



# Strumentazione di Bordo e Principi di Funzionamento

- Anemometri
- Solcometri
- Barometri
- Bussole
- Radar
- GPS

# Anemometro

- ☞ Misura dell'intensità ⇒ Anemometro
- ☞ Misura della direzione ⇒ Anemoscopio

Diversi tipi e diversi principi:



a 3 coppette



Combinato  
(elica paletta)



Sonico a 2 coord.

# Anemometro Sonico



La velocità di propagazione del suono in aria dipende dalle caratteristiche di temperatura e umidità dell'aria:

$$v_s = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M} \left[ 1 + \left( \frac{\gamma_d}{\gamma_v} - \frac{M_v}{M_d} \right) \frac{e}{p - \left( 1 - \frac{M_v}{M_d} \right) e} \right]}$$

Ma anche dalla velocità del mezzo ovvero se Abbiamo un vento di velocità pari a  $u$  nella stessa direzione del suono la velocità di propagazione sarà pari a

$$v_s = v_{s0} + u \quad \text{e} \quad v_s = v_{s0} - u$$

In una singola direzione del nostro anemometro abbiamo trasduttore/ricettore su ogni polo e quindi possiamo fare la misura nei due sensi. I tempi di propagazione del suono sulla distanza  $d$  (fissa) ci permettono di calcolare la velocità del vento rispetto alla direzione considerata.

$$t_1 = \frac{d}{v_{s0} + u_w} \quad \text{e} \quad t_2 = \frac{d}{v_{s0} - u_w}$$

Da cui

$$v_{s0} = \frac{1}{2} \left( \frac{d}{t_1} + \frac{d}{t_2} \right)$$

$$u_w = \frac{1}{2} \left( \frac{d}{t_1} - \frac{d}{t_2} \right)$$

## NUMERICAMENTE

$$v_{s0} \approx 400 \text{ m/s}$$

$$d \approx 20 \text{ cm}$$

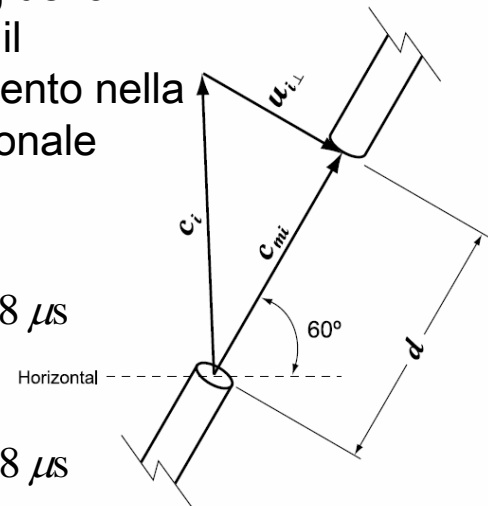
$$u_w \approx 36 \text{ km/h (10 m/s)}$$

In realtà per  $v_{s0}$  devo correggere per il contributo del vento nella direzione ortogonale

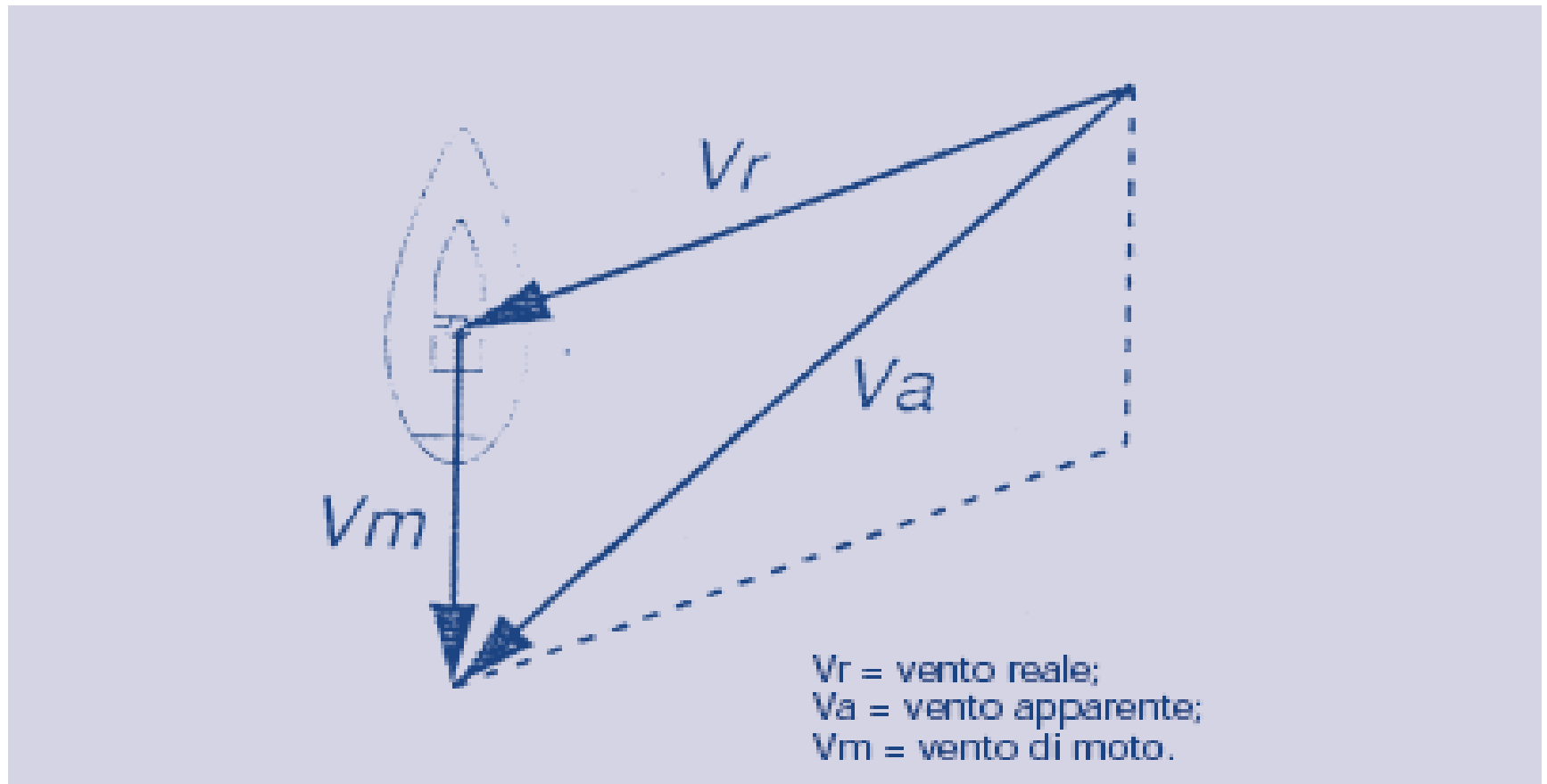
$$t_1 = \frac{0.2}{410} = 487.8 \mu\text{s}$$

$$\Delta t \approx 25 \mu\text{s}$$

$$t_2 = \frac{0.2}{390} = 512.8 \mu\text{s}$$



# Vento reale ed apparente



Il sistema anemometro/anemoscopio misura “ $V_a$ ” il vento apparente: meglio la sua velocità [m/s, km/h...per mare...nodi (1 nodo = 1.852 km/h)] e la sua direzione. Per avere “ $V_r$ ” devo conoscere “ $V_m$ ” ⇒ **SOLCOMETRO**

1 miglio: 1' di un circolo massimo (equatore o meridiani) =  $1/(360 \cdot 60)$  della circonferenza terrestre (21.600 miglia, 40003.2 km)

# Solcometro

**Il solcometro misura la velocità della barca rispetto all'acqua, che corrisponde alla velocità reale solo in assenza di correnti.**

Vi sono vari tipi di solcometro, tra i quali:

- quello a pressione, detto anche "a tubo Pitot", che sfrutta la pressione esercitata dall'acqua che investe un corpo in movimento, in essa immerso.
- quello ad elica, che sfrutta la rotazione di un'elichetta sistemata in carena e messa in movimento dalla pressione che l'acqua esercita sulle sue pale, quando lo scafo è in movimento
- quello elettromagnetico, che sfrutta fenomeni di elettromagnetismo (poco usato a bordo delle imbarcazioni)
- quello ad effetto Doppler, detto anche Sonar-Doppler, che sfrutta l'effetto Doppler e che, effettuando una misura riferita al fondo del mare, è l'unico tachimetro capace di fornire la misura della velocità effettiva. Come limite, ovviamente, è legato alla profondità, che, se superiore ai 600-700 metri, non consente di ottenere misure attendibili.

È bene comunque ricordare che la velocità misurata dai comuni solcometri è riferita alla superficie dell'acqua e non al fondo.

Questo significa che la velocità misurata dallo strumento può essere notevolmente diversa da quella effettiva e riferita al fondo del mare.

# Sonar

Il sonar è un dispositivo capace di misurare una distanza sotto il livello del mare sfruttando la riflessione dei segnali sonori. E' utilizzato pertanto per costruire le carte dei fondali marini, per localizzare banchi di pesci o navi affondate; i sottomarini sono dotati di sonar per individuare altre imbarcazioni o iceberg lungo la loro rotta.

Il termine sonar è l'acronimo di **SO**und **NA**avigation and **R**anging cioè la navigazione e la localizzazione mediante il suono. Fu inventato dal fisico francese Paul Langevin (1872-1946) che stava eseguendo degli studi sugli ultrasuoni, segnali acustici che si propagano a grande distanza anche attraverso l'acqua ma che non sono udibili dall'uomo.

Esso è costituito da:

**TRASMETTITORE +RICEVITORE +ELABORATORE**

Il trasmettitore emette ultrasuoni in una determinata direzione. Il ricevitore raccoglie i segnali riflessi dall'ostacolo tramite un microfono molto sensibile. Un computer elabora successivamente i dati ottenuti e calcola la distanza a cui si trova l'ostacolo.

Principio fisico di funzionamento:

Conoscendo la velocità degli ultrasuoni nell'acqua che è di circa 1500m/s e misurando il tempo che l'onda sonora impiega a percorrere lo spazio in andata e ritorno, è possibile calcolare la distanza a cui si trova l'oggetto utilizzando la legge oraria del moto rettilineo uniforme

# ecoscandaglio

Emette un impulso ultrasonico e misura la differenza di tempo tra l'emissione e l'arrivo dell'eco.

Nel caso considerato

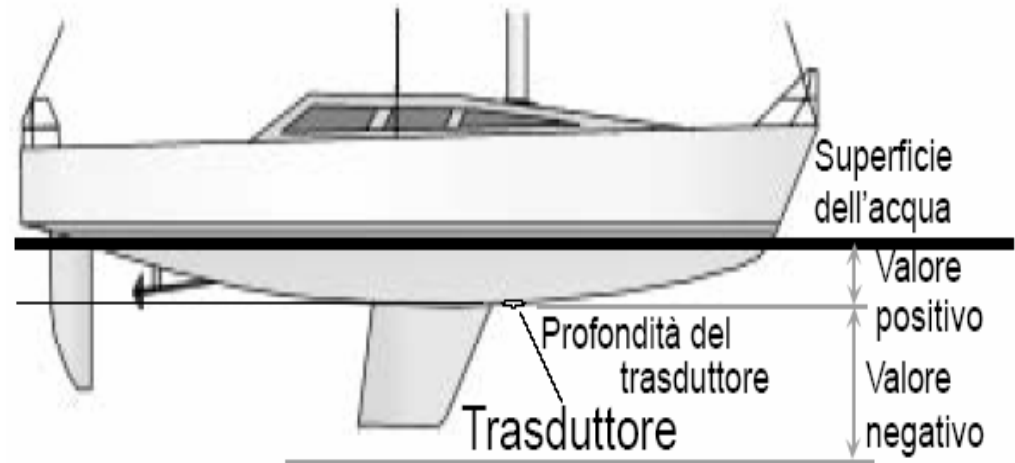
2 frequenze:

50 kHz

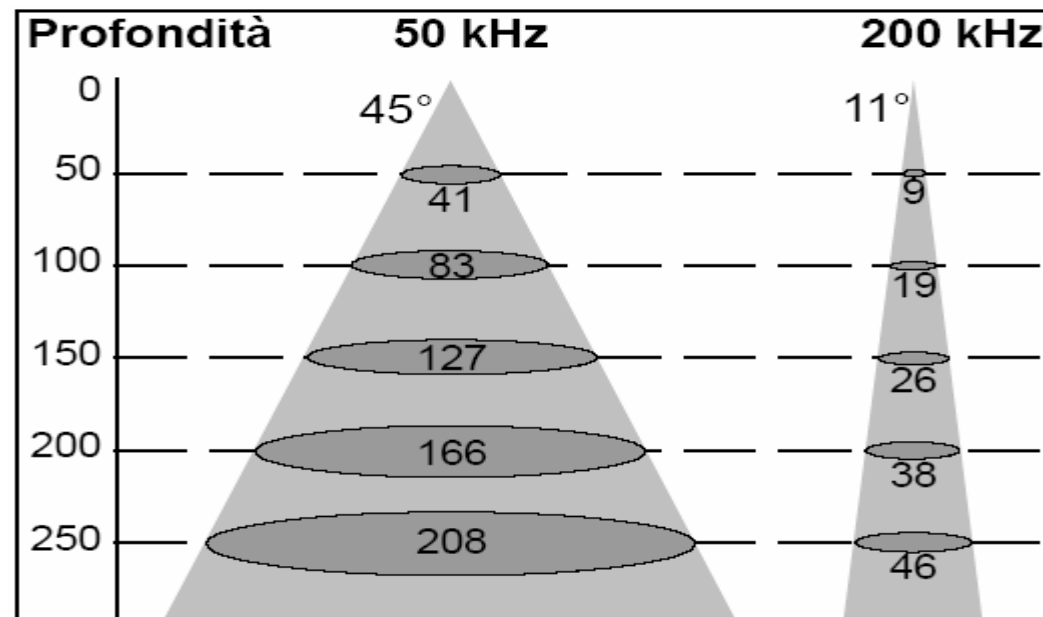
200 kHz

Il cono di apertura dipende dalla frequenza.

Che tempi e che lunghezze d'onda in gioco?



Trasduttore: trasforma impulsi elettrici in sonori e viceversa



# Propagazione del suono in un mezzo

$$v = \sqrt{\frac{K \left[ \frac{N}{m^2} \right]}{\rho \left[ \frac{kg}{m^3} \right]}} \quad \text{velocità in } [m/s]$$

$$K = \frac{-V \cdot \Delta P}{\Delta V} \quad \text{modulo di compressione}$$

Nota la velocità di propagazione possiamo calcolare la lunghezza d'onda:

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \begin{cases} \frac{1519}{50000} = 3 \text{ cm} \\ \frac{1519}{200000} = 7 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Diversa risoluzione}$$

Tempi:

per 10 metri di profondità' (2x10) ~13 ms

per 1 metri di profondità' (2x 1) ~1.3 ms

Mezzo	Velocità m/s
Aria secca (0 ° C)	331
Aria secca (20 ° C)	343
Vapore (134 ° C)	494
Idrogeno	1330
Acqua distillata	1486
Piombo	1190
Rame	3810
Alluminio	5000
Vetro Pyrex	5170
Acciaio	5200
Berilio	12900

Precisione per diverse composizioni:

Se prendo la differenza tra acqua di mare ed acqua distillata

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta v}{v} = \frac{1519 - 1488}{1488} \approx 2\%$$



# Attenuazione

Due tipi: **spredding** (diffusione)  
**attenuazione**

**Spredding**: senza attenuazione  
 l'intensità decresce con l'inverso  
 della superficie della calotta  
 sferica

$$I = I_0 / R^2$$

L'attenuazione è per **spredding**

$$TL = 10 \log_{10} \frac{I_0}{I}$$

ed ha un andamento

$$TL = 10 \log_{10} R^2 = 20 \log_{10} R$$

**Attenuazione**: viene espressa come

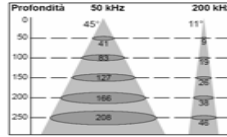
$$TL = \alpha R \quad (\alpha \text{ in dB/m})$$

Per l'acqua di mare a può essere  
 espressa come:

$$\alpha_1 = \left[ 2.1 \times 10^{-10} (T - 38)^2 + 1.3 \times 10^{-7} \right] \nu^2$$

T-temperatura in gradi centigradi e

$\nu$ -frequenza del segnale in kHz



$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$$

$$-10dB = 10 \log_{10} 1/10$$

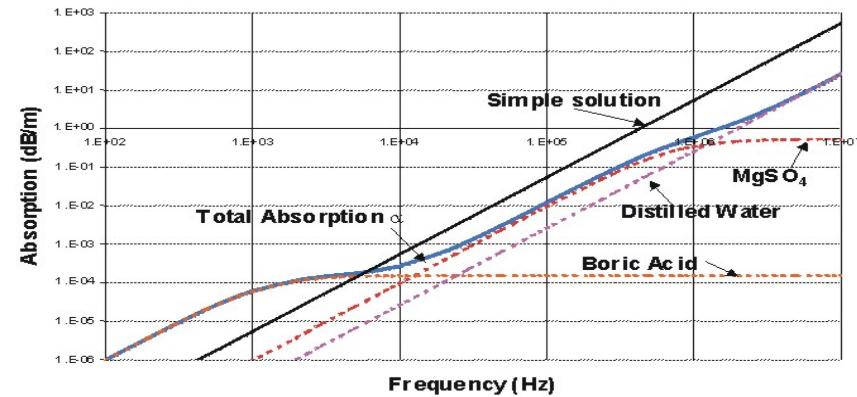
$$0dB = 10 \log_{10} 1$$

$$10dB = 10 \log_{10} 10$$

$$20dB = 10 \log_{10} 100$$

$$30dB = 10 \log_{10} 1000$$

Sound Absorption (T=14degrees C, S=35ppt)

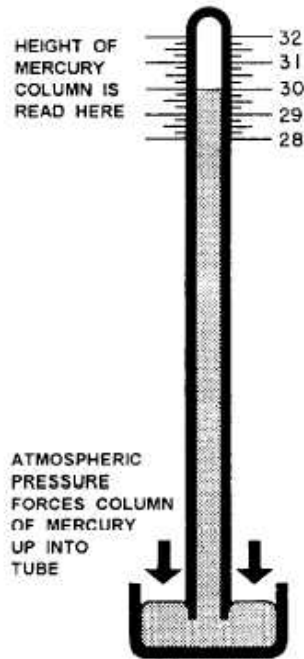


L'assorbimento dominante sotto i 100kHz is è causato dalla  
 dissociazione-riassociazione del solfato di magnesio (MgSO4)  
 causata dalle onde di pressione collegate alla propagazione  
 sonora. Anche se il MgSO4 costituisce solo il 4.7% in peso di  
 gran lunga l'effetto dominante. In modo empirico il suo contributo  
 è espresso mediante la seguente relazione

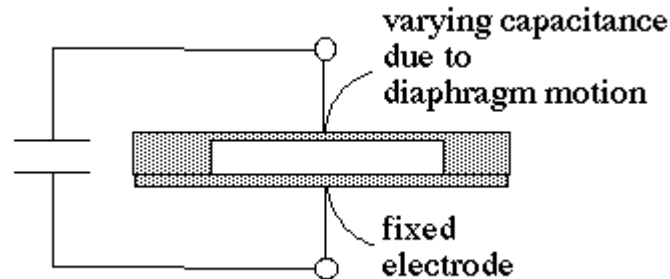
$$\alpha_2 = \frac{b \nu_0}{1 + \left( \frac{\nu_0}{\nu} \right)^2} \quad \begin{matrix} b = 2 \times 10^{-5} & [Hz^{-1}] \\ \nu_0 = 50(T + 1) & [Hz] \end{matrix}$$

# Barometro: misura della pressione atmosferica

La colonna atmosferica che ci sovrasta equivale (a parità di superficie) a 760 mm di mercurio, o ad 10.33 m di acqua.



Barometro di Torricelli



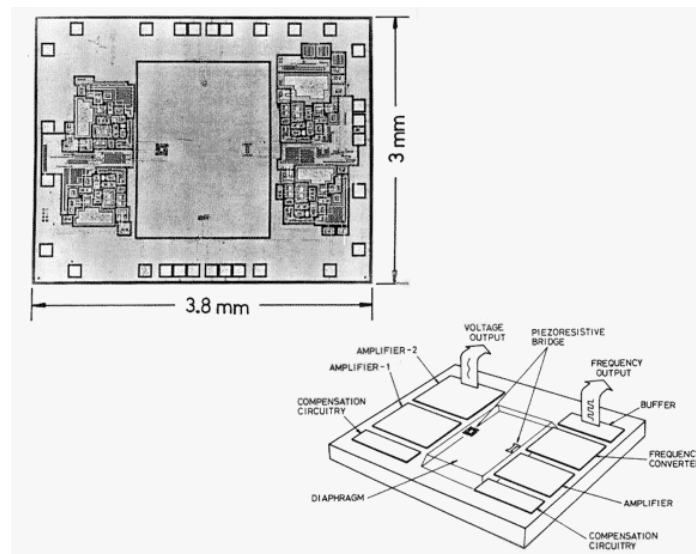
$$C = \frac{\epsilon S}{h}$$

## Capacitance Pressure Sensor

A pressure sensor measuring the distance between two metal plates, located on either side of a chamber, by measuring the change in capacitance between them. Capacitance is an inverse function of distance between the parallel plates.

**Advantages:** Robust, no moving parts.

**Disadvantages:** Complex electronics.



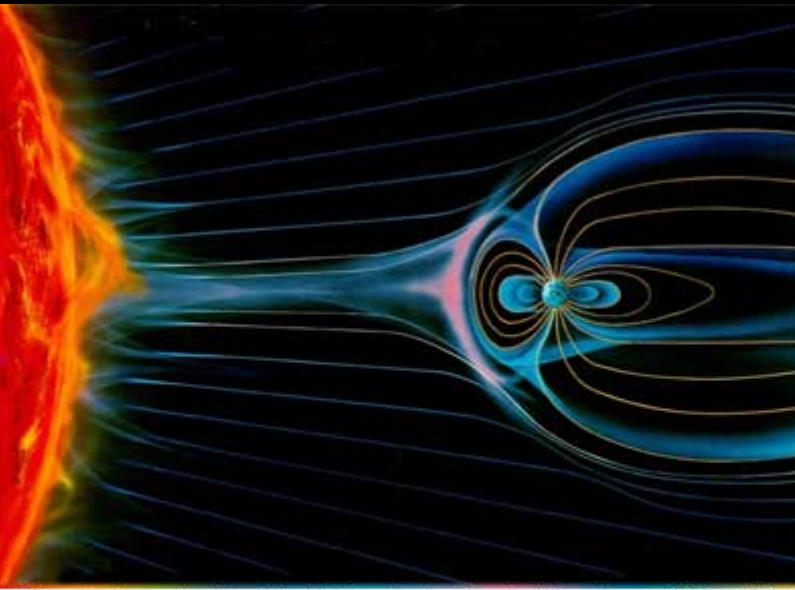
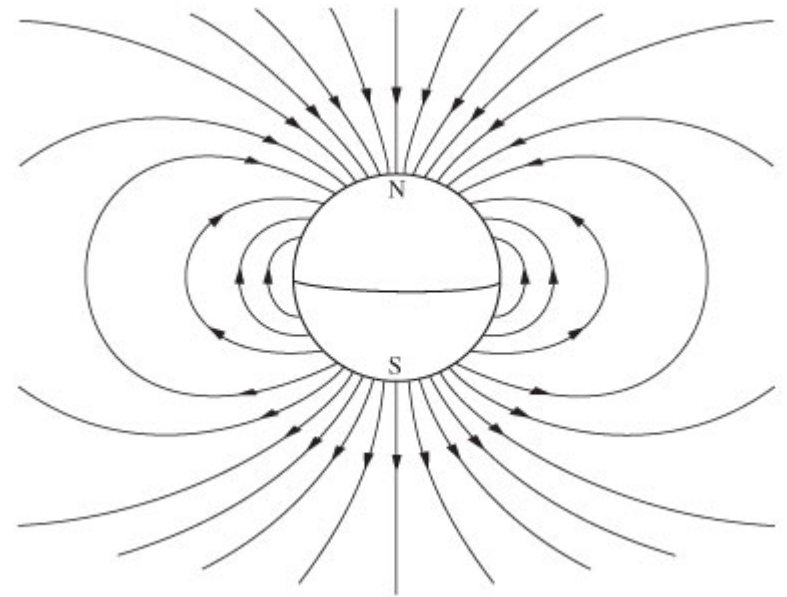
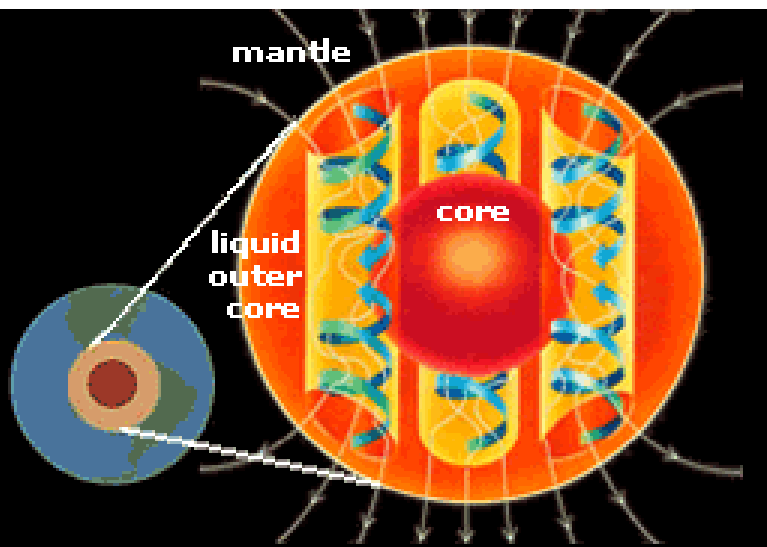
## Resonant Pressure Sensor

Measures the change in frequency of a resonant circuit usually using a quartz or ceramic piezo-electric device. Advanced instruments use micromachined or MEMS devices with on-board compensation and calibration circuitry.

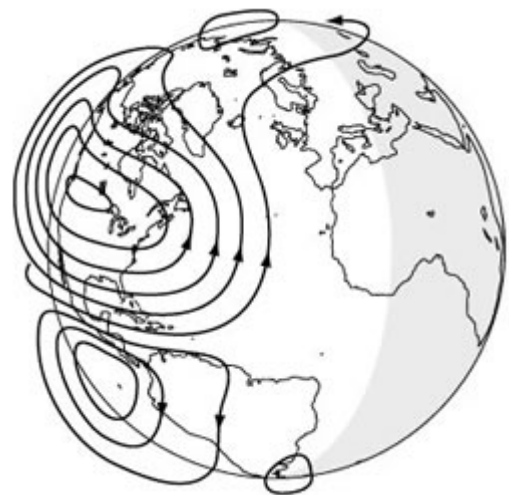
**Advantages:** Accurate.

**Disadvantages:** Costly.

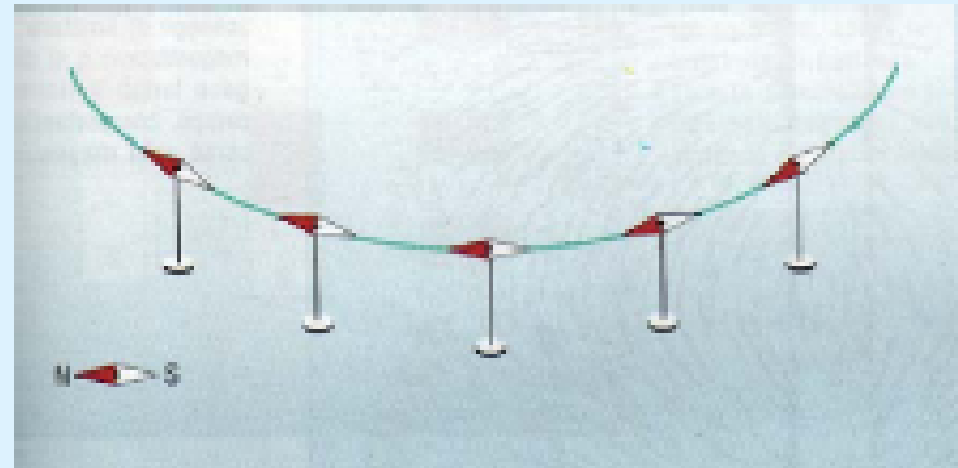
# Geomagnetismo – per bussole



Solar wind, as depicted in this artist's illustration, travels from the Sun and envelopes the Earth's magnetic field. High-energy pulses of solar wind from sunspot activity ("solar bursts" or "plasma bubbles") travel from the Sun to the Earth at speeds exceeding 500 miles per second. The pulses distort the Earth's magnetic field and produce geomagnetic storms that disrupt the Earth's environment.



Per misurare la presenza di un campo magnetico si utilizza un ago magnetizzato (una piccola bussola) con attrito trascurabile.



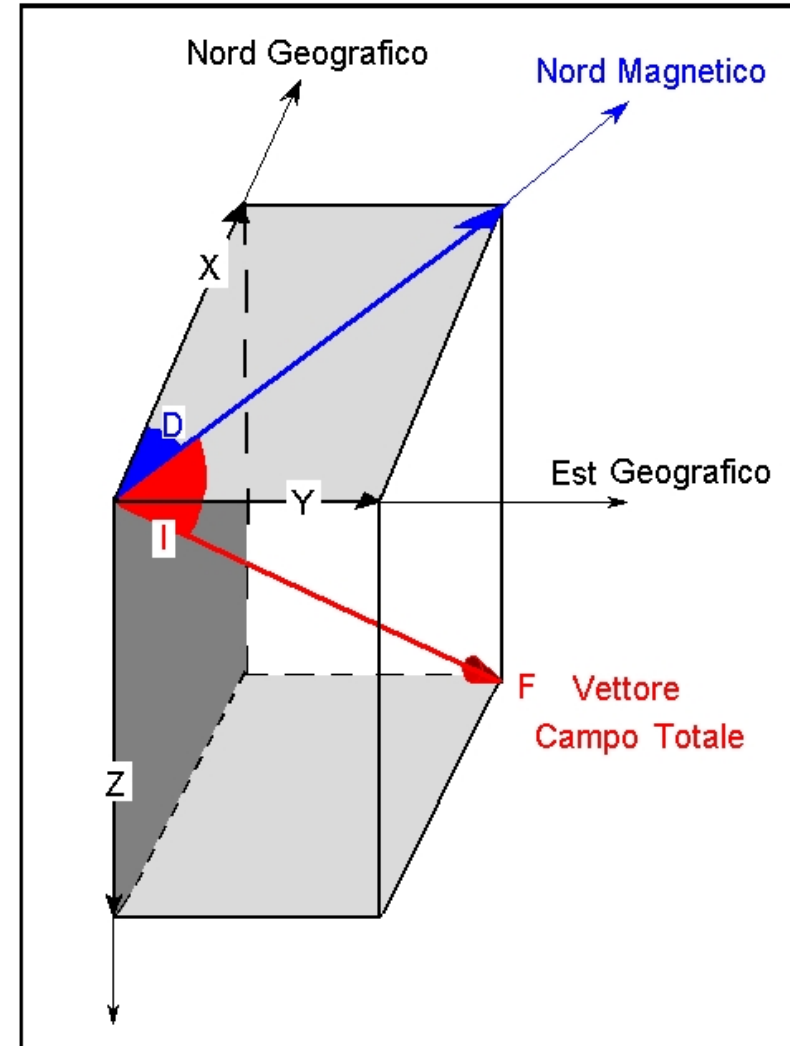
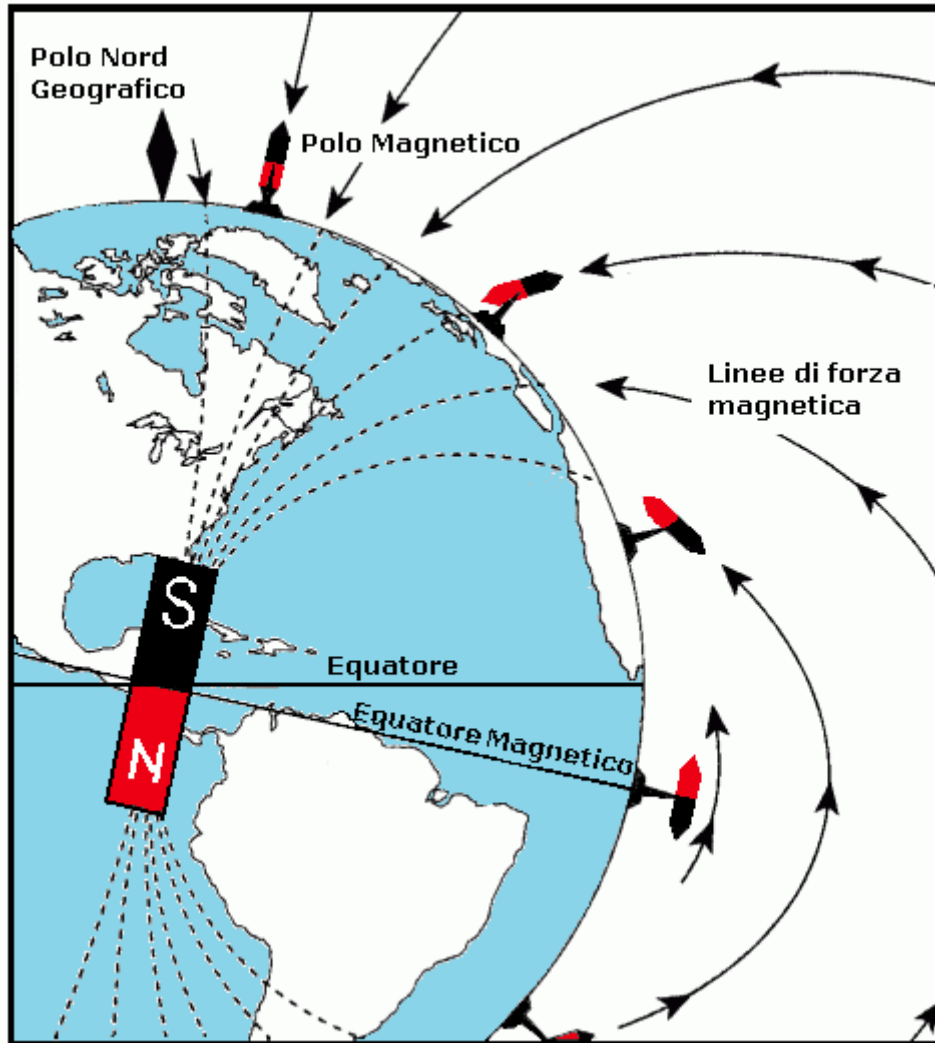
Un ago magnetizzato immerso in un campo magnetico  $\vec{B}$  subisce una forza il cui momento è pari a

$$\vec{M} = \vec{\mu} \wedge \vec{B}$$

Il vettore  $\mu$  è un vettore detto **momento magnetico**, esso è intrinseco del materiale che costituisce l'ago ed ha la direzione dell'ago ed il verso pari alla direzione polo nord-polo sud

Ogni calamita ha un suo momento magnetico intrinseco  $\mu$

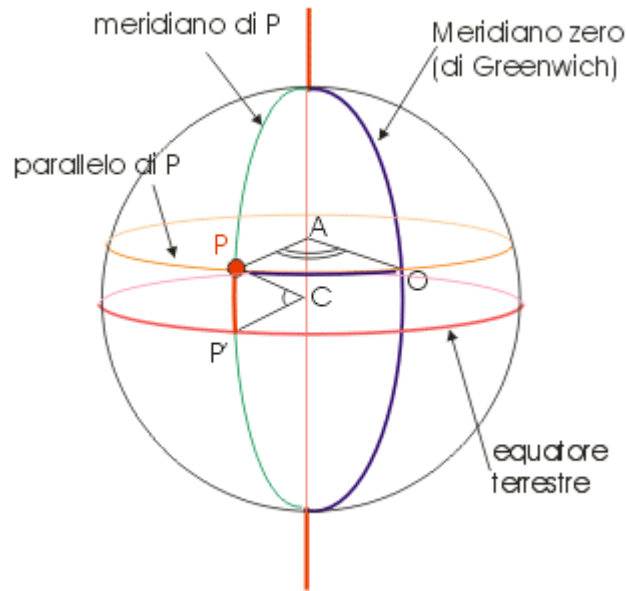
# Descrizione del Campo geomagnetico



# Posizione Nord Magnetico vs Nord Geografico

## Observed position of the South Magnetic Pole

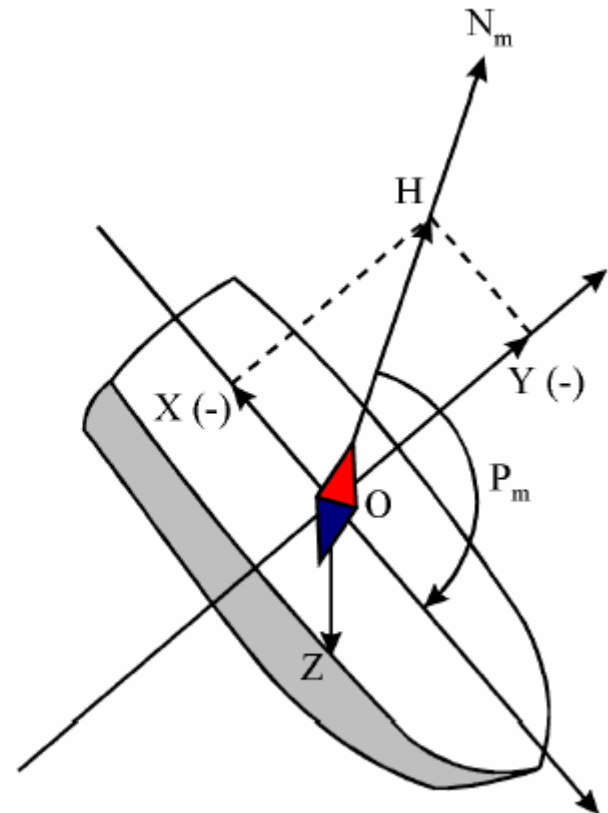
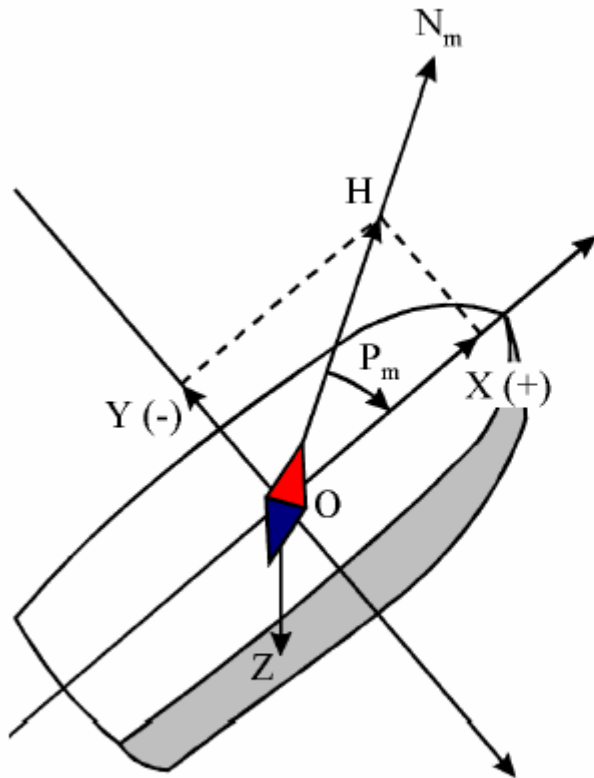
Year	Latitude (°N)	Longitude (°W)
2001	81.3	110.8
2002	81.6	111.6
2003	82.0	112.4
2004	82.3	113.4
2005	82.7	114.4



$$\Delta d_{\text{Latitudine}} = R_{\oplus} \cdot \Delta \theta = 6380 \cdot 0.0175 = 112 \text{ km/grado}$$

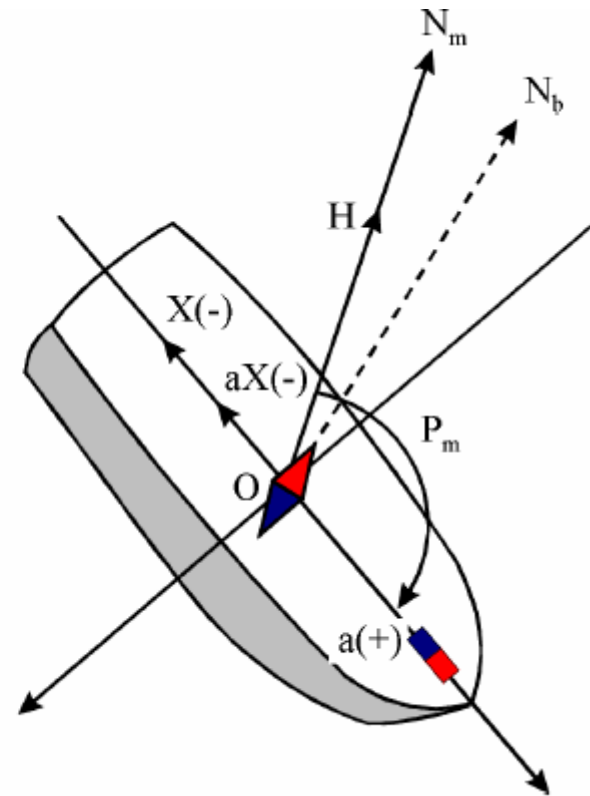
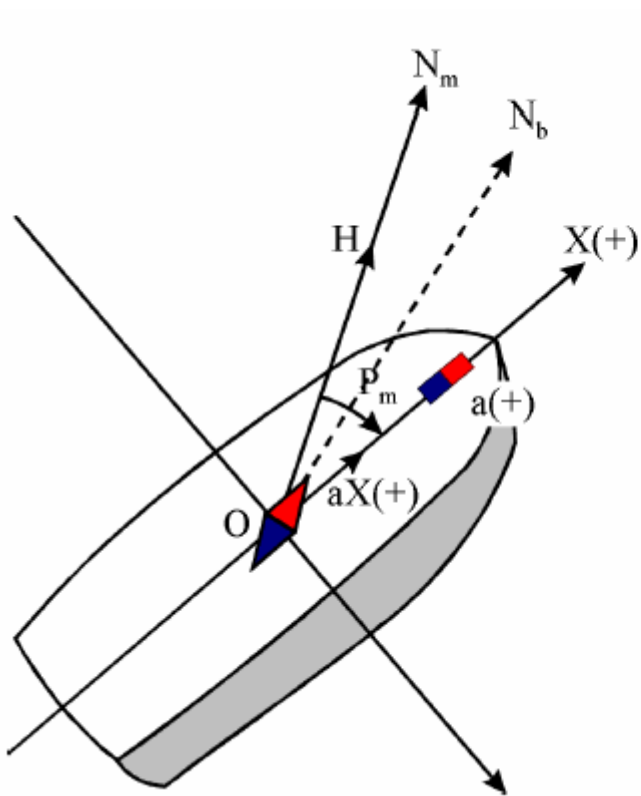
$$\Delta d_{\text{Longitudine}} = (R_{\oplus} \cdot \cos \theta) \cdot \Delta \varphi = (6380 \cdot 0.156) \cdot 0.0175 = 18 \text{ km/grado}$$

# Misura della direzione della barca





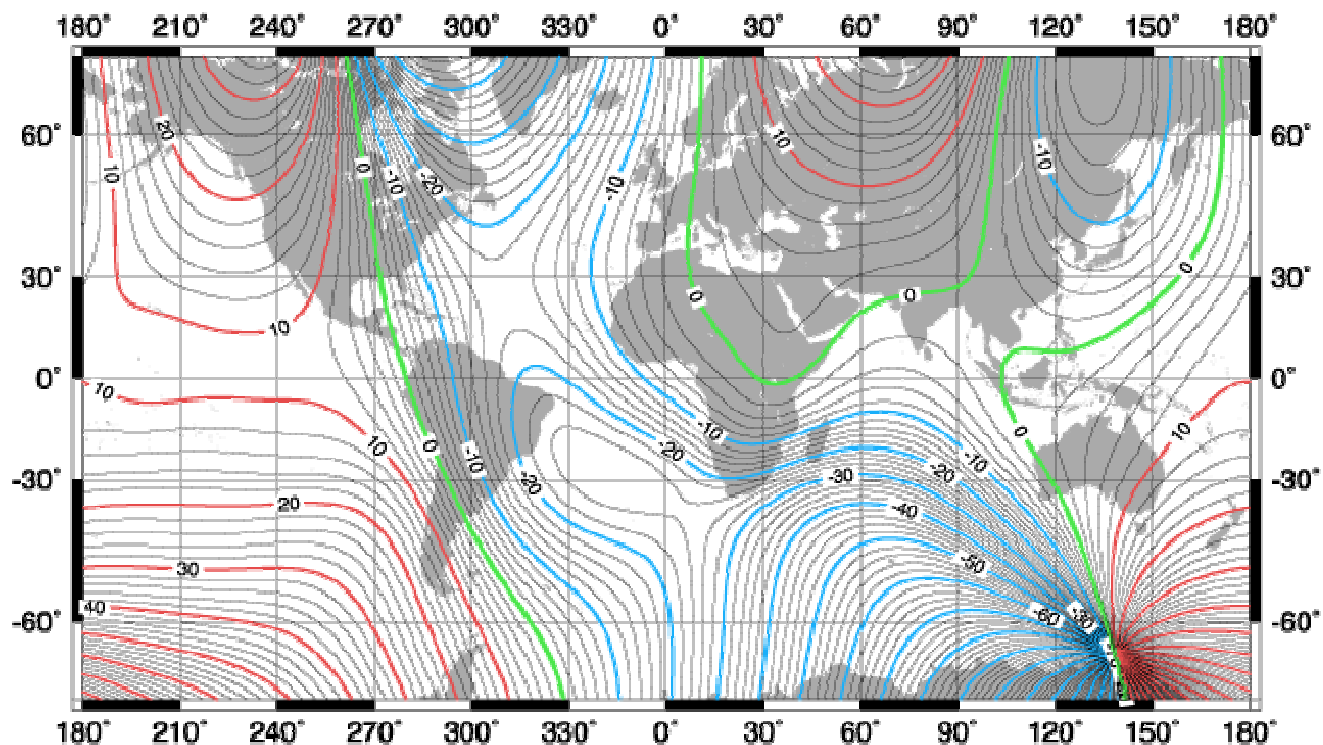
# Nord Magnetico e Nord Bussola





# Geomagnetismo e Bussole

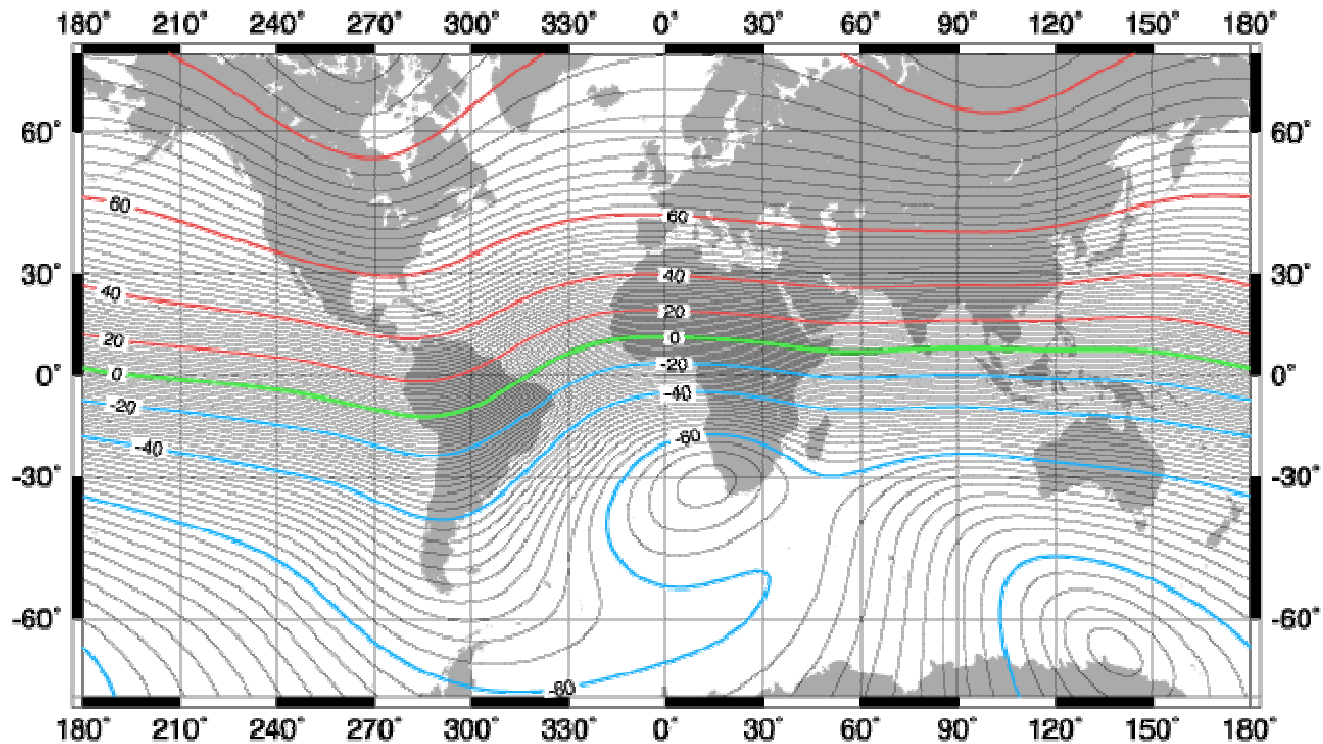
## US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000 Declination - Main Field (D)



Units (Declination) : degrees  
Contour Interval : 2 degrees  
Map Projection : Mercator

# Inclinazione

## US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000 Inclination - Main Field (I)

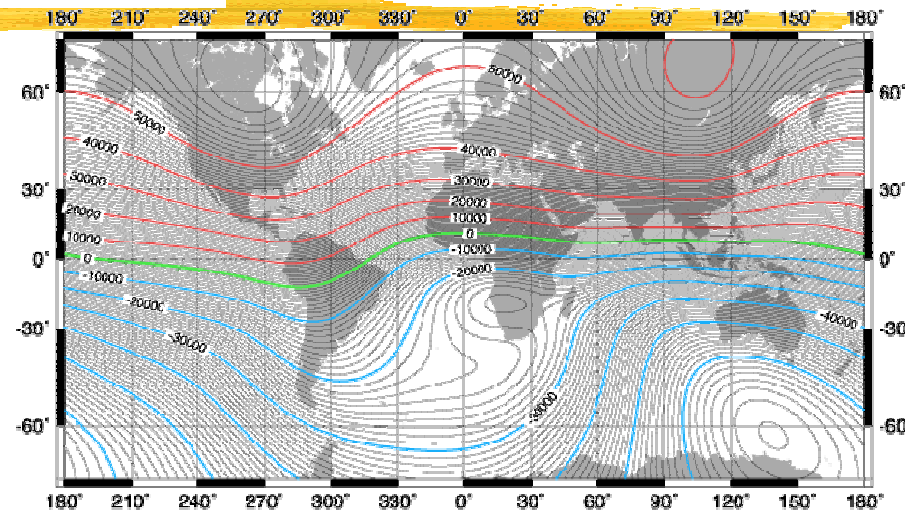
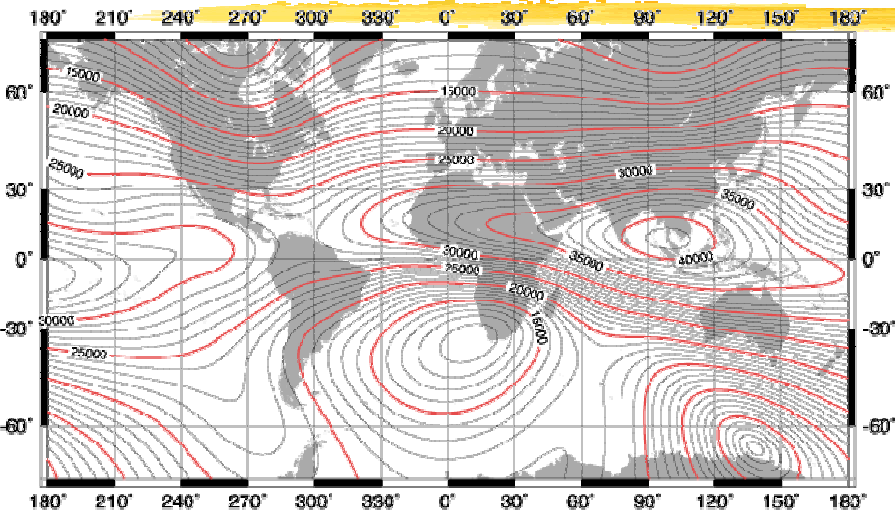


Units (Declination) : degrees  
Contour Interval : 2 degrees  
Map Projection : Mercator

US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000  
Horizontal Intensity - Main Field (H)

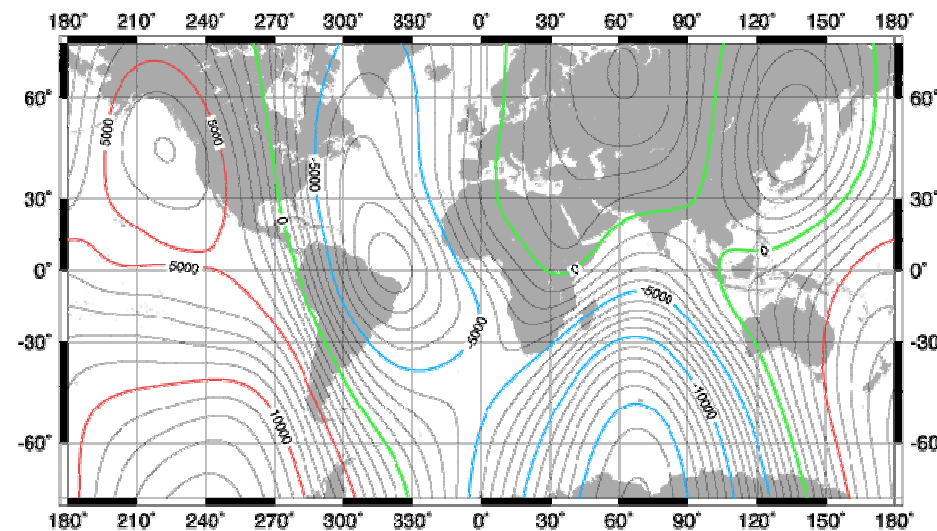
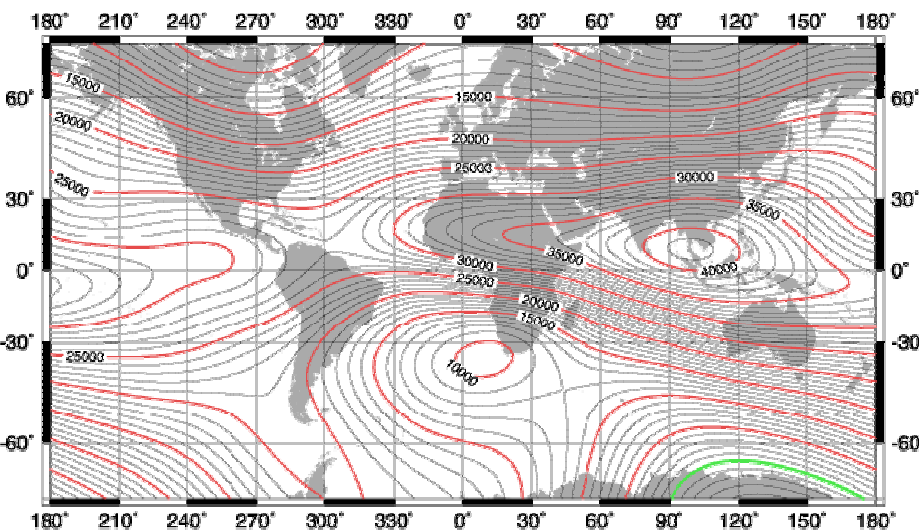
Intensita

UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000  
Vertical Component - Main Field (Z)



US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000  
North Component - Main Field (X)

US/UK World Magnetic Chart -- Epoch 2000  
East Component - Main Field (Y)



# RADAR

E' un dispositivo elettronico che, sfruttando la riflessione delle onde radio che colpiscono un oggetto, è in grado di misurare la distanza, la forma e la velocità di un oggetto. Il termine radar infatti è l'acronimo di **RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging cioè rilevazione e localizzazione mediante le onde radio.

Esso è nato per motivi bellici; il primo radar fu costruito dal fisico scozzese Robert Watson Watt (1892-1973) e servì proprio per localizzare aerei distanti anche più di 150km. In seguito trovò largo uso in campo militare per l'avvistamento degli aerei nemici ma anche, in campo civile, per il controllo del traffico aereo e per la navigazione. La rotazione continua dell'antenna provoca una scansione completa dello spazio circostante.

Anche il tanto temuto dagli automobilisti autovelox è costituito da un radar.

Esso è costituito da:

## TRASMETTITORE+RICEVITORE+ELABORATORE

Il trasmettitore emette impulsi di onde radio e li concentra nella direzione scelta tramite una antenna. La stessa antenna si trasforma in ricevitore e capta le onde eventualmente riflesse da qualche oggetto. Un computer elabora successivamente i dati ottenuti.

Principio fisico di funzionamento:

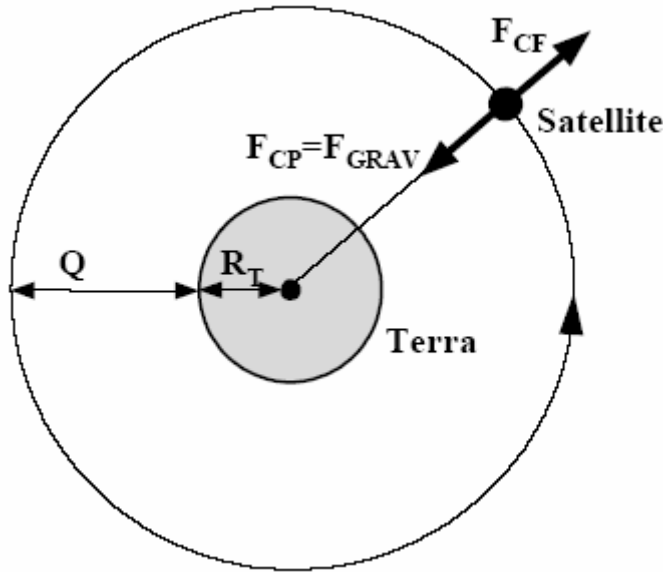
Conoscendo la velocità delle onde radio nell'aria che è di circa  $3 \times 10^8$  m/s e misurando il tempo che l'onda impiega a percorrere lo spazio in andata e ritorno, è possibile calcolare la distanza a cui si trova l'oggetto utilizzando la legge oraria del moto rettilineo uniforme:

$$2s = 3 \times 10^8 t$$

$$s = 1,5 \times 10^8 t$$

# Satelliti (per GPS)

Satelliti in orbita terrestre:



Condizione per orbita:  $F_{GRAV} = - F_{CF}$

$$F_{GRAV} = G \frac{M_T m_s}{a^2} \quad F_{CF} = m_s \frac{V^2}{a} \quad a = R_T + Q$$

Uguagliando ottengo la velocità in funzione dell'altezza per orbite diverse:

$$V = \sqrt{G_N \frac{M_{\oplus}}{a}} \quad \text{velocità in [m/s]}$$

Notiamo che la velocità non dipende dalla massa della sonda ma solo da quella della terra. Allo stesso modo la relazione tra altezza e periodo, noto che  $T=2\pi a/V$ , è:

$$a = \sqrt[3]{\frac{T^2 G_N M_{\oplus}}{4\pi^2}} \quad \text{espressa in [m]}$$

$$G_N = 6.673 \times 10^{-11} \quad m^3 \, kg^{-1} \, s^{-1}$$

$$R_{\oplus} = 6.378 \times 10^6 \quad m$$

$$M_{\oplus} = 5.974 \times 10^{24} \quad kg$$

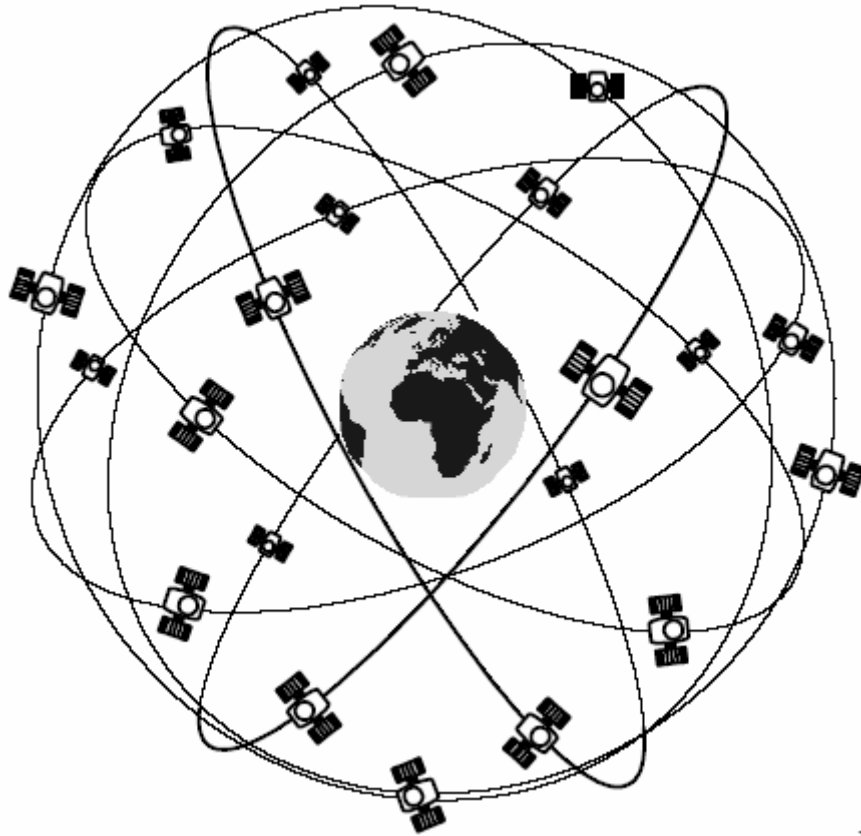
Per inciso:

$$F = G_N \frac{M_{\oplus} m}{R^2} \quad F = mg$$

$$g = G_N \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} = \frac{6.673 \times 10^{-11} \cdot 5.974 \times 10^{24}}{(6.378 \times 10^6)^2} = 9.8 \, m/s^2$$

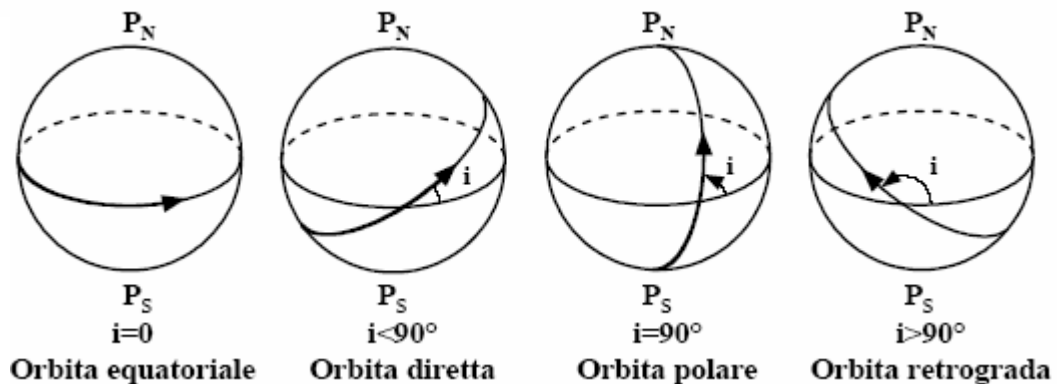
Quota (Km)	T (min)	V (Km/s)	Satelliti
850	102	7,4	meteorologici della serie NOAA
20200	720 $\cong$ 12 <sup>h</sup>	3,9	del sistema GPS
35730	1436 $\cong$ 24 <sup>h</sup>	3,1	geostazionari tipo Meteosat o Immarsat

# NAVISAR--GPS



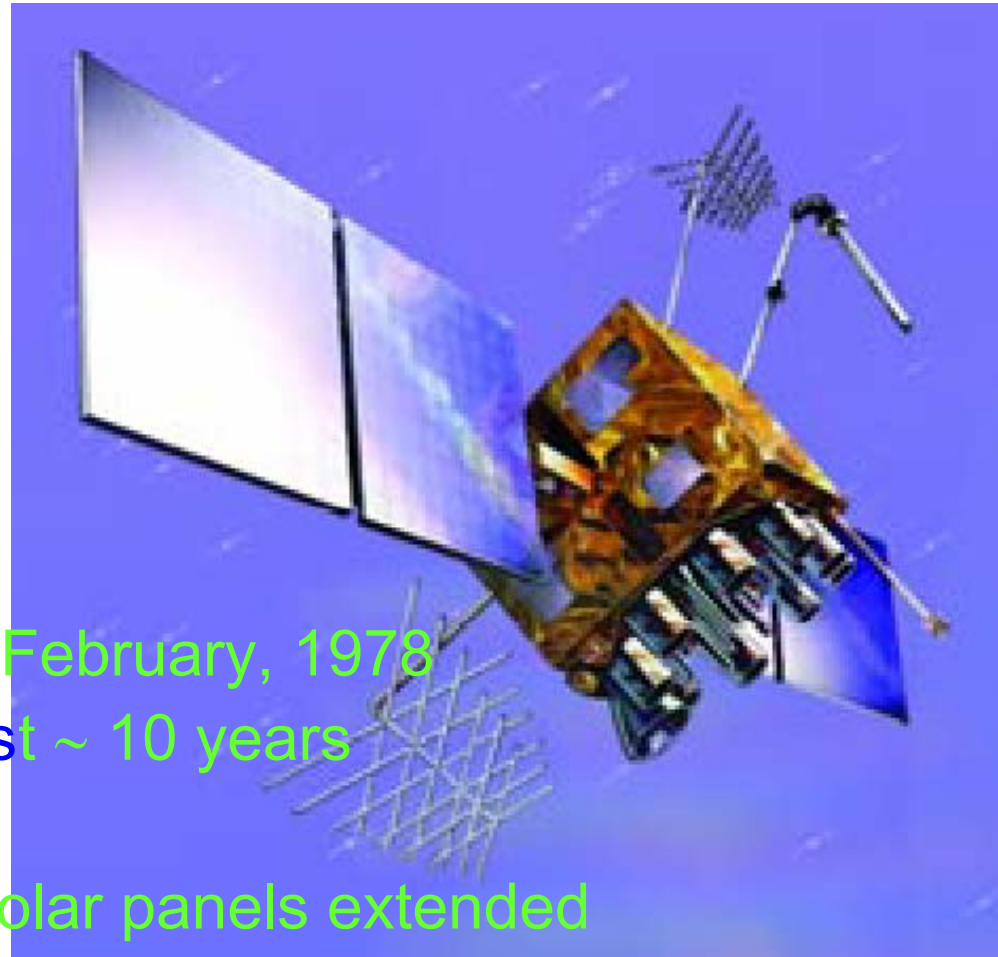
Il sistema GPS (Global Positioning System), noto anche come NAVSTAR (Navigation System with Time And Ranging), è un sistema satellitare basato su una costellazione di 24 satelliti orbitanti ad una quota di circa 20200 Km e quindi con un periodo orbitale di 12 ore sideree.

I satelliti sono distribuiti su sei diversi piani orbitali inclinati di  $55^\circ$  rispetto all'equatore e con una differenza di  $60^\circ$  in longitudine fra i nodi ascendenti. I quattro satelliti di ciascun gruppo sono spazati uniformemente sul piano orbitale d'appartenenza,



# Characteristics

a satellite-based  
navigation system  
developed and  
operated by the U.S.  
Department of  
Defence (DoD)



First GPS satellite launched in February, 1978

Each satellite is expected to last ~ 10 years

Mass ~ 2,000 pounds (910 kg)

Dimensions ~ 17 feet (5.2 m) solar panels extended

Transmitter power  $\leq 50$  watts

Each satellite transmits two signals, L1 (civilian, 1575.42 MHz)  
and L2



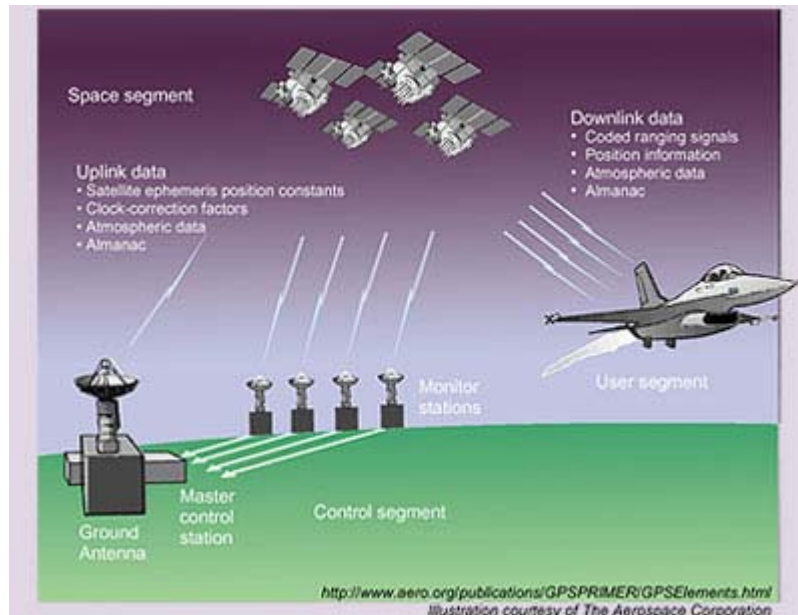
# Struttura a Segmenti

Tradizionalmente il sistema è diviso in tre segmenti denominati:

1) **Segmento spaziale**, che è formato da una costellazione nominale di 24 satelliti, che trasmettono dei codici di distanza a radio frequenza e dei dati di navigazione.

2) **Segmento di controllo**, che consiste in una rete di monitoraggio e di mezzi di controllo per il mantenimento della costellazione e per l'aggiornamento dei messaggi di navigazione dei satelliti.

3) **Segmento dell'utilizzatore**, che consiste in una varietà di ricevitori, di decodificatori e di elaboratori dei segnali GPS.



**FONDAMENTALE** caratteristica del sistema: Ogni satellite porta onboard un orologio atomico e tutti i satelliti sono sincronizzati sulla stessa ora.

Un orologio atomico usa la frequenza standard di una risonanza atomica come contatore e mantiene una precisione del ns ( $10^{-9}$  secondi) su base giornaliera.



# Segmento Spaziale

Principali caratteristiche:

- 4 oscillatori ad altissima precisione:  
2 al cesio e 2 al rubidio
- Razzi per correzione orbita
- 2 pannelli solari (area 7.25mq)  
per la produzione di energia
- Peso 845 kg
- Vita media progetto: 7,5 anni

Le principali funzioni sono:

- 1- trasmettere varie informazioni agli utilizzatori attraverso l'invio di diversi segnali
- 2- ricevere e memorizzare informazioni trasmesse dal segmento di controllo
- 3- mantenere un segnale di tempo molto accurato utilizzando i 4 oscillatori portati a bordo
- 4- eseguire manovre di correzione d'orbita con razzi guidati dal segmento di controllo

Colorado Springs

Segmento di Controllo

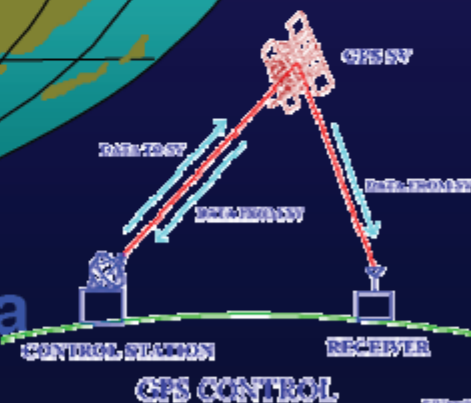
Kwajalein



Hawaii

Ascencion

Diego Garcia



- 5 stazioni equispaziate lungo l'equatore in posizioni note con grande precisione;
- vengono classificate come Monitor Stations (MSs), **Master Control Station (MCS)** e Ground Control Stations (GCS).

Equazione di un'onda nel tempo:

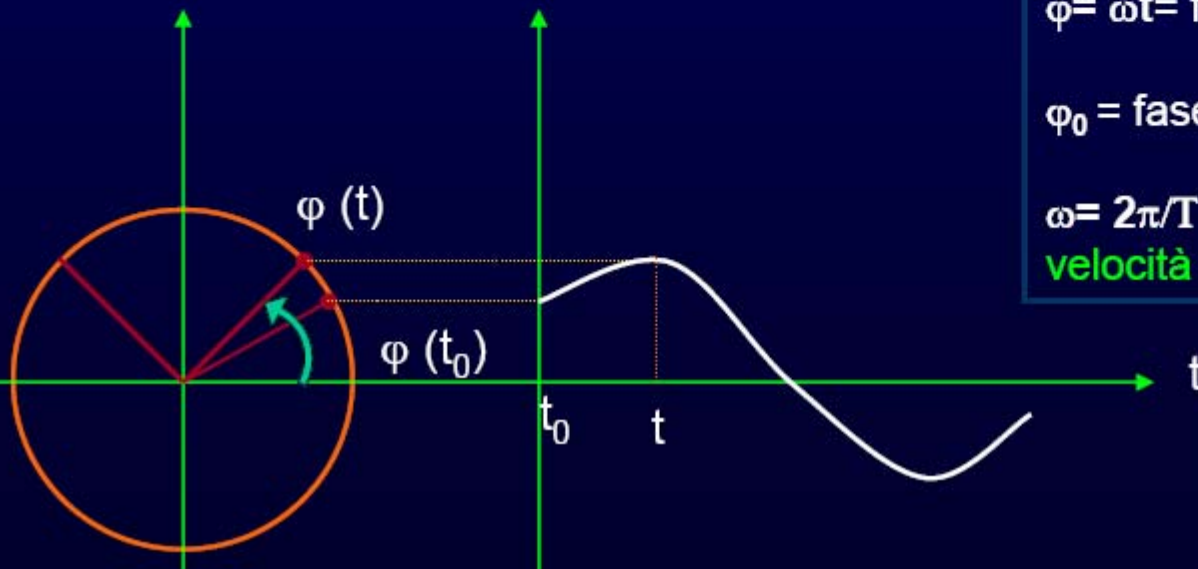
$$y(x_0, t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

ampiezza

fase

Interpreta lo spostamento di un generico punto di ascisse  $x_0$  sottoposto ad un fenomeno ondulatorio semplice

Moto ondulatorio semplice



A: ampiezza (raggio circonferenza)

$\varphi = \omega t =$  fase

$\varphi_0 =$  fase iniziale

$\omega = 2\pi/T =$  pulsazione (rad/s)

velocità angolare moto circolatorio

T = periodo (sec)

$f = 1/T$  frequenza (cicli/sec)

numero oscillazioni complete nell'unità di tempo



# Fisica del segnale

Equazione di un'onda nello spazio:

Un punto generico  $x$  subisce uno spostamento uguale a quello di  $x_0$  ma con un ritardo (anticipo)  $\tau$

$$y_{x,t} = A \sin(\omega(t - \tau) + \varphi_0) = y(x_0, (t - \tau))$$

detta  $c$  la velocità di propagazione del fenomeno ondulatorio

$$\tau = \frac{x - x_0}{c} \quad \text{posto } x_0 = 0 \quad \tau = \frac{x}{c} \quad \omega = 2\pi/T$$

$$y(x, t) = A \sin\left(\omega\left(t - \frac{x}{c}\right) + \varphi_0\right) = A \sin\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{c}\right) + \varphi_0\right)$$

Spostamento di punti sottoposti a **fenomeni ondulatori**

$A$ : ampiezza (raggio circonferenza)  
 $\varphi = \omega t$  fase  
 $\varphi_0$  = fase iniziale  
 $\omega = 2\pi/T = (\text{rad/s})$  velocità angolare  
 $T$  = periodo (sec)  
 $f = 1/T$  frequenza (cicli/sec)

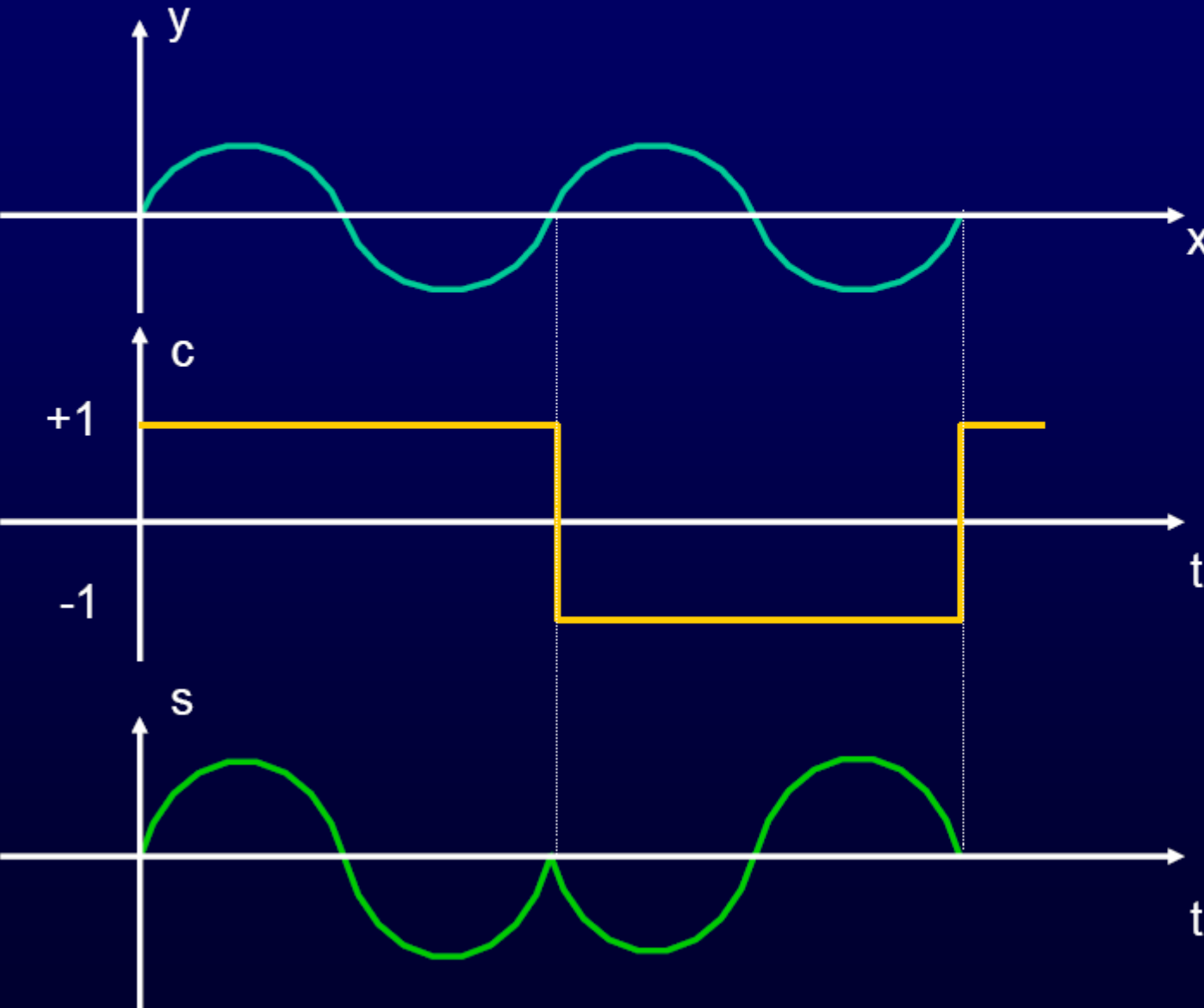


Lunghezza d'onda (m): spazio percorso dal fenomeno ondulatorio in un periodo.

$$cT = \lambda$$
$$c = f\lambda$$

# Fisica del segnale

## Modulazione del segnale in fase



Onda portante  
 $y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$

Onda quadra  
modulante  
 $C = (-1)^{k + \text{int}(ft)}$

Onda modulata  
 $S = AC(t) \sin(\omega t + \varphi_0)$

# Il segnale

## PORTANTI:

L1 di frequenza  $f_1$   
pari a  $154 \cdot f_0 = 1575,42$  MHz e lunghezza d'onda  $l_1 = 19$  cm

L2 di frequenza  $f_2$   
pari a  $120 \cdot f_0 = 1227,60$  MHz e lunghezza d'onda  $l_2 = 24$  cm

↻ 2 per valutare gli effetti negativi della ionosfera

Modulate con:

**C/A** (course acquisition)

$$f_{C/A} = 1/10 f_0$$

$$l_{C/A} \approx 300 \text{ m}$$

**P** (precision)

$$f_P = 1/10 f_0$$

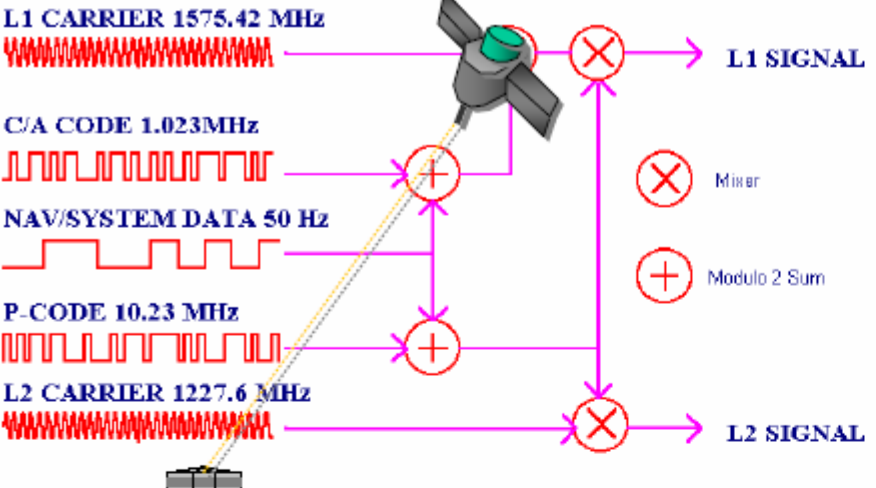
$$l_P \approx 30 \text{ m}$$

**D** (data code)

$$f_D = 50 \text{ Hz}$$

Pseudo random noise

Sequenza casuale  
+1 -1



## Il segnale

- si ripete ogni millesimo di secondo
- diverso per ogni satellite

Modulate con:  
**C/A (course acquisition)**

$$f_{C/A} = 1/10 f_0$$

$$I_{C/A} \approx 300m$$

**P (precision)**

$$f_P = 1/10 f_0$$

$$I_P \approx 30m$$

**D (data code)**

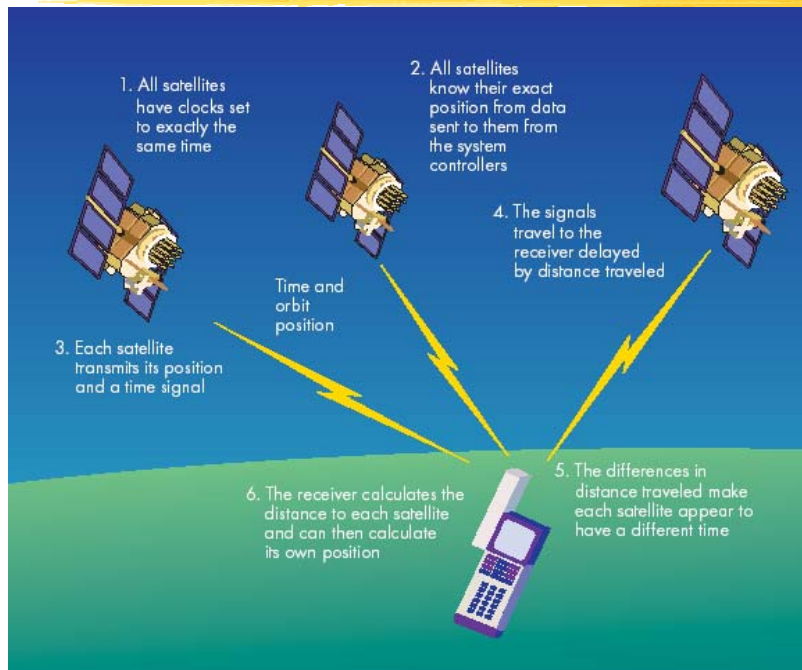
$$f_D = 50Hz$$

• si ripete ogni 267 giorni

• Codice binario

- Trasmette un messaggio organizzato in 5 sezioni:
  - Almanacco dei satelliti (posizione approssimata)
  - Effemeridi inviate (parametri kepleriani)
  - Parametri per la correzione degli orologi
  - Stato satelliti
  - Modello ionosferico

# Come Funziona



I satelliti inviano continuamente il: **Codice D (Navigation Data o Messaggio di Navigazione)** trasmesso a bassa velocità, 50 bps, che contiene:

- le effemeridi del satellite ossia la posizione esatta per un dato istante ed i parametri utili per il calcolo delle sue successive posizioni; i dati vengono trasmessi con continuità e vengono aggiornati dal satellite ogni ora.
- l'istante di trasmissione del messaggio;
- le correzioni per l'orologio di bordo
- le correzioni per i ritardi causati dalla rifrazione ionosferica e troposferica
- stato dei satelliti (il cosiddetto health)
- l'almanacco, ossia le effemeridi approssimate di tutti gli altri satelliti.



TLM (TeLeMetry word) HOW (HandOver Word)



# Working Principle - 2

GPS receiver acquires the signal, measures the **interval between transmission and receipt** of the signal to determine the distance between the receiver and the satellite

The receiver has to calculate this data for **at least three satellites**, to determine its location on the Earth's surface (**triangulation**):

- the distance to **one satellite** narrows down the receiver's position to some place on **an imaginary sphere**
- the distance to a **second satellite** narrows the position down to **the intersection of two spheres**
- the exact position of a **third satellite** narrows the possibilities down to **two points of intersection**

The **exact position** is usually known now because one of the points is usually not on the surface of the Earth

A **fourth satellite** position can be used to find the one single location without any doubt

# Working Principle - 3

Distance from the receiver to the satellite is measured by timing how long it takes for a signal sent from the satellite to arrive at the receiver

Both the satellite and the receiver simultaneously generate the same pseudo random code

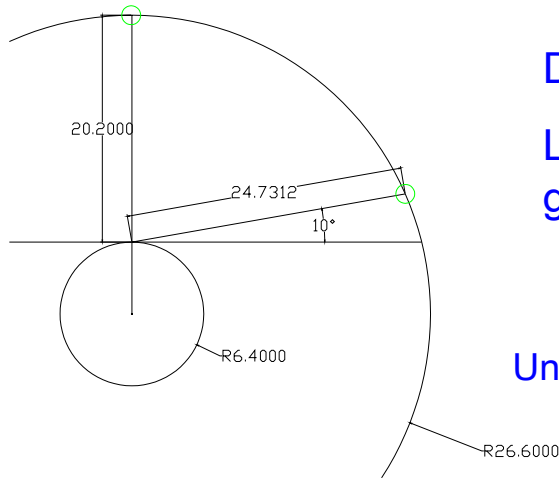
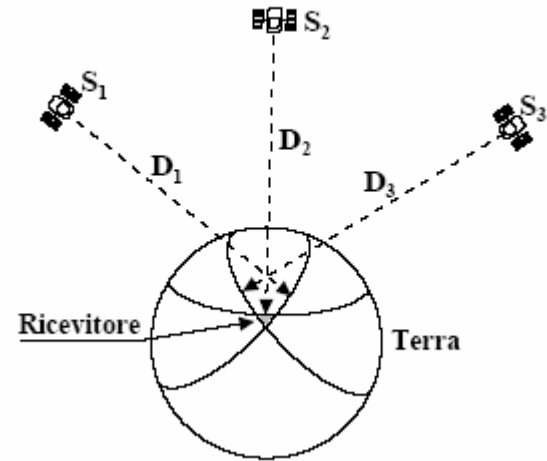
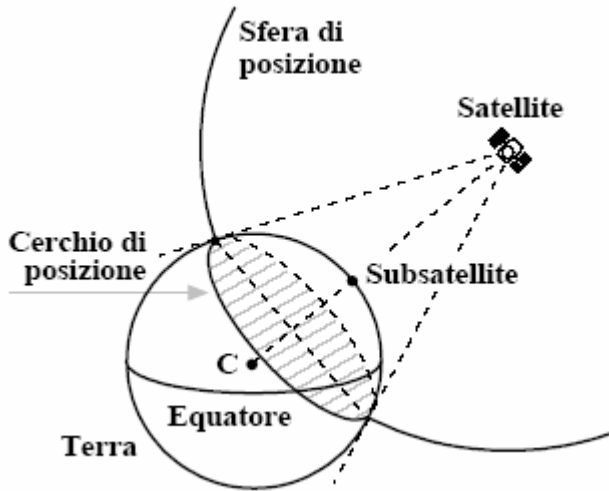
The time delay before both codes will synchronise, multiplied by the speed of light gives the distance

The pseudo random code is a very complicated code that looks like random electrical noise:

- it makes sure that the receiver doesn't accidentally sync up to some other signal

- It guarantees that the receiver doesn't accidentally pick up another satellite's signal (each satellite has its own unique pseudo random code)

# Visivamente



Di che differenze tra tempi di arrivo stiamo parlando:

L'intervallo massimo (con una altezza minima di 10 gradi) e' di:

$$\Delta T < \frac{\Delta L_{\max}}{c} = \frac{4.5 \times 10^6}{3 \times 10^8} = 15 \text{ ms}$$

Unità temporali:

1 s

1 secondo

1 ms =  $10^{-3}$  s

1 millisecondo

1  $\mu$ s =  $10^{-6}$  s

1 microsecondo

1 ns =  $10^{-9}$  s

1 nanosecondo

# Monitor

Department of Defence constantly monitors the GPS satellites:

a master control station in **Colorado Springs** and **five monitor stations** and **three ground antennas** located throughout the world

1. monitor stations send the information they collect from each of the satellites back to the master control station computing extremely precise satellite orbits
2. information is formatted into updated navigation messages for each satellite
3. updated information is transmitted to each satellite via ground antennas, which also transmit and receive satellite control and monitoring signals

# Errori nel sistema GPS

## Errori strumentali

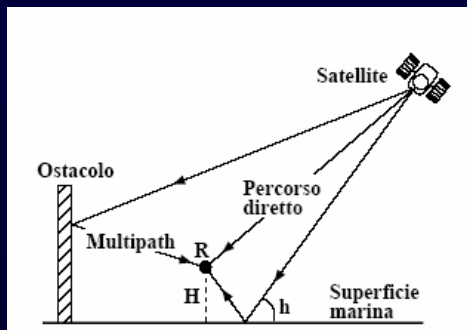
## Errori di modello (sistematici)

- biases orologi
- biases d'orbita
- biases atmosferici
- biases di ambiguità delle portanti

## Errori di osservazione

- cycle slips
- Multipath
- centro di fase

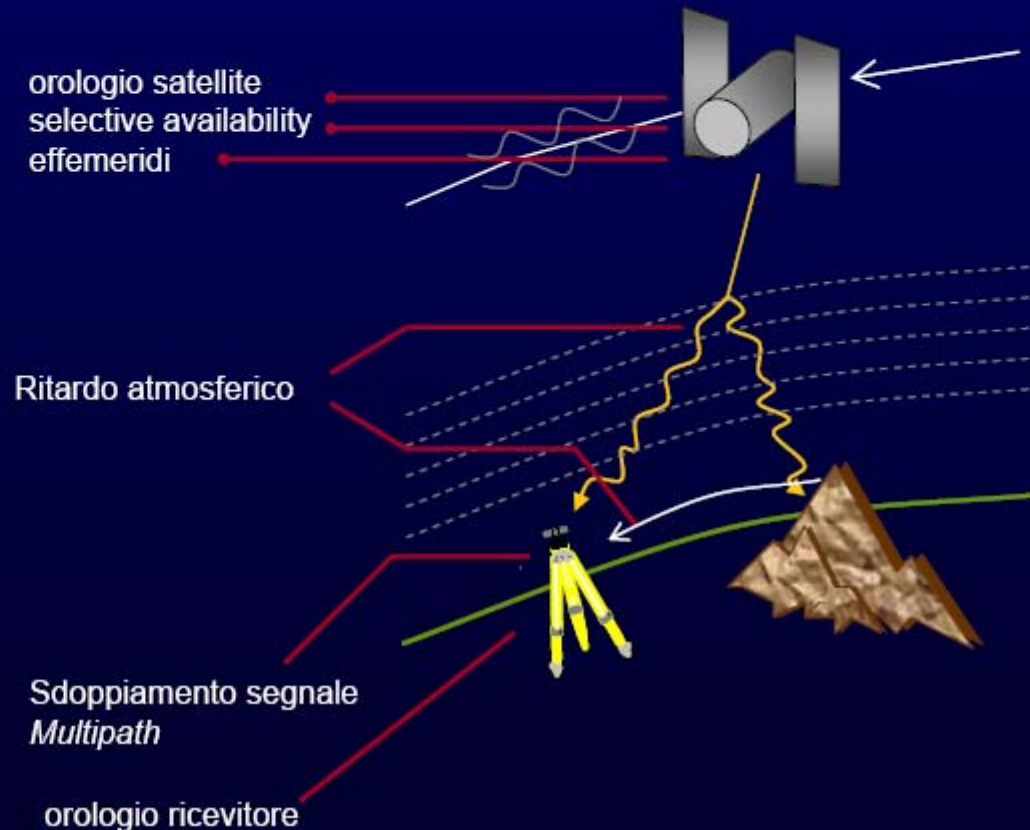
## Selective availability



$$v_{fase} = \frac{c}{n} \quad v_{gruppo} = c \cdot n$$

$$n = \sqrt{1 - \frac{e^2}{4\pi^2 m_e} \frac{n_e}{v^2}} \approx \sqrt{1 - 81 \frac{n_e}{v^2}}$$

taglio per  $v = v_{cut} = \sqrt{81 \cdot n_e} \approx 10 \text{ MHz}$   
(per  $n_e \approx 10^{12} \text{ elettroni/m}^3$ )



# Solution

## Dual GPS (DGPS)

Accuracy: 3 ÷ 15 feet (~ 1 ÷ 5 m)

U.S. Coast Guard, U.S. Army Corps of Engineers + foreign government departments transmit DGPS corrections (from L2 channel) through marine beacon stations

These beacons operate in the 283.5 - 325.0 kHz frequency range and are free of charge

# Credits

☞ In questa breve presentazione, su un argomento diverso dal mio campo di lavoro, uso pesantemente materiale recuperato dal WEB.

- Mauro Bertolini “CORSO DI AGGIORNAMENTO IN NAVIGAZIONE MODERNA”
- CIRCE – Università IUAV di Venezia
- Mario VULTAGGIO, Università degli Studi di Napoli “Parthenope”
- .....sono solo alcuni.