

# Einstein e la geodesia

La rivoluzione Einstein  
Università degli Studi di Bologna  
Sabato, 20 Novembre 2004

# Che cosa è la Geodesia?

- La Geodesia è la scienza della misurazione della Terra:
  - Misura la superficie terrestre, marina ed i ghiacciai e le loro variazioni nel tempo
  - Misura l'orientazione della Terra nello spazio
  - Misura il campo di gravità terrestre e le sue variazioni nel tempo

# Che cosa è il sistema GPS ?

- Il GPS è un sistema spaziale di navigazione sviluppato dal Dipartimento della Difesa statunitense per assicurare che le forze armate siano in grado di determinare accuratamente ed in ogni istante la loro posizione, la loro velocità ed il tempo in qualsiasi luogo sulla o vicino alla superficie terrestre (*W. Wooden, 1985*)

- L'alternativa europea al GPS è il sistema Galileo



# A cosa serve?

- Il Global Positioning System assicura, in qualsiasi parte della Terra, due servizi importantissimi:
  - La possibilità di determinare la propria posizione (=> Applicazioni geodetiche, navigazione)
  - La possibilità di misurare il tempo, in maniera molto precisa.

## Il sistema GPS

### Come funziona?

- Il funzionamento del sistema GPS è basato sull'uso di orologi atomici molto precisi. SU OGNI SATELLITE:
  - 2 orologi al Cesio
  - 2 orologi al Rubidio

# Gli oscillatori atomici e la teoria della relatività

- Dilatazione dei tempi
- Blueshift gravitazionale

# Questi effetti sono veramente importanti?

- Un esperimento è stato condotto col satellite NTS-2, lanciato il 23 Giugno 1977
- Un orologio al Cesio a bordo del satellite ha funzionato per 20 giorni
- L'orologio a bordo del satellite ha funzionato più velocemente dell'orologio a terra (442 battiti in più ogni  $10^{12}$ )
  
- Questi effetti sono importanti !!!!

# Effetto relativistico 1

Ritardo dovuto al movimento del satellite

$$\Delta t_{Terra} = \frac{\Delta t_{mov}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$v \cong 3.87 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$   
 $c \cong 299792.458 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$

0.999999999983

$$\Delta t_{Terra} = 86400 \text{ s} = 1 \text{ giorno}$$

$$\Delta t_{mov} = 86400 \text{ s} \cdot 0.99999999999915 = 86399.99999927 \text{ s}$$

$$\text{ritardo} = \Delta t_{Terra} - \Delta t_{mov} =$$

$$= (86400 - 86399.99999927) \text{ s} = 0.00000073 \text{ s} = 7.3 \mu\text{s}$$

- Per effetto del campo gravitazionale terrestre l'orologio sul satellite sembrerà procedere più velocemente!
- In un giorno l'anticipo è di  $45 \mu\text{s}$

## Effetto relativistico 2

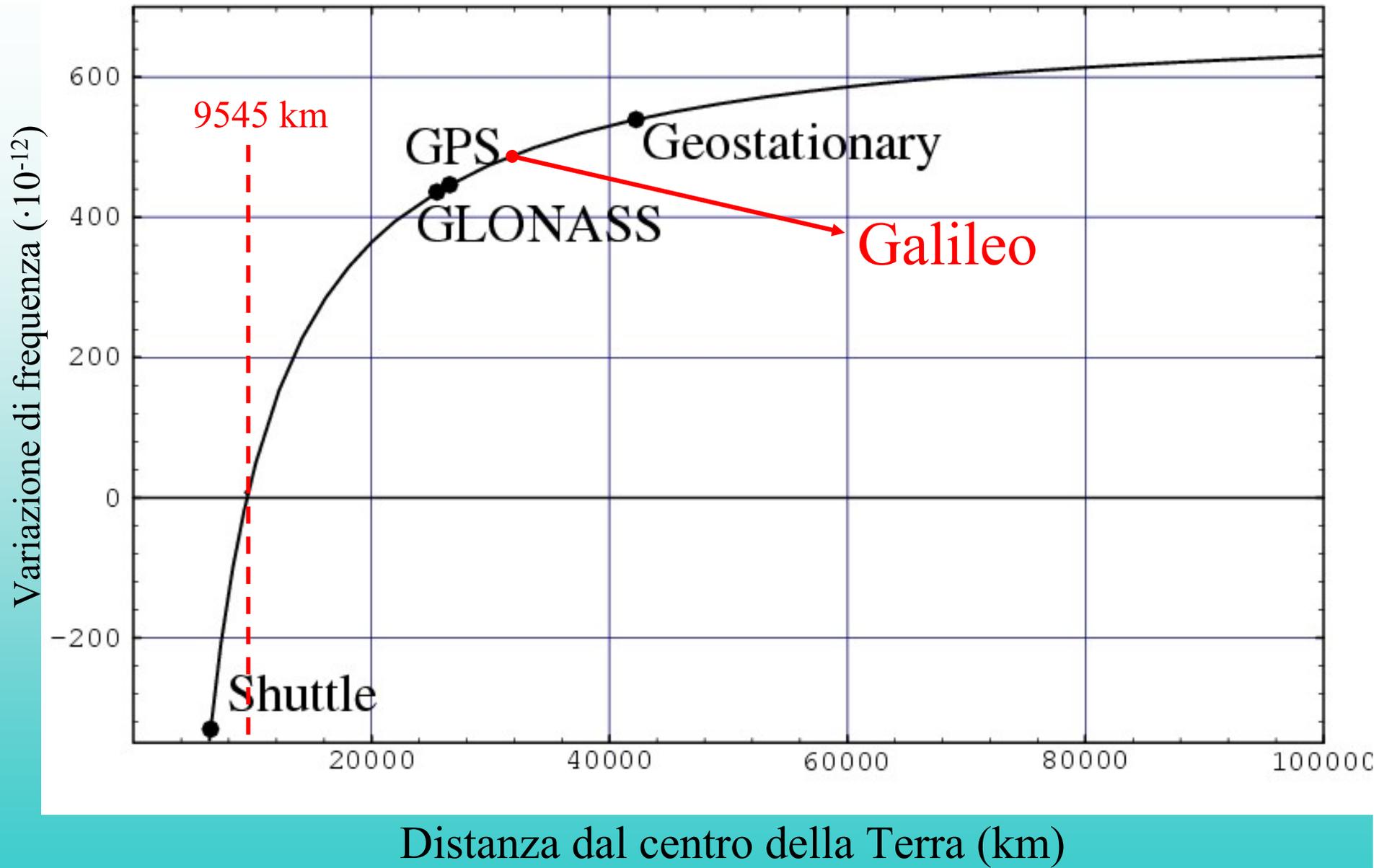
Anticipo dovuto al  
campo gravitazionale terrestre

# Combinando i due effetti

- Per i satelliti GPS, l'effetto netto giornaliero è un anticipo del tempo segnato dall'orologio in orbita rispetto a quello a terra di

**$38 \mu s$**

$$38 \mu s \cdot 300 m \mu s^{-1} = 11400 m$$



Distanza dal centro della Terra (km)