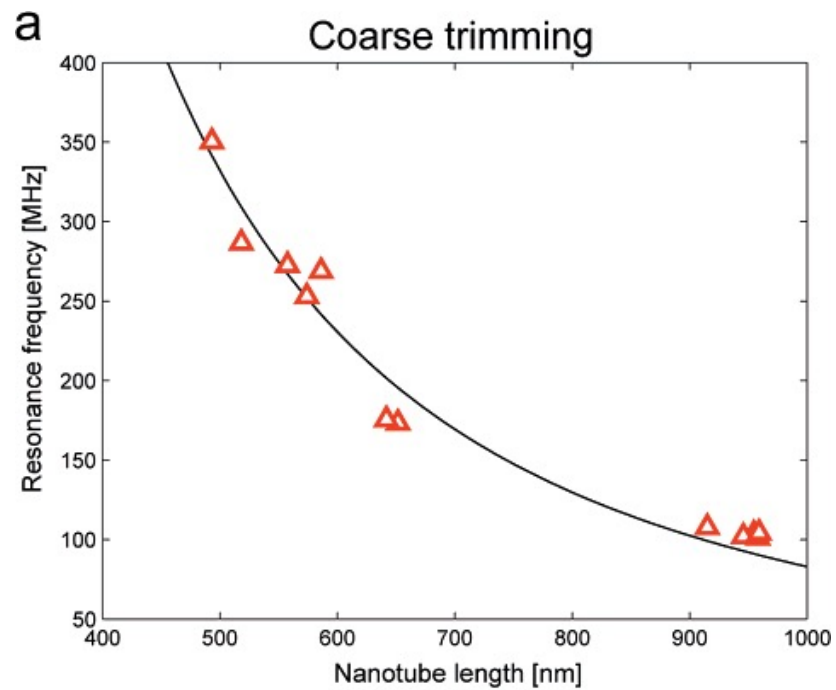
*Department of Physics, Center of Integrated Nanomechanical Systems, University of California at Berkeley, Berkeley, California 94720, and Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, California 94720*

*Received August 21, 2007; Revised Manuscript Received October 2, 2007*

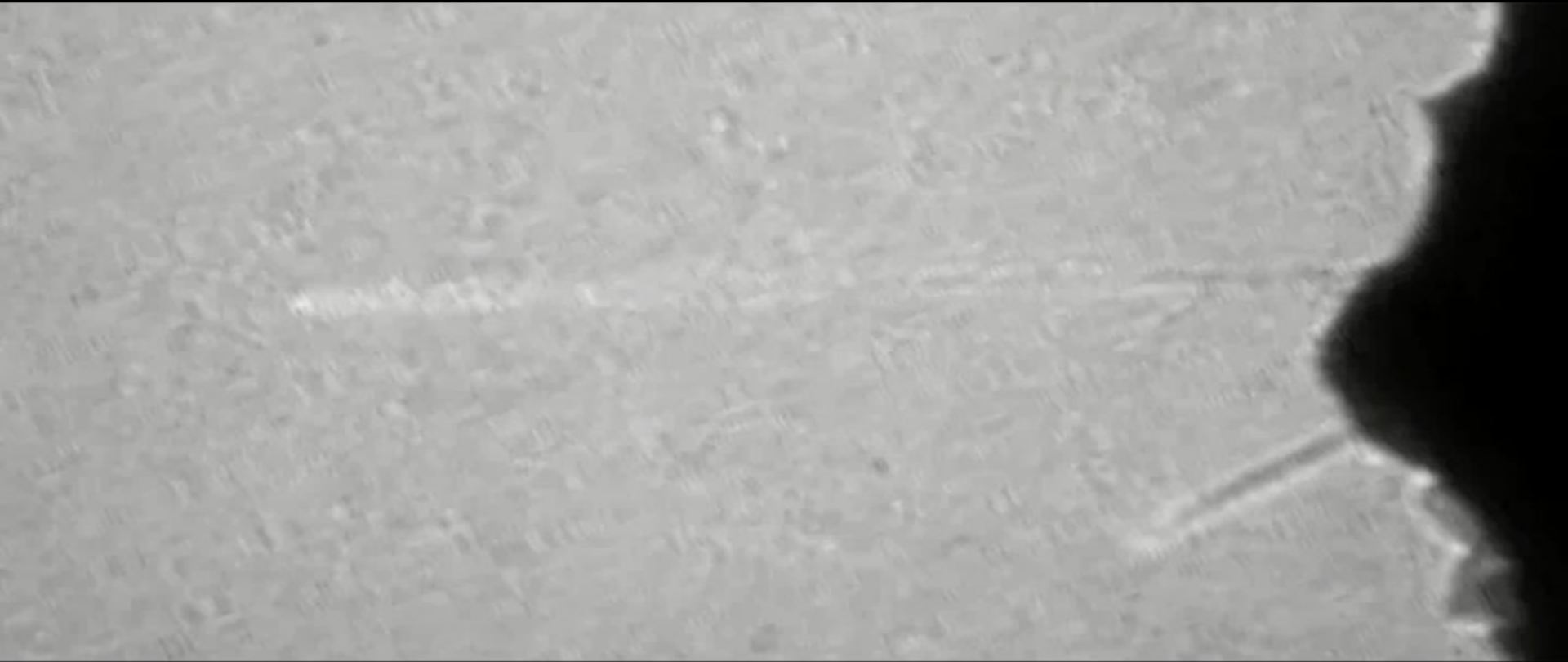


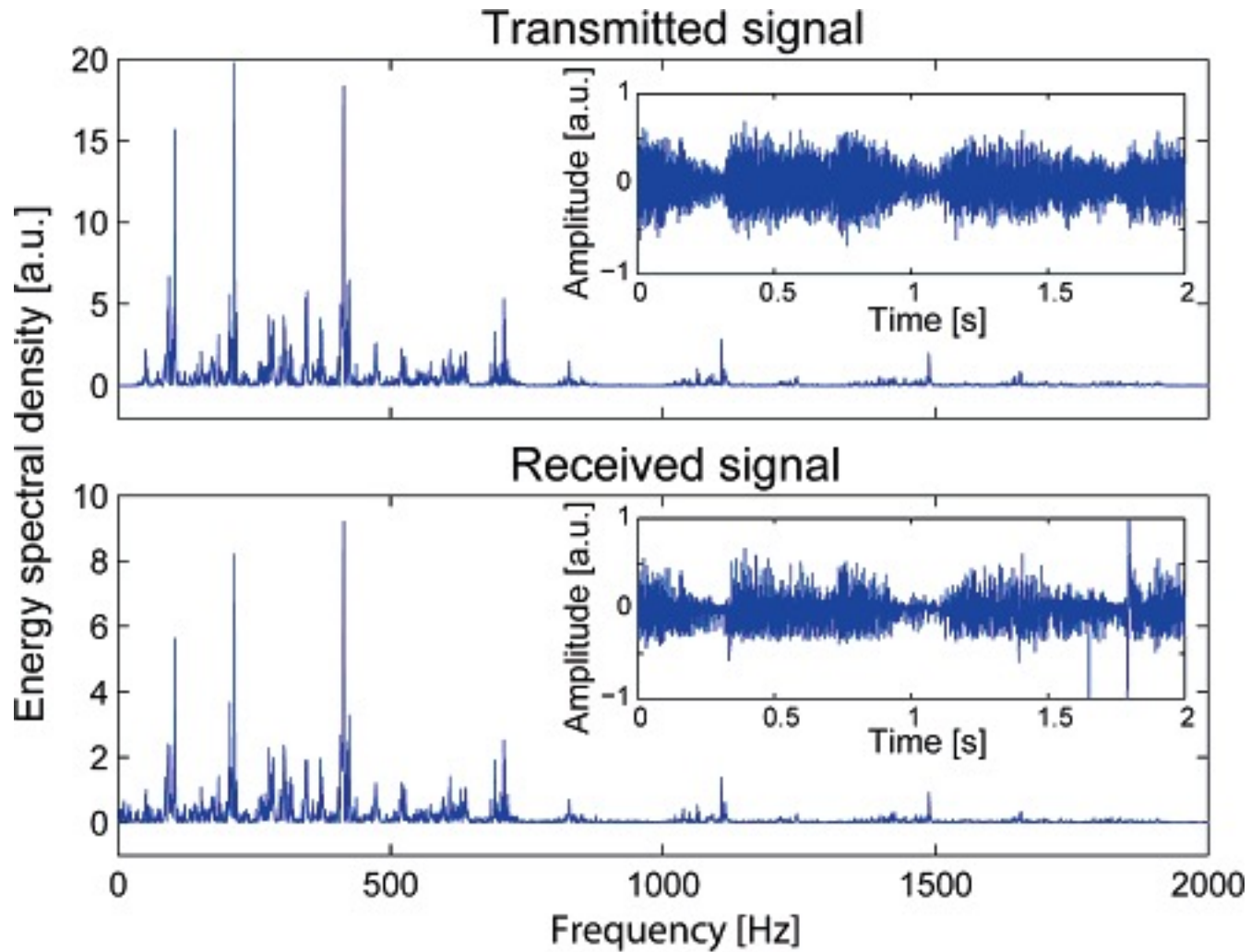
**Figure 1.** Block diagram for a traditional radio. All four essential components of a radio, antenna, tuner, amplifier, and demodulator may be implemented with a single carbon nanotube.











# Nanotube Radio for Communications and Medical Applications

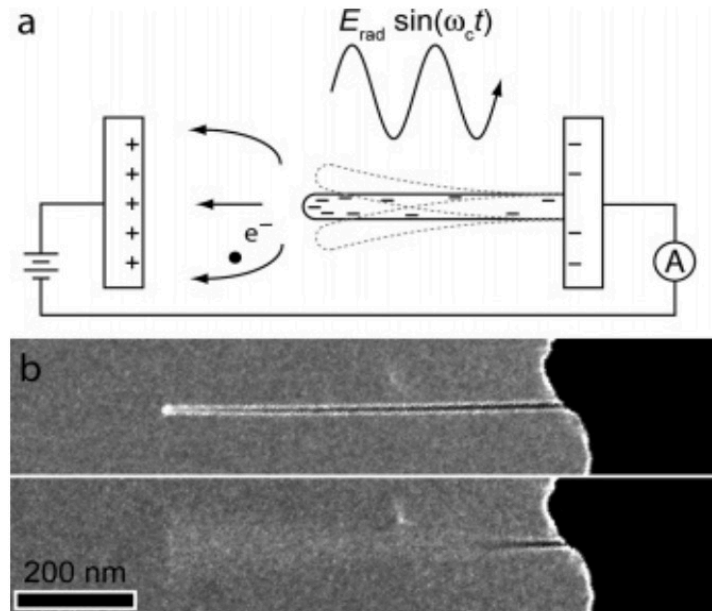
IB-2431, 2432

## APPLICATIONS OF TECHNOLOGY:

- All-in-one radio receiver for cell phones/wireless networks/GPS and other electronic devices
- Radio controlled devices that can exist inside the body, e.g. used as drug release triggers, diagnostic instrumentation, interfacing with muscle or brain function
- Ultra small hearing aid
- RF antenna, tunable pass filter, amplifier, or demodulator
- Mass spectrometer
- Chemical sensor

## ADVANTAGES:

- Orders of magnitude smaller than previous radios – can fit inside a living cell
- Eliminates wiring/thermal problems associated with unifying a micro or nano-scale radio system
- Extremely low power requirements
- Can be tuned after fabrication and during operation
- Can be manufactured individually or in arrays
- Smaller, more inexpensive and more sensitive than state-of-the-art mass spectrometers or chemical sensors



(a) Schematic of the nanotube radio. Radio transmissions tuned to the nanotube's resonance frequency force the charged nanotube to vibrate. Field emission of electrons from the tip of the nanotube is used to detect the vibrations and also amplify and demodulate the signal. A current measuring device, such as a sensitive speaker, monitors the output of the radio.

(b) Transmission electron micrographs of a nanotube radio off resonance (top) and on resonance (bottom) during a radio transmission.

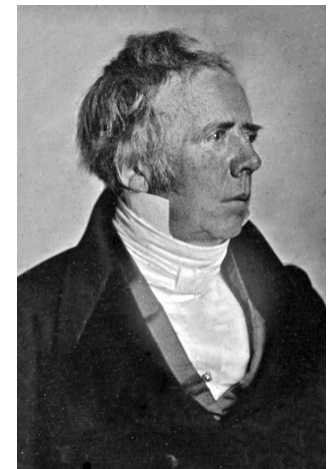
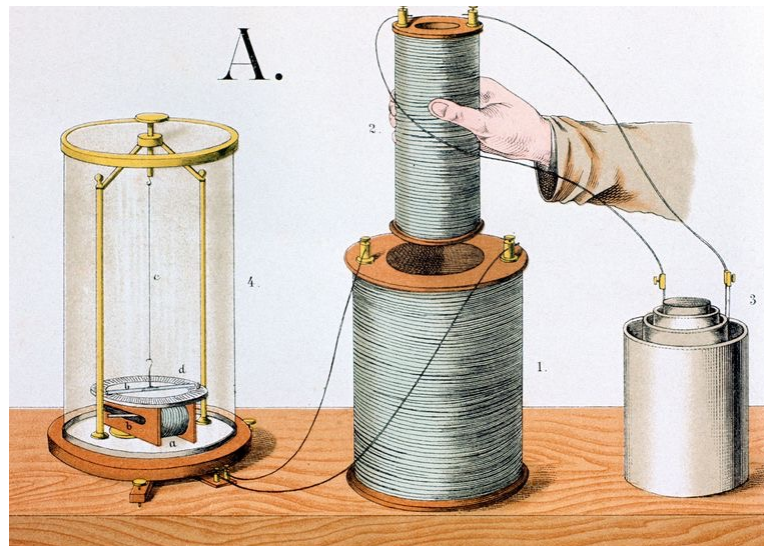


## Sviluppo della telegrafia

- 1819, Hans Christian Oersted scopre che una corrente elettrica produce un campo magnetico e riesce a spostare l'ago di una bussola
- 1825, William Sturgeon inventa l'elettromagnete: diventa possibile produrre un'azione meccanica a distanza per mezzo di una corrente elettrica

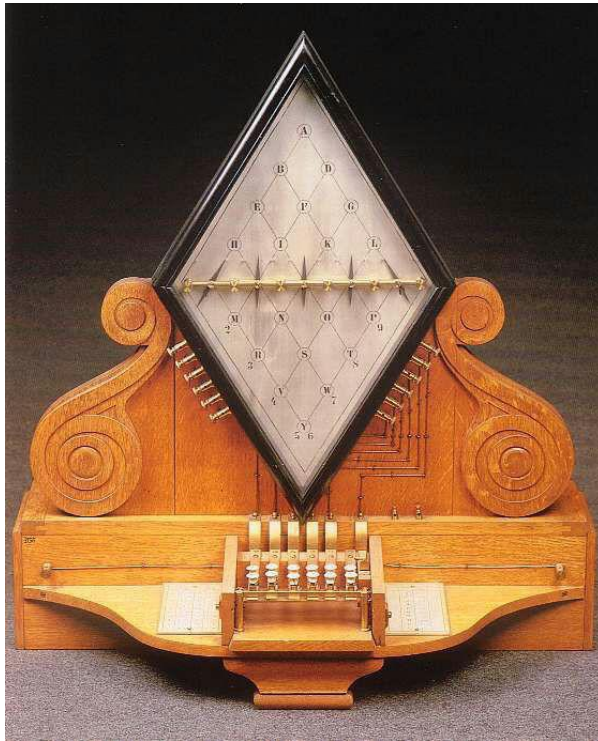


William Sturgeon



Hans Christian Oersted

- 1837, W.F. Cooke e C. Wheatstone brevettano un telegrafo ad aghi magnetici: le lettere dell'alfabeto sono associate alle direzioni di un insieme di aghi magnetici. Per trasmettere una lettera si sceglie la combinazione di aghi e si fa passare una corrente che fa puntare gli aghi corrispondenti verso la lettera desiderata (varie versioni di questo sistema furono usate in Gran Bretagna fino al 1870)



- Nel 1832 il pittore americano Samuel Morse cominciò a interessarsi di telegrafia e completò il suo primo telegrafo nel 1836. Da un amico seppe che il fisico americano J. Henry aveva migliorato l'elettromagnete, e Morse scoprì che con questo poteva trasmettere segnali su distanze maggiori di quelle su cui stava sperimentando.
- Nel 1837 riuscì a mandare segnali utili (impulsi di corrente) su una coppia di conduttori lunga oltre 500 m. Il suo strumento ricevente era un elettromagnete che spostava una penna e produceva dei segni a forma di V su una striscia di carta trascinata da un meccanismo ad orologeria. Si poteva spedire un messaggio variando i segni in modo da formare un codice. Morse si accorse allora che poteva fare altri due miglioramenti: inserì dei ripetitori sulla linea che gli permisero di spedire messaggi a lunga distanza, e sviluppò il codice a punti e linee che divenne famoso come Codice Morse. Morse sviluppò anche un sistema per tracciare i punti e le linee sulla striscia di carta.
- Nel 1838, l'assistente di Morse, Alfred Vail suggerisce di utilizzare un cicalino come strumento ricevente, e ridisegna lo schema di funzionamento del telegrafo. Nella sua versione finale il telegrafo funzionava più o meno come un campanello elettrico. Lo strumento di trasmissione, il tasto, corrispondeva al bottone del campanello. Quando veniva premuto esso chiudeva un circuito elettrico e faceva passare una corrente che a sua volta azionava un cicalino.
- Nel 1840, Morse brevettò la sua invenzione, ma non riuscì ad attrarre l'attenzione della finanza



Samuel Morse

#### International Morse Code

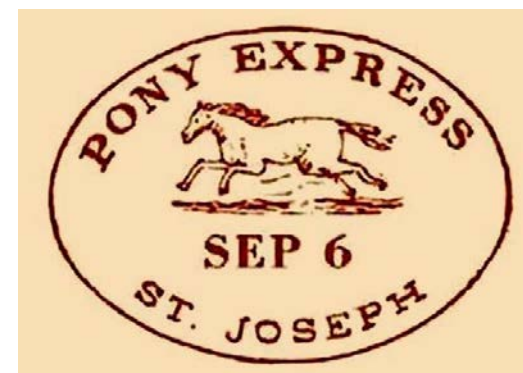
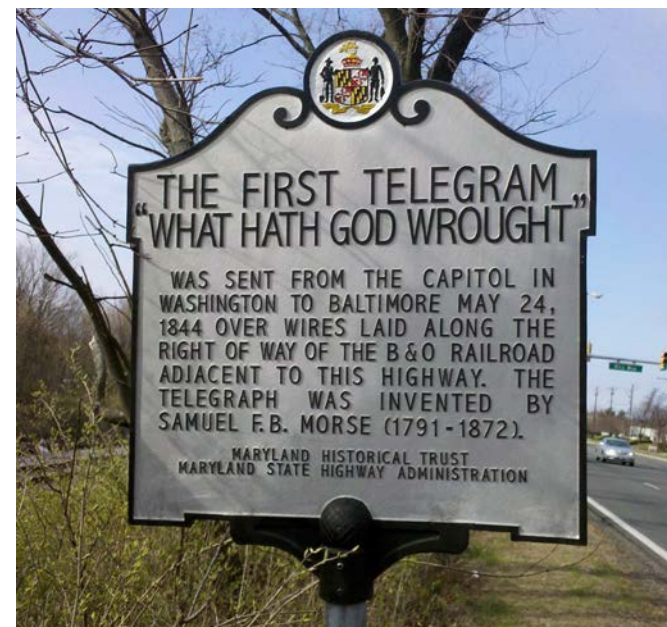
1. A dash is equal to three dots.
2. The space between parts of the same letter is equal to one dot.
3. The space between two letters is equal to three dots.
4. The space between two words is equal to seven dots.

A	••• —	U	••• —
B	— •••	V	••• — •••
C	— ••• — •••	W	— ••• — •••
D	— ••• •	X	— ••• — •••
E	•	Y	— ••• — •••
F	••• — •••	Z	— ••• — •••
G	••• —		
H	••• •••		
I	•••		
J	••• — —		
K	— ••• —	1	••• — — —
L	••• — •••	2	••• — — —
M	— —	3	••• — — —
N	— •••	4	••• — — —
O	— — —	5	••• — — —
P	••• — — —	6	••• — — —
Q	— — — •	7	••• — — —
R	••• — — •	8	••• — — —
S	••• •	9	••• — — —
T	—	0	••• — — —





- 1843 il Congresso degli Stati Uniti concede a Morse un finanziamento di \$30000 per costruire una linea di prova tra Washington e Baltimora. L'esperimento ebbe successo (1844) ed il telegrafo venne usato quasi subito dai giornali. Presto si costituirono agenzie di stampa per condividere il costo delle installazioni telegrafiche tra molti giornali.
- 1846, New York è collegata telegraficamente a Washington
- 1851, negli Stati Uniti esistono oltre 50 compagnie telegrafiche
- 1856, 12 compagnie vengono accorpate nella Western Union Telegraph Company
- 1857, primo tentativo di stabilire un collegamento telegrafico transatlantico, che però non riesce a causa della rottura del cavo telegrafico durante la posa sul fondo
- 1861, ha inizio la guerra di Secessione ed il telegrafo diventa fondamentale per comunicare con gli stati dell'ovest. Le linee telegrafiche vengono estese fino alla California. Il 24 ottobre 1861 S.J.Field, il più alto magistrato della California, spedisce il primo messaggio transcontinentale al presidente Lincoln in cui dichiara la lealtà della California all'Unione. Questo successo decreta la fine del Pony Express, che aveva funzionato per soli 19 mesi



- 1866, dopo altri tre fallimenti, il Great Eastern, la più grande nave di allora, riesce a posare il primo cavo transatlantico. Il successo dell'impresa è dovuto principalmente al finanziere americano C.W.Field e a Lord Kelvin



- 1868, introduzione del primo sistema telegrafico dedicato alla borsa.
- 1872, introduzione del sistema duplex per spedire due messaggi su una stessa linea
- 1874, Edison sviluppa il sistema quadruplex per trasmettere quattro messaggi allo stesso tempo su una sola linea
- 1875, E. Baudot sviluppa il sistema multiplex per spedire 5 messaggi su una sola linea
- 1915, la Western Union sviluppa un sistema multiplex per spedire 8 messaggi allo stesso tempo
- 1927, introduzione delle telescriventi
- 1935, introduzione del facsimile

## Sviluppo della radio

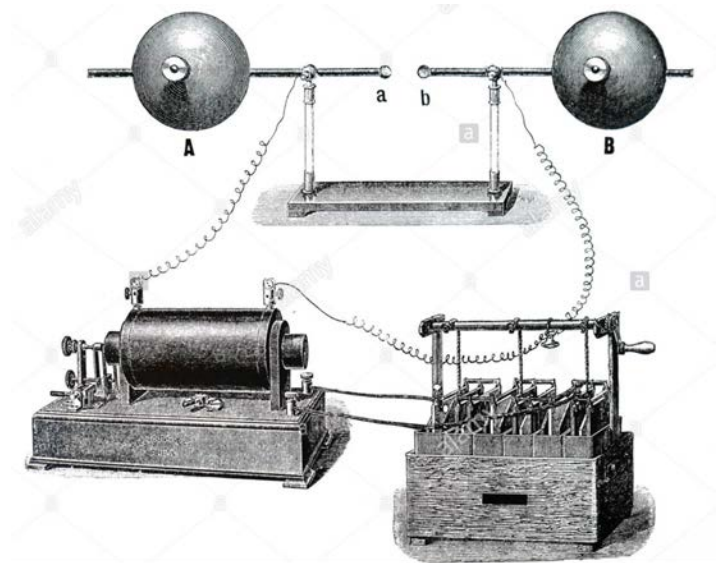
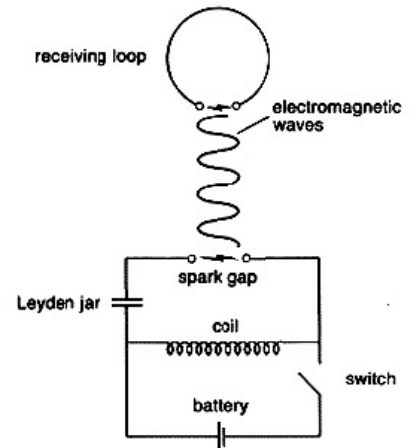
- 1851, J. Henry suggerisce l'esistenza di onde elettromagnetiche sulla base di esperienze da lui effettuate con scariche elettriche già nel 1842
- 1864, J.C. Maxwell utilizza i risultati di Ampere, Faraday ed Henry, unifica le leggi dell'elettromagnetismo e deduce l'esistenza delle onde elettromagnetiche
- 1866-1888, H. Hertz dimostra con una brillante serie di esperimenti la validità delle idee di Maxwell, ottenendo la propagazione di onde prodotte da scariche elettriche su distanze di qualche metro, e mostrando che queste onde si comportano come la luce, potendo essere riflesse, rifratte, etc...
- 1885, Edison brevetta un sistema per trasmettere segnali elettrici senza fili, ma esso utilizza semplicemente dei fenomeni di induzione e non vera propagazione di onde

$$1. \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_V$$

$$2. \quad \nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$3. \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$4. \quad \nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \mathbf{J}$$



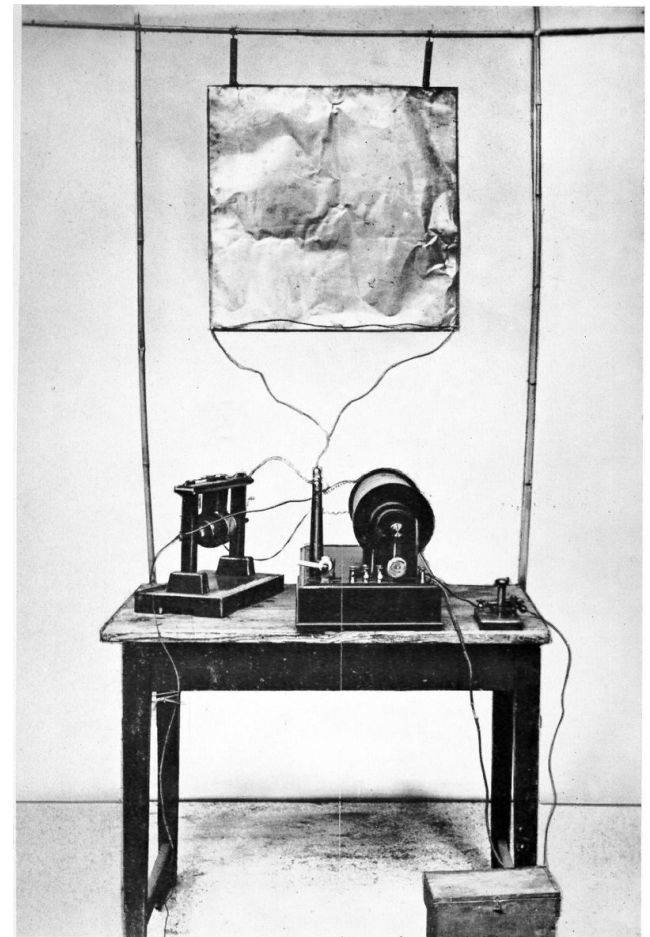
- 1886-1892, Édouard Branly inventa un congegno che permette di ricevere onde radio (coherer) e fa suonare un campanello
- 1895, Guglielmo Marconi riesce a sintetizzare tutte le conoscenze di allora e a sviluppare un telegrafo senza fili
- 1897, Marconi riesce a trasmettere oltre il canale di Bristol
- 1898, Marconi riesce a trasmettere un messaggio telegrafico oltre la Manica, e nel testo rende omaggio al lavoro di Branly



Édouard Branly

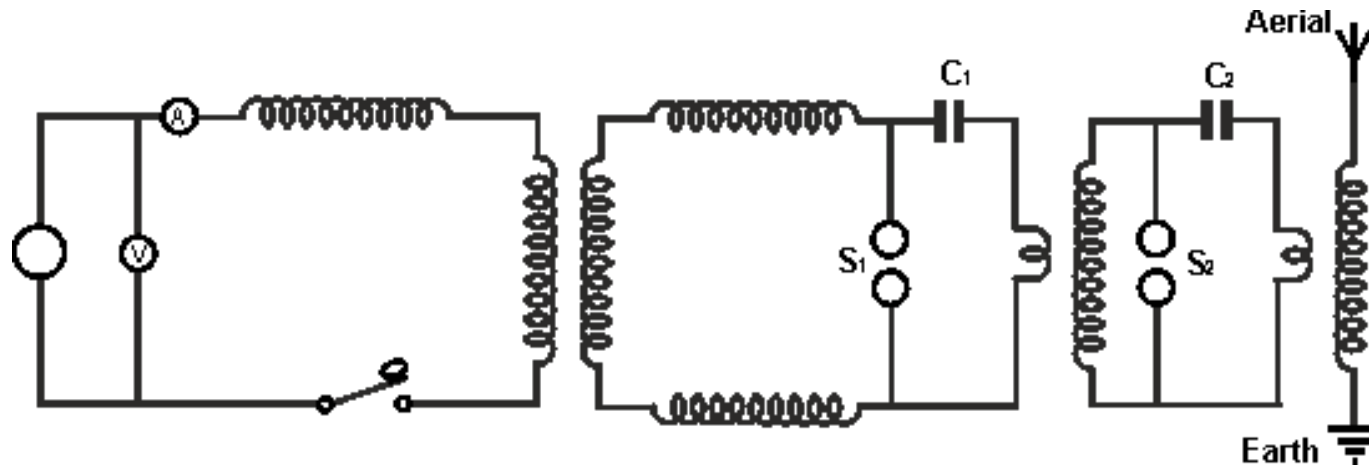


Guglielmo Marconi



Il primo trasmettitore di Marconi

## 1901: prima trasmissione telegrafica transatlantica



Fleming's transmitter design for Marconi's transatlantic transmission

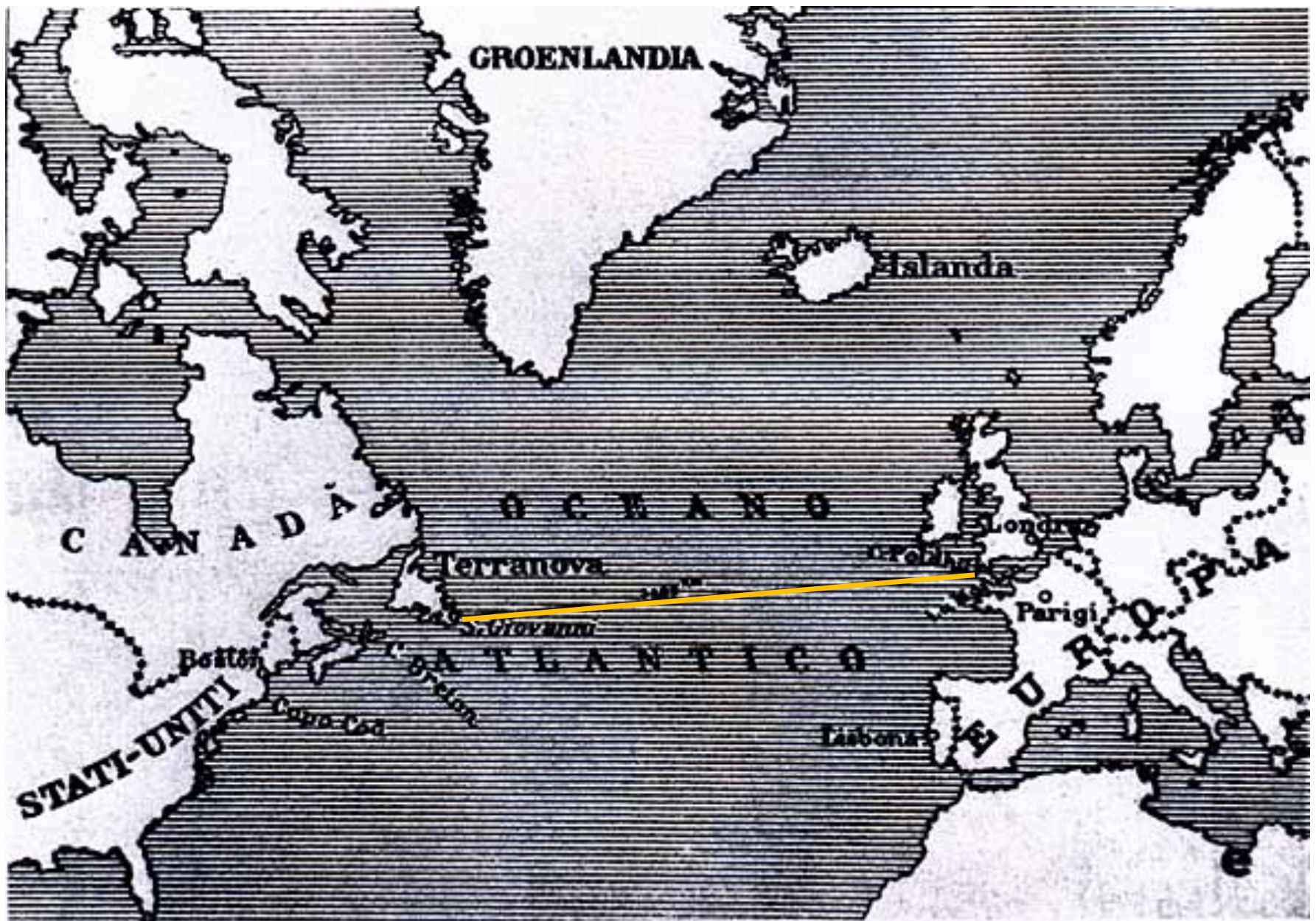
In Fleming's transmitter an alternator charges the capacitor C1 through a circuit that is resonant at the alternator frequency. Spark-gap S1 discharges to create a higher frequency signal and the step up transformer then steps up the voltage to charge C2 to a much higher voltage. Spark gap C2 which is wider then discharges C2 through a circuit that is resonant at the radiated frequency to which the aerial is also tuned.

(da <https://www.electronics-notes.com/articles/history/pioneers/marconi-transatlantic-transmission.php>)



Marconi watching associates raising the kite used to lift the antenna at St. John's, Newfoundland, December 1901

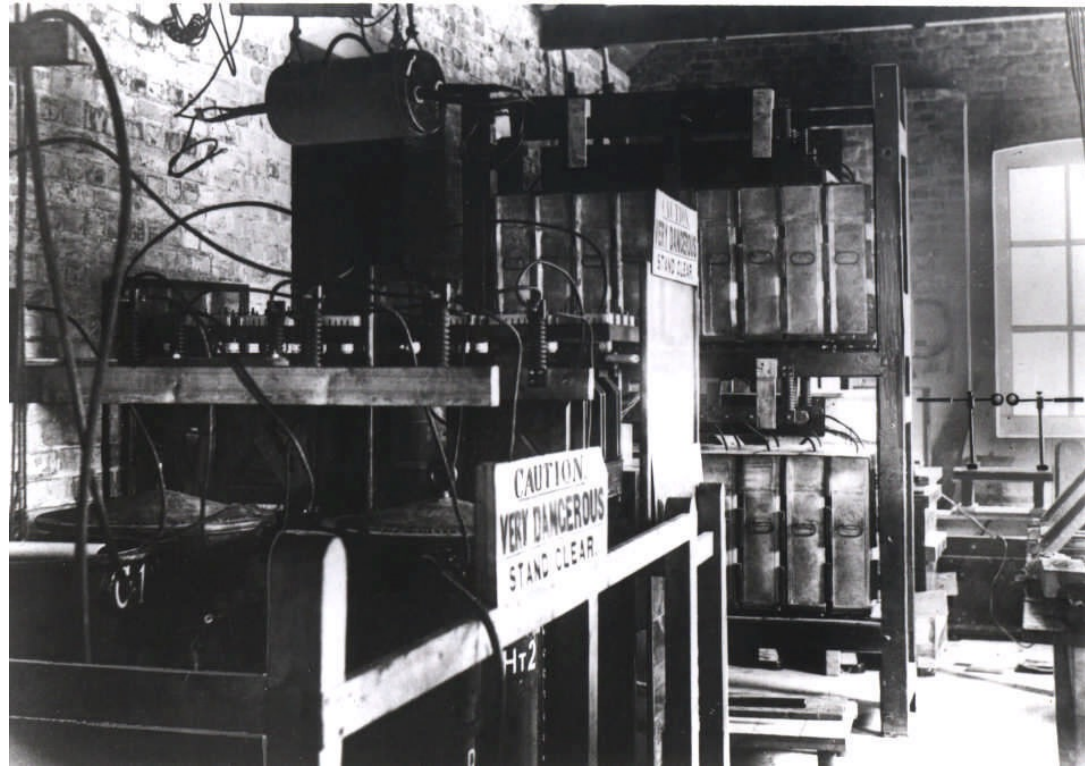
(from [https://en.wikipedia.org/wiki/Guglielmo\\_Marconi](https://en.wikipedia.org/wiki/Guglielmo_Marconi))



*Posizione geografica di Saint John's di Terranova e Poldhu (Cornovaglia),  
i due punti collegati da Marconi nel 1901 con la telegrafia senza fili.*

Edoardo Marconi, tecnologia della radio

- 1900, il fisico americano Reginald Aubrey Fessenden riesce a trasmettere segnali modulati dalla voce
- 1901, per comunicare con le navi sulle rotte atlantiche Marconi installa un potente trasmettitore in Cornovaglia, quindi si imbarca per l'America con un ricevitore. Riesce a ricevere i segnali - anche se assai deboli - alla distanza di 3400 km, in Terranova
- 1904, J.A.Fleming inventa il diodo a vuoto e rende possibile la trasmissione in modulazione di ampiezza (AM)
- 1904, la radio viene usata nella guerra russo-giapponese
- 1907, Poincare dimostra che la propagazione transatlantica dei segnali radio non può essere dovuta ad un fenomeno di diffrazione



Il trasmettitore di Marconi a Poldhu in Cornovaglia nel 1901



- 1907, Lee de Forest brevetta il triodo
- 1909, Marconi riceve il premio Nobel per la Fisica
- 1909, i passeggeri e l'equipaggio della nave Republic vengono salvati grazie ad una richiesta di soccorso via radio
- 1912, Edwin Howard Armstrong sviluppa il circuito a supereterodina
- 1919, il presidente americano Woodrow Wilson parla alle truppe via radio
- 1920, inizio delle trasmissioni commerciali delle stazioni KDKA di Pittsburg e WWJ di Detroit
- 1923, Frank Conrad sviluppa la radio ad onde corte
- 1923, negli Stati Uniti prende forma la prima rete permanente, la NBC (National Broadcasting Corporation)
- 1925, Appleton e Barnett dimostrano sperimentalmente l'esistenza di uno strato di gas ionizzato nell'alta atmosfera
- 1933, Armstrong inventa la radio a modulazione di frequenza (FM)
- 1941, 90 milioni di persone ascoltano il messaggio alla nazione del presidente americano F.D.Roosevelt, due giorni dopo l'attacco giapponese a Pearl Harbor
- 1947, Appleton riceve il premio Nobel per le sue ricerche sulla fisica dell'alta atmosfera



EDWIN H. ARMSTRONG  
1890 - 1954

# Come avviene la propagazione oltre la curvatura terrestre?

All'inizio del '900 c'erano diverse ipotesi, in particolare:

- già nel 1902 Kennely e Heaviside avevano proposto l'esistenza di uno strato conduttivo nell'alta atmosfera, ma all'epoca non sembrava esserci modo di dimostrarne l'esistenza
- una proposta alternativa era stata avanzata nello stesso anno da H. M. MacDonald a Cambridge (UK), secondo cui le onde radio avrebbero potuto superare la curvatura terrestre grazie ad un effetto diffrattivo

MacDonald aveva fatto calcoli che confermavano la sua ipotesi. Sfortunatamente, la radiazione diffratta era troppa, e fu il grande matematico francese Henri Poincaré che trovò l'errore nei calcoli e fornì la prima dimostrazione che la diffrazione non poteva essere responsabile della propagazione a lunga distanza delle onde radio.

Poincaré stesso ebbe dei problemi a dare la dimostrazione completa, che fu trovata alla fine da G. N. Watson

Nella soluzione di Poincaré, l'intensità dell'onda diffratta decade esponenzialmente con la distanza, ed è facile capire perché.

Se prendiamo la distanza angolare tra trasmettitore e ricevitore e la dividiamo in  $n$  parti, a causa della simmetria sferica la decrescita deve essere la stessa tra ogni parte e quella successiva, vale a dire il rapporto

$$\frac{\Delta I_k}{I_k} \propto \Delta \theta$$

non deve dipendere da  $k$ . Inoltre, per distanze angolari piccole, la variazione dipende linearmente dalla distanza,

$$I_{k+1} = I_k + \alpha \Delta I_k$$

vale a dire

$$\frac{I_{k+1}}{I_k} = 1 + \alpha \frac{\Delta I_k}{I_k} = 1 - \beta \Delta \theta$$

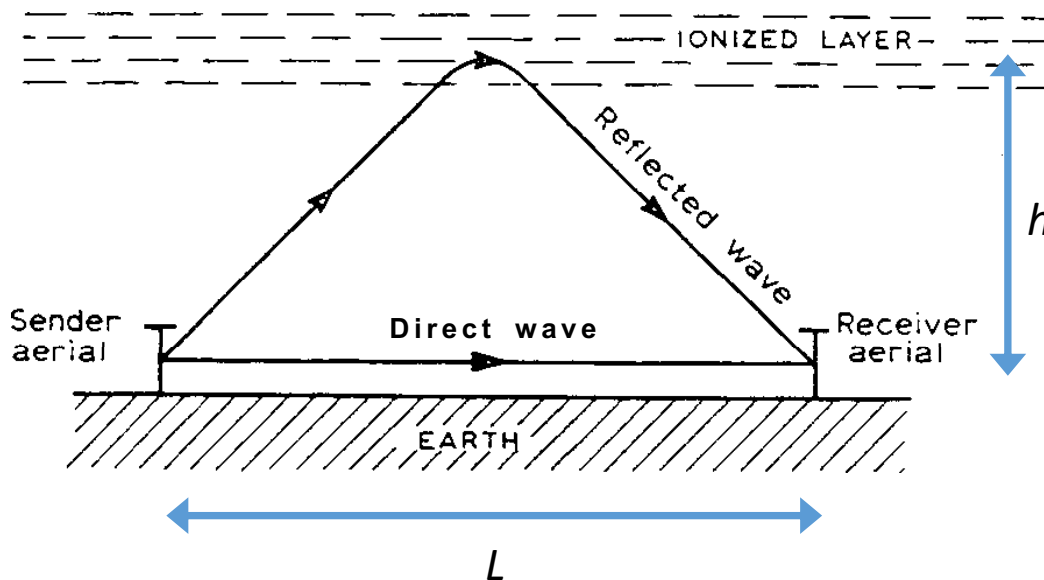
(il segno meno viene introdotto per indicare che allontanandosi si deve avere una diminuzione dell'intensità). Quindi

$$\frac{I_n}{I_0} = \frac{I_n}{I_{n-1}} \times \frac{I_{n-1}}{I_{n-2}} \times \dots \times \frac{I_2}{I_1} \times \frac{I_1}{I_0} = \left(1 - \frac{\beta \theta}{n}\right)^n \xrightarrow{n \rightarrow \infty} \exp(-\beta \theta)$$

Fu Appleton, negli anni '20, a trovare la soluzione del problema.

Appleton considerò l'ipotesi degli strati conduttivi ad alta atmosfera e riuscì a dimostrare la loro esistenza.

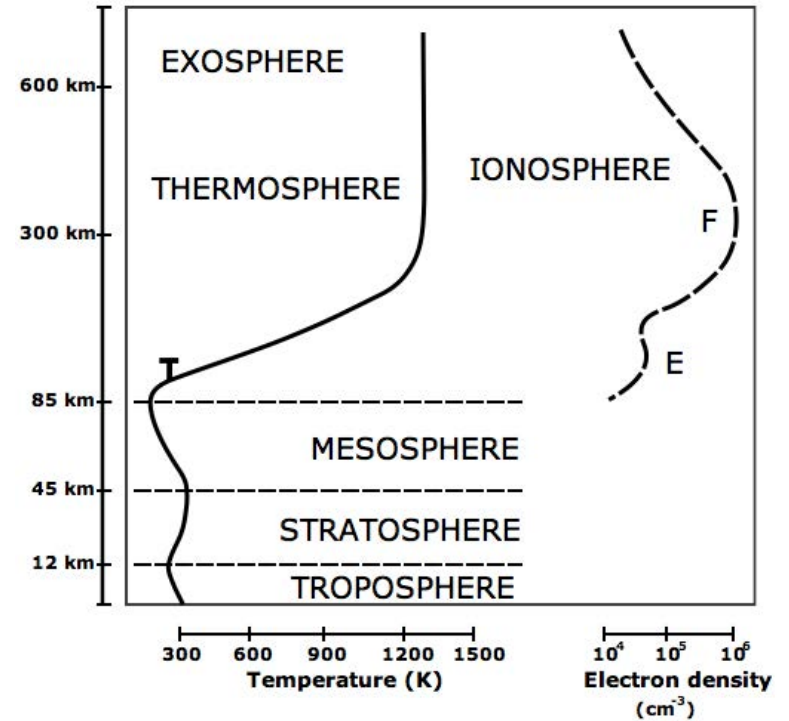
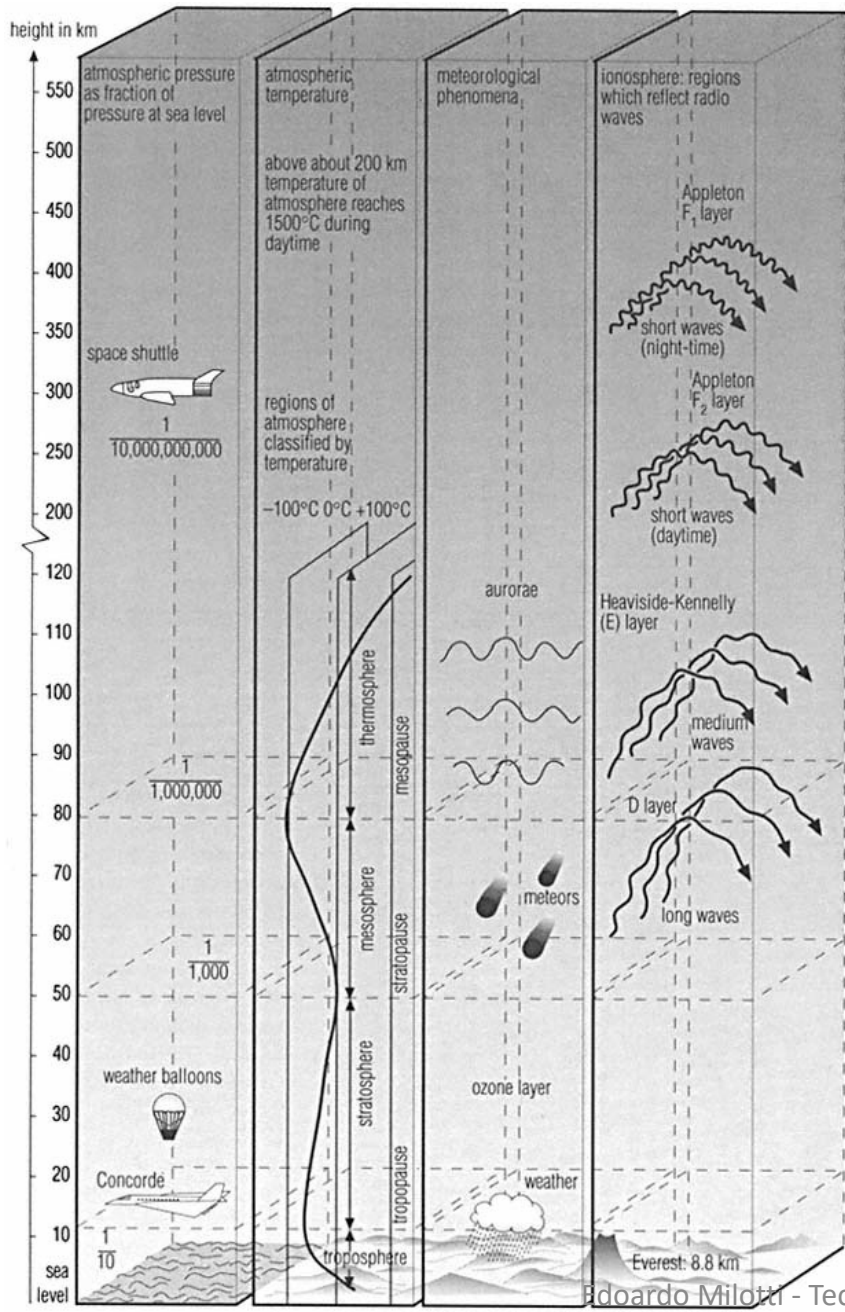
Facendo una scansione in lunghezza d'onda da una lunghezza d'onda minima  $\lambda_1$  ad una massima  $\lambda_2$  con un trasmettitore ed un ricevitore, egli osservò il numero di massimi di interferenza  $n$  ( $L$ : distanza orizzontale,  $D+L$ : distanza totale in aria) per trovare  $D$  e quindi  $h$

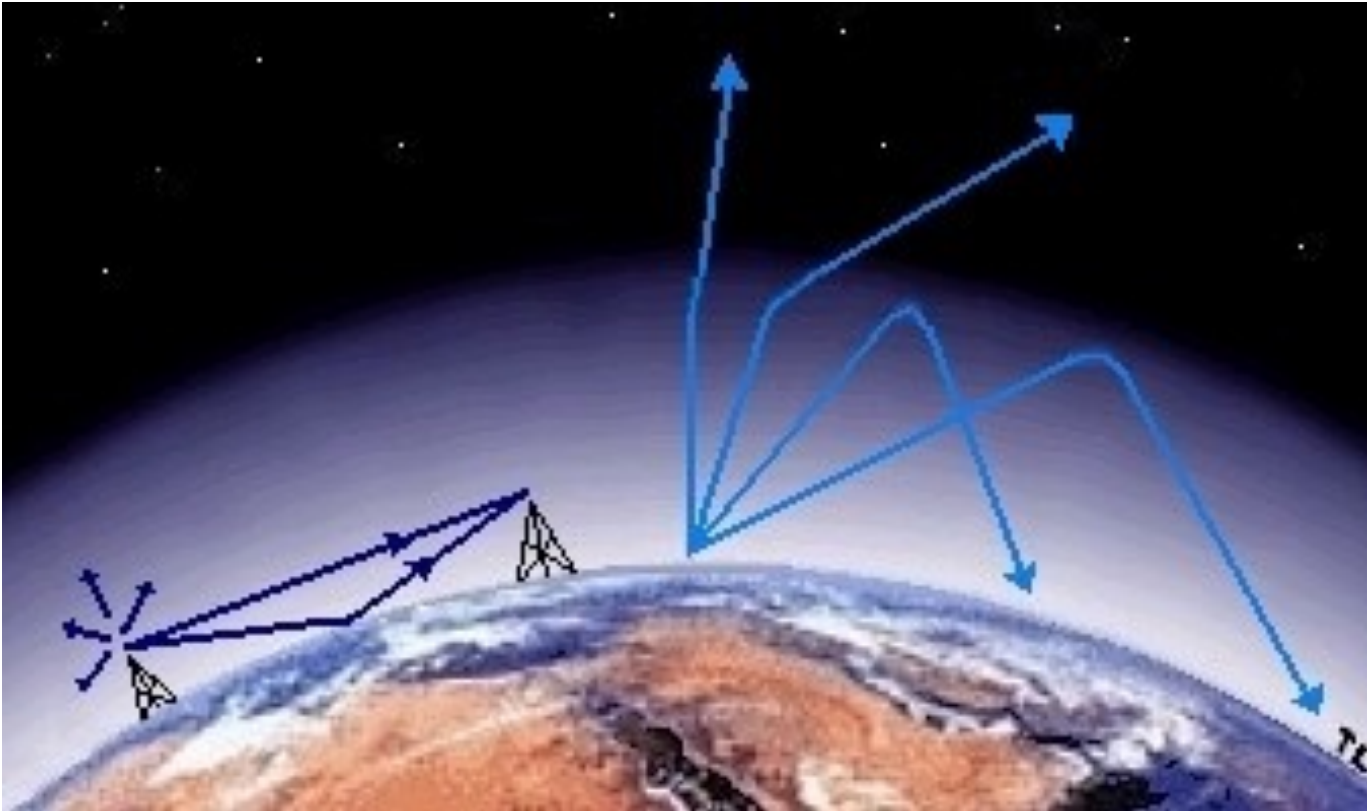


$$n = \frac{D}{\lambda_1} - \frac{D}{\lambda_2}$$

$$D = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} n$$

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{(D + L)^2 - L^2}$$





banda		frequenza	lunghezza d'onda	propagazione
VLF	Very Low Frequency	3–30 kHz	100–10 km	onde guidate tra terra e ionosfera;
LF	Low Frequency	30–300 kHz	10–1 km	onde guidate tra terra e strato D della ionosfera; onde di superficie;
MF	Medium Frequency	300–3000 kHz	1000–100 m	onde di superficie; rifrazione ionosferica negli strati E ed F di notte, quando l'assorbimento dello strato D si attenua;
HF	High Frequency (Short Wave)	3–30 MHz	100–10 m	rifrazione ionosferica nello strato E e negli strati F1, F2;
VHF	Very High Frequency	30–300 MHz	10–1 m	raramente rifrazione ionosferica nello strato E, estremamente rara negli strati F1, F2 durante attività solare, fino a 80 MHz; generalmente onda diretta;
UHF	Ultra High Frequency	300–3000 MHz	1–0.1 m	onda diretta;
SHF	Super High Frequency	3–30 GHz	100–10 mm	onda diretta;
EHF	Extremely High Frequency	30–300 GHz	10–1 mm	onda diretta limitata da assorbimento atmosferico.

# UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS

## THE RADIO SPECTRUM

### RADIO SERVICES COLOR LEGEND

AERONAUTICAL MOBILE	INTER-SATELLITE	RADIO ASTRONOMY
AERONAUTICAL MOBILE SATELLITE	RADIO DETERMINATION SATELLITE	
AERONAUTICAL RADIONAVIGATION	LAND MOBILE SATELLITE	RADIOLOCATION
AMATEUR	MARITIME MOBILE	RADIOLOCATION SATELLITE
AMATEUR SATELLITE	MARITIME MOBILE SATELLITE	RADIONAVIGATION
BROADCASTING	MARITIME RADIONAVIGATION	RADIONAVIGATION SATELLITE
BROADCASTING SATELLITE	METEOROLOGICAL AIDS	SPACE OPERATION
EARTH OBSERVATION SATELLITE	METEOROLOGICAL SATELLITE	SPACE RESEARCH
FIXED	MOBILE	STANDARD FREQUENCY AND TIME SIGNAL
FIXED SATELLITE	MOBILE SATELLITE	STANDARD FREQUENCY AND TIME SIGNAL SATELLITE

### ACTIVITY CODE

GOVERNMENT EXCLUSIVE	GOVERNMENT/NON-GOVERNMENT SHARED
NON-GOVERNMENT EXCLUSIVE	

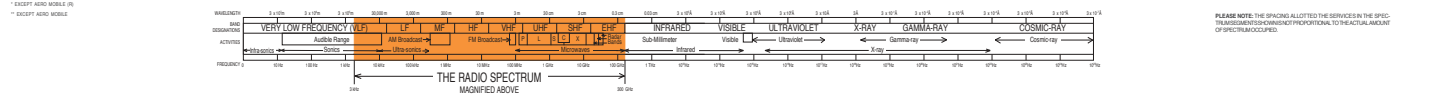
### ALLOCATION USAGE DESIGNATION

SERVICE	EXAMPLE	DESCRIPTION
Primary	FIXED	Capital Letters
Secondary	Mobile	1st Capital with lower case letters

This chart is a specific single-antenna view derivation of the Table of Frequency Allocations used by the FCC and ICA. As such, it does not completely reflect all aspects, i.e., licensee and master channel maps in the Table of Frequency Allocations. Therefore, for complete information, users should consult the Table to determine the current status of U.S. allocations.

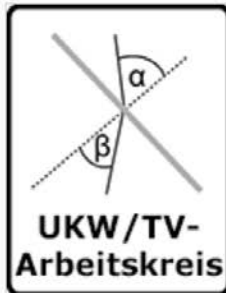


October 2003



PLEASE NOTE: THE SPACING ALLOTTED THE SERVICES IN THE SPECTRUM DIAGRAM IS FOR CONCEPT PROPORTIONAL TO THE ACTUAL AMOUNT OF SPECTRUM OCCUPIED.





Powered by



Traduttori

es: Andreas Bruckner,  
Miquel Nicolau Amer  
fi: Otso Ylonen  
fr: Felix Martin  
it: Antonio Tognin  
pt: Natalino Peixoto

Partners ...

Skywaves

Italien / Italy

Spanien / Spain: AER and fmdx.es

Algerien / Algeria

Polen / Poland

RX014 R(B)DS & RDS2 receiver

External links ...

FMLIST link panel

RSDSX

UKDX (Band 1 TV, North African & Middle East FM)

Asiawaves

DXing.info

Global Tuners

VictorCity

## Benvenuto a FMLIST!

FMLIST é il database [mondiale](#) delle radio (in FM e DAB) e televisioni, del UKW/TV-Arbeitskreis e.V. Contiene dati tecnici delle emittenti in banda VHF e UHF. FMLIST é un progetto aperto che si basa sulla collaborazione di tante persone. Aiuta anche tu questo progetto con le tue informazioni e dati!

Sei interessato in onde lunghe, onde medie o onde corte? Visita [MWLIST!](#)

Follow FMLIST and/or DABLIS on Twitter:

## FMLIST statistics, logbook and RSS feeds

- [Logbook visuale, statistiche e mappe sulla propagazione FM](#)
- [RSS myFM Log feed \(all modes\) | Es only | Tropo only | MS only](#)

## Frequency predictions and transmitter maps

[fmscan.org](http://fmscan.org)

**FREQUENZE** Previsione della scala FM/AM per qualsiasi posto  
**MAPPE** postazioni, reti, coperture

## FMLIST Novità

- [FMLIST-Editorial news](#)
- [FMLIST-News items \(station activations, changes, closures\)](#)
- [TVLIST online - Band 1 stations](#)

- \* **Login problem? Not receiving your password mail? [Click here ...](#)**
- \* FMLIST per il **navigatore**: Files per TomTom e Garmin
- \* Compilate vostri **bandscan** / vostro **logbook**: Online con myFM !
- \* Editors **wanted** for various countries - please contact us !
- \* Download up-to-date PDF and **RSDSX** files !

## PI Code search

PI code

## Login

E-Mail:

Parola chiave:

Parola chiave dimenticata?

Ricordare login su questo PC

## Qui per la prima volta?

## Perché registrare?

## Indicatori di propagazione

From [The DXrobot](#)

- VHF Aurora : **BAND CLOSED**
- 144 MHz Es EU : **BAND CLOSED**
- 70 MHz Es EU : **BAND CLOSED**
- 50 MHz Es EU : **BAND CLOSED**
- 144 MHz Es NA : **BAND CLOSED**

## Propagation maps, HAM links

F5LEN Tropospheric Propagation Forecast

Hepburn Tropo Map

DXMAPS QSO/SWL Realtime Maps

MMM on VHF MUF Map

G7IZU Sporadic-E Maps

VHF Propagation Maps

NASA ionospheric TEC map

Global realtime ionospheric foF2 map

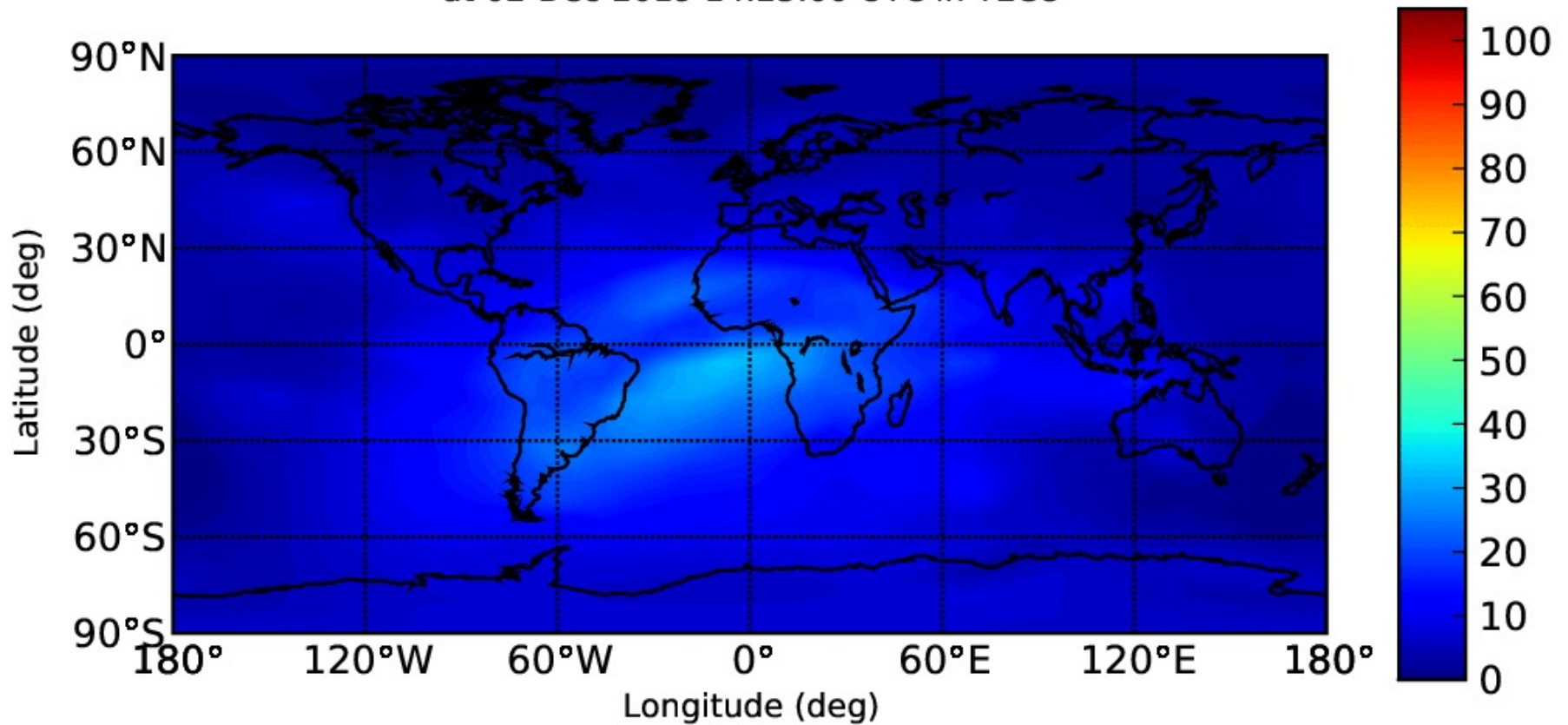
G3USF's Worldwide List Of 50MHz Beacons

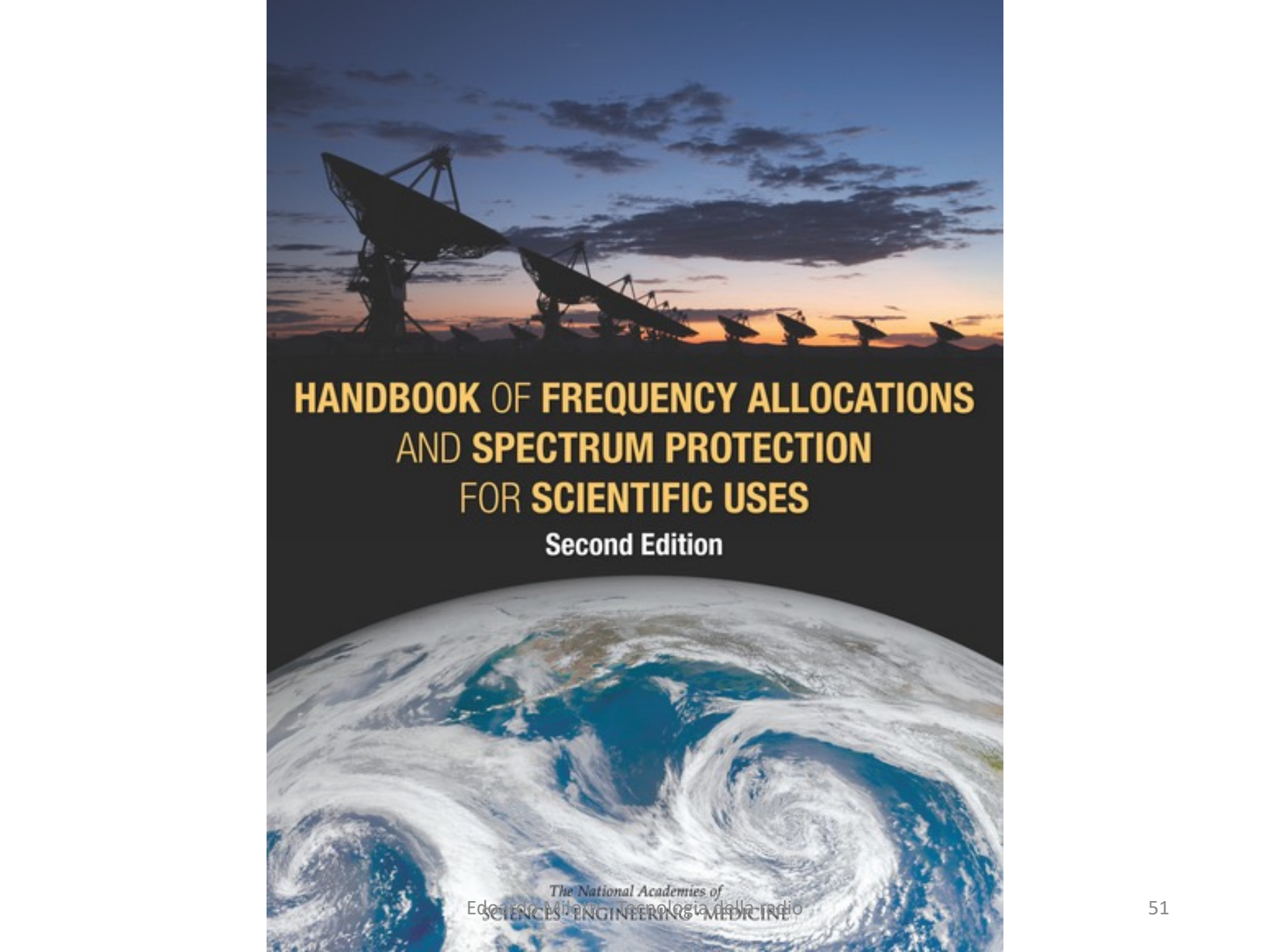
## DX live streams

[DX live streams](#)

... esempio, mappe della densità elettronica nella ionosfera ...

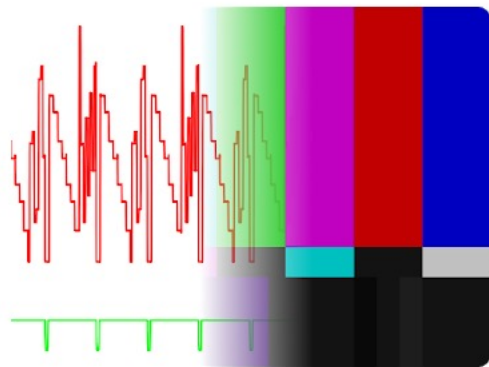
Vertical Total Electron Content Map  
at 02-Dec-2019 14:25:00 UTC in TECU





**HANDBOOK OF FREQUENCY ALLOCATIONS  
AND SPECTRUM PROTECTION  
FOR SCIENTIFIC USES**  
Second Edition

*The National Academies of  
Edoardo Milotti, Tecnologia della radio*  
SCIENCES ENGINEERING MEDICINE



# Robot36 - SSTV Image Decoder

Ahmet Inan Communication

★★★★★ 1,098

**E** Everyone

**i** This app is compatible with your device.

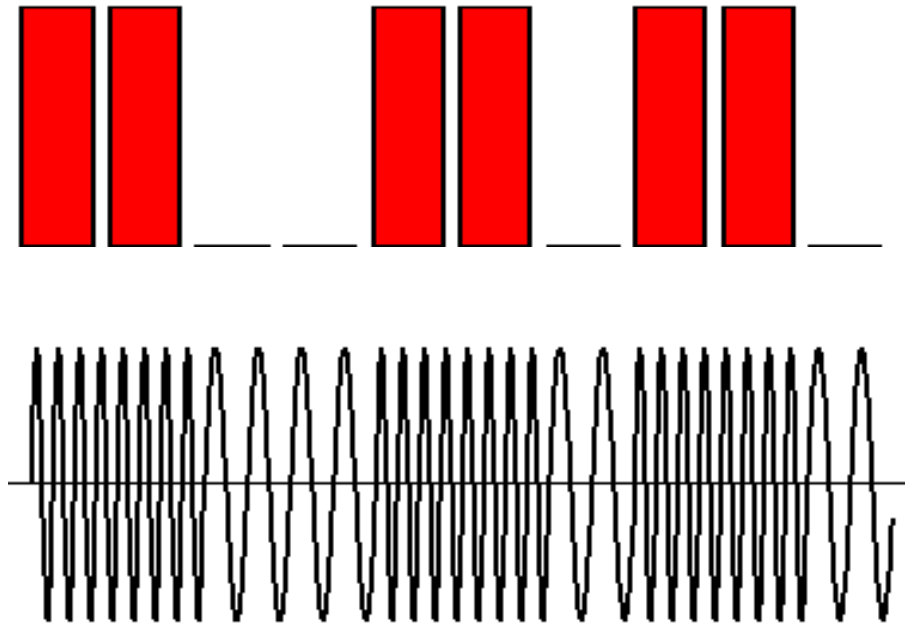
Installed

SSTV (Slow Scan TeleVision, introdotta per la prima volta nel 1957-58)

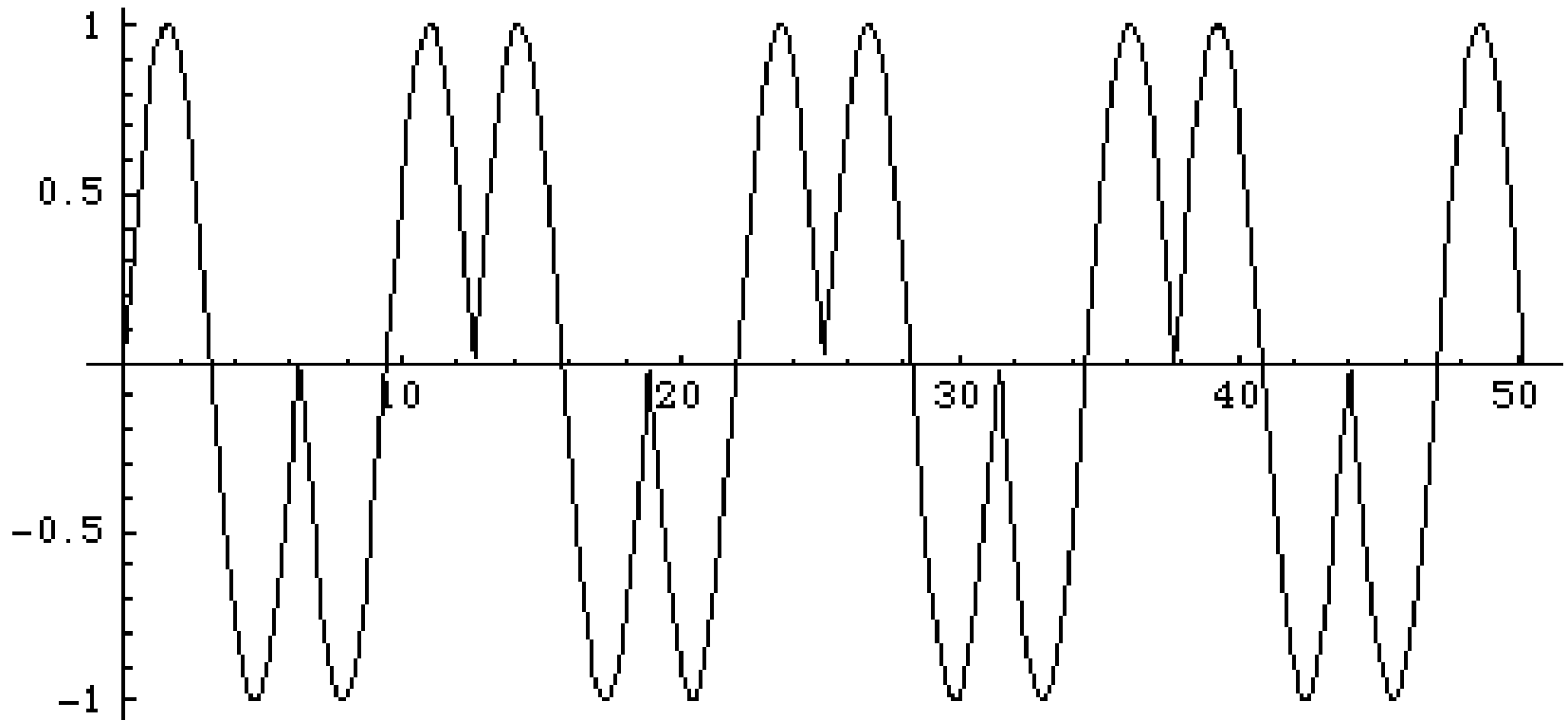


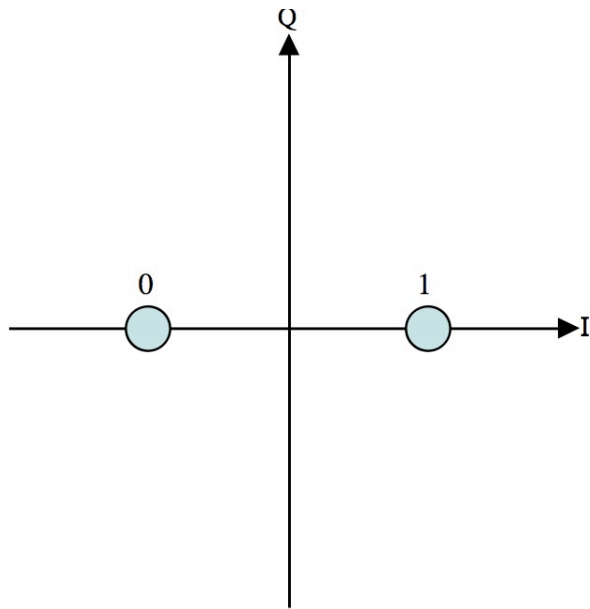
(test, si provi con <https://www.youtube.com/watch?v=zgYhkheUj3Q>, oppure <https://www.youtube.com/watch?v=ayn3rHPKE40>)

## Modulazione FSK (Frequency Shift Keying)



Schema di principio del funzionamento della modulazione FSK (Frequency Shift Keying) per la trasmissione di informazioni codificate in modo binario. La parte superiore della figura mostra i bits che si vogliono trasmettere, mentre la parte inferiore mostra come i bits alti vengono codificati con una frequenza elevata, mentre i bits bassi vengono codificati con una frequenza bassa. I segnali trasmessi vengono spostati ad alta frequenza con l'aggiunta di una portante prima di venire inviati all'antenna.

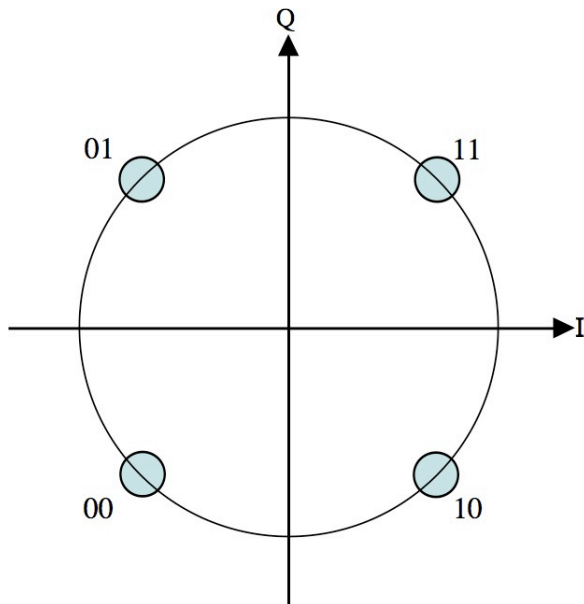




BPSK = Binary Phase Shift Keying

sfasamenti di  $180^\circ$

viene codificato un bit alla volta



QPSK = Quadrature Phase Shift Keying

sfasamenti di  $90^\circ$

vengono codificati gruppi di 2 bit



