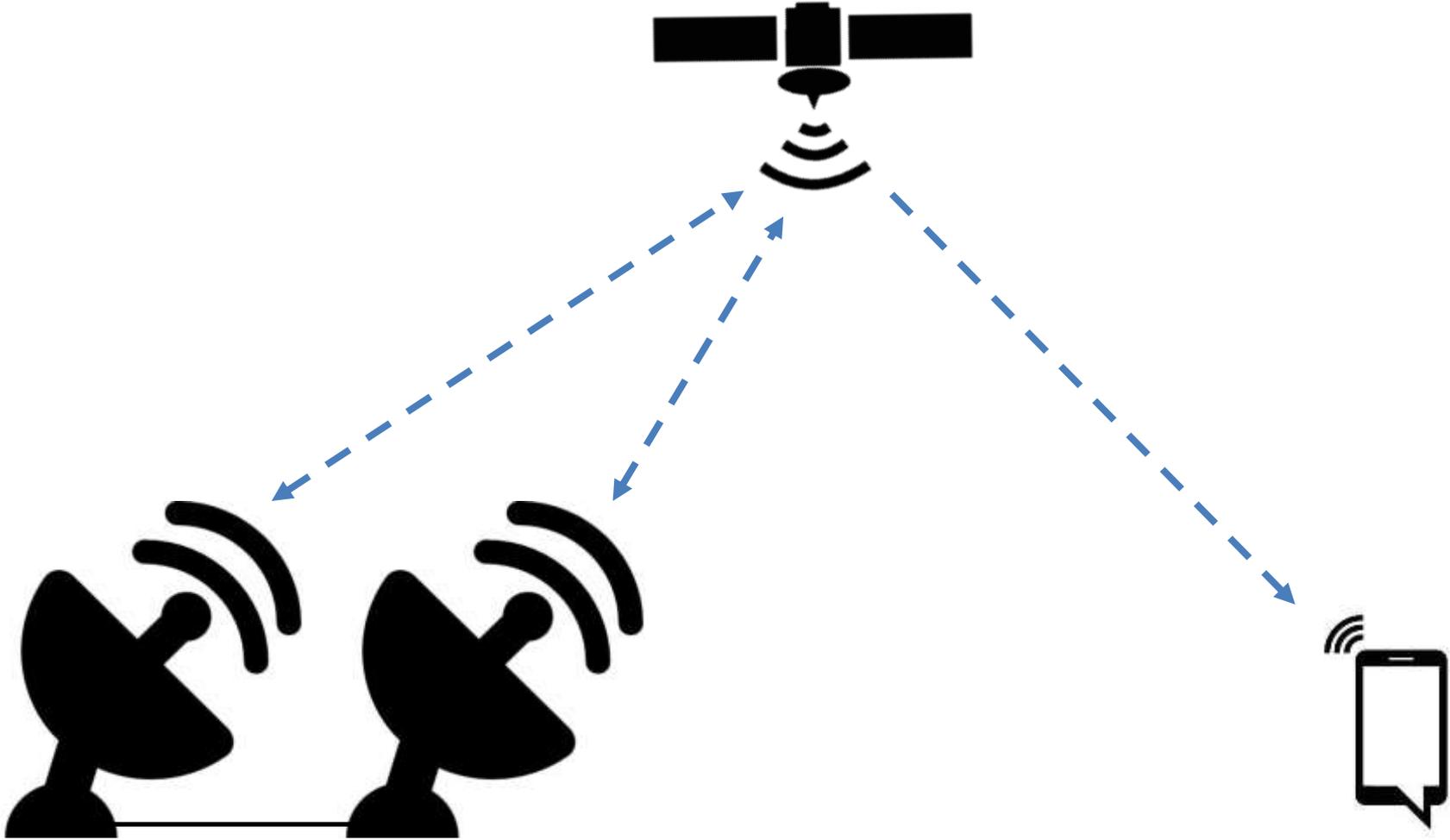


Come funziona il GPS?



ing. Matteo Morelli
Cinisello Balsamo
17/06/2016



Cosa trasmettono i satelliti



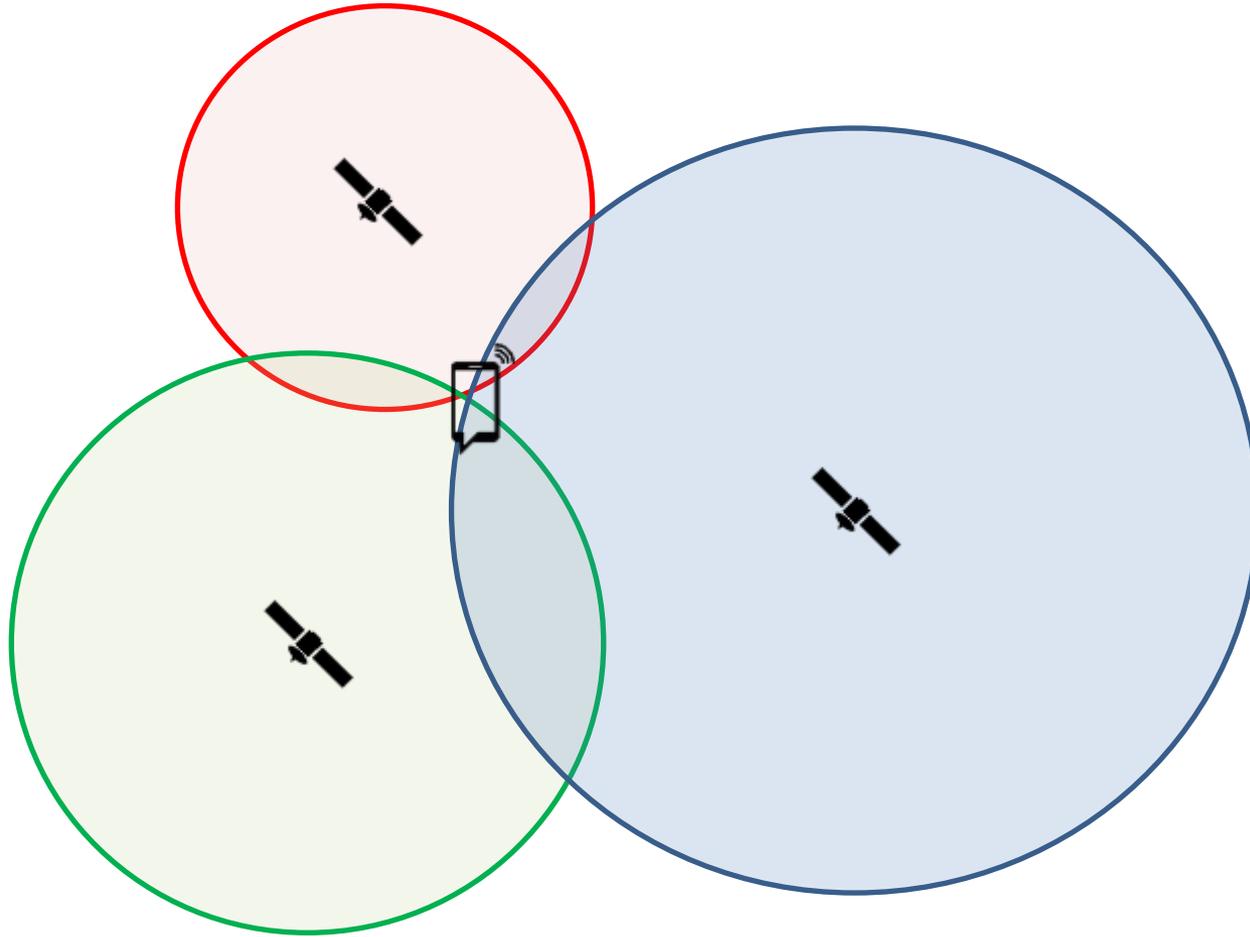
A B 2 3 4 5 6 7

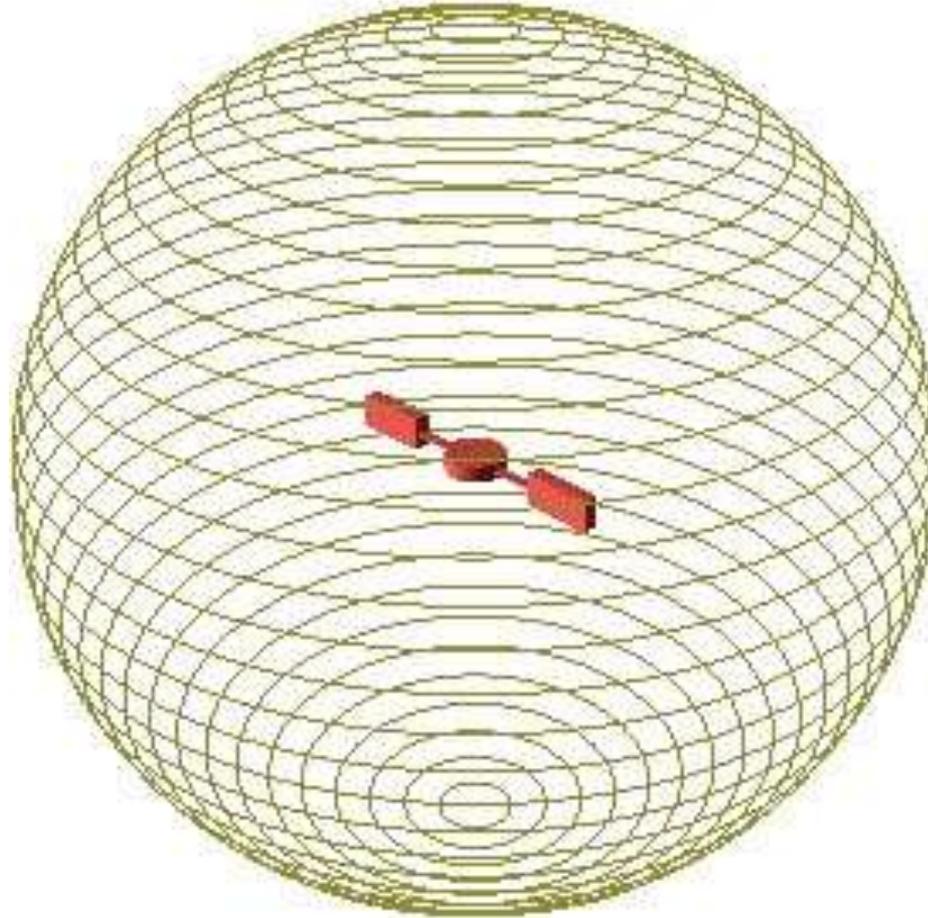


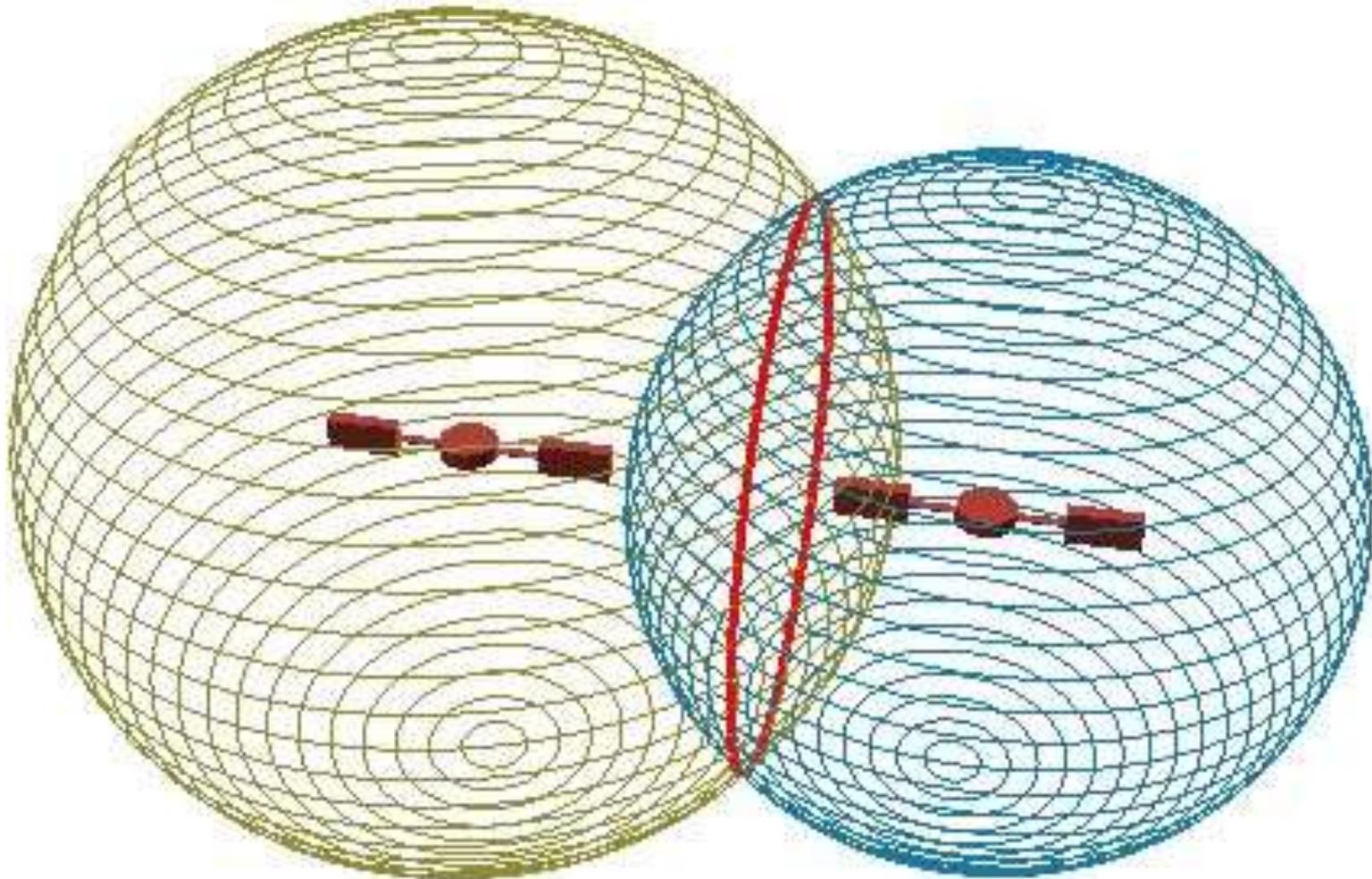
- IMPULSO (segnale orario)
- TIMESTAMP del segnale orario
- POSIZIONE del satellite
- ALMANACCO satelliti

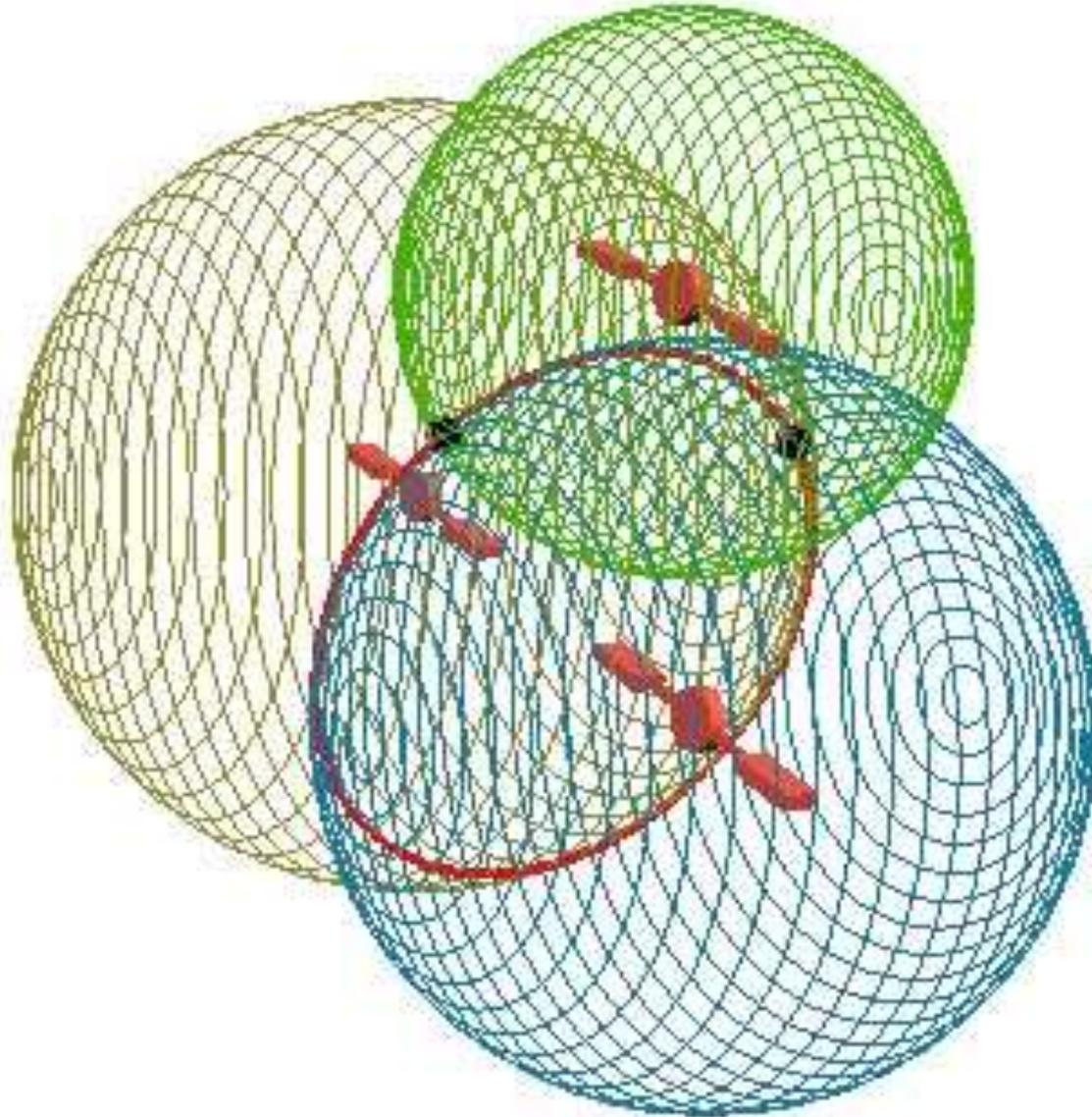


Trilaterazione nel piano

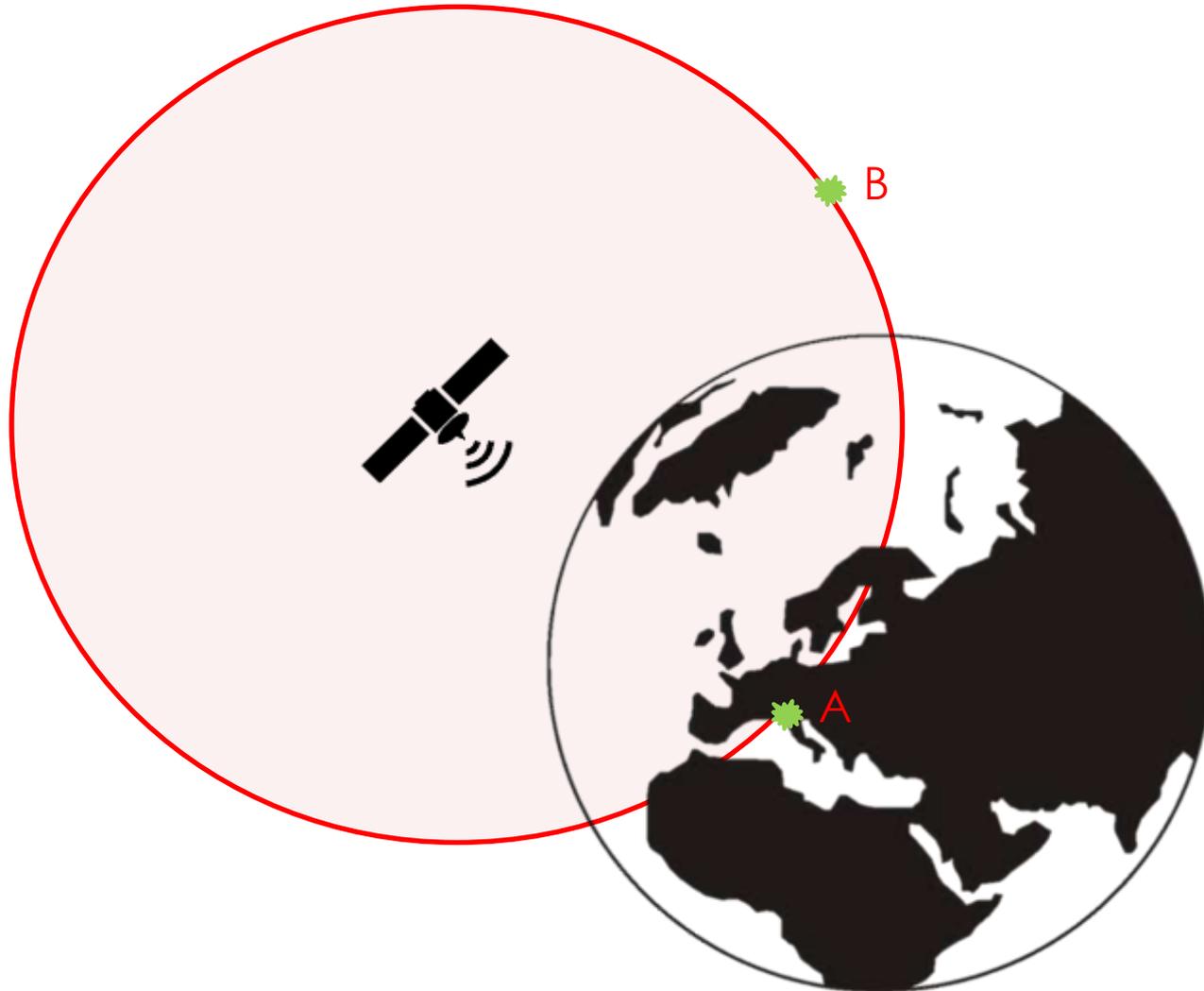


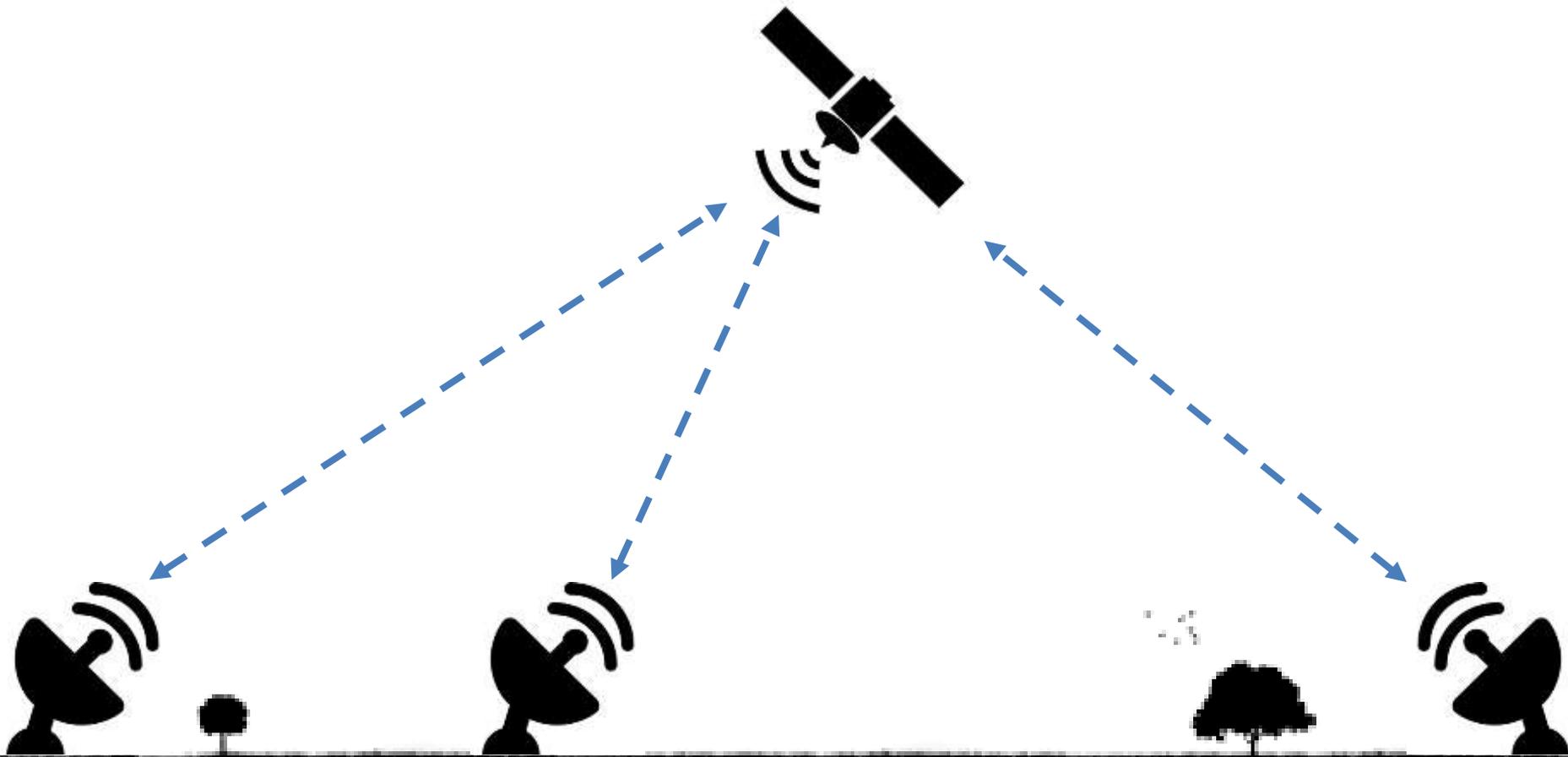




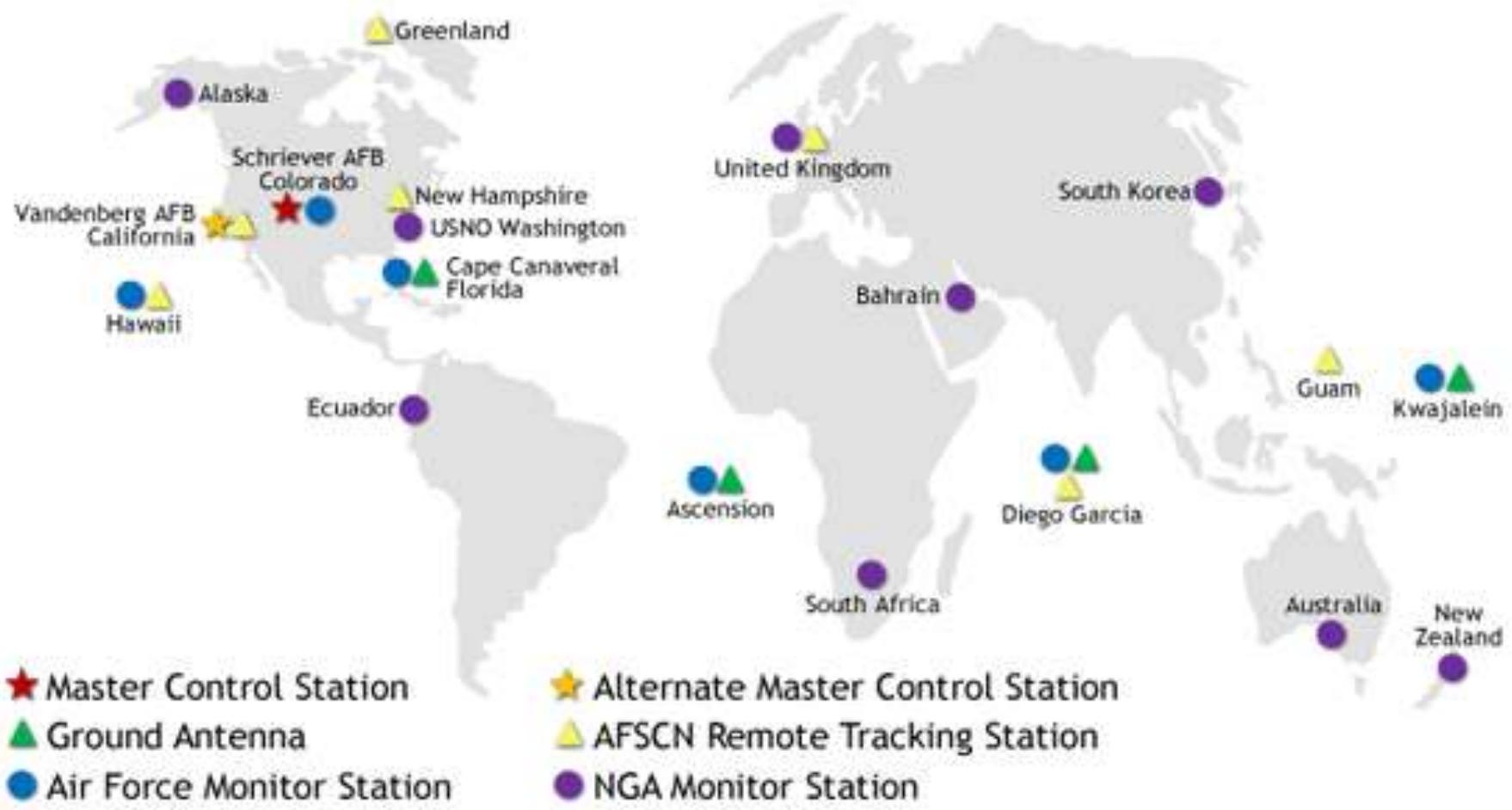


Scelta della soluzione valida





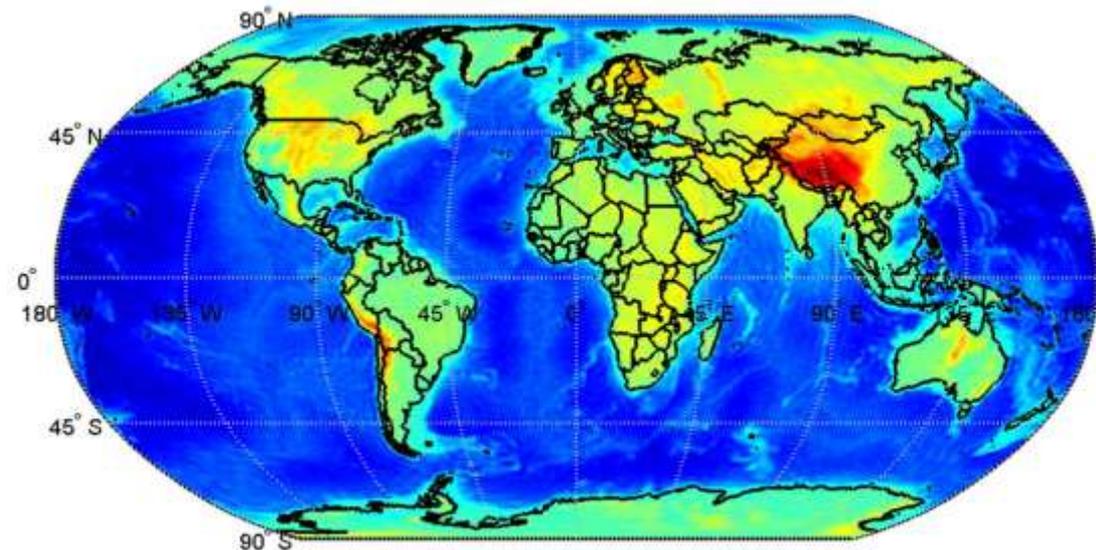
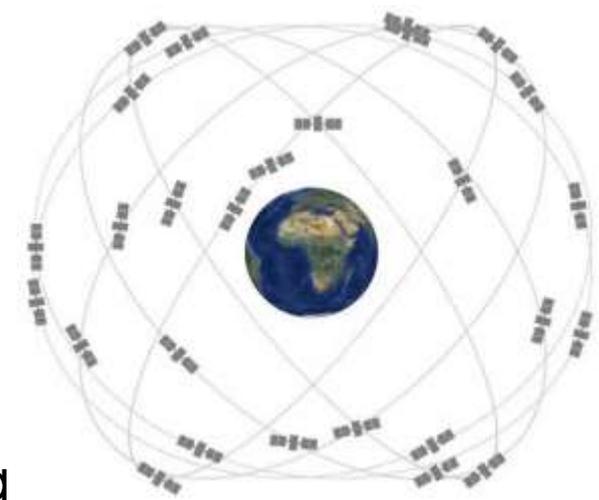
Segmento di controllo

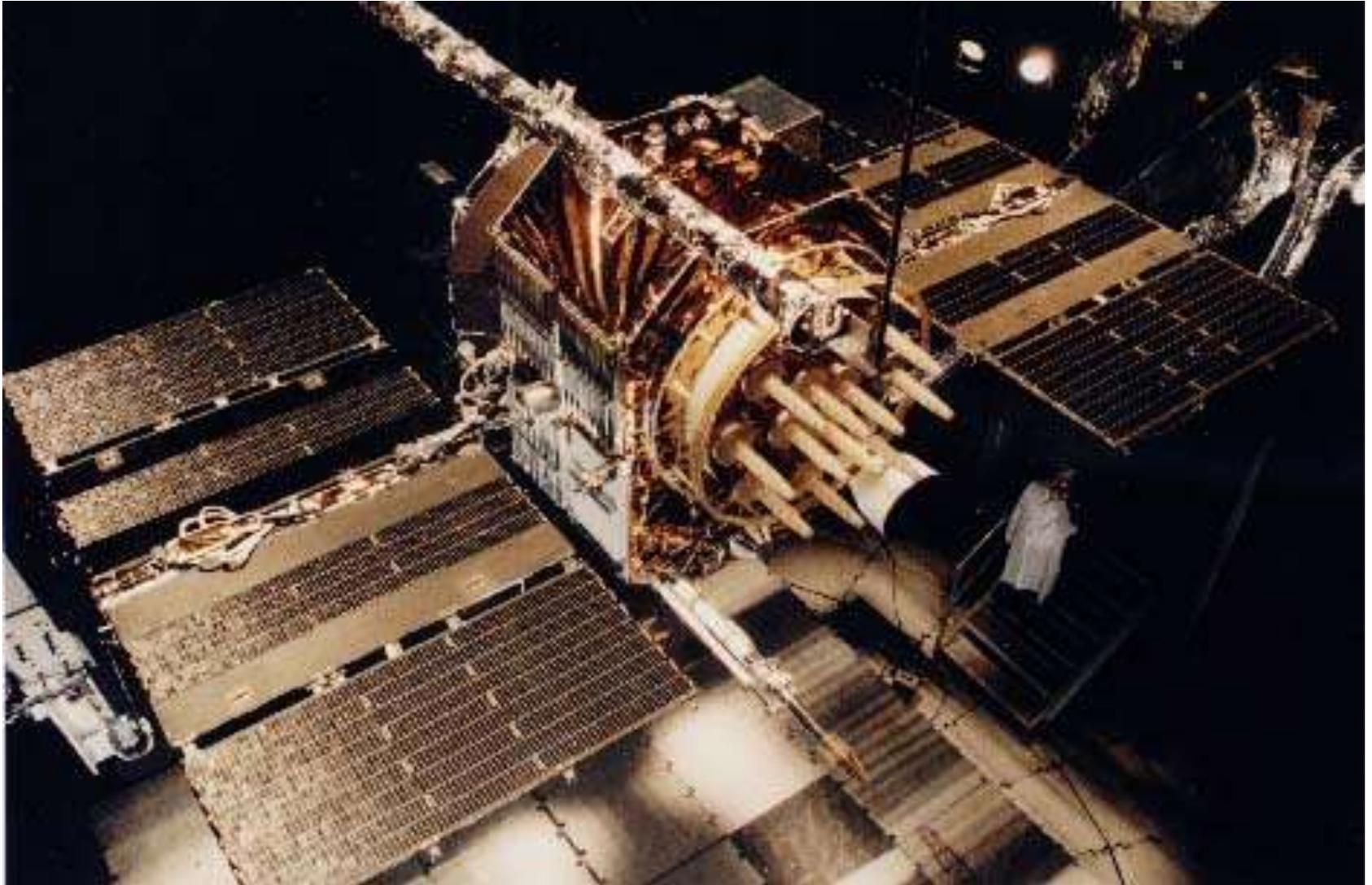


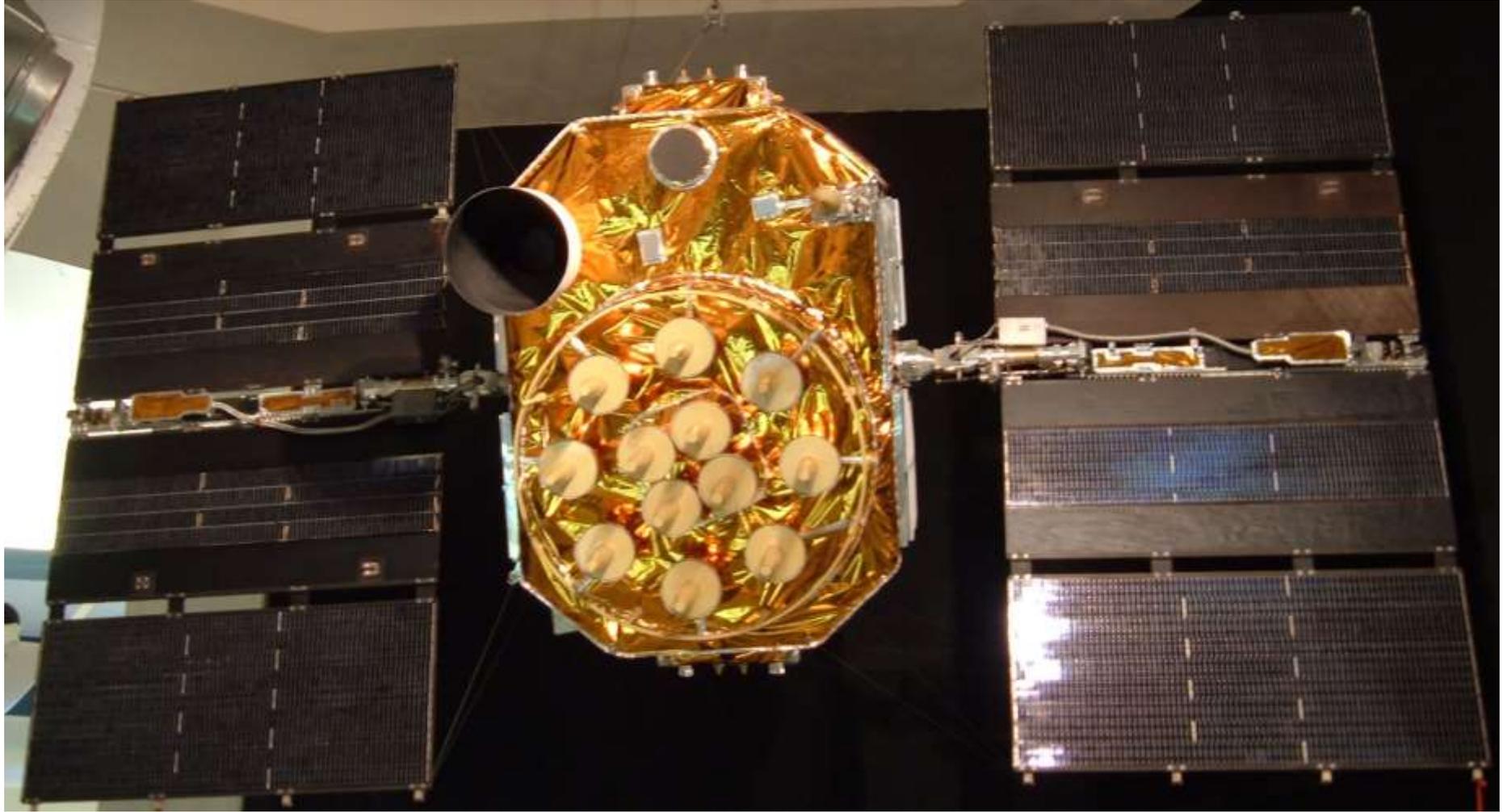
Calcolo orbite

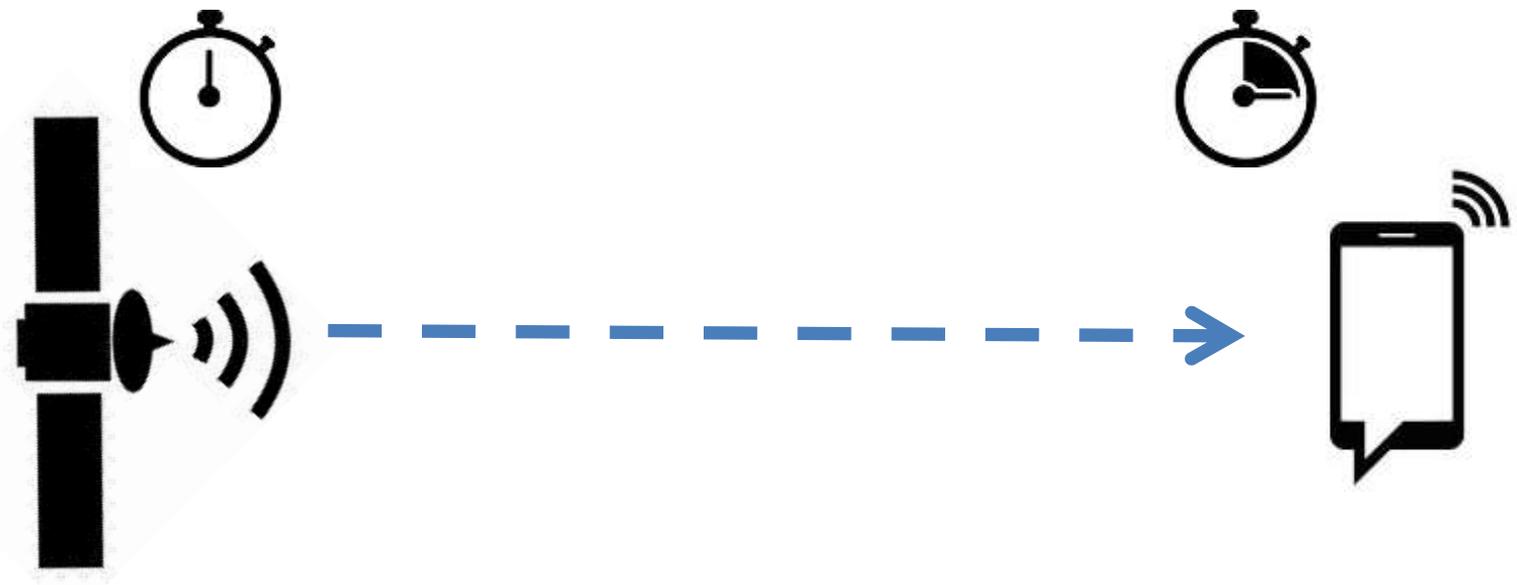
Orbite quasi circolari ma:

- Schiacciamento terrestre
- Distribuzione massa non omogenea
- Maree
- Variazioni stagionali
- Luna
- Vento solare









$$\text{Distanza} = c * \text{TempoPercorrenza}$$

23'300 km \rightarrow ~ 0.08 sec

1 mt \rightarrow ~ 0.000000003 sec (3 nsec)

Satellite 1
 $(x_1, y_1, z_1) \rightarrow ct_1$

Satellite 2
 $(x_2, y_2, z_2) \rightarrow ct_2$

Satellite 3
 $(x_3, y_3, z_3) \rightarrow ct_3$

Ricevitore (incognite)
 (x, y, z)

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = c^2 t_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = c^2 t_2^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = c^2 t_3^2 \end{array} \right.$$

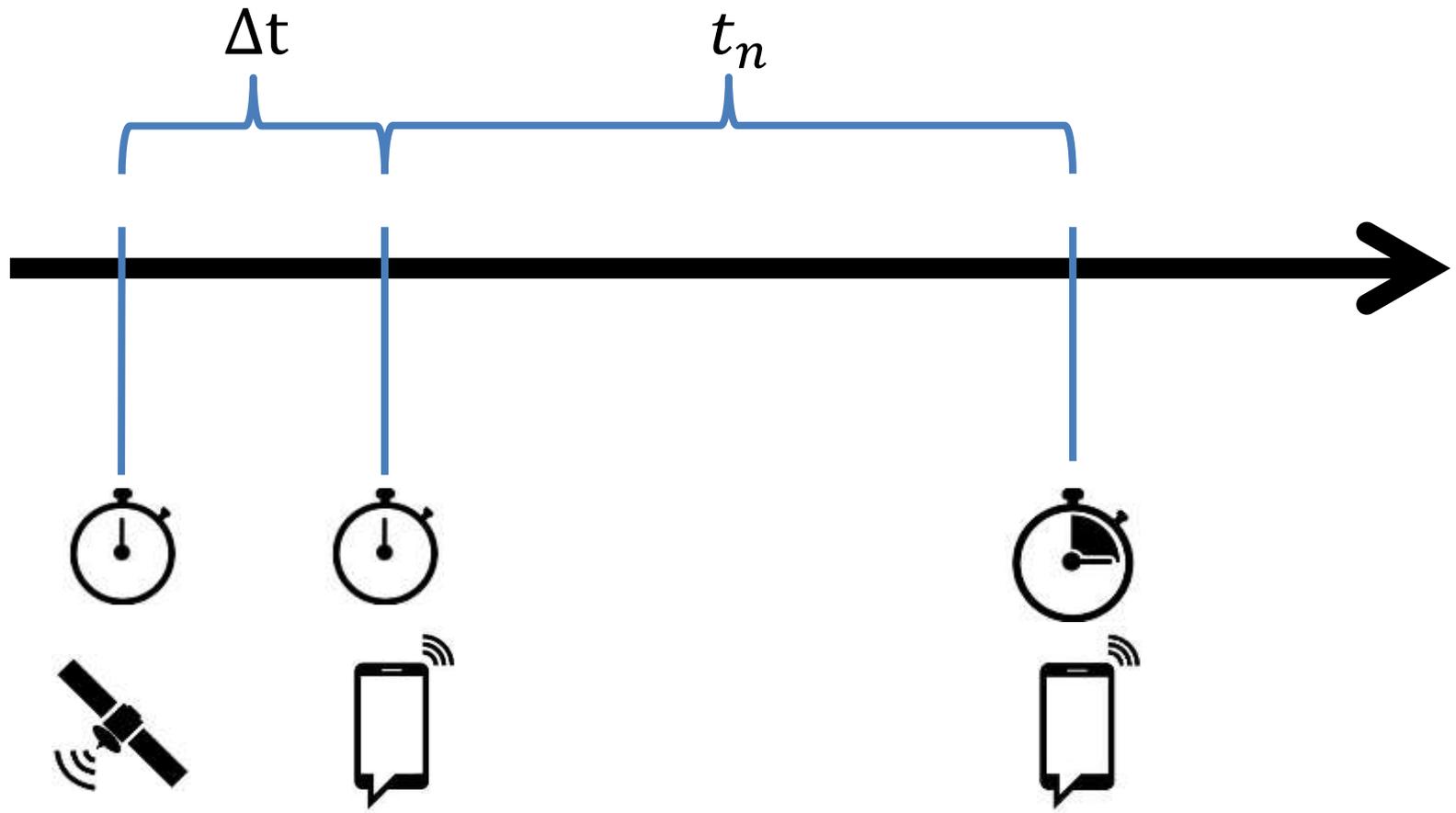
Soluzione nel piano per Y:

$$Y = \frac{2k - 2X_1 + 2Y_1(X_1 - X_2)}{X_1 - X_2} \pm \sqrt{\frac{(-2k + 2X_1 - 2Y_1(X_1 - X_2))^2 - 4(Y_1 - Y_2)^2(k^2 - 2X_1k + Y_1^2 - C^2t_1^2)}{(X_1 - X_2)^2}}$$

$$2 \left[\left(\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} \right)^2 + 1 \right]$$

$$k = - \frac{X_2^2 - X_1^2 + Y_2^2 - Y_1^2 + C^2t_1^2 + C^2t_2^2}{2(X_1 - X_2)}$$

Sincronizzazione orologio ricevitore



$TempoPropagazione = \Delta t + t_n$

Nuova incognita
 Δt

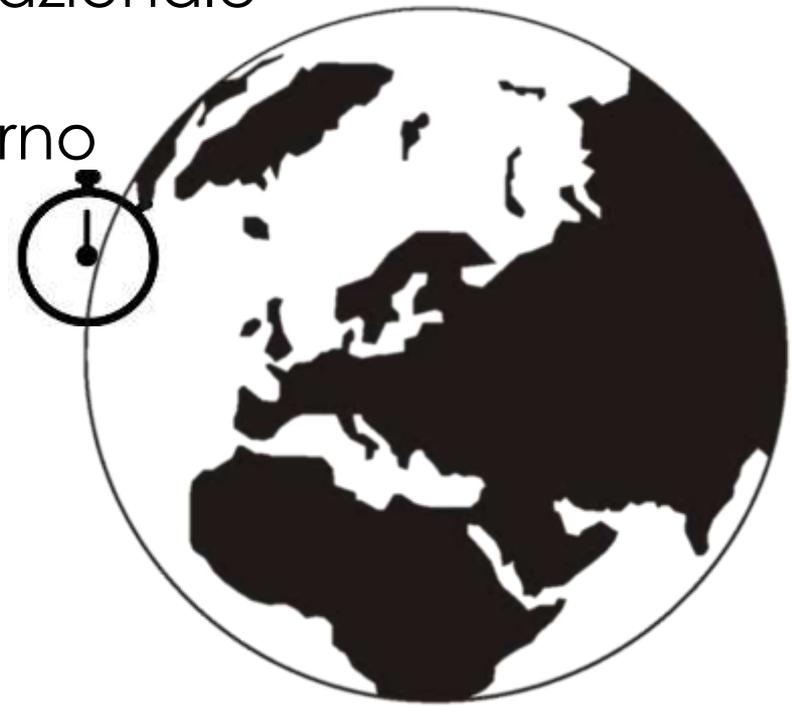
$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = c^2 (t_1 + \Delta t)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = c^2 (t_2 + \Delta t)^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = c^2 (t_3 + \Delta t)^2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 = c^2 (t_1 + \Delta t)^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 = c^2 (t_2 + \Delta t)^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 = c^2 (t_3 + \Delta t)^2 \\ (x - x_4)^2 + (y - y_4)^2 + (z - z_4)^2 = c^2 (t_4 + \Delta t)^2 \end{array} \right.$$

4 satelliti necessari per il primo fixing!

Orologi: effetti relativistici

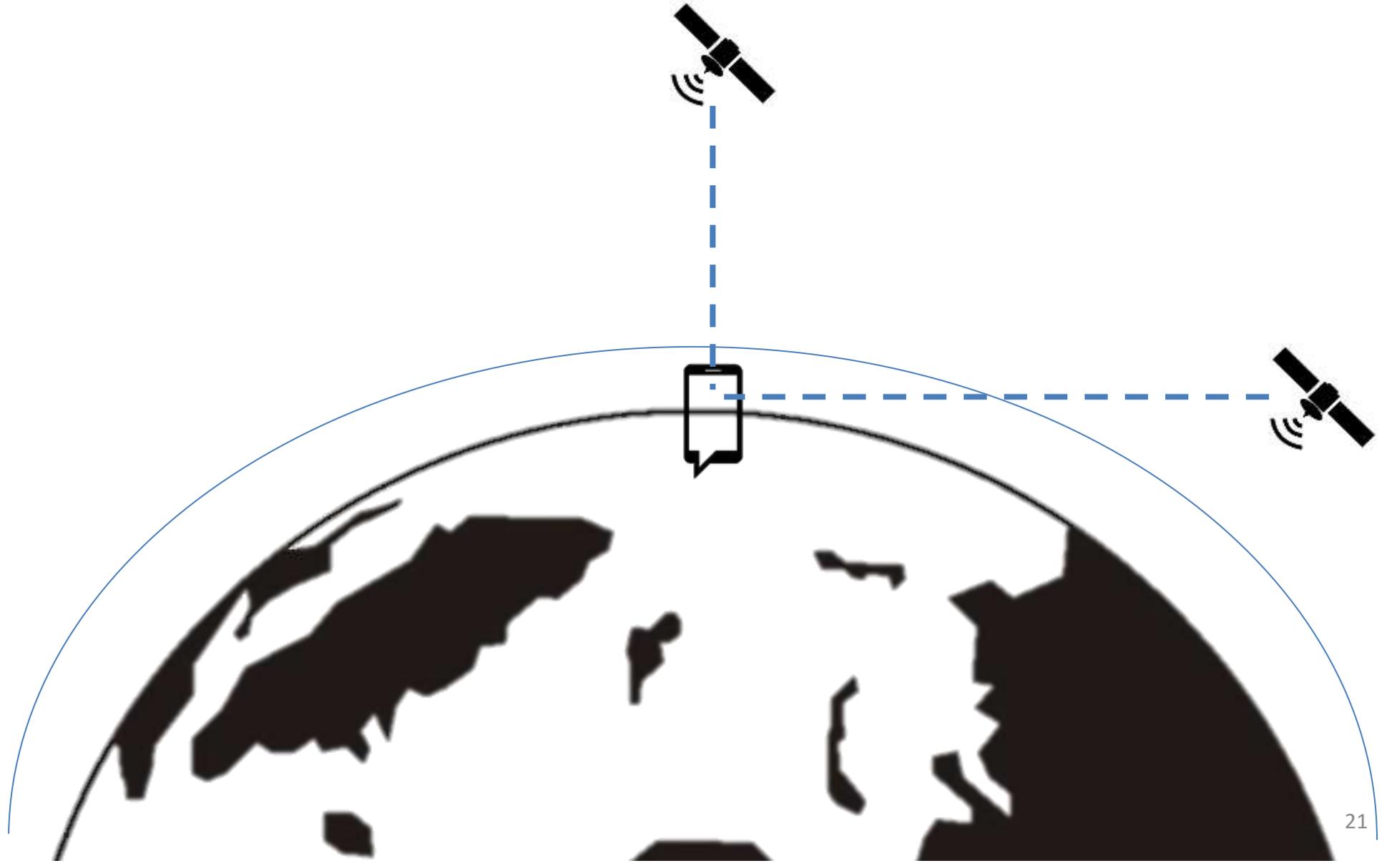
Campo gravitazionale
più intenso
-45 μ Sec / Giorno



Si muove a 14'000km/h
-7 μ Sec / Giorno

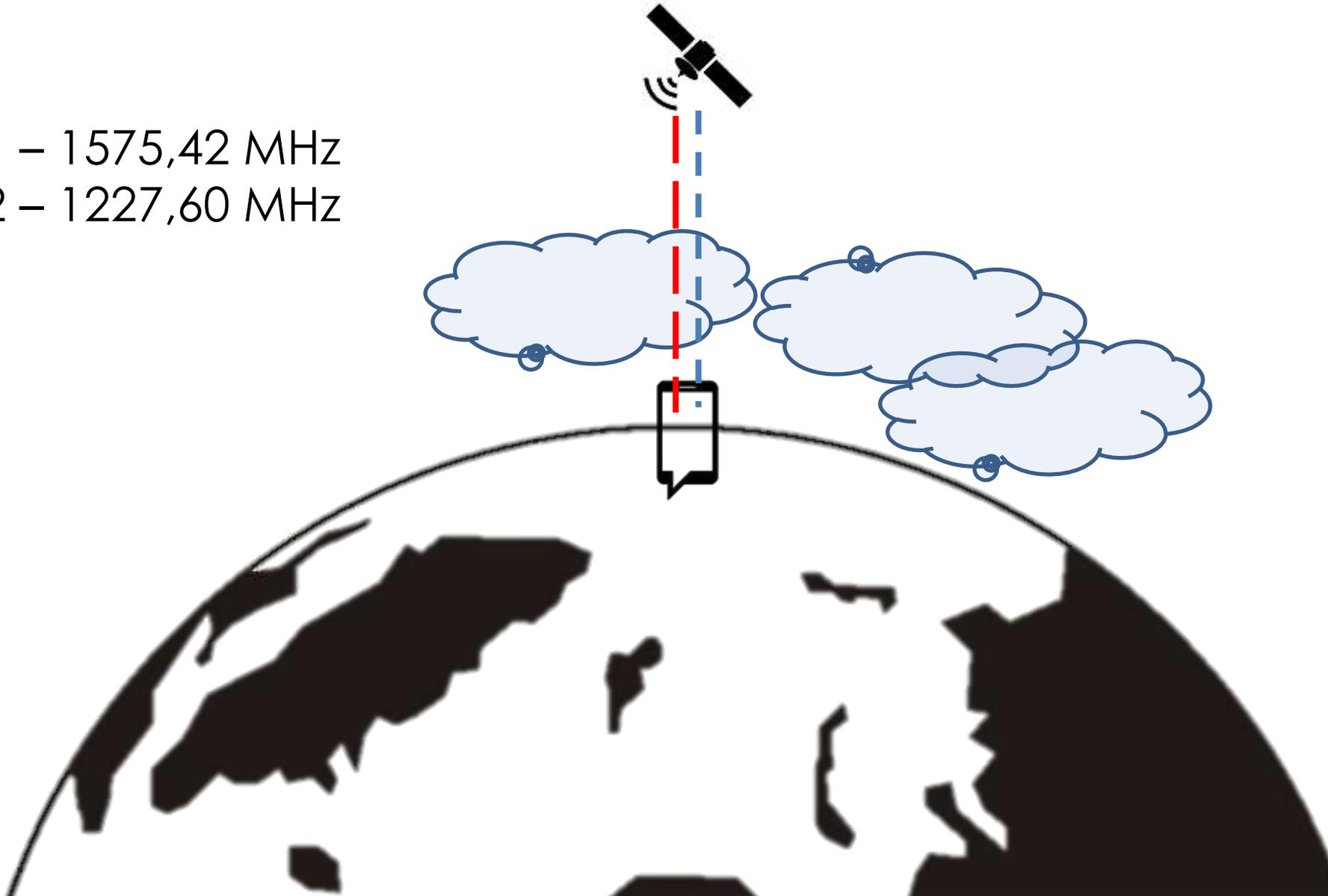
L'orologio sul satellite anticipa 38 μ secondi al giorno.
38 μ Sec = 11.5 km!!!

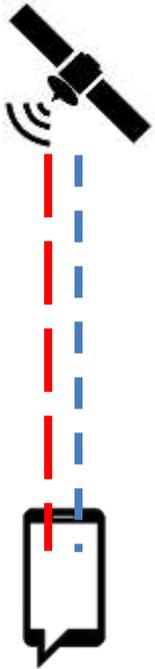
Un nemico comune: l'atmosfera



Un nemico comune: le nuvole

L1 – 1575,42 MHz
L2 – 1227,60 MHz



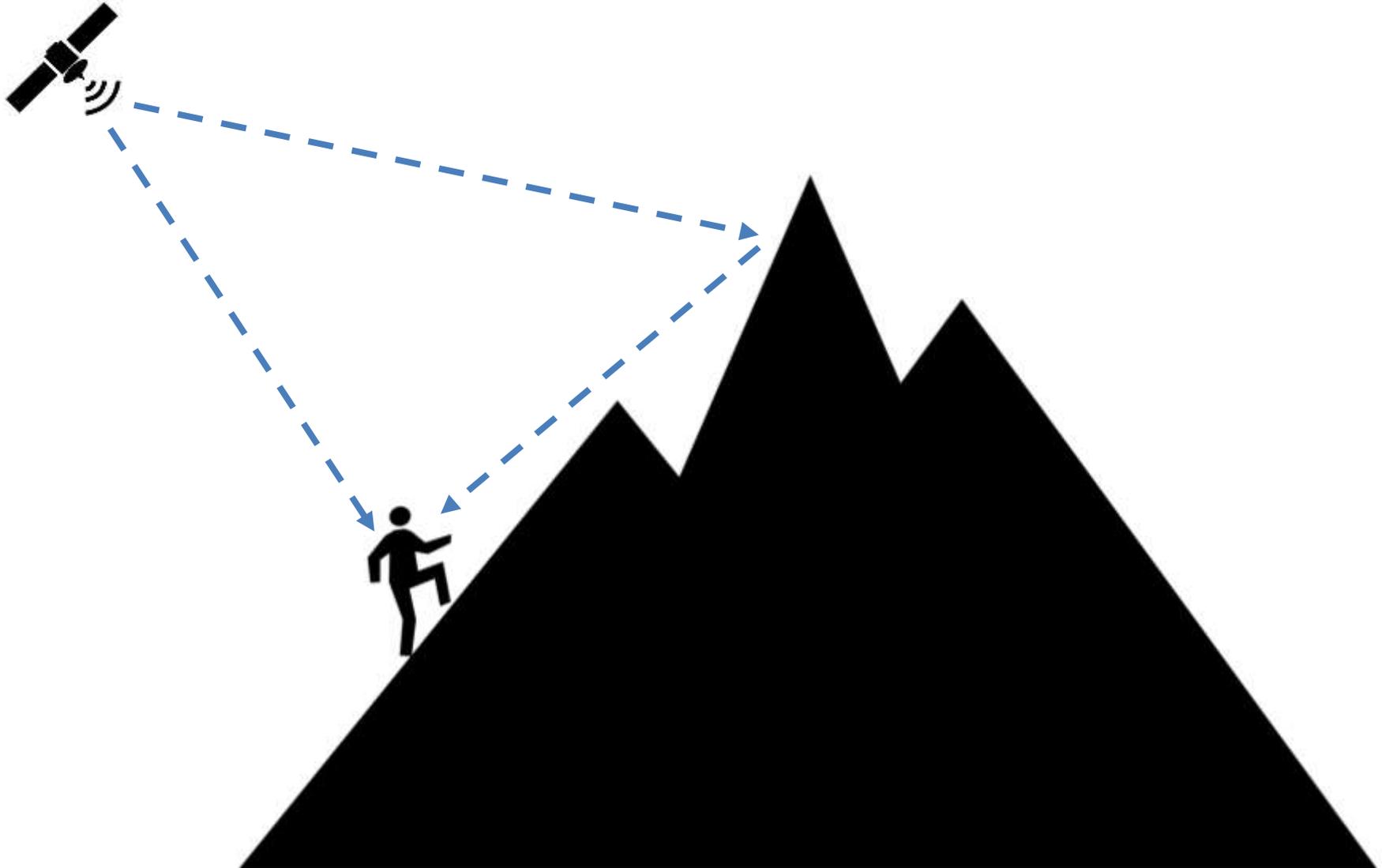


- L1 – 1575,42 MHz – Segnale pubblico
- L2 – 1227,60 MHz – Segnale pubblico + criptato
- L3 – 1381,05 MHz – Uso futuro / militare
- L4 – 1379,13 MHz – Uso futuro / militare
- L5 – 1176,45 MHz – Uso futuro / militare

Disponibilità selettiva / deteriorata

La precisione può essere artificialmente alterata:

- Mentendo sulle posizioni dei satelliti
(informazione corretta trasmessa nel criptato)
- Drogando gli orologi
(informazione corretta trasmessa nel criptato)
- Modificando le orbite aumentando / diradando i passaggi su una certa zona



Alcune tecniche per aumentare la precisione:

- Trilaterando su quaterne diverse di satelliti e mediando i risultati
- Considerando l'effetto Doppler misurato dal ricevitore (sistema a 6 o 7 equazioni)
- Scegliendo satelliti il più lontano (angolarmente) possibile tra loro
- Utilizzando fonti esterne di informazione (mappa)
- Utilizzare i segnali dei «concorrenti»



GLONASS (Russia)

- La disponibilità e precisione ha seguito le vicende politiche della Russia.
- Satelliti su orbita circolare a 19' 100Km e periodo di 11h 15m
- 18 satelliti su orbita polare ottimizzata per i meridiani corrispondenti al territorio russo, altri 6 per il resto del mondo.
- Al momento tutto segnale pubblico (L1 e L2)
- I satelliti trasmettono su frequenze diverse L1: 1602 Mhz + 0.5625 MHz per satellite
- Stanno arrivando sul mercato chipset che usano insieme GPS e GLONASS



BeiDou (Cina)

- BeiDou è il nome della costellazione della pentola (grande carro)
- Sistema ancora in evoluzione
- Originariamente basato su 4 satelliti in orbita geostazionaria sopra la Cina
- Disponibilità in regione limitata di territorio
- In realizzazione BeiDou2, con 35 satelliti in «movimento» per copertura globale
- Nessun ricevitore non cinese ad oggi disponibile



Galileo (Europa)

- Non ancora operativo (previsione 2019)
- Basato su 30 satelliti ad una altezza di 23'222 Km
- Ottimizzato per il funzionamento in aree urbane (riflessi e oscuramenti da edifici)
- Trasmetterà su 3 bande di cui 2 (L1 e L2) comuni e compatibili con GPS
- Sul terzo canale il messaggio avrà struttura più complessa per miglioramento prestazioni e eliminazione disturbi e riflessi.



National Marine Electronics Association

Protocollo seriale a caratteri ASCII standard

4800baud, 8 bits dati, 1 bit stop, no parità, no hw-handshake

```
$GPGGA,064036.289,4836.5375,N,00740.9373,E,1,04,3.2,200.2,M,,,,0000*0E
```

\$	inizio messaggio
GPGGA	tipo messaggio (coordinate geografiche del ricevitore)
064036.289	ora in UTC (06h 40m 36,289s)
4836.5375	Latitudine (48° 36' 32.25'')
N	Emisfero Nord
00740.9373	Longitudine (7° 40' 56.238'')
E	Emisfero Est
1	Tipo di satelliti usati (1= costellazione GPS)
04	Numero di satelliti utilizzati per il fixing
3.2	Precisione orizzontale stimata in metri
200.2	Altitudine
M	Unità di misura della precisione e dell'altitudine
,,,,,0000	Altri campi non utilizzati
*0E	Fine messaggio e codice controllo parità