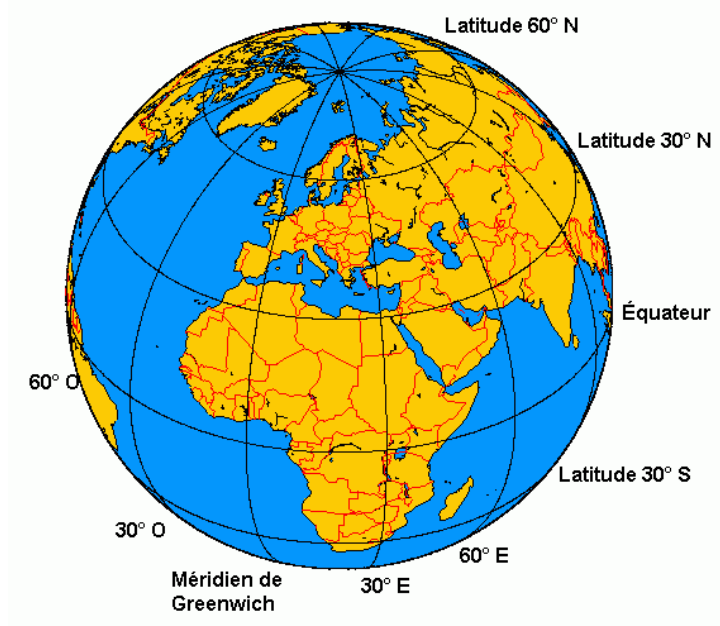
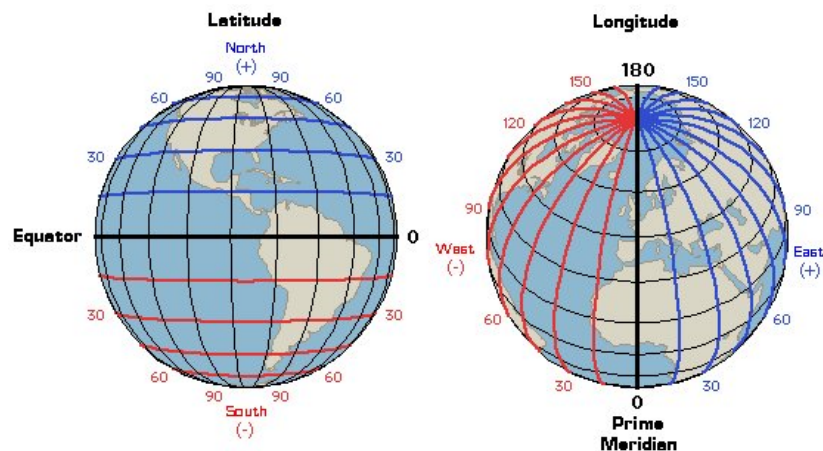




# Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Latitudine

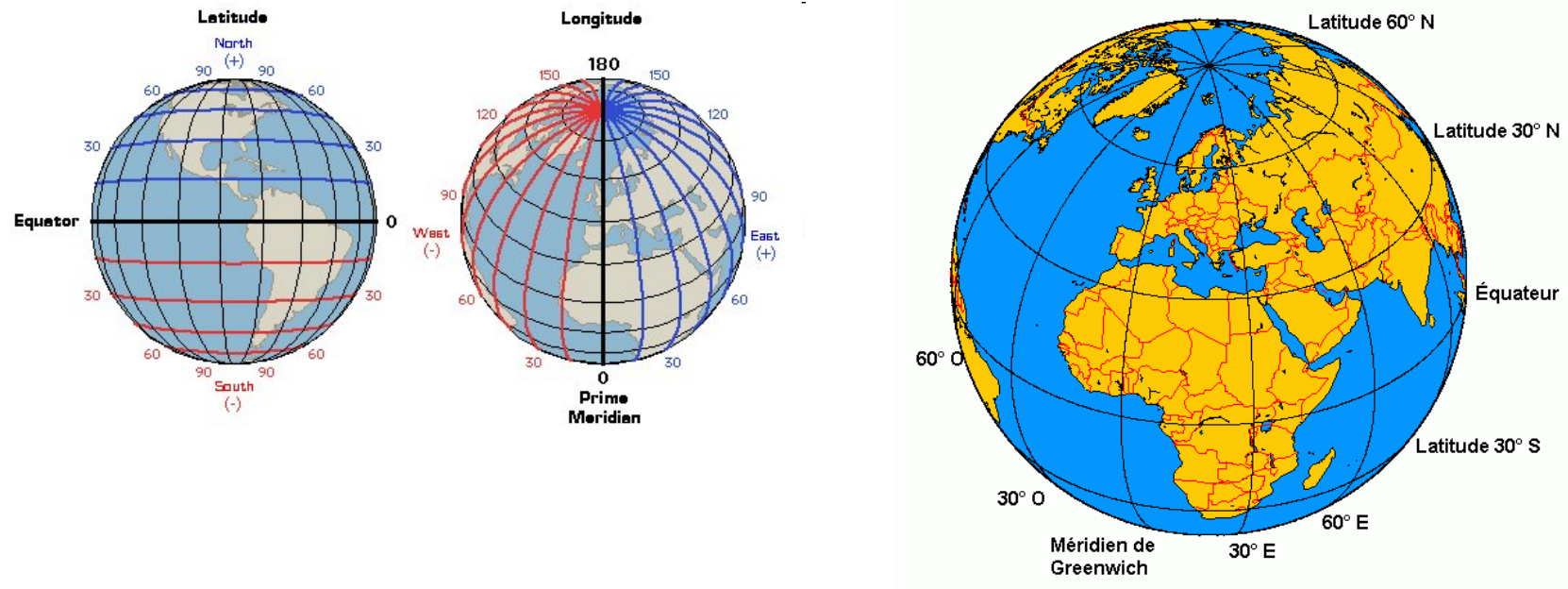
0 +90°Nord - 0 +90°Sud  
A partire dall'equatore

Longitudine

0 +180°Est - 0 +180°Ovest  
A partire dal meridiiano di Greenwich



# Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



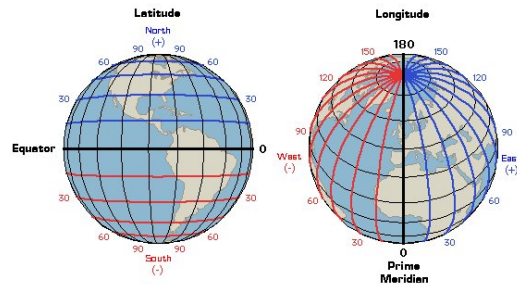
La nostra posizione attuale è, secondo il WGS84

$39^{\circ}12.430' N$

$009^{\circ}06.840' E$



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Conservando l'ora di Greenwich  
(tempo universale) si può conoscere  
la Longitudine

$$v = 44000 \text{ km} / (24 \times 3600 \text{ s}) = 509 \text{ m/s}$$

(all'equatore)

$$360 \text{ gradi} / (24 \times 3600 \text{ sec}) = 0,004167 \text{ gradi/sec}$$

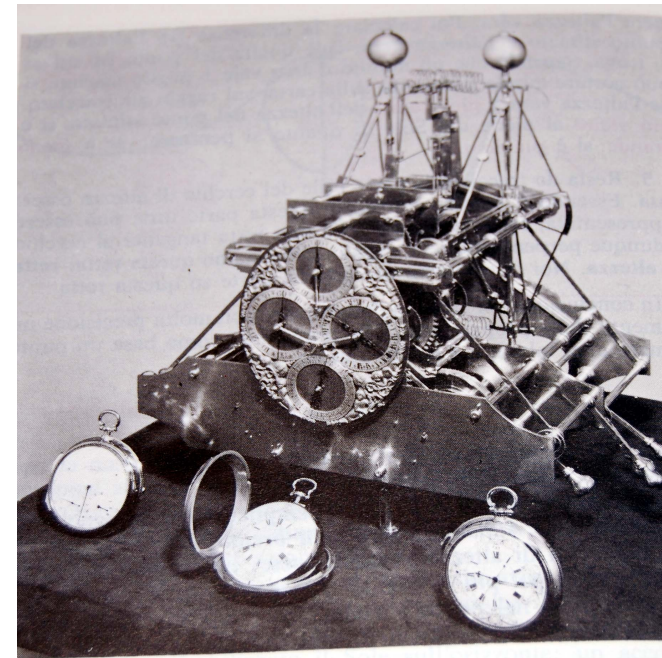
Es. Il sole culmina a 2 ore 15min 20 sec !

$$4 \text{ Ore} + 15 \text{ min} + 20 = 15320 \text{ sec}$$

$$15320 \text{ sec} \times 0,004167 \text{ gradi/sec} =$$

$$63,7551 \text{ gradi}$$

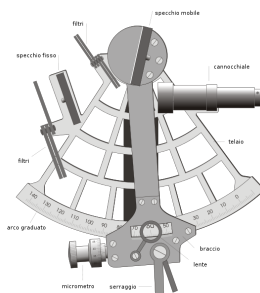
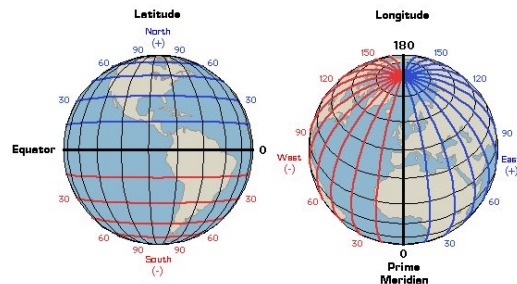
Andrea Mura Cagliari 4-6 Giugno 2011



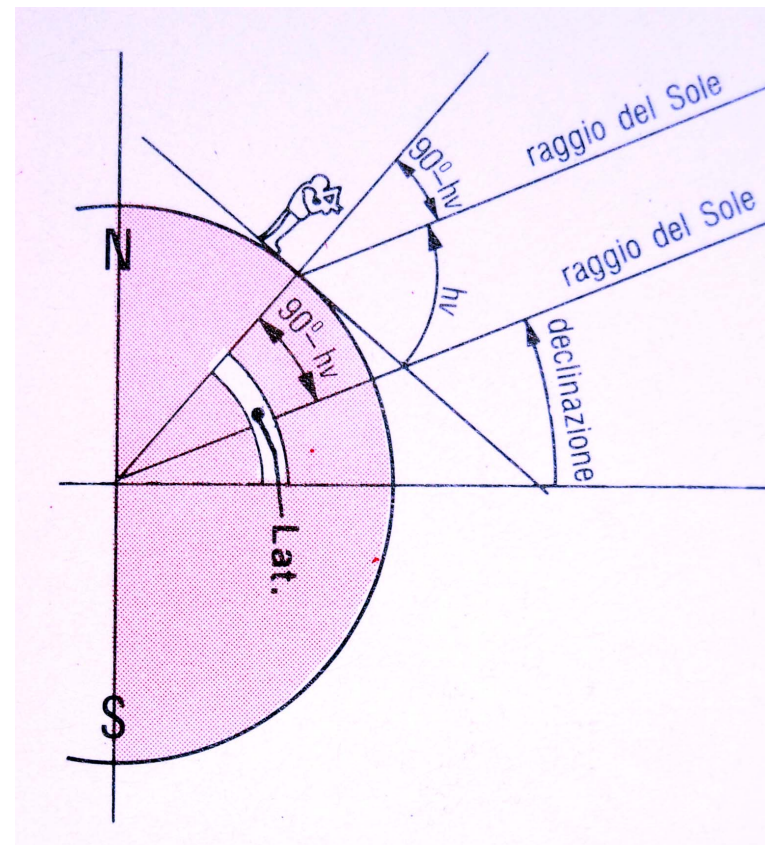
Cronometro del 1700

Errore: 1 minuto in 5  
mesi

# Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Il Sestante

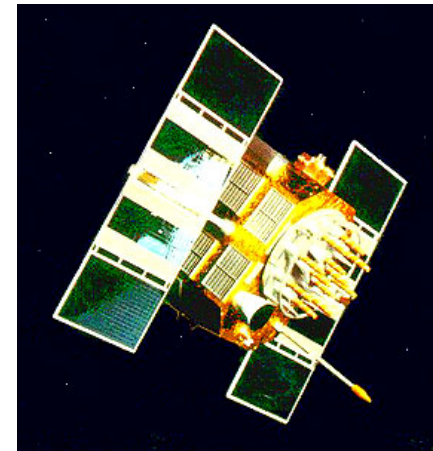
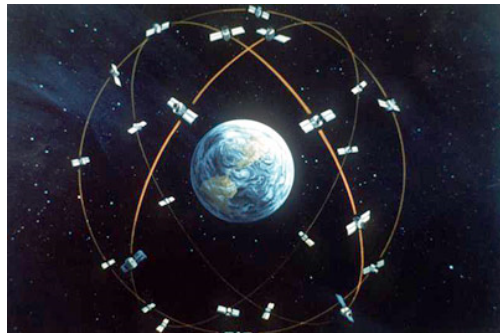


Misurando l'altezza del sole ( o di altre stelle) si può calcolare la

Latitudine



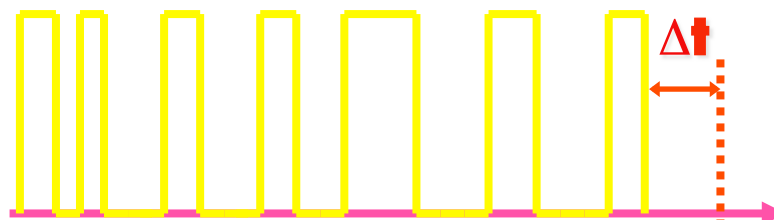
## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



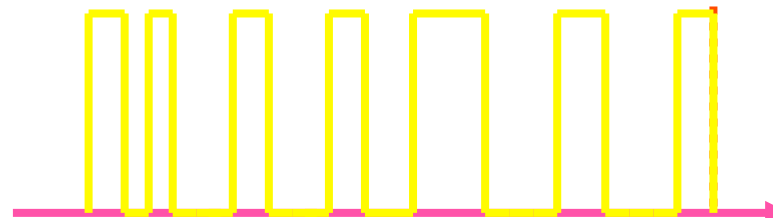
- Lanciati dal 1978 al 1994
- Raggio dell' orbita: **~26 000 Km** ( $4R_T$ )
- Periodo dell'orbita: **~12 ore** ( $4 \text{ Km/s}$ )
- 1 000 Kg di peso
- 17 metri (con pannelli)
- A bordo **orologi atomici** al Cesio  
(precisi al miliardesimo di secondo)
- **27 satelliti** (24+3 riserva)



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Il satellite manda un treno di segnali che lo identificano

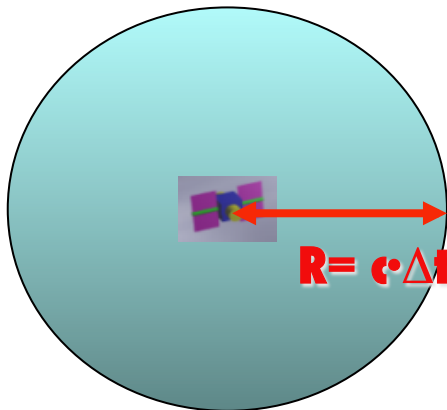


Il ricevitore lo confronta con il suo treno d'impulsi sincronizzato con quello del satellite al momento del lancio

*Il ritardo  $\Delta t$  tra i due treni di impulsi ci dà il tempo impiegato dal segnale del satellite ad arrivare fino a noi (viaggiando alla velocità della luce)*



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Misurando  $\Delta t$  e conoscendo la velocità della luce  $c$  sappiamo di trovarci a una distanza dal satellite:

$$R = c \Delta t$$

Sappiamo così di essere sulla superficie di una **sfera** di raggio  $R$  centrata in quel particolare satellite.

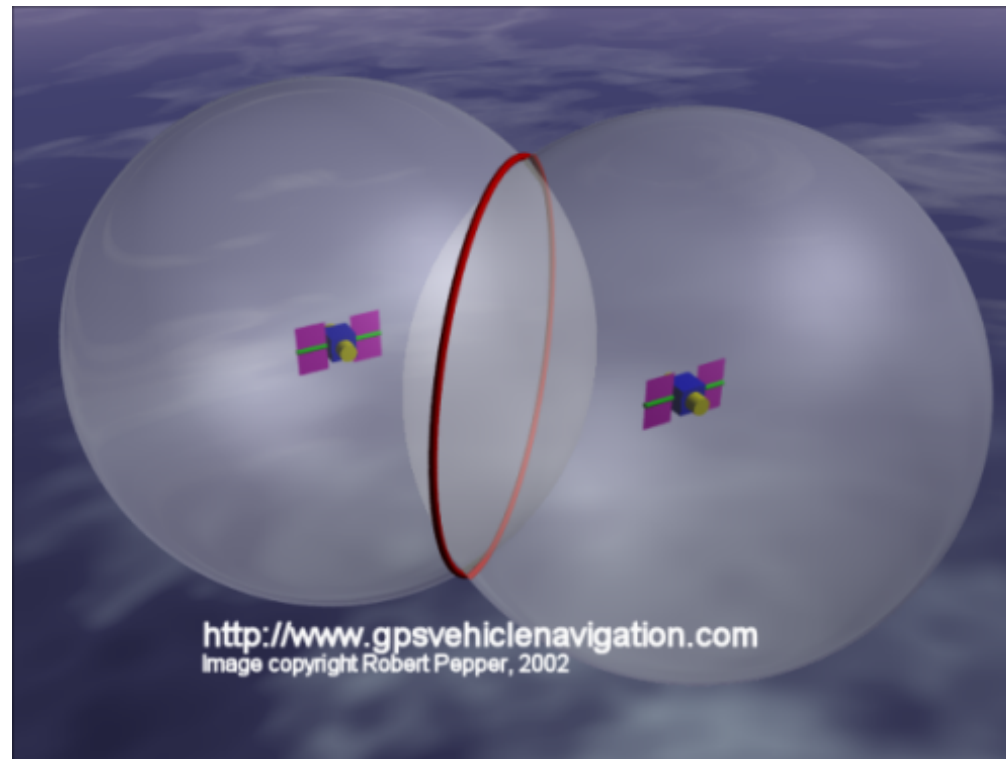
La posizione del satellite è comunicata al ricevitore dallo stesso satellite.

L'errore sul raggio  $R$  sarà essenzialmente dato dall'errore sul tempo per  $c$ :

$$\Delta R = c(1 \text{ miliardesimo di secondo}) = 30 \text{ cm!!}$$



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS

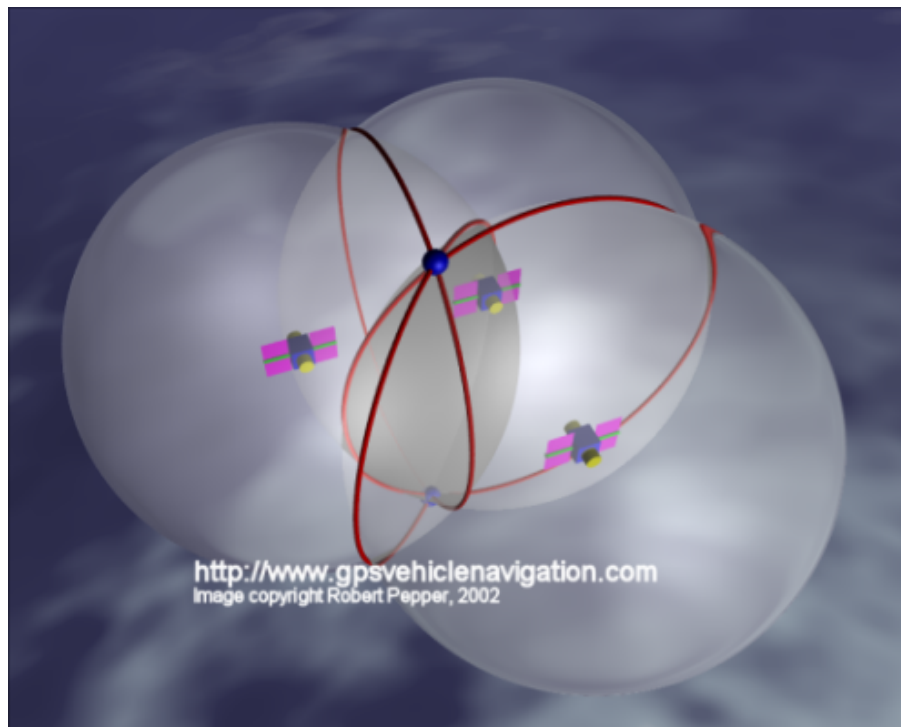


Unendo le informazioni di due satelliti riusciamo a restringere le nostre possibili posizioni all'intersezione di due sfere cioè **un cerchio**.





## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Unendo le informazioni di tre satelliti riusciamo a restringere le nostre possibili posizioni all'intersezione di tre cerchi cioè **2 punti** (ma **uno solo è sulla terra!**).



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



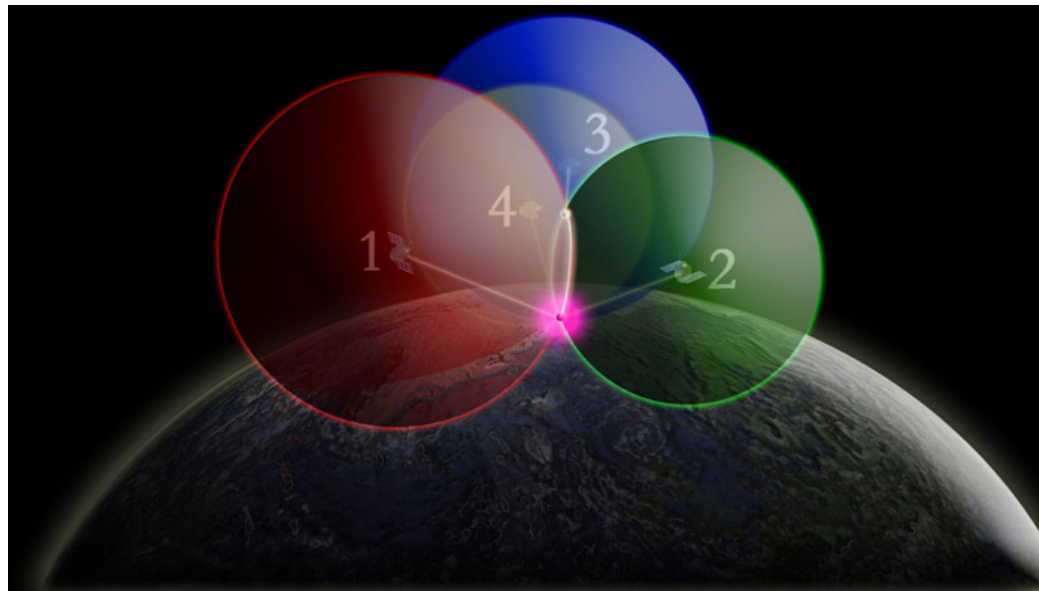
La luce in **1 milionesimo** di secondo percorre **300 m!!**

Gli unici orologi con questa precisione sono gli orologi atomici che costano circa **100000 €!**

*Certo il navigatore satellitare che compriamo a qualche centinaio di euro non contiene un orologio di quel genere. Ma allora, come fa un navigatore satellitare a dirci se dobbiamo svoltare alla prossima traversa a destra?*



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Se il mio orologio sbaglia, sbaglia tutte le distanze dello stesso fattore e, se uso un **quarto satellite**, le 4 sfere non si incontreranno in un punto. Applicando il fattore di correzione per il mio orologio che mi permette di riottenere che le sfere si incrocino in un punto, riesco a **sincronizzare** il mio orologio con la precisione di un orologio atomico !!



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



### Teoria della Relatività Ristretta:

**Ad alte velocità il tempo scorre più lentamente.**

L'effetto è tanto più sensibile quanto più grande è la velocità e diventa apprezzabile solo quando ci avviciniamo alla velocità della luce ( $c=300000$  Km/s), per questo non ce ne accorgiamo nella vita di tutti i giorni.

**I satelliti GPS, poichè vanno a circa 4 Km/s, perdono:  
7200 miliardesimi di secondo al giorno**

Gli orologi atomici sui satelliti rallentano rispetto a quelli sulla  
terra



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



### Teoria della Relatività Generale:

**in un campo gravitazionale meno intenso il tempo scorre più velocemente**

I satelliti GPS, poichè sono a 4 raggi terrestri dal centro della terra, guadagnano:

**45900 miliardesimi di secondo al giorno**

Gli orologi atomici sui satelliti accelerano rispetto a quelli sulla terra

L'effetto della relatività generale è superiore a quello della relatività ristretta

**GLI EFFETTI NON SI ANNULLANO A VICENDA**



## Il sistema di posizionamento Satellitare GPS



Teoria della Relatività Generale: + 45900 miliardesimi di secondo / giorno

Teoria della Relatività Ristretta: - 7200 miliardesimi di secondo /giorno

+ 38700 miliardesimi di secondo /giorno

Questa variazione di tempo corrisponde ad un'incertezza sul raggio dell'orbita (sfera) del satellite di 12 km/giorno.

La teoria della relatività ci dà la possibilità di correggere queste differenze e mantenere la precisione iniziale del sistema GPS.

**La teoria della relatività è verificata tutti i giorni e grazie ad essa possiamo avere precisioni di posizionamento molto elevate dell'ordine dei centimetri**



Grazie per la vostra attenzione