

# GPS

## La più avanzata tecnica di posizionamento

---

## Un po' di storia...



**DOVE  
SONO?**



- **RADIOLOCALIZZAZIONE – PONTI RADIO**
- **TRANSIT (statunitense) - NAVSAT (for Navy Navigation Satellite System)**
- **NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System):** Progetto top-secret del Dipartimento della Difesa degli U.S.A. durante la guerra fredda
- Negli anni '80 viene messa in funzione la prima versione del GPS e viene utilizzato solo per scopi militari
- Nel 1994 il servizio diventa accessibile a tutti e nel 2000 viene eliminato l'errore sistematico introdotto dal Dipartimento U.S.A.

# Cos'è il GPS

- Un sistema di posizionamento assoluto sul globo terrestre
- Basato su una costellazione di satelliti artificiali
- Gestito dal Dipartimento della Difesa Americano

## Vantaggi del G.P.S.

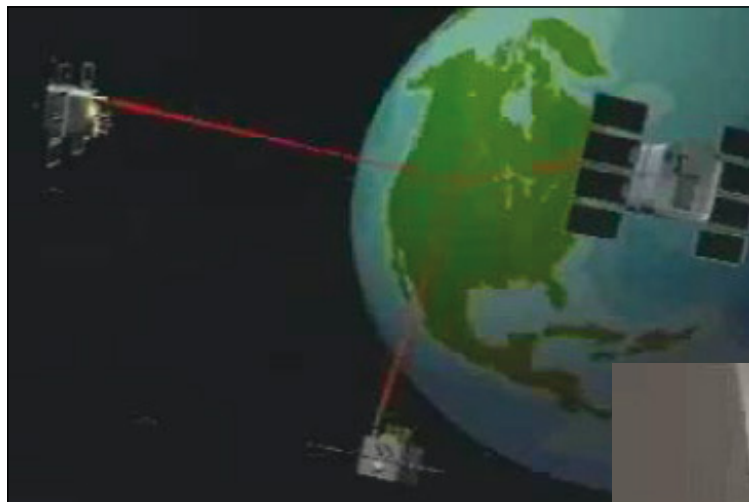
Rispetto ai metodi di misura tradizionale:

- Possibilità di operare anche in condizioni atmosferiche non agevoli
- Non richiedere l'intervisibilità tra i punti oggetto di un rilievo
- Non è necessario un legame delle misure con una superficie di riferimento di tipo locale (piano tang., sfera locale o ellissoide)
- Possibilità di ricavare direttamente la posizione spaziale dei punti della superficie fisica della Terra nel sistema cartesiano geocentrico



**RIDUZIONE TEMPI RILIEVI**  
**MAGGIORI PRECISIONI**  
**SEMPLIFICAZIONE DEL LAVORO**  
**RIDUZIONE DEI COSTI**

# Il Sistema GPS è costituito da 3 parti



Segmento spaziale

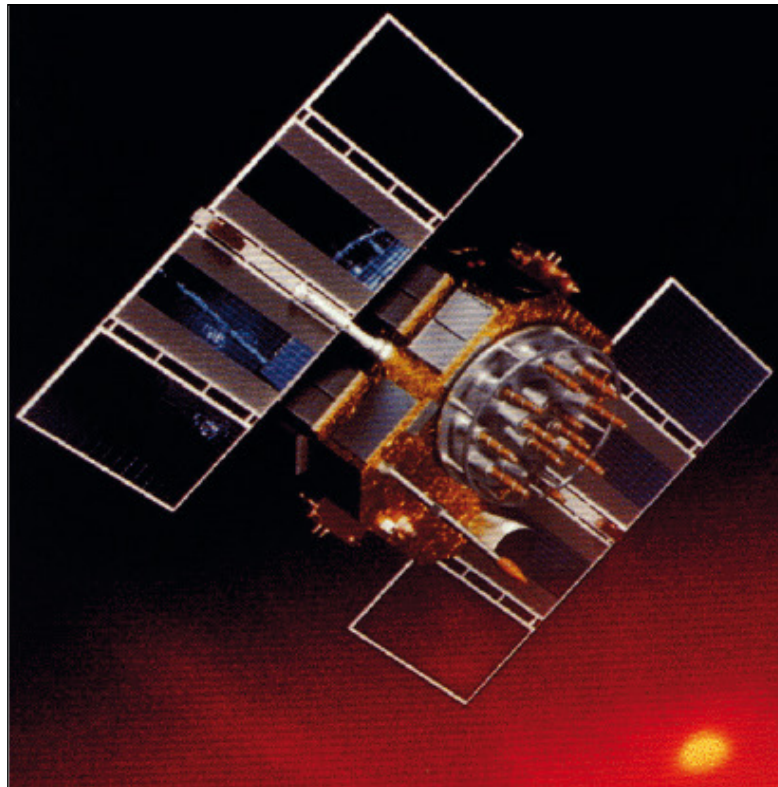


Segmento di controllo



Segmento utenza

# Il segmento spaziale



- 24 Satelliti orbitanti
- Orbite circolari su 6 piani orbitali paralleli inclinati di  $55^\circ$  rispetto al piano equatoriale
- 4 satelliti equidistanti su ogni piano orbitale
- Altezza orbitale 20.200 Km
- Periodo di rivoluzione 11 ore e 58 minuti

## Il segmento di controllo



4 Stazioni di monitoraggio a terra:

- Diego Garcia
- Ascention Island
- Kwajalein
- Hawaii
- 1 Stazione Master
- Colorado Springs

Trasmettono le nuove effemeridi,  
la correzione degli orologi ecc.

# Il segmento utenza



- Gli utilizzatori per la navigazione area, marittima e terrestre
- Utilizzatori per applicazioni geodetiche e topografiche



# I satelliti

Trasmettono dei SEGNALI e varie informazioni tra le quali la loro posizione “EFFEMERIDI”.

- Altezza orbitale di 20.200 Km:
  - rende il moto dei satelliti stabile
  - assenza di attrito atmosferico
  - garantisce la copertura terrestre
- Controllo effettuato dal DoD (Department of Defense)
  - ogni satellite passa sul territorio americano una volta al giorno
  - il DoD trasmette le correzioni d’orbita ai satelliti

## Struttura del segnale trasmesso

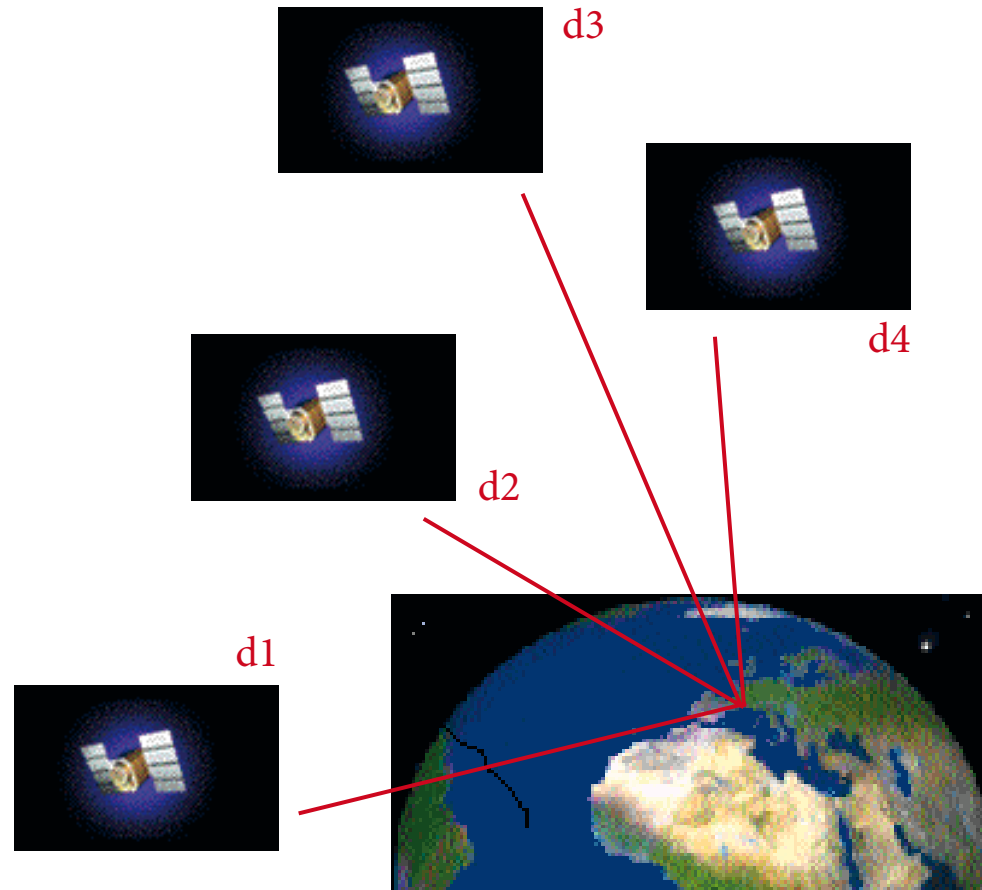
- Due frequenze portanti su banda L:
  - L1 - 1575.42 Mhz, lungh. 19cm ( $\lambda = c/f$ )
  - L2 - 1227.60 Mhz, lungh. 24cm
- Tre modulazioni (codici):
  - C/A: solo su L1, freq. 1023 Mhz, lungh. (293m)
  - P: su L1 e L2, freq. 10.23 Mhz lungh. (29.3m)

il 31/01/1994 il codice P è stato criptato in codice Y (Anti-Spoofing)

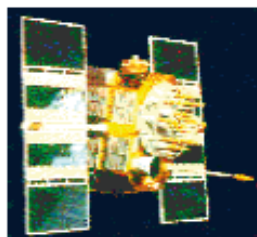
Un messaggio “NAVDATA” (codice D) su L1 e L2: dati di correzione (orbite e orologi) stato di salute dei satelliti.

## Come funziona il GPS?

- La posizione è determinata per trilaterazione
- Il ricevitore GPS misura la pseudo-distanza dai satelliti
- La pseudo-distanza è calcolata conoscendo la velocità e il tempo di propagazione del segnale GPS
- Si effettuano quindi alcune correzioni per ridurre le imprecisioni di misura



# Misure di distanze: come lavora



start: 0.00 s

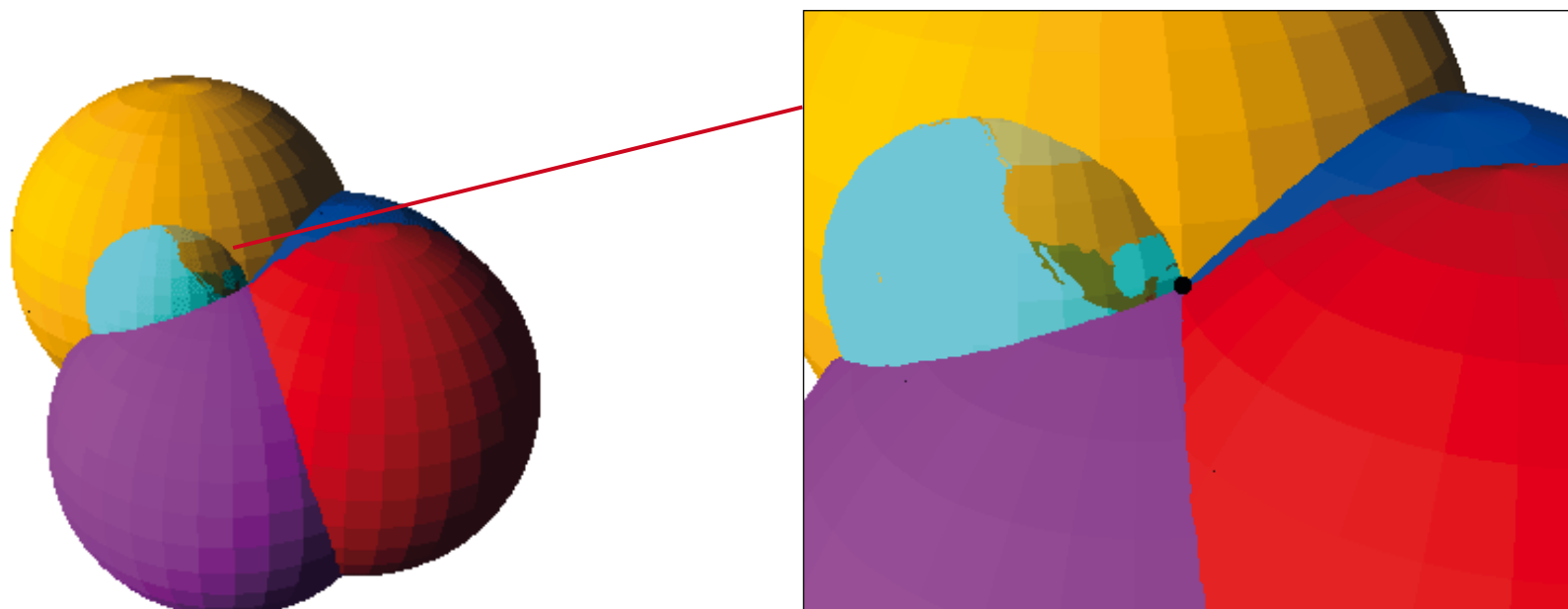
20.000 Km



end: 0.06 s

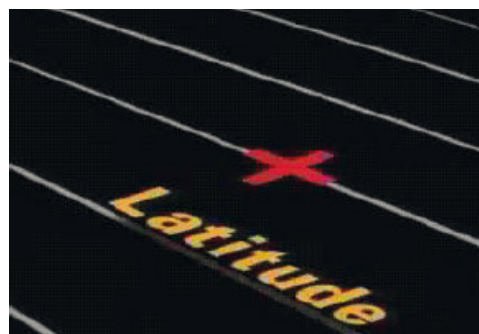
# Localizzazione del Satellite

Il punto dovrebbe essere localizzato sulla superficie terrestre.

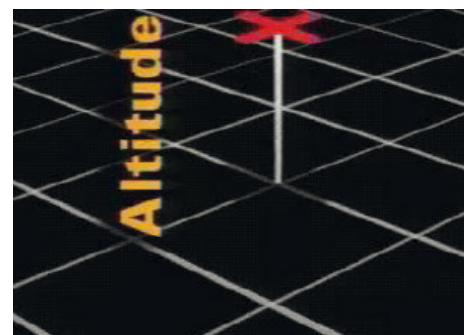


# Trilaterazione con il GPS

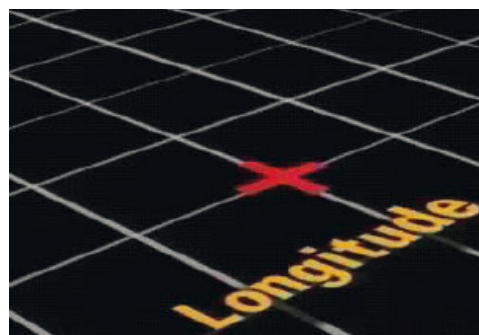
- In teoria tre misure sono sufficienti
- Serve un quarto satellite perché le incognite da determinare sono 4:



Latitudine



Quota



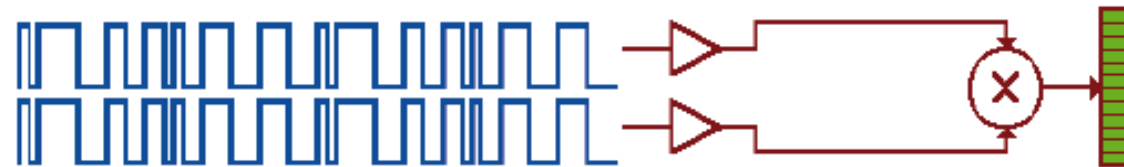
Longitudine



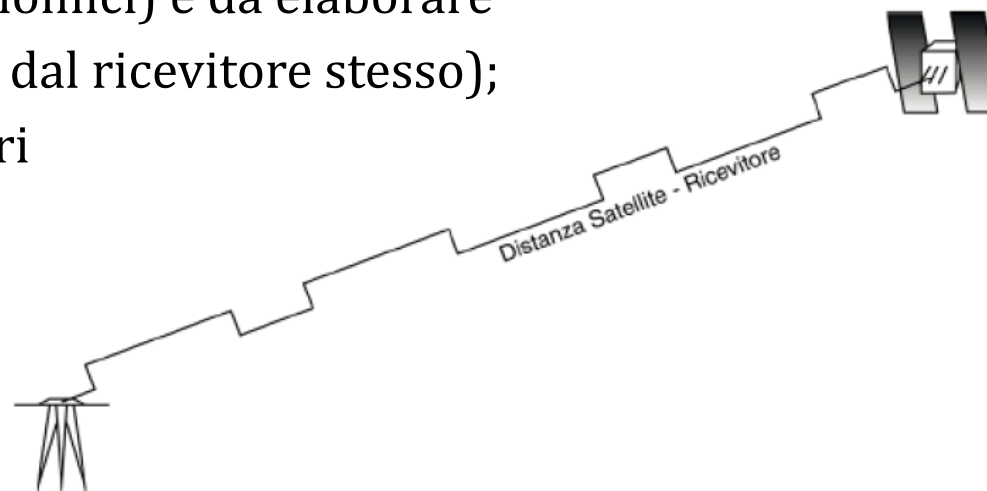
Tempo

## Determinazione distanza

Misure di codice:

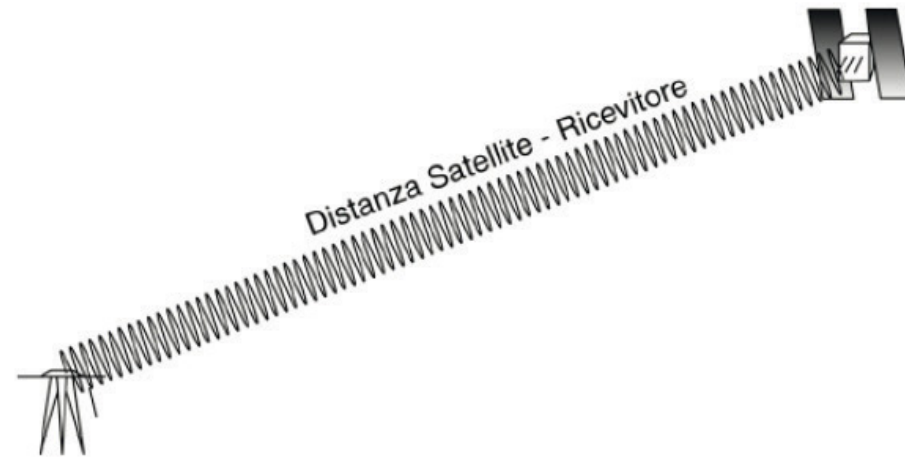


Effettuate su codici binari, sono le più semplici da acquisire (ricevitori più economici) e da elaborare (tipicamente in tempo reale, dal ricevitore stesso); sono le meno accurate (errori strumentali dal decimetro al metro).



## Misure di fase:

Effettuate su sinusoidi ad alta frequenza, sono le più complesse da acquisire (ricevitori più costosi) e da elaborare (software specialistico); sono però le più accurate (errori strumentali inferiori al millimetro).





# Errori di propagazione del segnale

Il segnale GPS attraversa l'atmosfera:

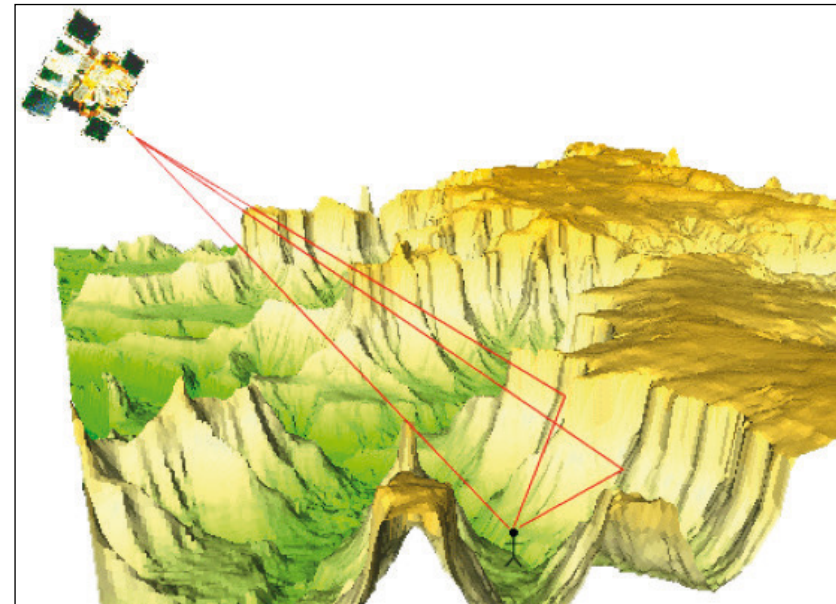
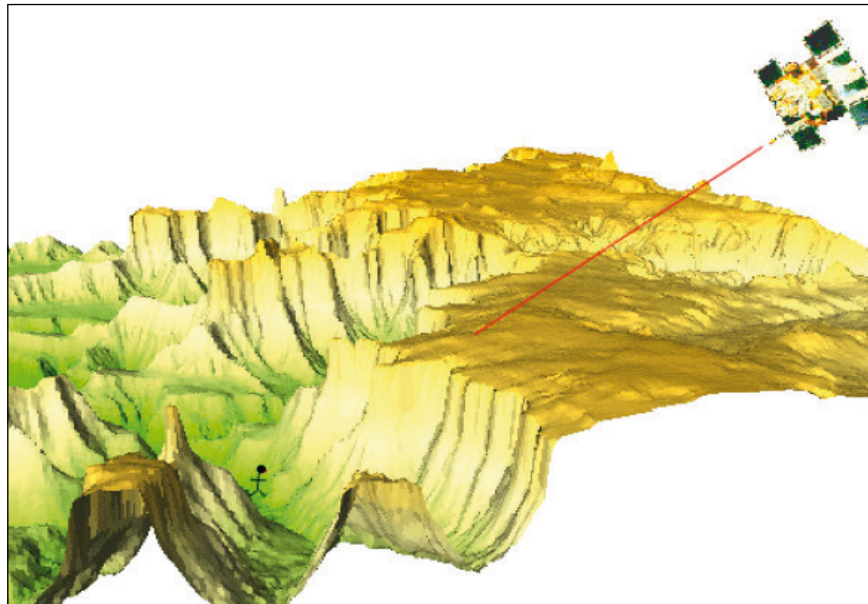
- Ionosfera (altezza 80-500 Km)  
Porzione d' atmosfera densa di particelle cariche elettricamente,  
in grado di deviare le onde radio
- Troposfera (altezza 0-10 Km)  
Porzione d' atmosfera dove si creano i principali fenomeni  
meteorologici: forte presenza d' acqua, variabile da zona a zona

## Altri fattori d'errore

- Errori d' orologio e d' orbita dei satelliti:  
molto piccoli e principalmente corretti dal DoD
- Errori del ricevitore:
  - problemi dovuti all' instabilità dell' oscillatore (orologio)
  - rumorosità nelle misure introdotta dal ricevitore stesso
- Multipath (percorsi multipli):
  - il segnale rimbalza su superfici riflettenti ed interferisce con il segnale diretto
  - Ricevitori ed antenne di buona fattura sono in grado di attenuarlo
- PDOP:  
la geometria (posizione relativa) dei satelliti influenza la precisione

# Errori di multipath

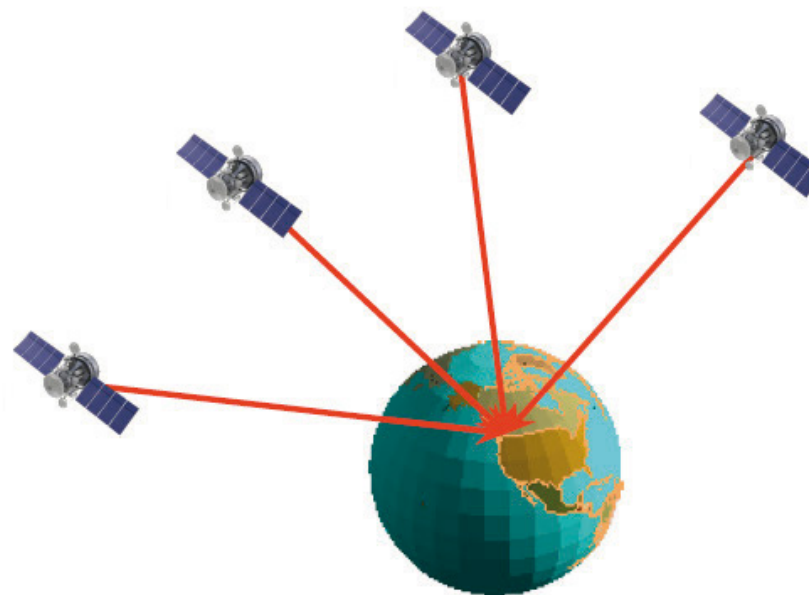
- Elementi naturali (come montagne, valli, colline, abitazioni, vegetazione, etc.) e artificiali possono intercettare i segnali
- Gli elementi naturali e artificiali possono riflettere i segnali



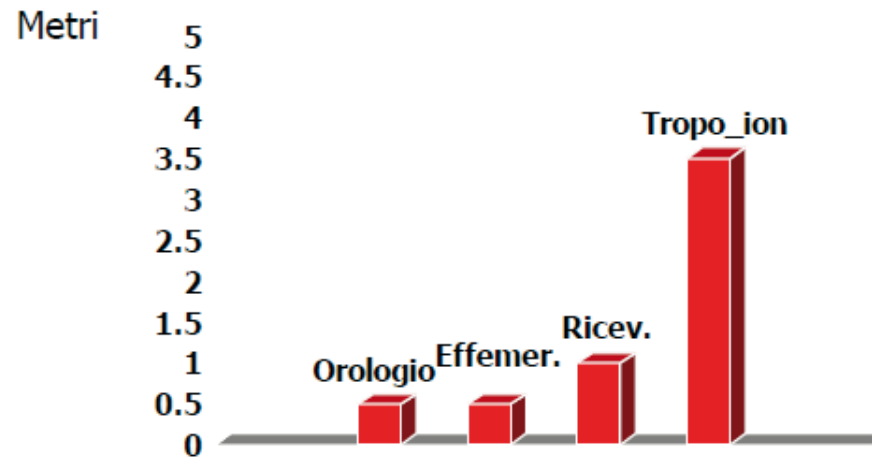
# Errore di Multipath: segnale riflesso



# La posizione geometrica dei satelliti (PDOP) riduce la precisione



# Influenza dei singoli fattori misura “point position”

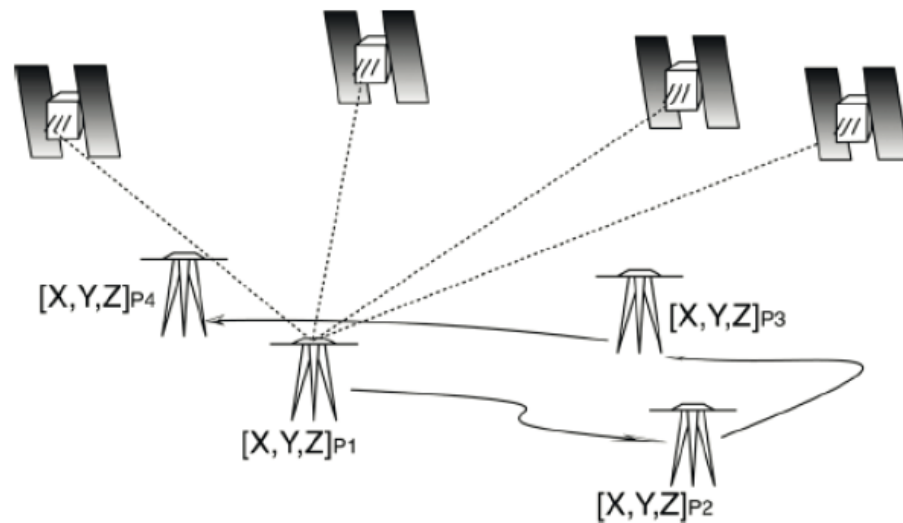


Errori tipici:

- Orologio satellite 0.5 m
- Effemeridi 0.5 m
- Ricevitore 1.0 m
- Iono/troposfera 3.5 m
- Totale (rms) 5-10 m
- S/A disattivata l' 1/5/2000

Moltiplicando per l' HDOP si ha un errore tra 5 e 20 m.

# Posizionamento assoluto



Stima delle coordinate di un singolo ricevitore mediante osservazioni a un certo numero (minimo 4) di satelliti.

# Posizionamento assoluto

La stima può avvenire in tempo reale:

- il metodo si presta ad applicazioni navigazionali.

L'utente necessita di un solo ricevitore

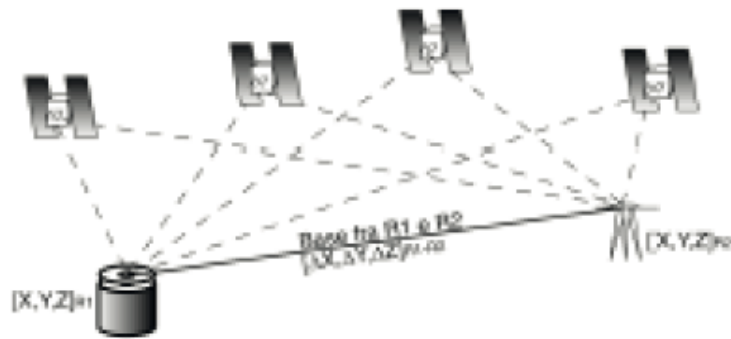
- la metodologia di rilievo è del tutto banale
- l'elaborazione dei dati è trasparente

La precisione è scarsa

- circa 10 m in navigazione
- 1-2 m con occupazioni statiche prolungate sui punti



## Posizionamento relativo



Due ricevitori effettuano osservazioni contemporanee ai medesimi satelliti. Le osservazioni vengono opportunamente cambiate ed elaborate per la stima della base (vettore 3D) fra i due ricevitori.

# Posizionamento relativo

La precisione dipende:

- dal tipo di ricevitori (tipo di osservabili acquisibili)
- dalla distanza fra i ricevitori (da <10 km a >500 km)
- dal metodo di rilievo (durata dello stazionamento sui punti)
- dall'approccio di elaborazione dei dati (tempo reale, post processamento)

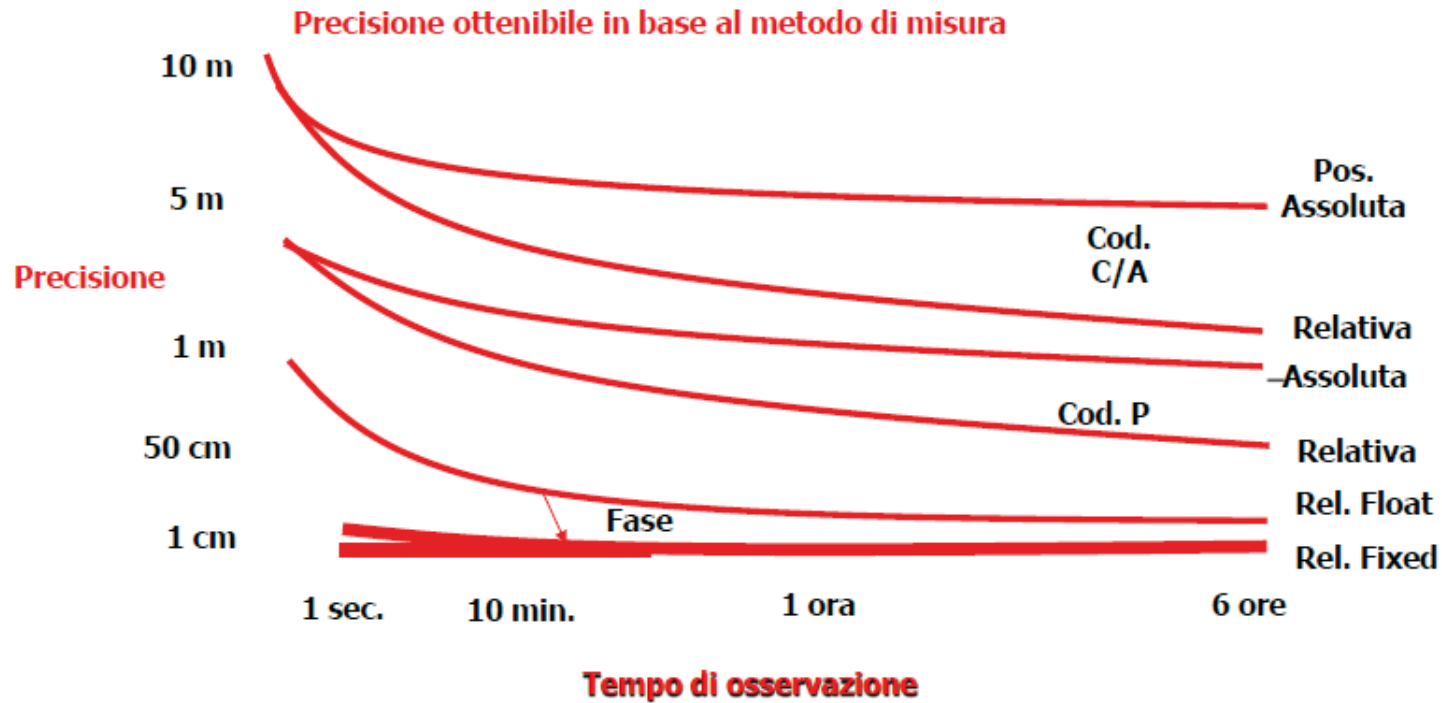
Si va da:

- 1-2 m (relativo sui codici in tempo reale): navigazione di precisione,...
- a meglio del centimetro (doppia frequenza, statico prolungato): controllo di deformazioni,....

# La misura relativa DGPS elimina molti errori

- Effemeridi -----> Rimosso dal DGPS
- Orologio satelliti -----> Rimosso dal DGPS
- Ritardo ionosferico -----> Rimosso dal DGPS
- Ritardo troposferico-----> Rimosso dal DGPS
- Geometria dei satelliti (PDOP)
- Multipath (ridotto utilizzando antenne speciali)
- Deriva dell' orologio del ricevitore
- Rumore ricevitore
- Satelliti guasti

# La precisione migliora aumentando il tempo di misura



# La precisione migliora aumentando il tempo di misura

- Dipende da alcuni fattori:
  - tipo di ricevitori utilizzati
  - tempo e tecnica di misura
  - algoritmo di correzione applicato alle misure
- Da 5 a 15 metri con qualunque ricevitore utilizzato in modo autonomo
- Da 0.5 a 5 metri con ricevitori in misura relativa o differenziale (DGPS): misura di codice
- Precisione < 1cm con ricevitori in misura relativa o differenziale (DGPS): misura di fase

# Sistemi geostazionari

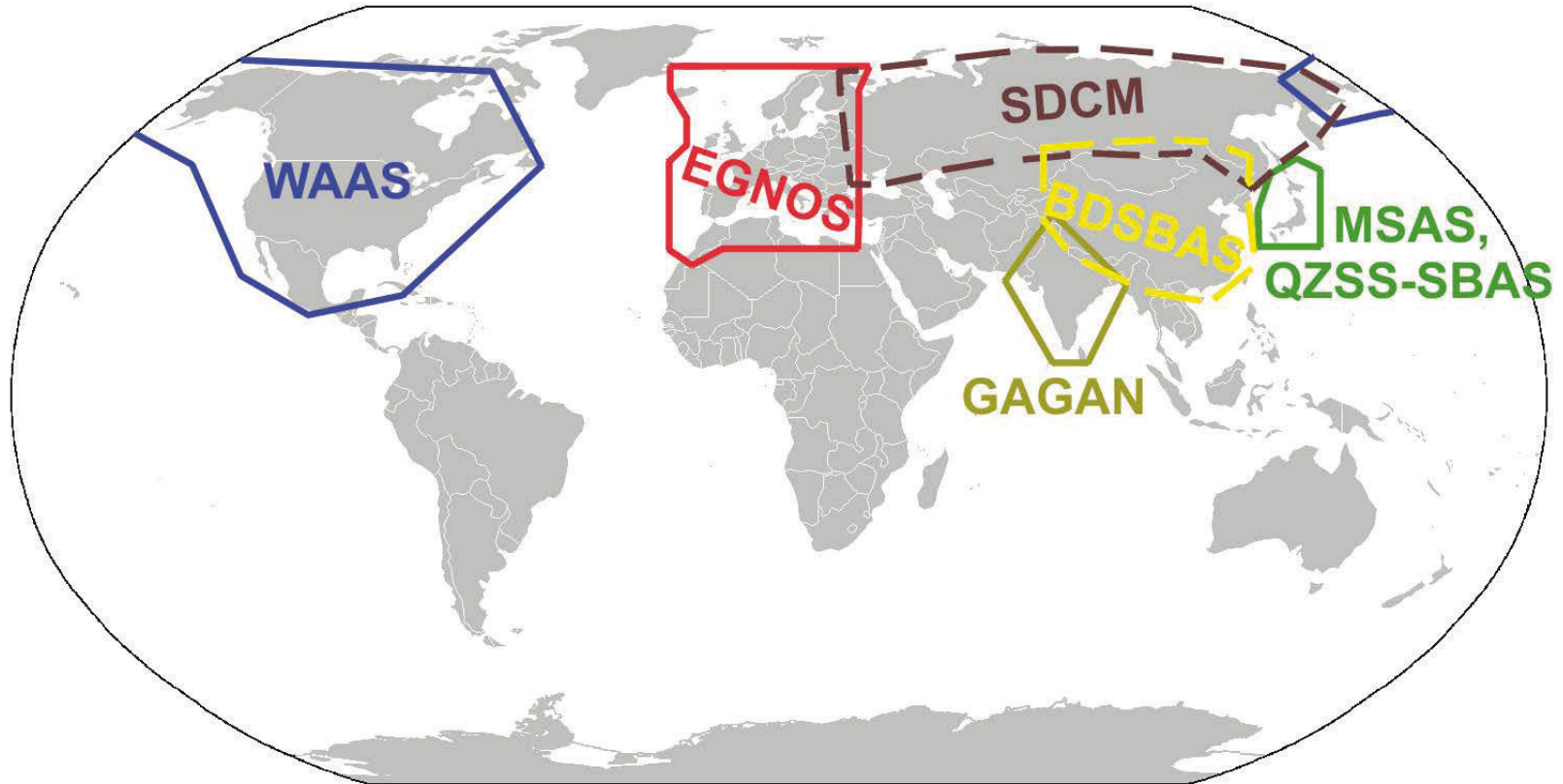
---

I sistemi basati su satelliti che ruotano assieme alla Terra coprendo sempre la stessa porzione di cielo vengono generalmente identificati con la sigla SBAS (satellite-based augmentation system).

Questi sistemi supportano vaste regioni attraverso l'uso di messaggi inviati attraverso satelliti.

Questi sistemi si compongono generalmente di stazioni di terra, localizzate in posizioni accuratamente determinate.

Le stazioni di terra hanno il compito di raccogliere le misure di uno o più satelliti GNSS. Attraverso queste misurazioni, i messaggi correttivi sono creati e inviati a uno o più satelliti geostazionari per essere ritrasmessi agli utenti.





- **Wide Area Augmentation System (WAAS):** sistema di integrazione del GPS supiattaforma satellitare (Satellite-Based Augmentation System, SBAS), sviluppato dalla Federal Aviation Administration per la radionavigazione, eccetto l'assistenza al volo durante le fasi che richiedono maggior precisione. Comprende 25 stazioni di riferimento a terra, 2 stazioni di controllo e 2 satelliti geostazionari
- **European Geostationary Navigation Overlay System (EGNOS):** sistema sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea, dalla Commissione europea e da EUROCONTROL, costituito da una rete di satelliti e basi terrestri, per incrementare l'accuratezza e l'integrità dei dati del sistema GPS per applicazioni critiche come l'aeronavigazione o la navigazione attraverso strette zone di mare

- **GPS Aided Geo Augmented Navigation o GPS and Geo Augmented Navigation system (GAGAN):** sistema satellitare di navigazione regionale progettato dal governo indiano, è stato progettato in 3 fasi nel 2008 con l'obiettivo di fornire un sistema di navigazione per tutte le fasi di volo sullo spazio aereo indiano e le aree adiacenti
- **Multi-functional Satellite Augmentation System (MSAS):** sistema giapponese atto a migliorare le prestazioni della localizzazione satellitare basata su GPS, migliorandone affidabilità e accuratezza, dichiarato operativo il 27 settembre 2007
- **GLONASS System for Differential Correction and Monitoring (SDCM):** omologo del WAAS sviluppato dalla Russia
- **Satellite Navigation Augmentation System (SNAS):** sviluppato dalla Cina.

# Egnos

- Consiste in tre satelliti geostazionari e in una rete di stazioni a terra
- Attivo dal Gennaio 2006
- Precisioni < 3m
- Satelliti (PRN) riservati al EGNOS sono dal 31 al 51



# GPSBRIANZA

ING. GIORGIO **MERONI** - ING. MARCO **TAGLIABUE**