



ITALIAN MARITIME ACADEMY
&
ITALIAN MARITIME ACADEMY TECHNOLOGIES
training center & nautical college

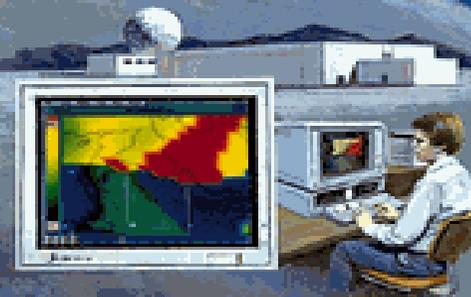


GNSS (Global Navigation Satellite System)

Ing. Salvatore Ponte

Dip. Ingegneria Industriale e dell'Informazione (DIII)

Seconda Università degli Studi di Napoli



(Almost) everything you always wanted to know about GPS... but were afraid to ask



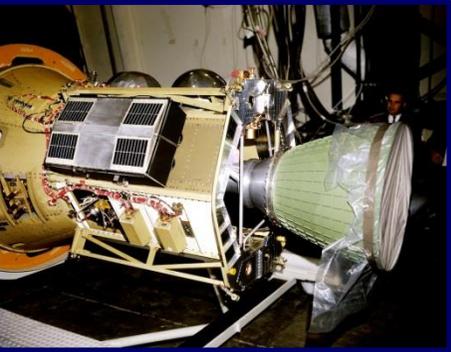
- Cos'è il GNSS? In cosa differisce dal (NAVSTAR) GPS?
- Quanti satelliti GPS sono attualmente operativi?
- Perché il numero minimo di satelliti per un fix è 3 (4 per una posizione 3D)?
- Perché sono a 20200 km di quota? Perché usano orologi atomici?
- Quali sono i principi fisici del GPS?
- Come si misurano le distanze satellite-ricevitore?
- Cosa ha a che fare Einstein col GPS?
- Come funziona il DGPS?
- Cosa sono le correzioni differenziali?
- Quanti altri sistemi satellitari PVT esistono?
- Qual è lo stato attuale di Galileo?
- Da dove viene l'idea di un sistema di posizionamento satellitare?

C'è spazio nello spazio?



- 1100 satelliti operativi, 2600 fuori uso (03/2014)
- Oldest in orbit: 1958, circa 100 satelliti/anno
- Tracking sites: www.satview.org, www.n2yo.com, science.nasa.gov/iSat
- 21 000 oggetti ≥ 10 cm
- 500 000 oggetti tra 1 e 10 cm

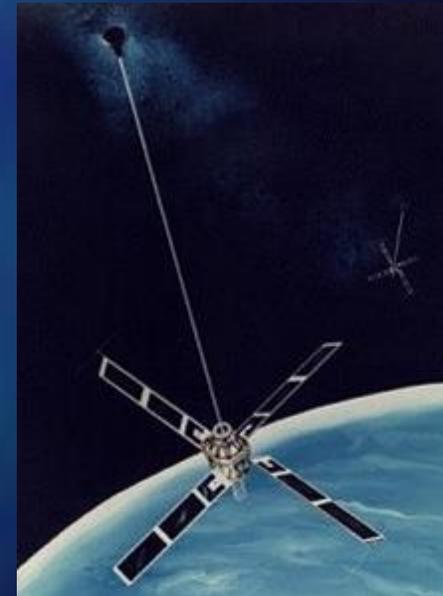
NAVSTAR GPS History



Timation



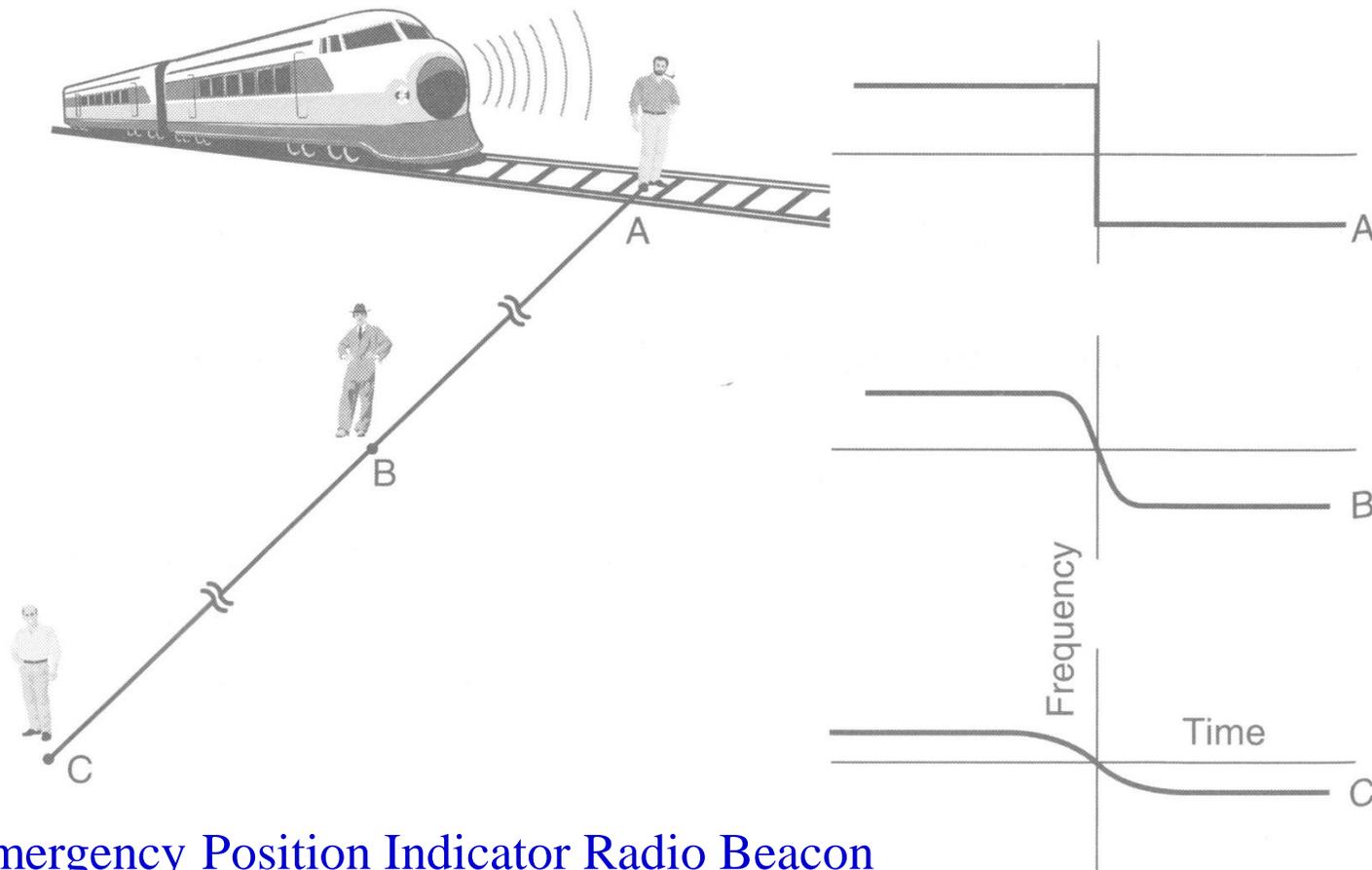
- Un "concetto" per soddisfare l'esigenza del ***posizionamento globale*** (spaziale e temporale), sviluppato dal DoD statunitense sin dal 1973. Predecessori: Transit (1964-1995), Timation (1964), 621B (1972).
- I "servizi" e i requisiti progettuali del NAVSTAR GPS:
 - Conoscenza della posizione 24 ore al giorno, ovunque.
 - Autonomia e invulnerabilità a disturbi, naturali o intenzionali.
 - Accuratezza di posizionamento orizzontale: 5-30 m.
 - Sicurezza militare (antijam, antispoof).
 - Costi contenuti, capacità utenti illimitata.
- Un sistema di radionavigazione satellitare, basato sulla ricezione di onde elettromagnetiche.



Transit

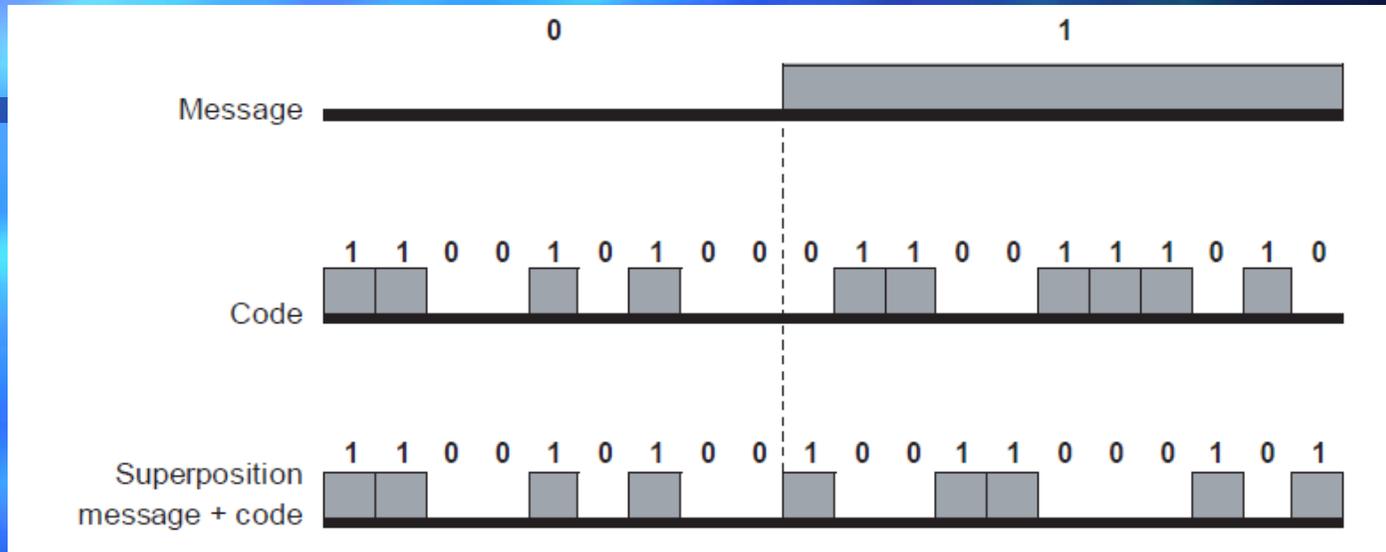
Doppler positioning: principio

(Transit, EPIRB* [LEOSAR, COSPAS-SARSAT])



**Emergency Position Indicator Radio Beacon

CDMA: principio



- Al messaggio di navigazione (50bps) è «sovrapposta» una sequenza pseudocasuale (C/A code, 1.023 Mbps). Durata del *chip*: 977 ns
- Per ogni bit del messaggio ci sono 20400 *chips* del codice C/A
- Ogni satellite genera univocamente la sua sequenza (PRN, Pseudo Random Noise)
- Il ricevitore moltiplica il segnale ricevuto per la sequenza PRN corretta ed allineata
- Le variazioni veloci spariscono, rimane il flusso dati «lento» (durata del *bit*: 20 ms)

I segmenti del sistema GPS



Il segmento di controllo

Cape Canaveral

Hona

Ascension

Diego Garcia

Colorado Springs
(MCS)

Hawaii

Kwajalein

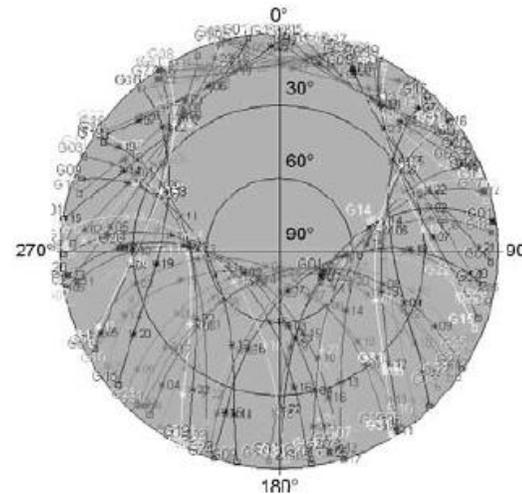
- **La Master Control Station (MCS) coordina il segmento di controllo, elaborando le informazioni raccolte dalle Ground Antennas delle 5 stazioni automatiche:**
 - **Tracking dei satelliti, calcolo della posizione "corretta" (effemeridi)**
 - **Aggiornamento (upload ai satelliti, ogni 4-8 ore) dei dati di navigazione**
 - **Stime degli errori degli orologi atomici a bordo**
 - **Stime degli errori di propagazione (atmosfera, ionosfera)**
 - **Compensazione di effetti relativistici, manovre orbitali correttive**
 - **Controllo dello stato di salute (health) della costellazione**

Segmento di controllo (dopo il 2005)

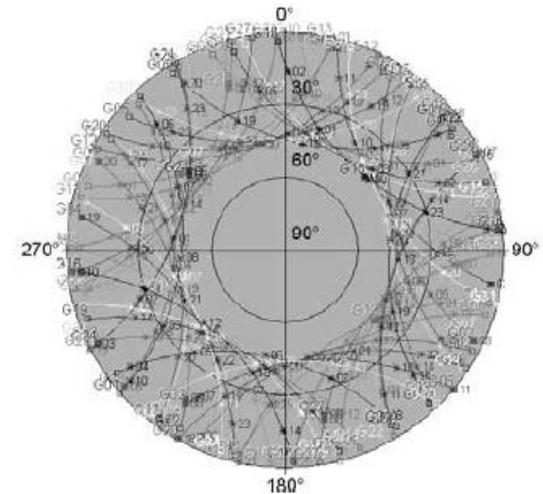


Skyplots: satelliti allo zenit

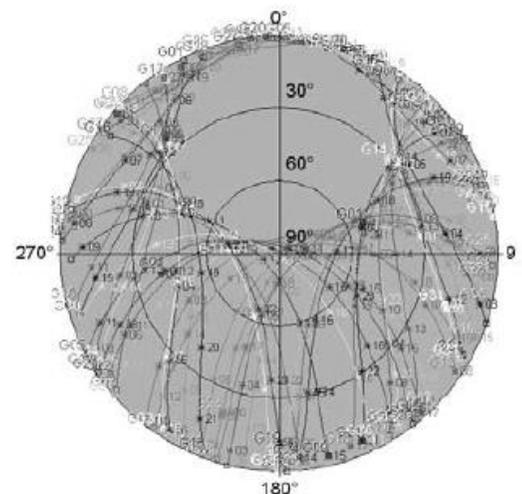
- Partendo da destra in basso (Taipei), e muovendosi in senso orario (latitudini crescenti), la costellazione apparente si muove verso sud.
- Per latitudini maggiori di 55° , non ci sono satelliti allo zenit.
- Ai poli ci sono molti satelliti in vista, ma bassi all'orizzonte.



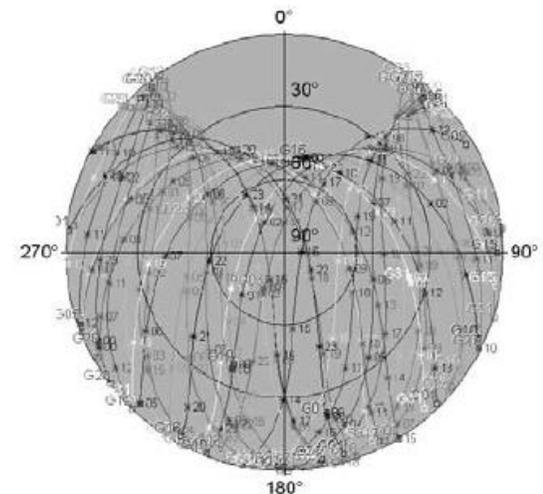
Tampere (61°N)



North Pole



London (51°N)



Taipei (25°N)

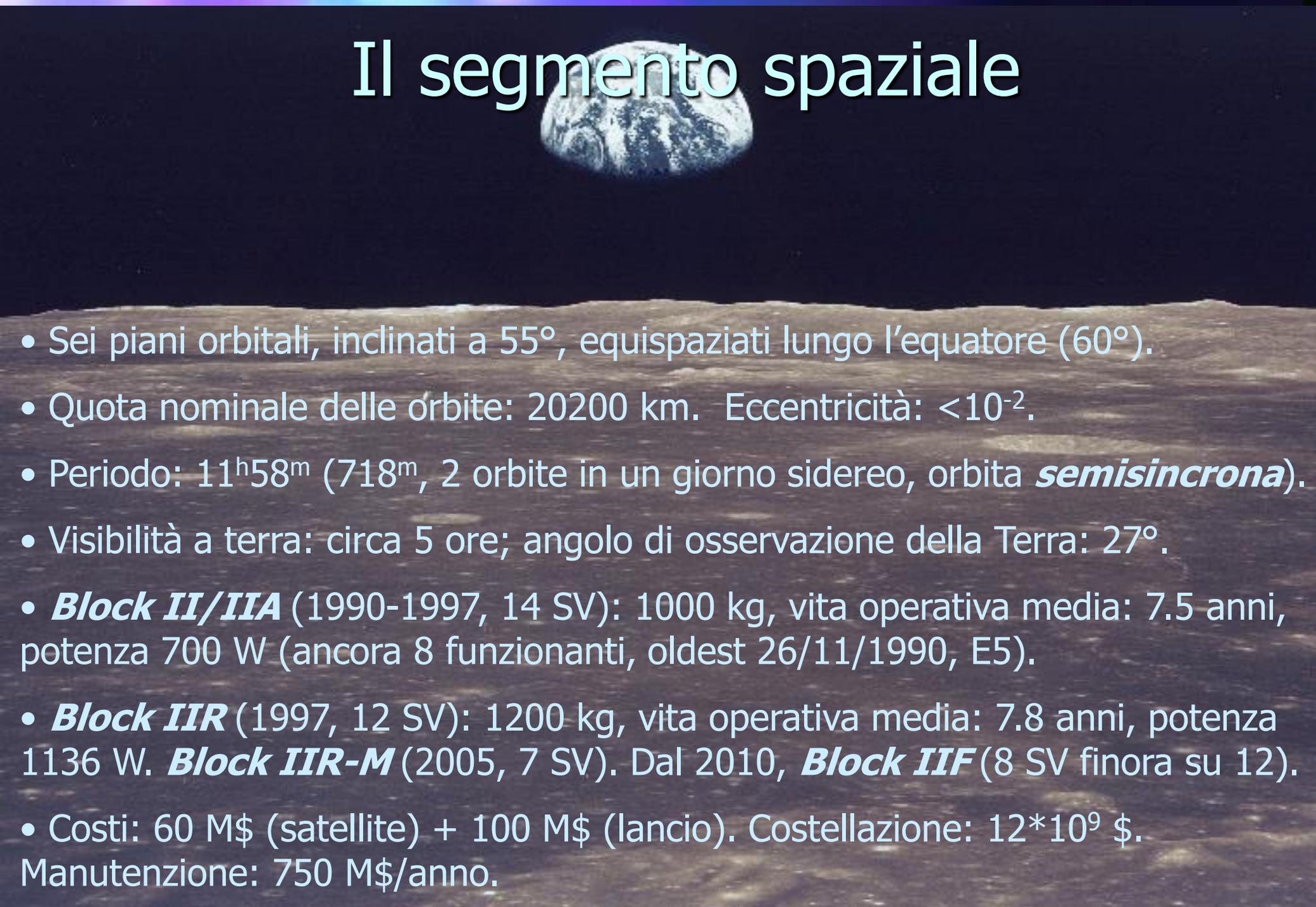
Il segmento spaziale



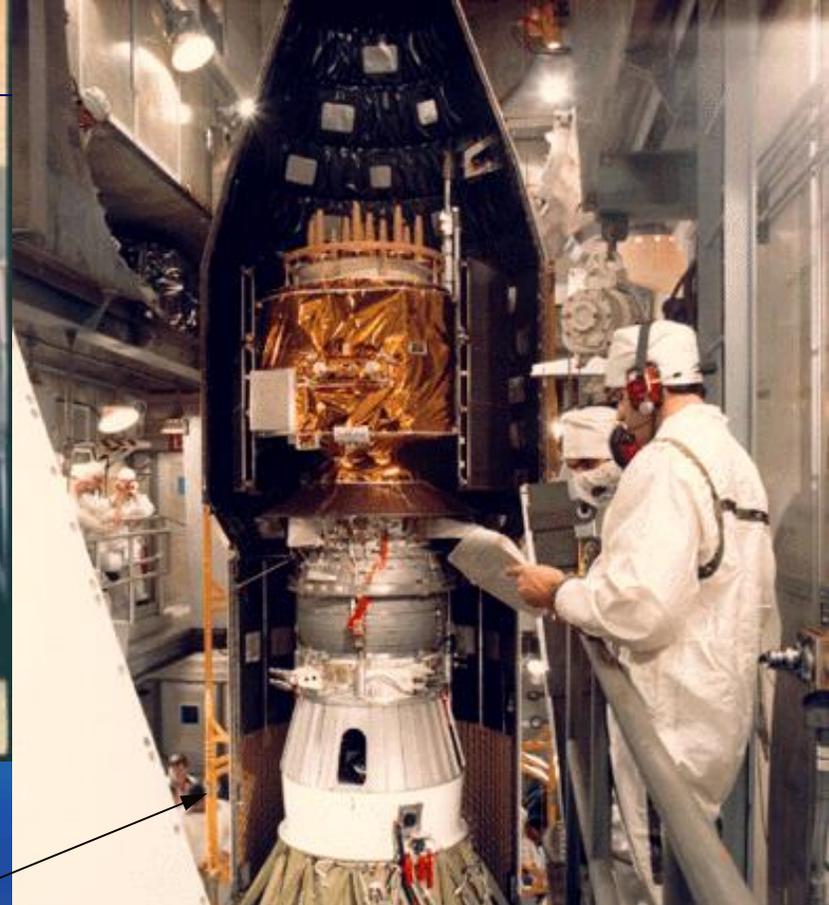
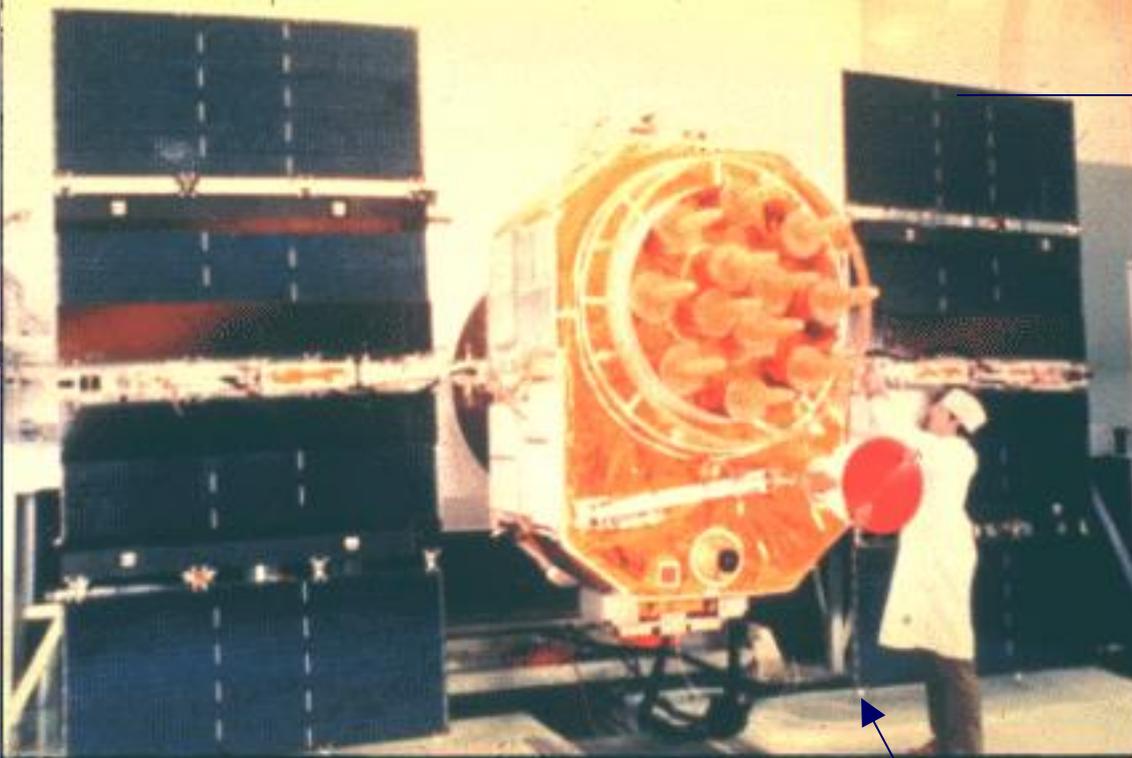
- Costellazione "nominale" di 24 satelliti (21+3). Al 1/2015 ci sono **31 satelliti** (30 operativi + 1 in *maintenance*). Ultimo lancio (GPS IIF-8, SVN69/PRN03): 29/10/2014, 13:21 ET (18:21 UTC).



Il segmento spaziale



- Sei piani orbitali, inclinati a 55° , equispaziati lungo l'equatore (60°).
- Quota nominale delle orbite: 20200 km. Eccentricità: $<10^{-2}$.
- Periodo: $11^{\text{h}}58^{\text{m}}$ (718^{m} , 2 orbite in un giorno sidereo, orbita ***semisincrona***).
- Visibilità a terra: circa 5 ore; angolo di osservazione della Terra: 27° .
- ***Block II/IIA*** (1990-1997, 14 SV): 1000 kg, vita operativa media: 7.5 anni, potenza 700 W (ancora 8 funzionanti, oldest 26/11/1990, E5).
- ***Block IIR*** (1997, 12 SV): 1200 kg, vita operativa media: 7.8 anni, potenza 1136 W. ***Block IIR-M*** (2005, 7 SV). Dal 2010, ***Block IIF*** (8 SV finora su 12).
- Costi: 60 M\$ (satellite) + 100 M\$ (lancio). Costellazione: $12 \cdot 10^9$ \$.
Manutenzione: 750 M\$/anno.



Block IIA

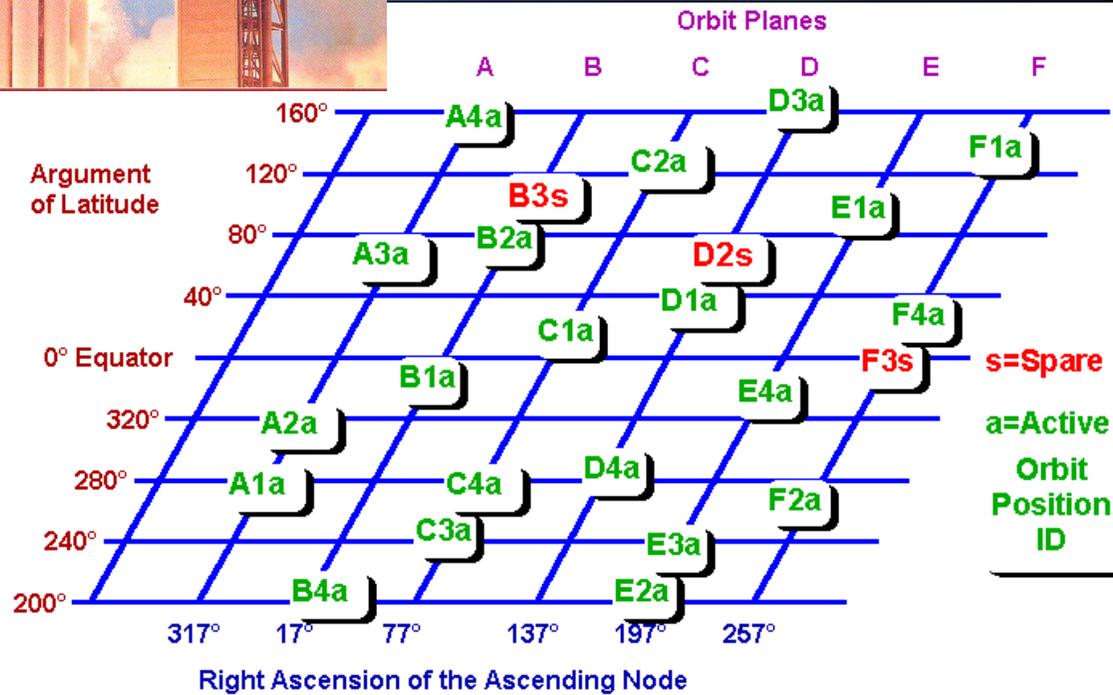
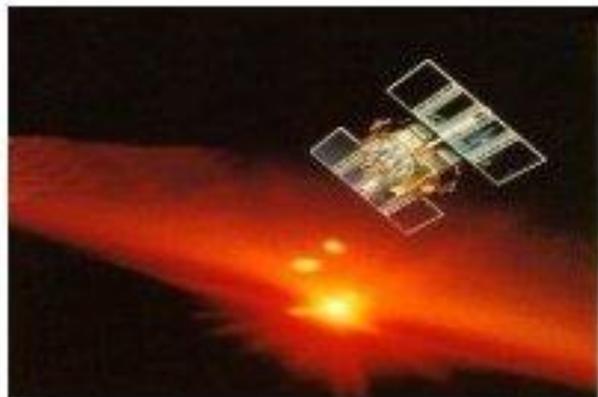
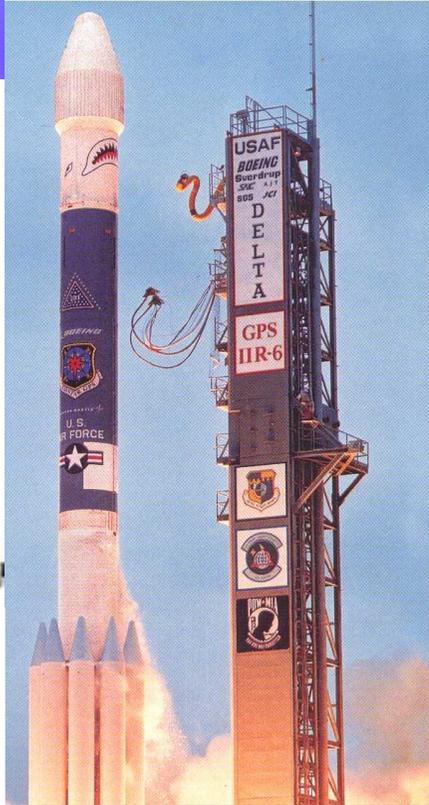


Block III (22 luglio 1997)

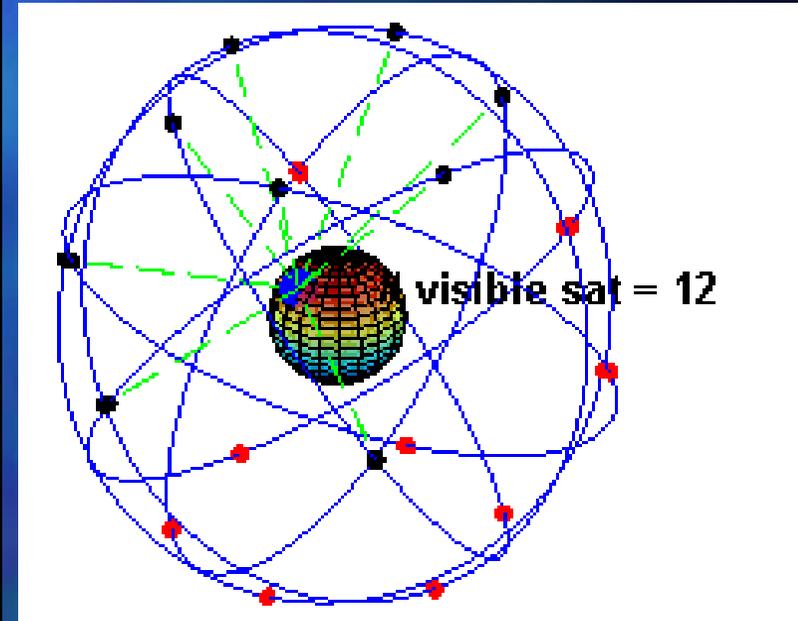
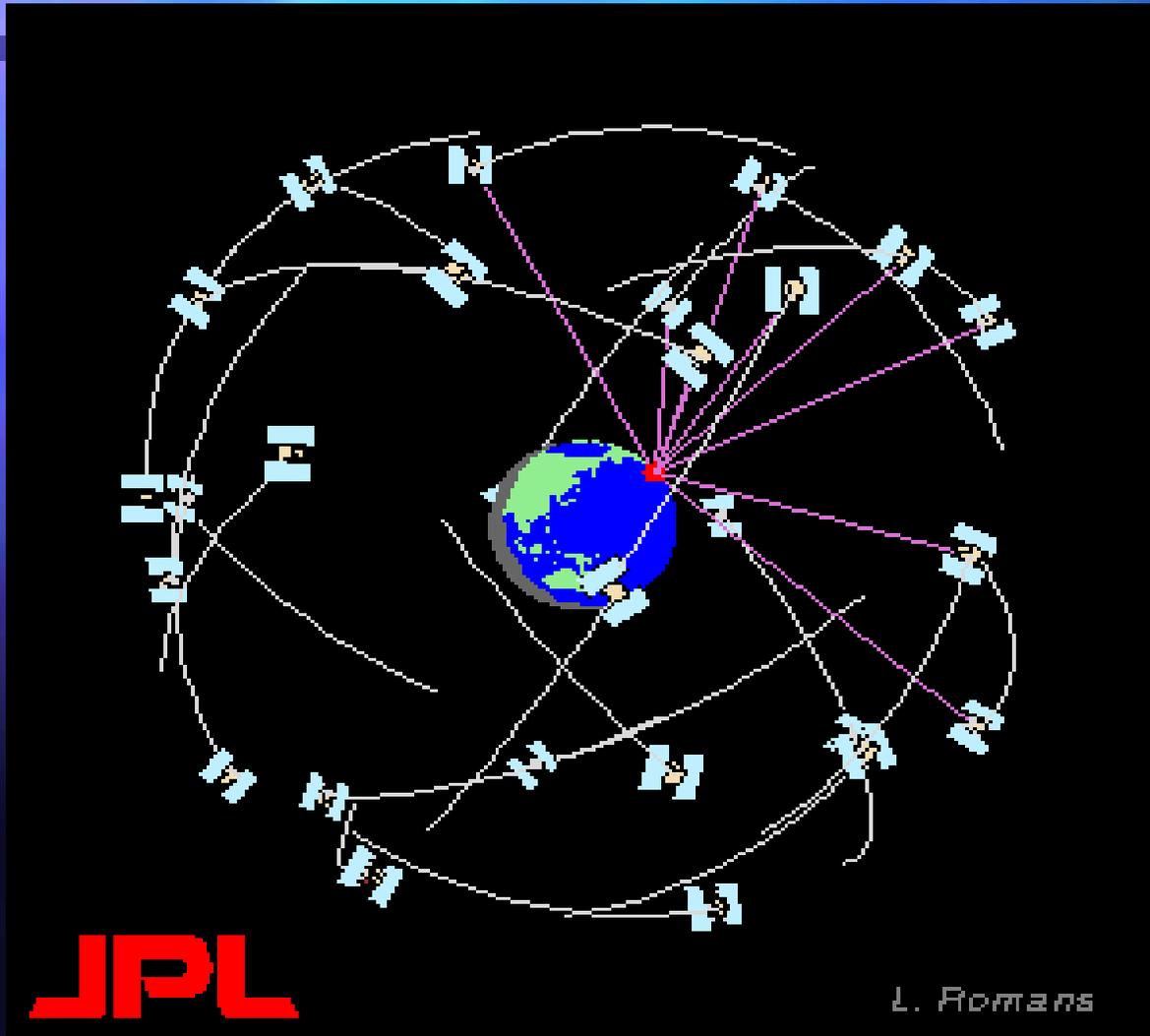


GPS IIF





La costellazione GPS



Il segmento d'impiego

Alcune case costruttrici:
Ashtech, Furuno, Honeywell,
Magellan, Novatel,
Garmin/Navteq, Leica,
Motorola, Trimble, Rockwell,
Mio Technologies



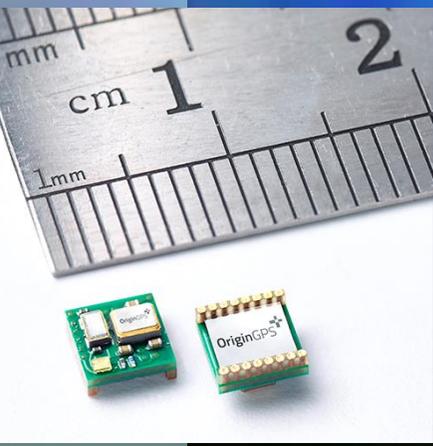
Ricevitori GPS, GPS+GLONASS (100-3000€)

OEM (30-300€)

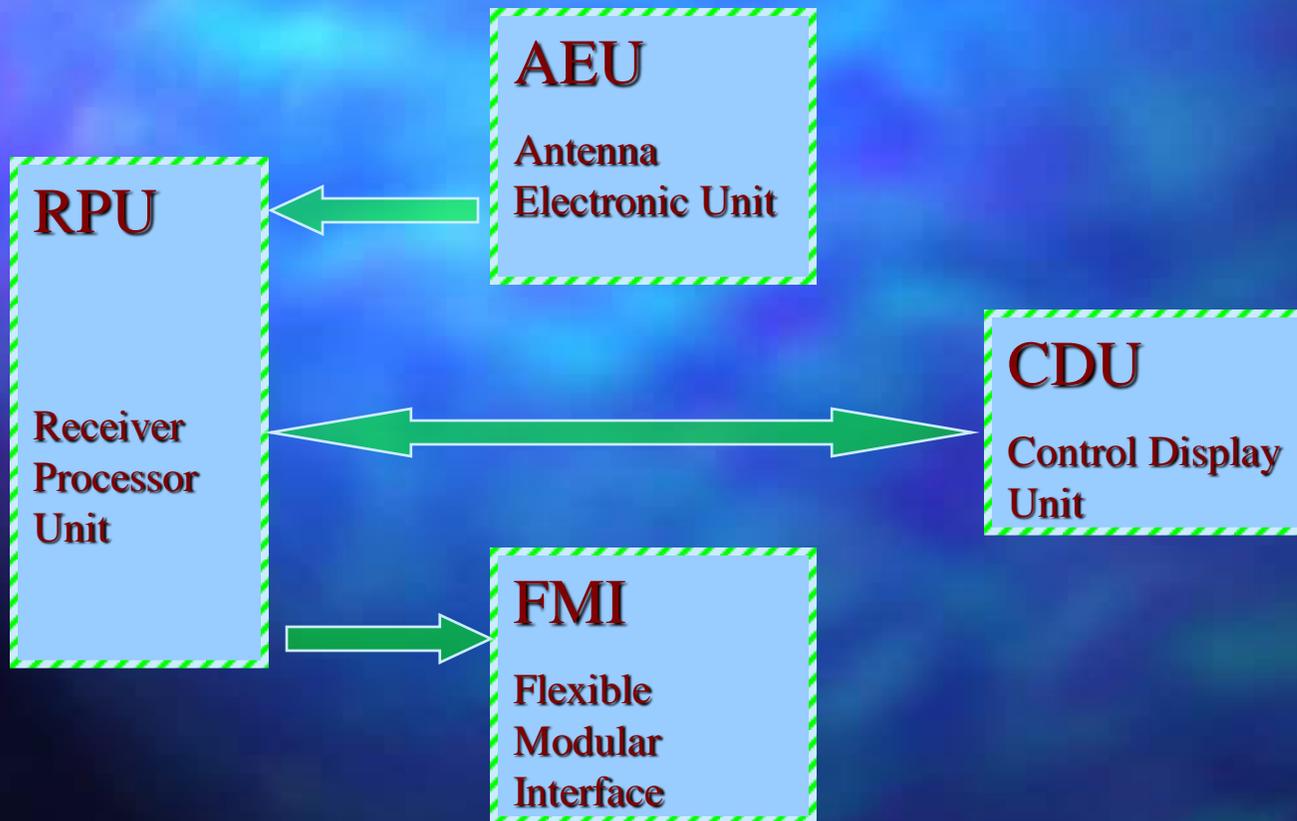
Ricevitori geodetici (>5000€)

GPS/GSM/3G (<500€)

Car Navigators (100-600€)

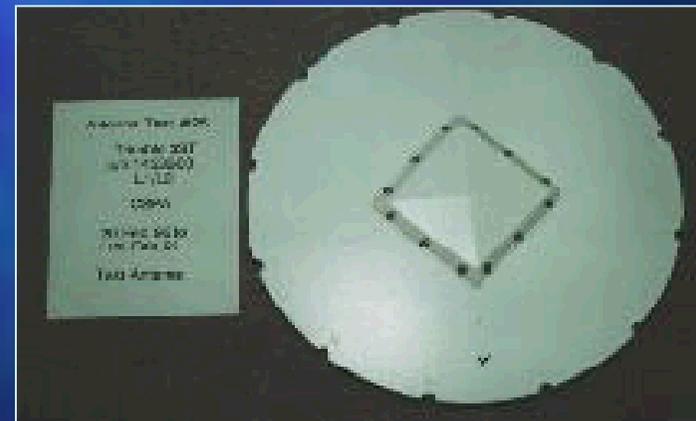
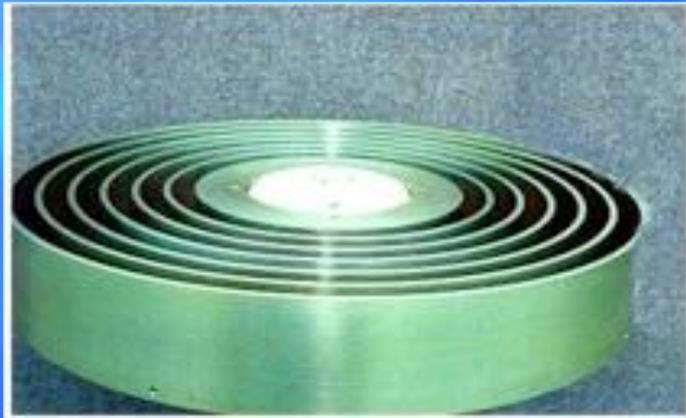


Schema a blocchi di un ricevitore GPS



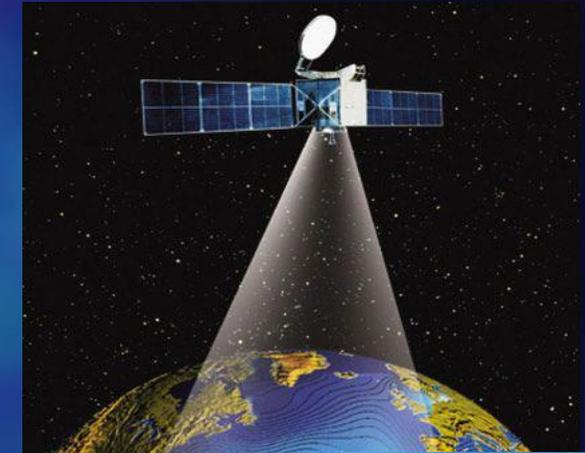
Ricevitore radio sintonizzato sulle frequenze GPS (L1, L2), dotato di sistemi di decodifica ed elaborazione dei segnali ricevuti e di una memoria per l'immagazzinamento dei dati.

Antenne tipiche di un ricevitore GPS

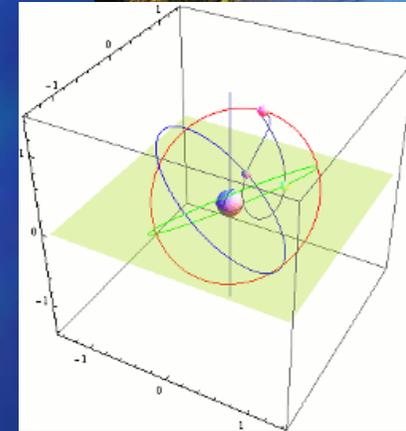


Futuri sistemi di posizionamento (GNSS-2)

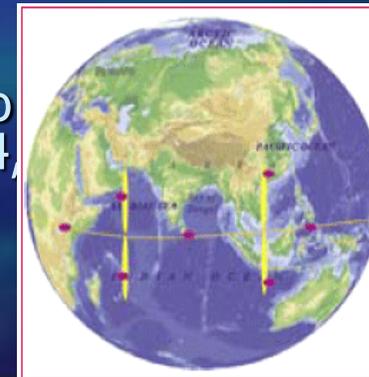
- Cina: **BeiDou-1** (*Big Dipper*). Tre GEO (Ott/Nov. 2000+Mag. 2003), un MEO a 21500 km. Informazioni di posizionamento sull'area cinese e su regioni vicine. **BeiDou-2** (o *Compass*), un sistema a copertura globale con una costellazione di 35 satelliti (5 GEO+30, il primo è stato lanciato nell'Aprile 2007). E' un sistema attivo (trasmissione *dual-way*). Accuratezza ≈ 10 m. Operativo in Cina dal Dic. 2011 (10 satelliti). Completamento 2020.



- Giappone: **QZSS** (*Quasi-Zenith Satellite System*). Tre GSO, $a=42164$ km, $i=43\pm 4^\circ$, almeno uno è sempre visto dal Giappone ad un'elevazione di circa 70° . Servizi video, audio, dati, e di posizionamento, con un segnale simile al GPS. *Augmentation* del GNSS. Il lancio del primo satellite è stato effettuato nel 2009. Completamento entro fine 2017.



- India: **IRNSS** (*Indian Regional Navigation Satellite System*). La costellazione prevista è di 7 satelliti (primo lancio, IRNSS-1A, a luglio 2013, IRNSS-1B il 4/04/2014, IRNSS-1C il 16/10/2014), tre GEO, quattro GSO. Piena funzionalità prevista per metà 2015, accuratezza di posizionamento 20 m. Il segnale è compatibile col segnale GPS.



Come funziona il GPS?

- Misura di distanze (one-way ranging)
- Trilaterazione
- Trasmissione di codici "univoci" dal satellite
- Ricezione (passiva) del segnale satellitare
- Misura del tempo di propagazione τ
- Calcolo della distanza: $R=c\tau$ ($c\sim 300.000$ km/s)



Posizionamento GPS: geometria di osservazione e problematiche

1. Il ricevitore misura la distanza (*range*) dal satellite usando il segnale ricevuto

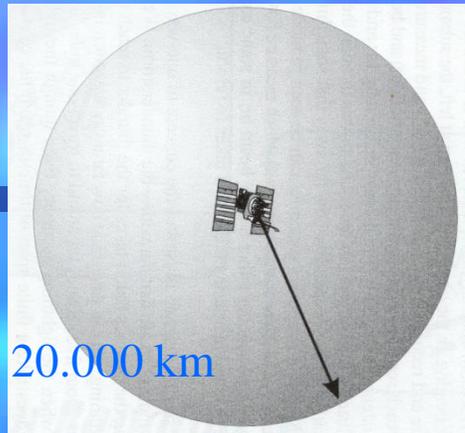
2. Il calcolo del tempo di propagazione richiede misurazioni *accurate e precise*

3. La posizione di ogni satellite è ricavata dal Messaggio di Navigazione (NAV MSG)

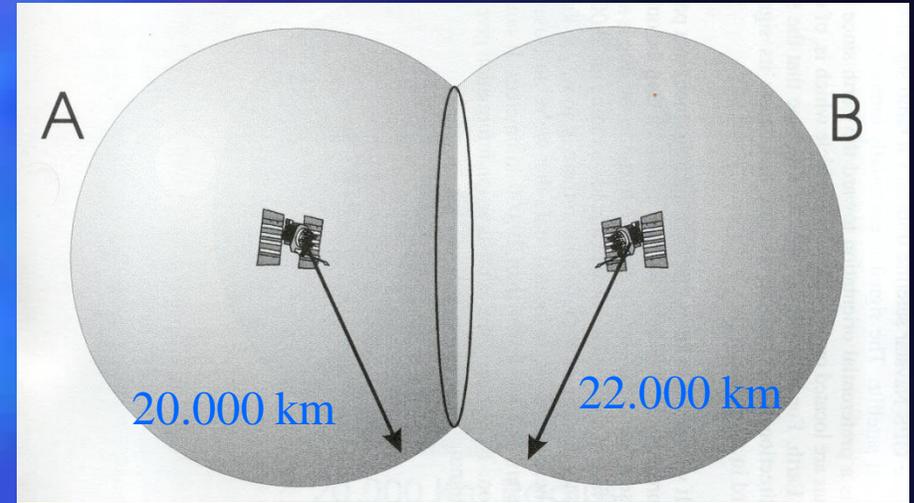
4. Il segnale del satellite (SIS, *Signal In Space*) subisce ritardi “imprevisti” propagandosi nella ionosfera e nell’atmosfera

Il posizionamento GPS si basa sulla **trilaterazione**

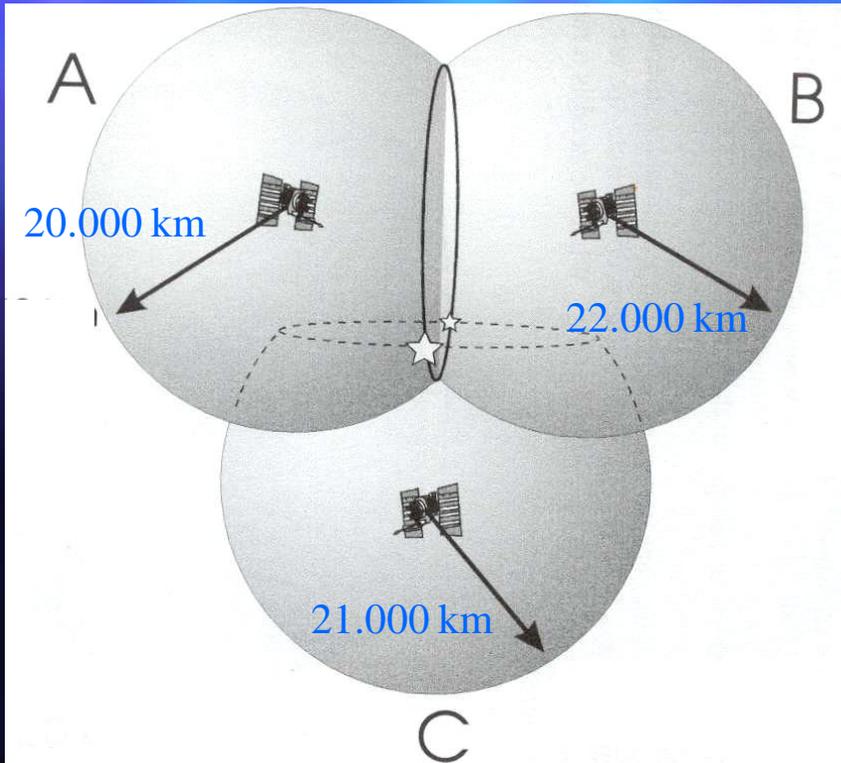
Step 1: Trilaterazione



Una misura di distanza: ambiguità sferica



Due misure di distanza: ambiguità circolare



- Tre misure di *range*: la posizione è in uno dei due punti (intersezione di tre sfere).
- Ambiguità facilmente rimovibile.
- Inizializzazione del ricevitore con posizione approssimata (entro 500 km).
- Sono necessarie però 4 misure di *range*!

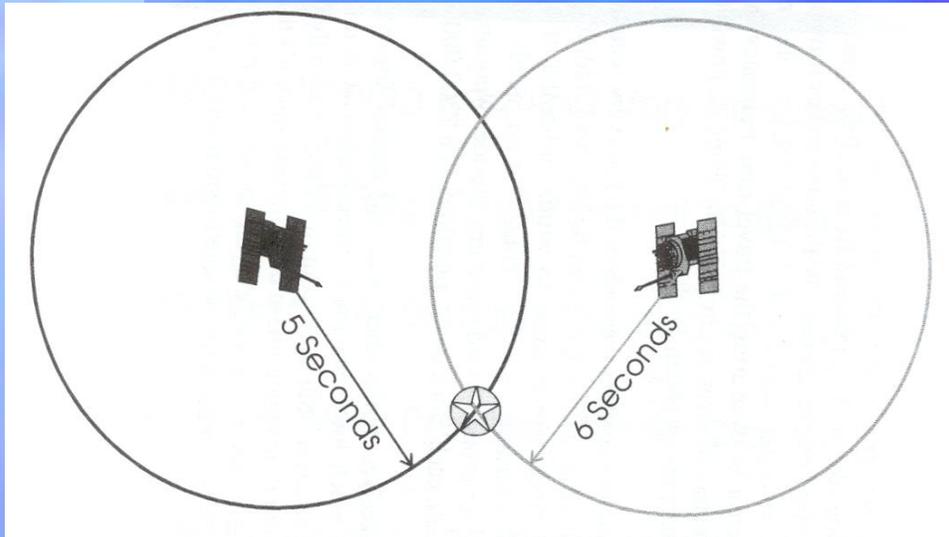
Step 2: Misura della distanza



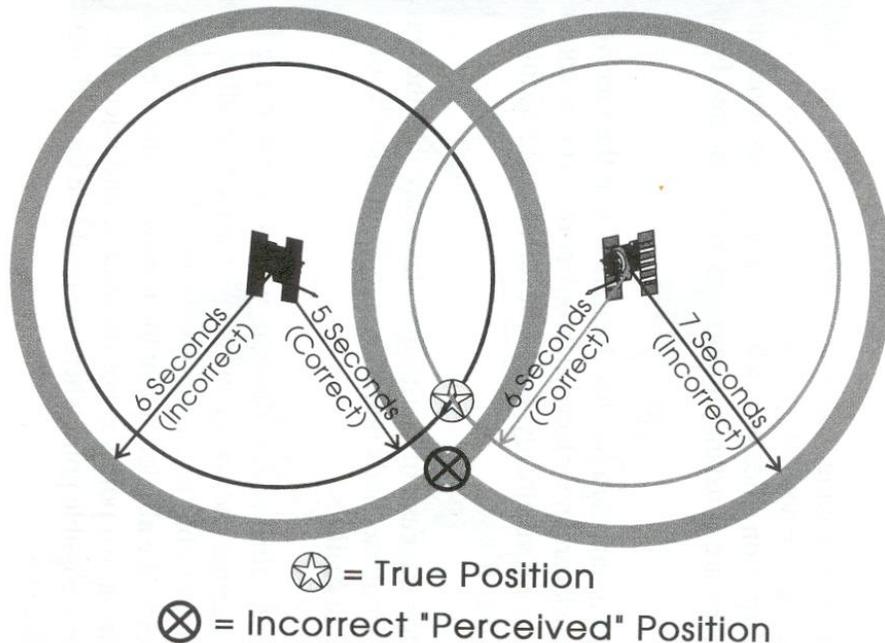
- *Range*: proporzionale al TOA (*Time Of Arrival*) del segnale GPS.
- Necessari orologi accurati e precisi per misurare il TOA.
- Il tempo di propagazione del segnale da un satellite allo zenith è circa 0.06 secondi.
- Il TOA è la differenza tra l'istante di partenza dal satellite e l'istante di arrivo a Terra, misurato con l'orologio del ricevitore **sincronizzato** con quello del satellite.
- Sincronizzazione? Magari!



Distanza e tempo: caso 2D



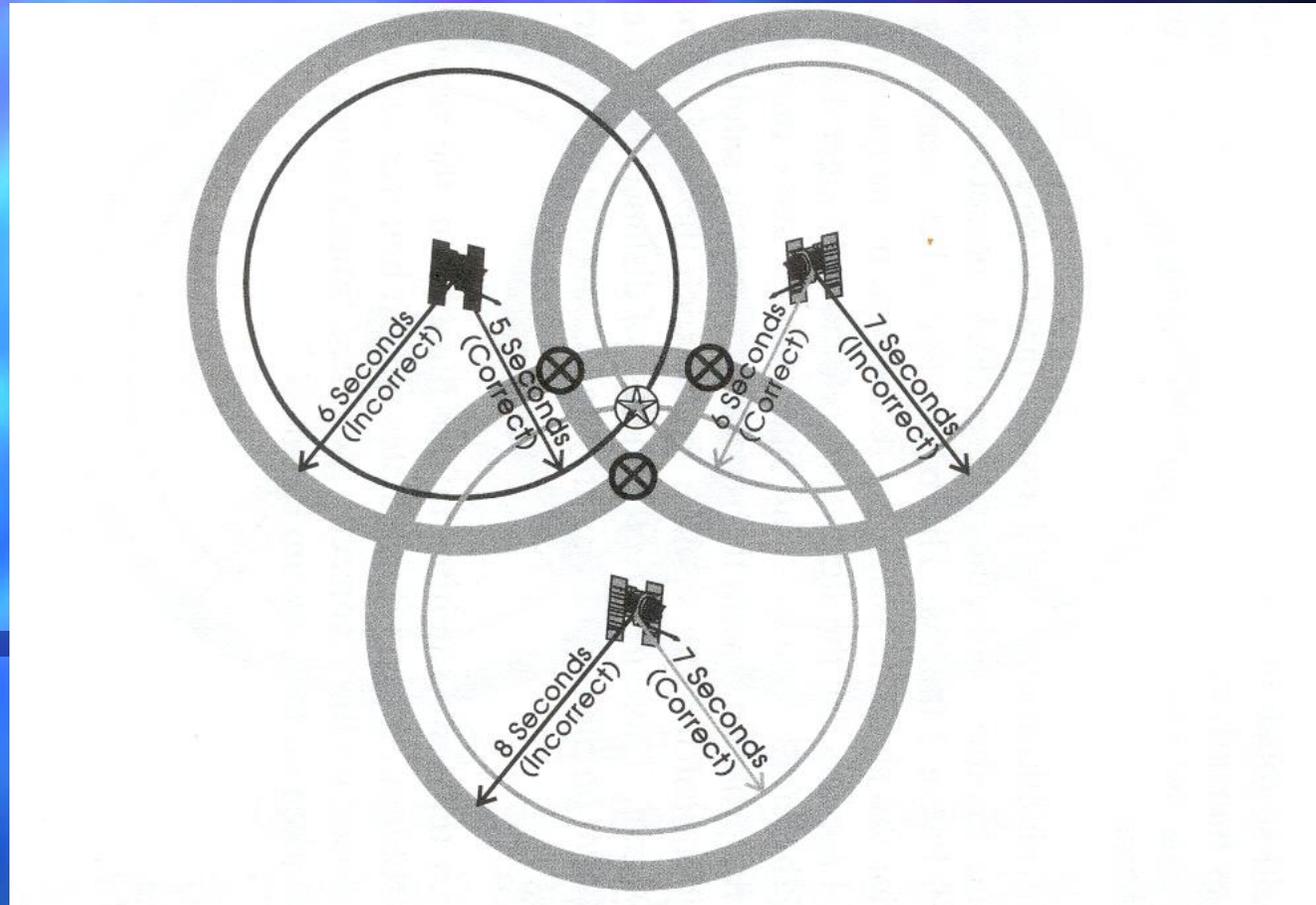
Orologi a bordo “perfetti” (ragionevole), sincronizzazione con orologio utente (non ragionevole). TOA in secondi, ambiguità (2 punti) rimossa dal ricevitore.



L'orologio dell'utente è “avanti” di 1 secondo (l'ora “vera” è, ad es., 17:35:59, l'ora “letta” è 17:36:00). L'utente “crede” che i satelliti siano più lontani, e le “sfere” equirange non sono corrette.

L'utente non “vede” il problema, e calcola una posizione sulla base delle sue misure di tempo.

Tre satelliti per la posizione "giusta" (2D)



Con 3 misure di tempo, se l'orologio dell'utente "sbaglia" (*user clock bias*), non c'è più intersezione fra le tre "sfere". Il ricevitore è in grado di capire che c'è un errore nel suo orologio, e lo "aggiusta" fino a quando le tre "sfere" si intersecano. (Algoritmi, soluzioni algebriche/minimi quadrati). In 3D, sono quindi necessari 4 satelliti (4 misure di *range*).

I due servizi di posizionamento GPS

A GPS satellite is shown in orbit above the Earth. The satellite has a yellow body and two large solar panel arrays extending outwards. The Earth's blue and white surface is visible in the background.

■ *SPS*: Standard Positioning Service

Accuratezza planimetrica: 5-30 m

Accuratezza altimetrica: 30-60 m

Accuratezza temporale: 167 ns

■ *PPS*: Precise Positioning Service

Accuratezza planimetrica: 3-20 m

Accuratezza altimetrica: <30 m

Accuratezza temporale: 100 ns

Il segnale GPS

Ogni satellite trasmette il suo *ranging signal* usando due portanti multiple di una frequenza “fondamentale” $f_0=10.23$ MHz:

L1 @ $154f_0=1575.42$ MHz L2 @ $120f_0=1227.60$ MHz

Le portanti sono modulate (BPSK) con due codici pseudocasuali (PRN, PseudoRandom Noise) univoci (ogni satellite trasmette i suoi codici):

Codice C/A (Coarse/Acquisition) (su L1), 1.023 Mbps

Codice P (Precise, o Protected) (su L1 e L2), 10.23 Mbps

Infine, un **Messaggio di Navigazione** (NAV MSG) a 50 bps,
con le “informazioni di stato”.

L1 CARRIER 1575.42 MHz



L1 SIGNAL

C/A CODE 1.023 MHz



NAV/SYSTEM DATA 50 Hz



P-CODE 10.23 MHz



L2 CARRIER 1227.6 MHz



L2 SIGNAL

GPS SATELLITE SIGNALS



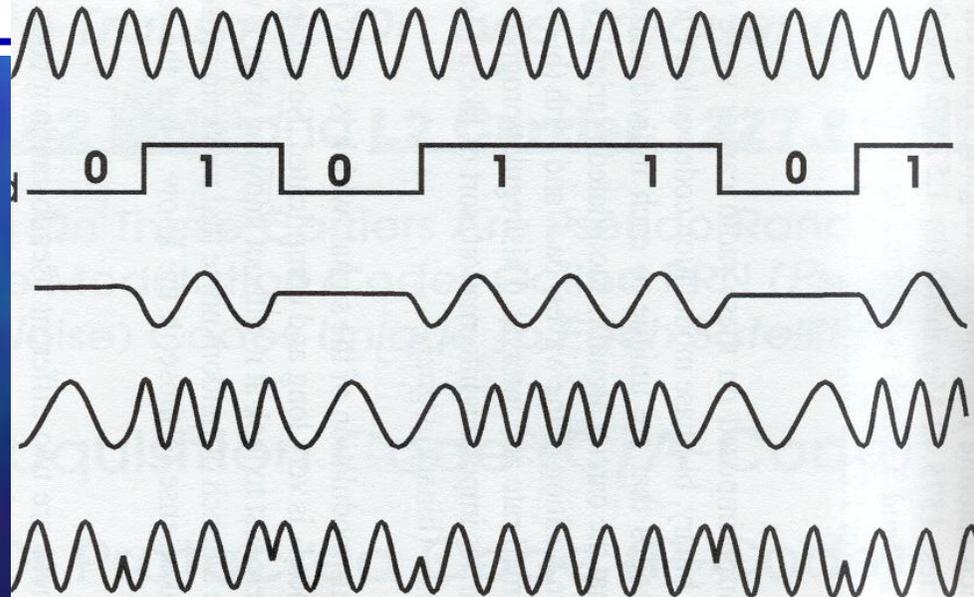
Onda portante (L1 o L2)

Segnale binario (modulante)

Portante modulata AM

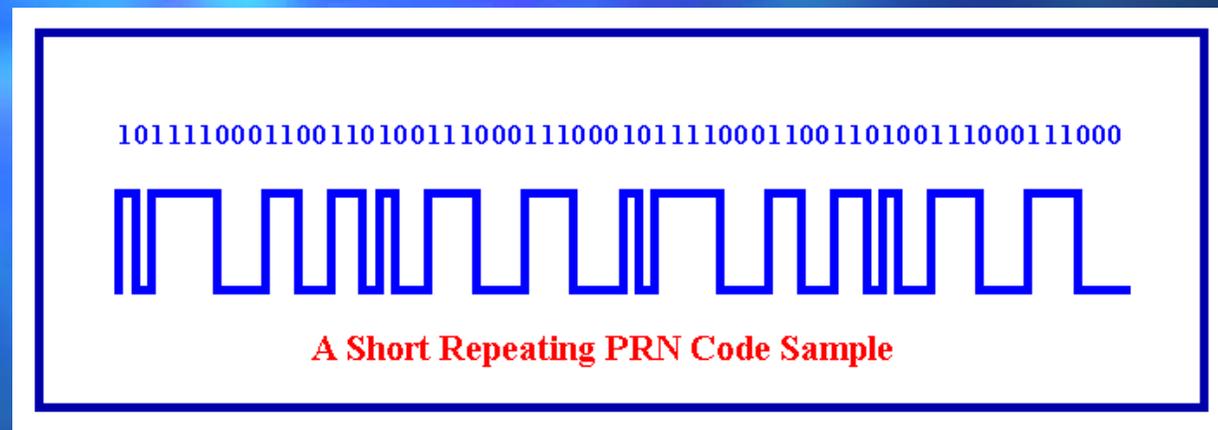
Portante modulata FM

Portante modulata BPSK



Codici Pseudocasuali (PRN)

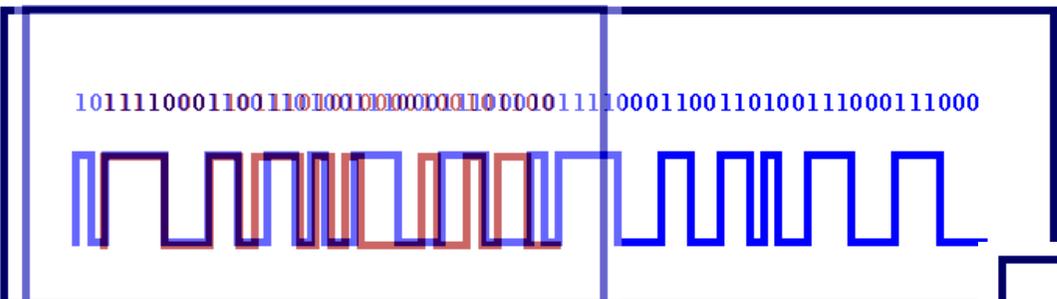
- Codice C/A (Coarse/Acquisition): una sequenza periodica di 1023 *chips*, ripetuta ogni millisecondo. *Chip rate*: 1.023 MHz. Servizio di posizionamento associato: SPS. Durata del *chip*: 977 ns.



- Codice P (Precise): una sequenza periodica di milioni di *chips*, ripetuta ogni 267 giorni, troncata ad una settimana. *Chip rate*: 10.23 MHz. Servizio di posizionamento associato: PPS. Durata del *chip*: 97.7 ns.

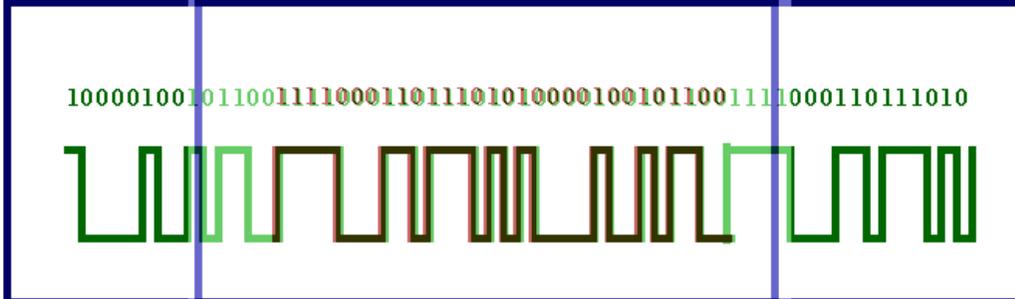
Misura della distanza dal codice PRN

- Il ricevitore "conosce" il codice del satellite che sta ricevendo
- Genera una replica esatta del codice PRN
- Misura il "ritardo di codice" (*lag time*) necessario al riallineamento (correlazione). Non ci sono correzioni sul *clock bias*: PSEUDORANGE.



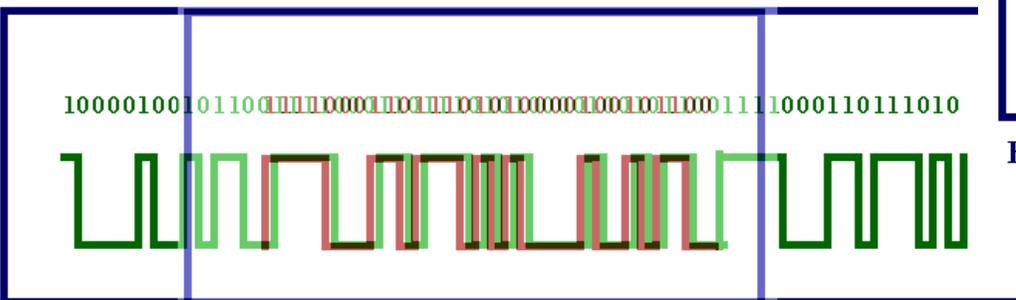
1011110001100110100100000000100000111100011001100110100111000111000

No Correlation with a Different PRN Code



100001001011001111000110111010100001001011001111000110111010

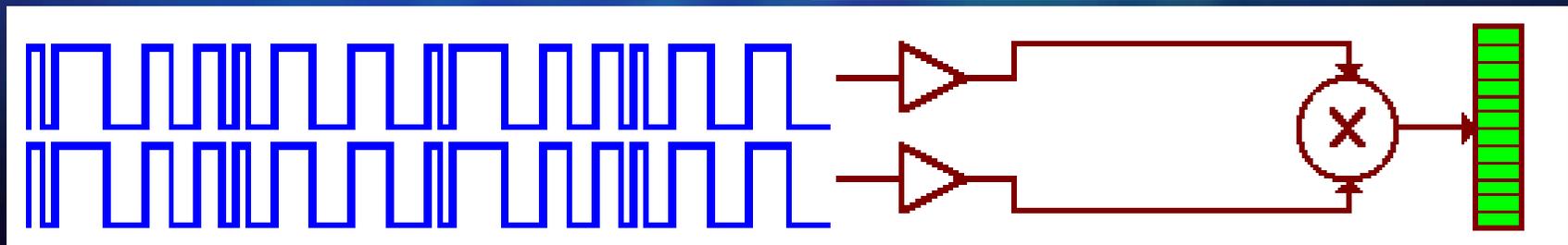
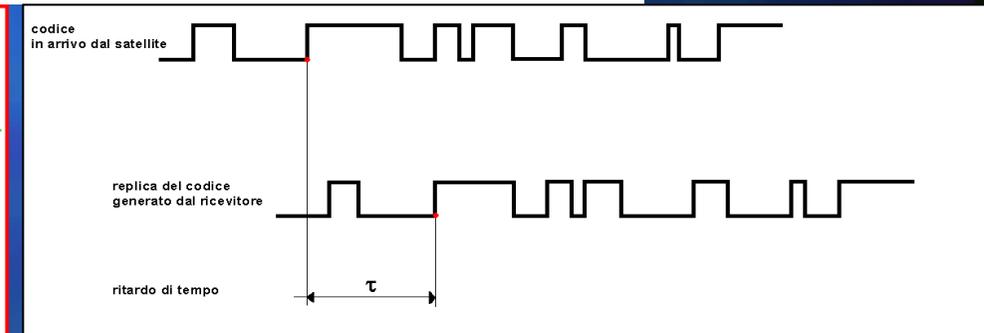
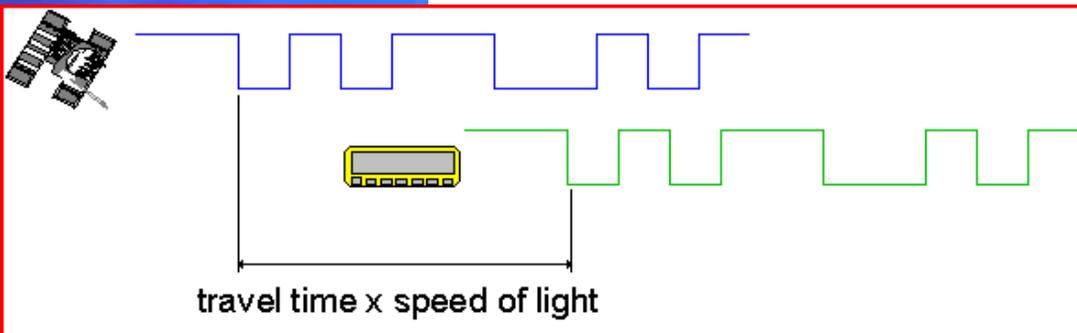
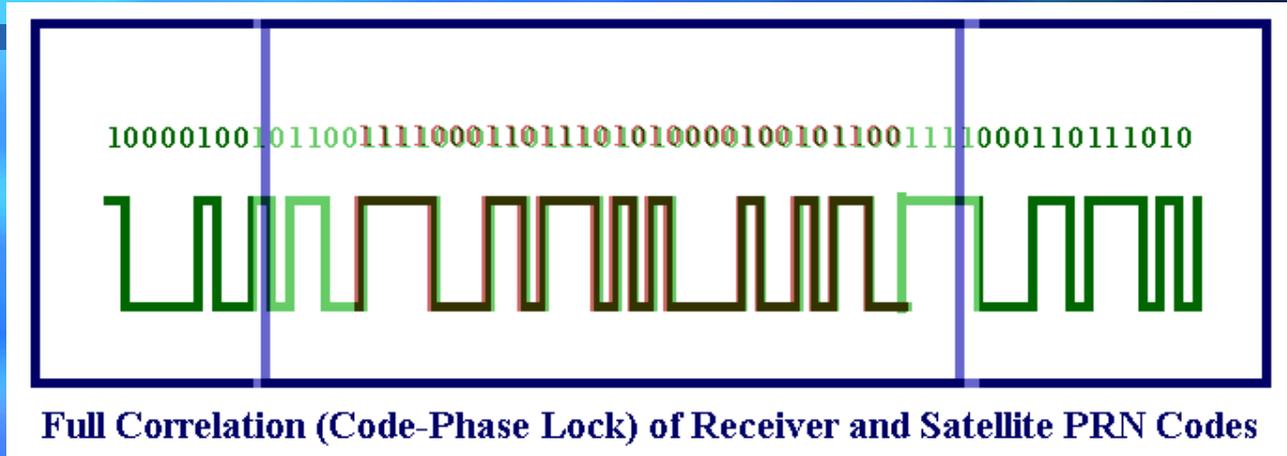
Full Correlation (Code-Phase Lock) of Receiver and Satellite PRN Codes



100001001011001111000110111010100001001011001111000110111010

Partial Correlation of Identical Receiver and Satellite PRN Codes

Misura della distanza come correlazione del codice PRN



Ma... dove sono i satelliti?

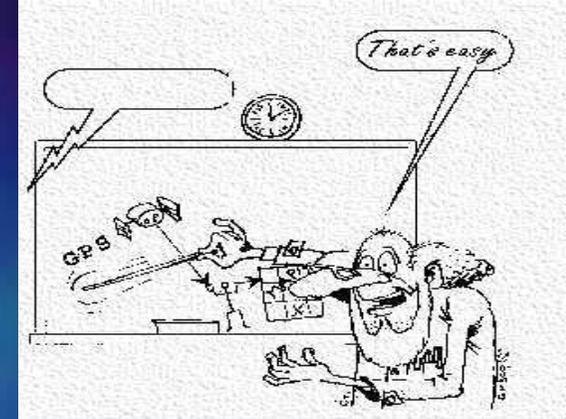
- Le misure di distanza sono scalari: è necessario sapere anche dove sono i satelliti (il centro delle sfere di posizione) nell'istante di "partenza" del segnale
- Orbite stabili e predicibili
- Correzioni ai parametri orbitali (effemeridi) aggiornate dalla MCS
- Ogni satellite invia dati sulla sua posizione e correzioni del suo orologio (nel NAV MSG)
- Quattro incognite: (tre coordinate dell'utente, il *clock bias*). Quattro equazioni, quattro termini noti (*pseudoranges*)

Intersection of Pseudo-Ranges
from Receiver to 3 Satellites

GPS, GLONASS e il tempo

- Tempo **UTC** (*Universal Time Co-ordinated*). Basato su osservazioni astronomiche, è in costante aggiornamento. *Leap seconds* (secondi intercalari) per compensare discordanze nelle osservazioni. L'ultimo è stato inserito a mezzanotte del 30 giugno 2012.
- Tempo **GPS**: ha origine il 6 gennaio 1980 (0:00 UTC). Non coincide col tempo UTC a causa dei *leap seconds*: ad oggi la differenza tra le due scale di tempo è **16 secondi**, con il tempo GPS **in anticipo** rispetto all'UTC.
- $|t_{\text{GPS}} - t_{\text{IS}} - t_{\text{UTC}}| < 1 \text{ ms.}$
- Tempo **GLONASS**: il sistema temporale di riferimento è il tempo di Mosca. L'inizio dell'epoca di riferimento GLONASS non è noto.
- $t_{\text{GLONASS}} = \text{UTC}_{\text{SU}} + 03 \text{ h } 00 \text{ m}$

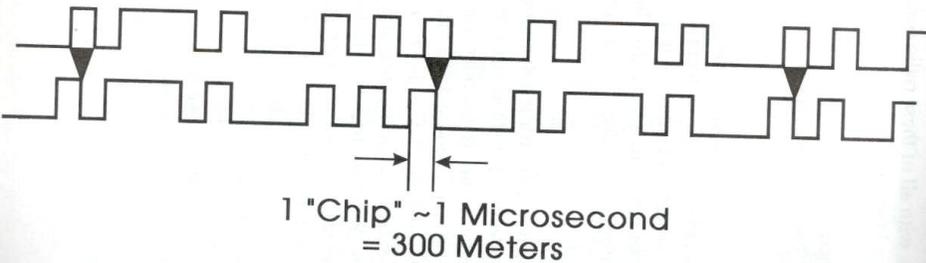
Riepilogando



- La distanza tra ricevitore e satellite è determinata dalla misura del tempo di propagazione di un segnale associato ad un'onda elettromagnetica.
- La misura viene fatta dal ricevitore GPS, che, inizialmente, assume che il suo orologio e quello del satellite stiano generando le stesse sequenze, o codici, PRN con la stessa **base dei tempi**.
- Dal confronto tra il "ritardo" del codice PRN ricevuto, rispetto a quello generato internamente al ricevitore, si può calcolare il tempo τ (TOA) impiegato dal codice a raggiungere l'antenna del ricevitore GPS.
- Moltiplicando τ per la velocità di propagazione della luce, si ottiene una distanza scalare: $R=c \tau$.
- E' una pseudodistanza, perché è necessario sapere dove si trova il satellite (tempo "assoluto"), e l'orologio del ricevitore è "fuori sincrono".

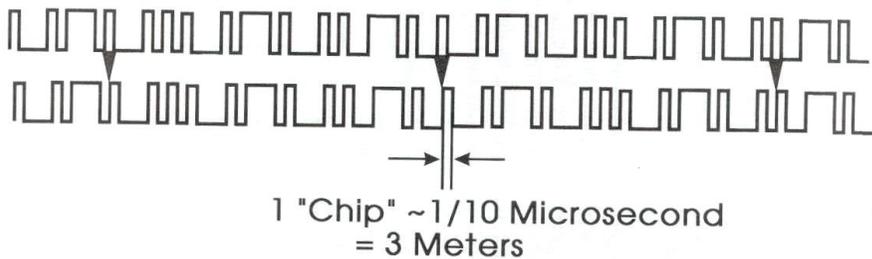
Code-phase positioning e risoluzione

C/A Code 1.023MHz

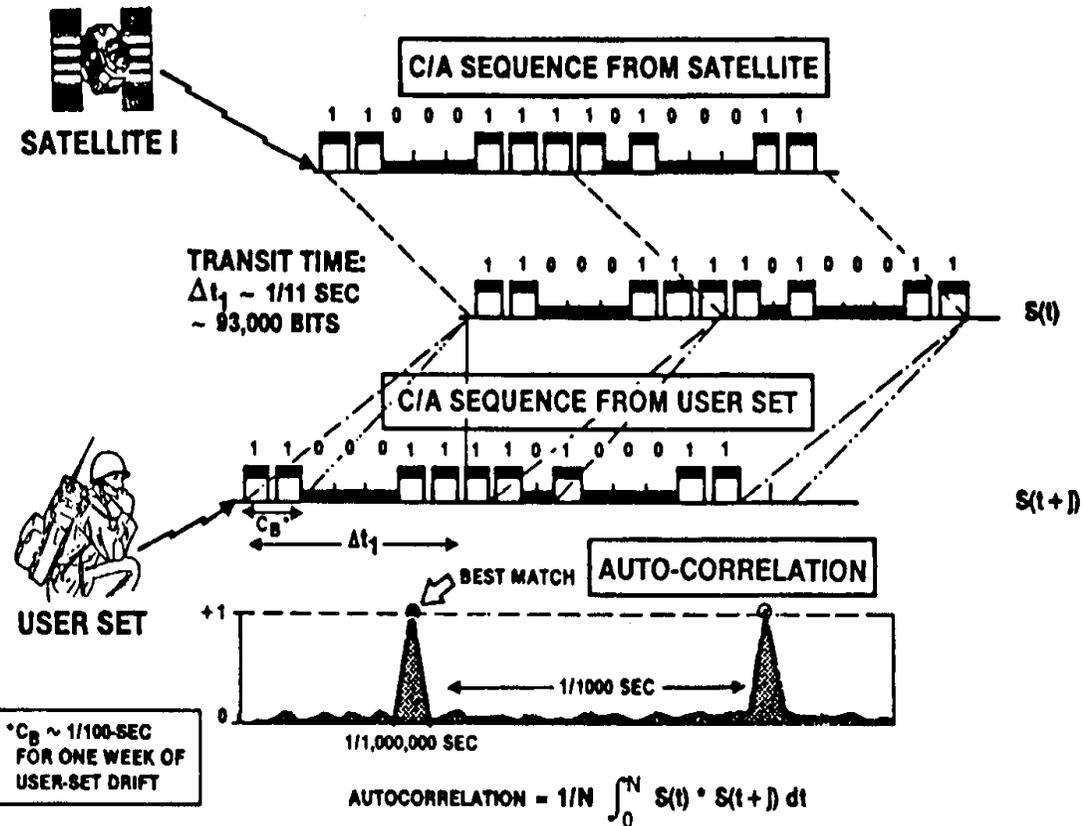


Signal Processing Allows Resolution To ~ 1 % Of Chiplength
= 3 Meters

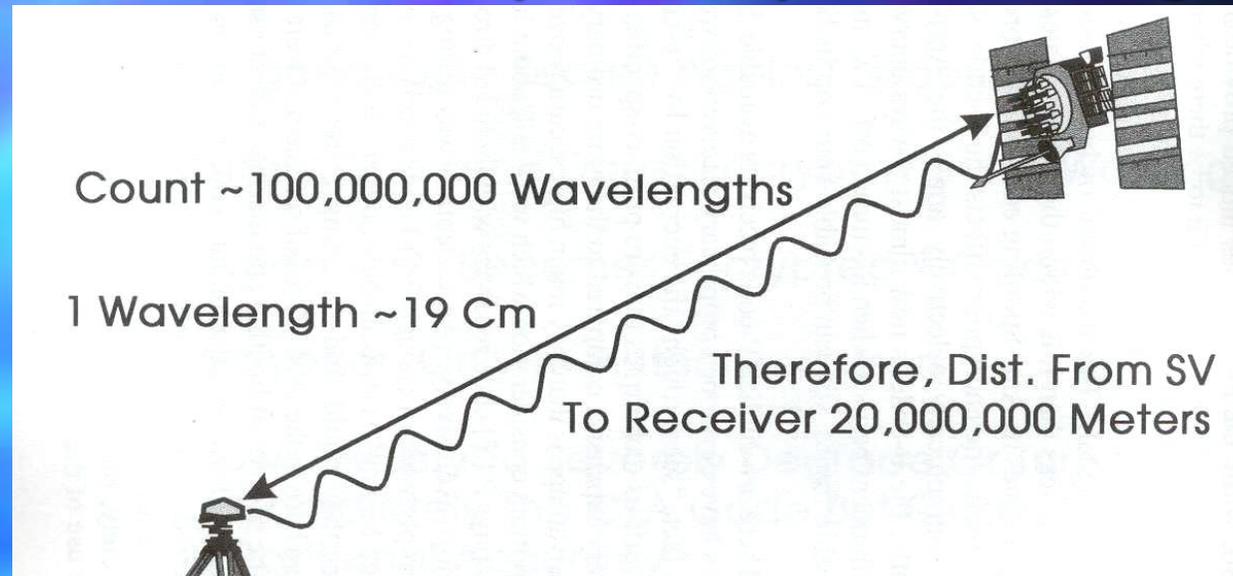
P- Code 10.23MHz



Signal Processing Allows Resolution To ~ 1 % Of Chiplength
= 0.3 Meters (30 Cm)



Carrier-phase positioning



- L'idea: contare i "cicli" della portante, invece dei *chips*. I problemi:
- Ogni ciclo è simile a sé stesso (*Carrier-Phase Ambiguity*): la misura di un ciclo è un numero da 0 a 2π . Quanti cicli interi (N)?
- Ricevitori "qualificati" usano il codice C/A per "arrampicarsi" sulla fase, con un'incertezza di circa 100 cicli
- Tecniche per risolvere l'ambiguità finale: osservare la posizione del satellite nel tempo (no *cycle slips*) per ricavare N
- *Ambiguity Resolution*: OTF, RTK: tecniche d'avanguardia. Risoluzione fino all'1% di λ (19 cm), cioè fino a 2 mm !

Errori di propagazione: la ionosfera e la troposfera

- La ionosfera, interagendo con le onde elettromagnetiche, le “piega” (rifrazione) e le rallenta, proporzionalmente alla frequenza
- La troposfera (il vapore acqueo nella t.) crea rifrazione che dipende dalle condizioni locali e dallo strato attraversato. Come eliminare gli errori?



- Un modello matematico nel NAV MSG (compensa il 50-70%)

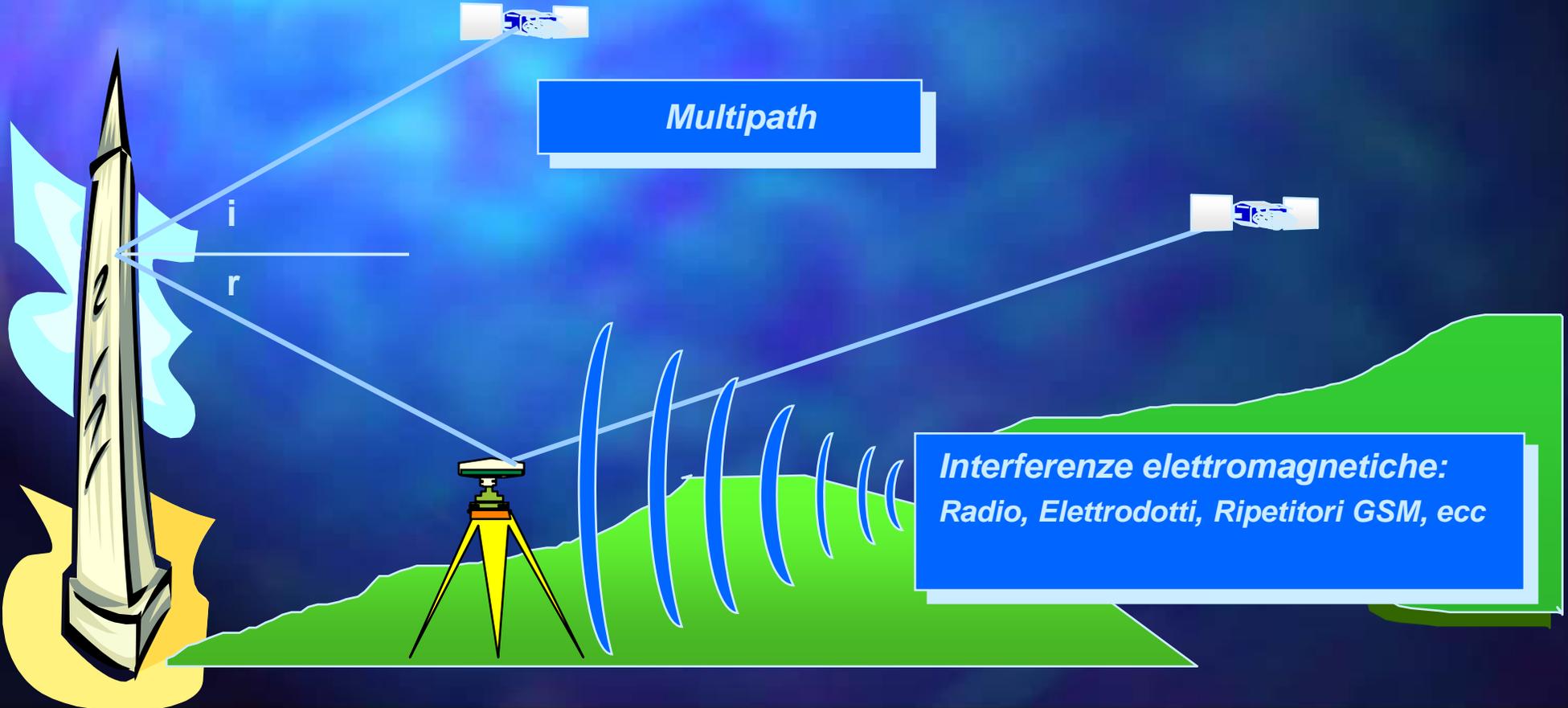
Troposfera

Ionosfera

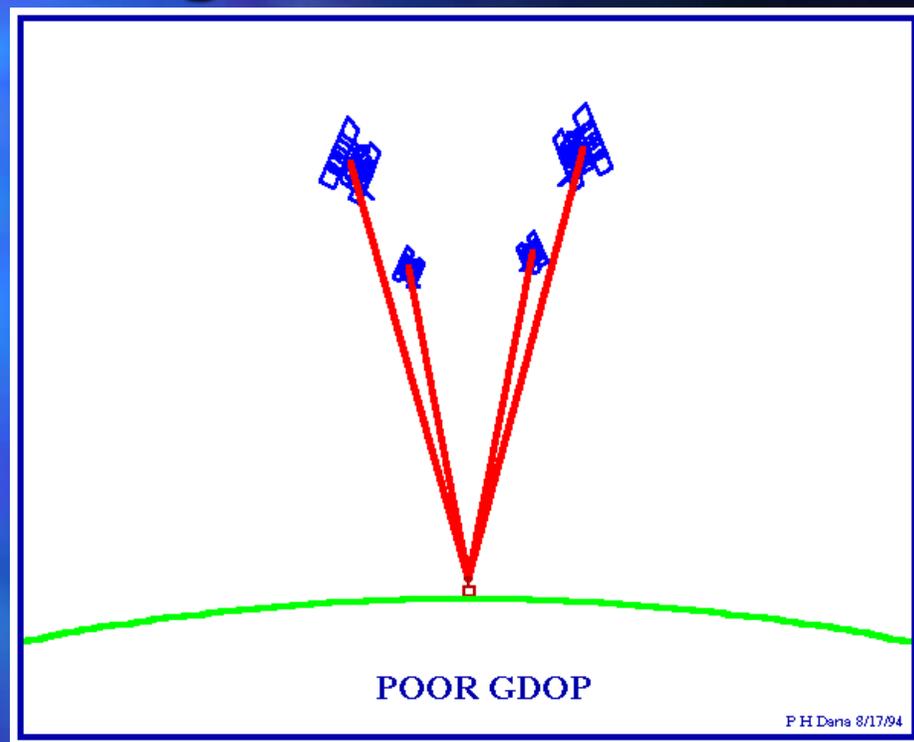
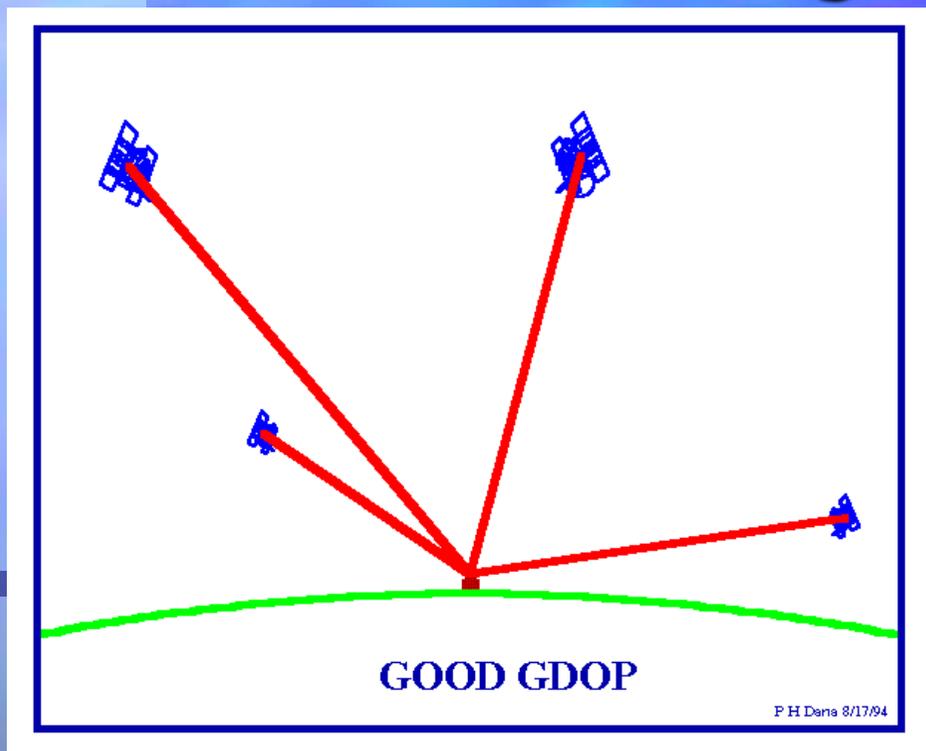
- **Errore che varia da:**
 - **2-10 metri Troposfera**
 - **20-50 metri Ionosfera**

- Uso di due frequenze (L1 e L2), per rimuovere gli errori ionosferici (non i troposferici)
- Il *mask angle*: satelliti in alto!

Multipath ed interferenze



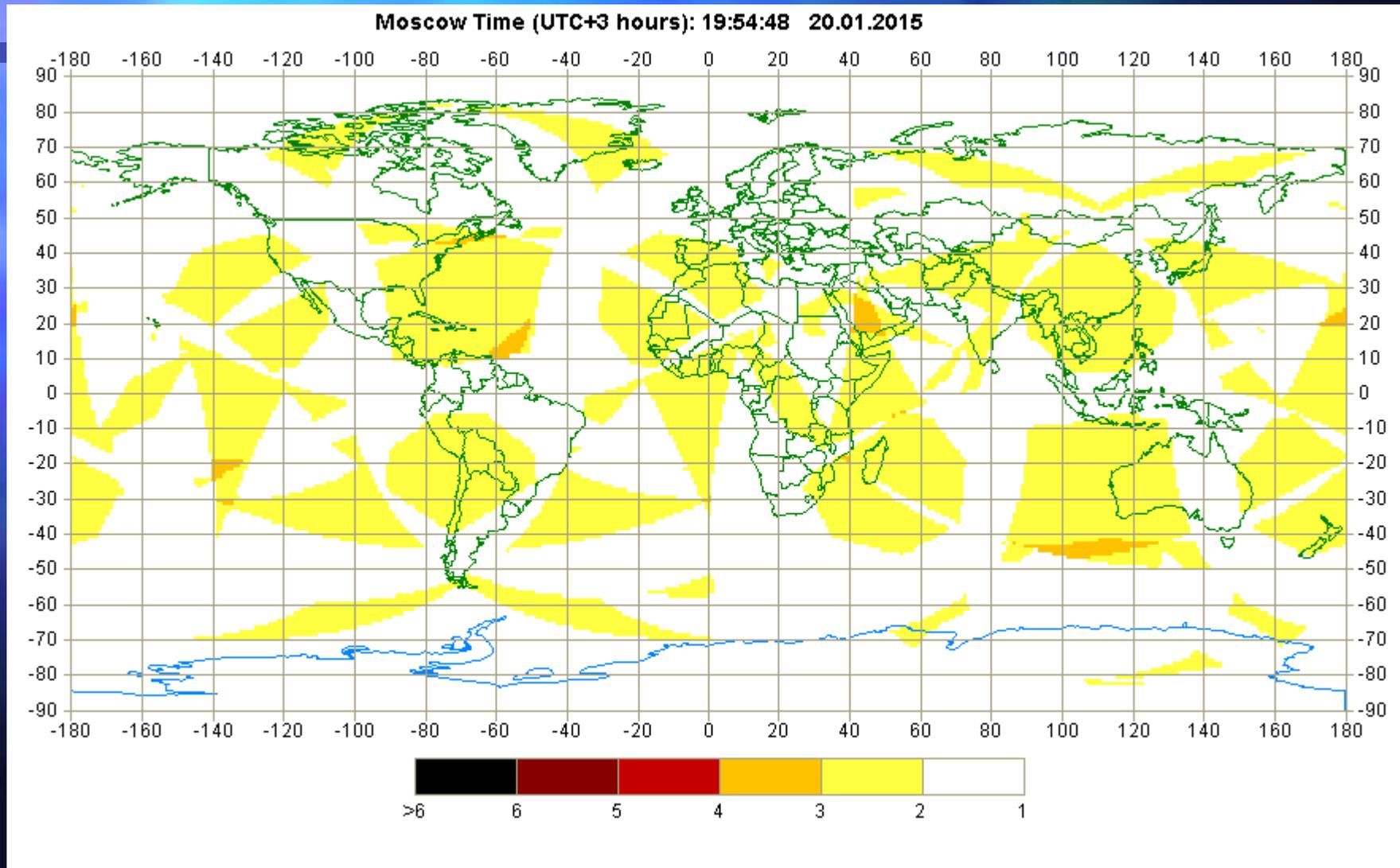
Altri "guai": la geometria



- GDOP (Geometric Dilution of Precision): misura la bontà della geometria di osservazione
 - GDOP grande (>10): accuratezza scarsa
 - GDOP piccolo (tra 10 e 4): accuratezza buona
 - GDOP molto piccolo (<3): accuratezza eccellente

PDOP nel mondo

(costellazione GLONASS, 24SV, mask angle 5°)

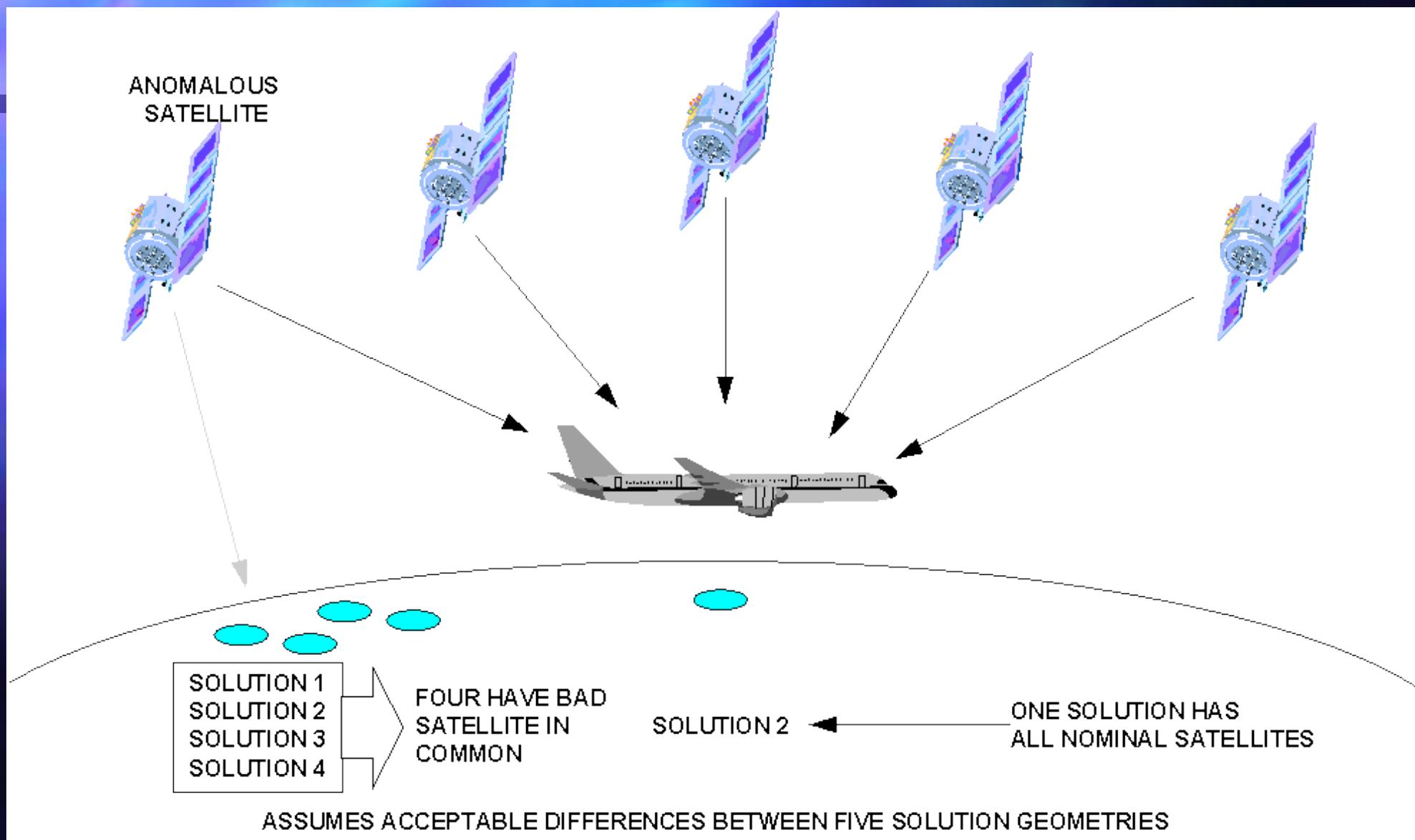


RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring)

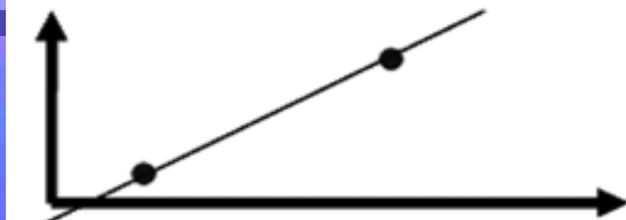


- Una tecnologia sviluppata per verificare l'integrità del segnale GPS in un ricevitore. Importante in applicazioni critiche di navigazione marina e aerospaziale.
- Per rilevare errori o inconsistenze nelle misure di pseudorange, sono necessarie *misure ridondanti* (più di quelle necessarie a fornire un *fix*).
- Uno pseudorange che differisce molto dal valore atteso può indicare un problema del satellite associato o un problema di integrità del segnale (es. dispersione ionosferica). SV in vista (tipicamente): da 7 a 12.
- Algoritmi FD (*Fault Detection*) tradizionali, o moderne tecniche FDE (*Fault Detection and Exclusion*), per operare in presenza di errori del sistema.
- Almeno **5** satelliti visibili per implementare algoritmi FD, **6** per FDE.
- *Consistency checks* utilizzando le combinazioni di SV visibili.
- *Availability*: è un parametro di *performance* degli algoritmi RAIM.

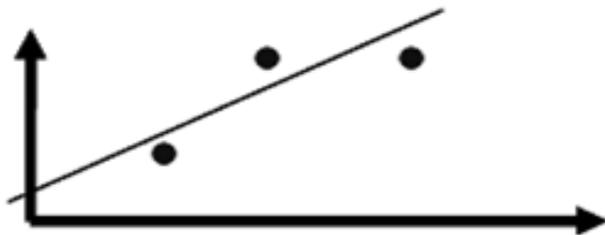
Algoritmi FD: principio



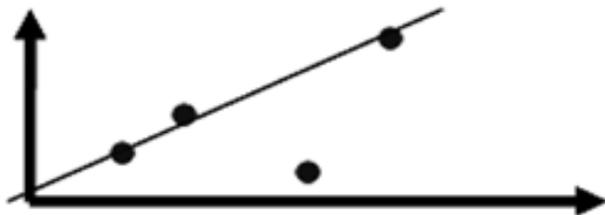
Algoritmi FDE: principio



2 measurements – cannot determine if one is erroneous.



3 measurements – can detect if there is one erroneous measurement, but cannot determine which is erroneous.



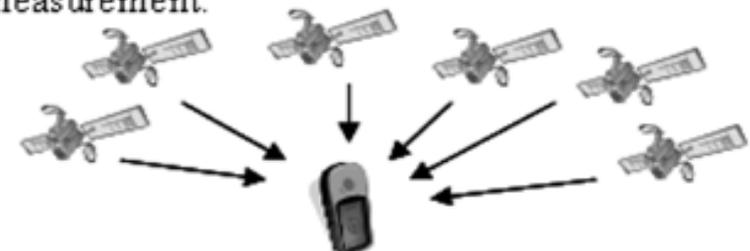
4 or more measurements – can detect and isolate an erroneous measurement.



4 measurements – 4 equations, 4 unknowns leads to one solution, zero measurement residuals.



5 measurements – solution determined in least squares sense, can detect if there is one bad measurement.



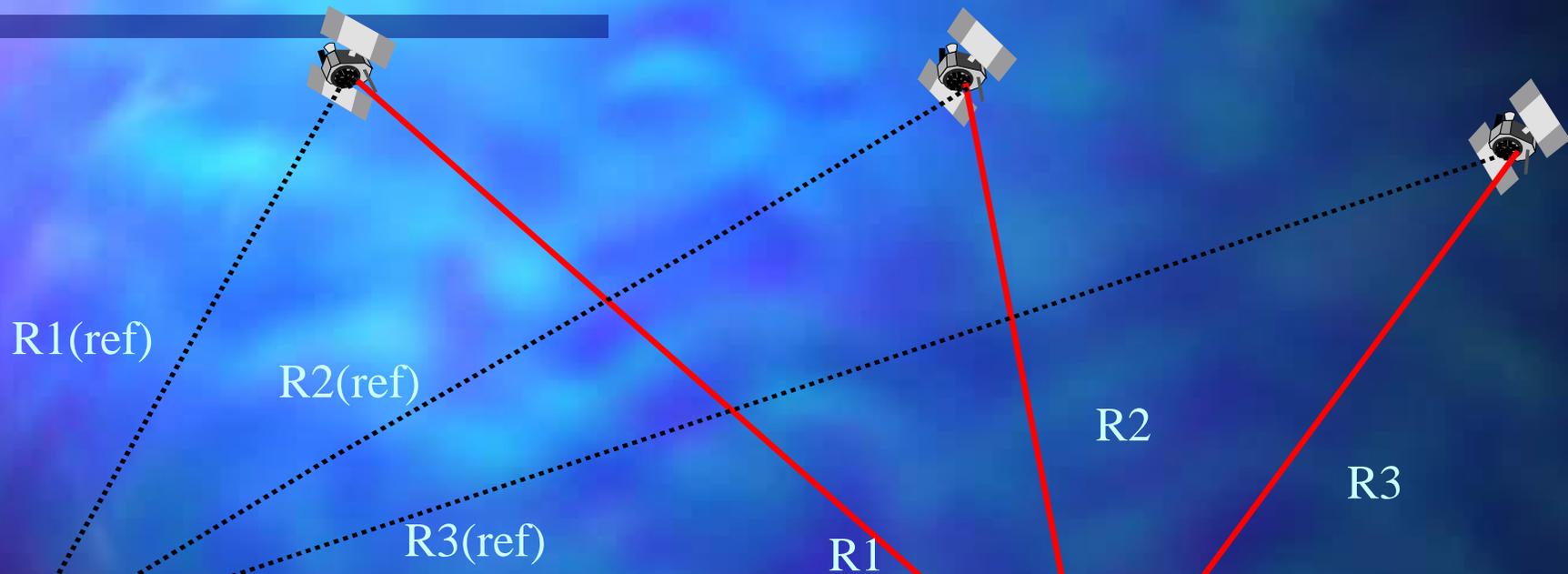
6 or more measurements – can detect and isolate a bad measurement.

Migliorare le misure: il GPS differenziale

- Posizionamento "relativo" (architettura LADGPS)
- Due ricevitori, un "master" e un "rover"
- Ricevono gli stessi dati da (almeno) 4 satelliti (*code-phase* o *carrier-phase*)
- Il ricevitore master misura la differenza fra la posizione che gli "dice" il GPS e la sua, che conosce già
- Invia al rover le "correzioni differenziali"
- Eliminati errori "comuni" (*single difference*)
- "Subito (<10s)" e "vicino (<200 km)" (no *latencies*).

Differential GPS (DGPS)

Concept - I



dR_1, dR_2, dR_3

Le *correzioni differenziali* sono sugli pseudorange misurati, **NON** sulle componenti della posizione!

Differential GPS (DGPS)

Concept - II

Posizione “vera”
del satellite



Posizione del satellite (Space Vehicle) ricavata dal NAV MSG

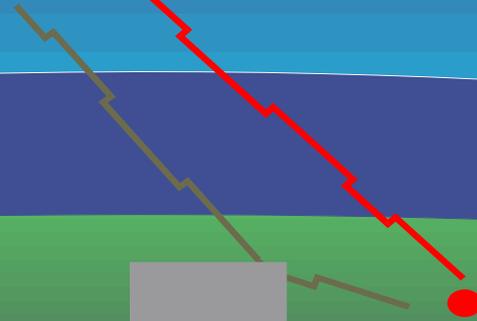


2. La tecnica DGPS rimuove quasi totalmente gli errori di propagazione in atmosfera e di posizione SV. Multipath e rumore del ricevitore non sono eliminati.

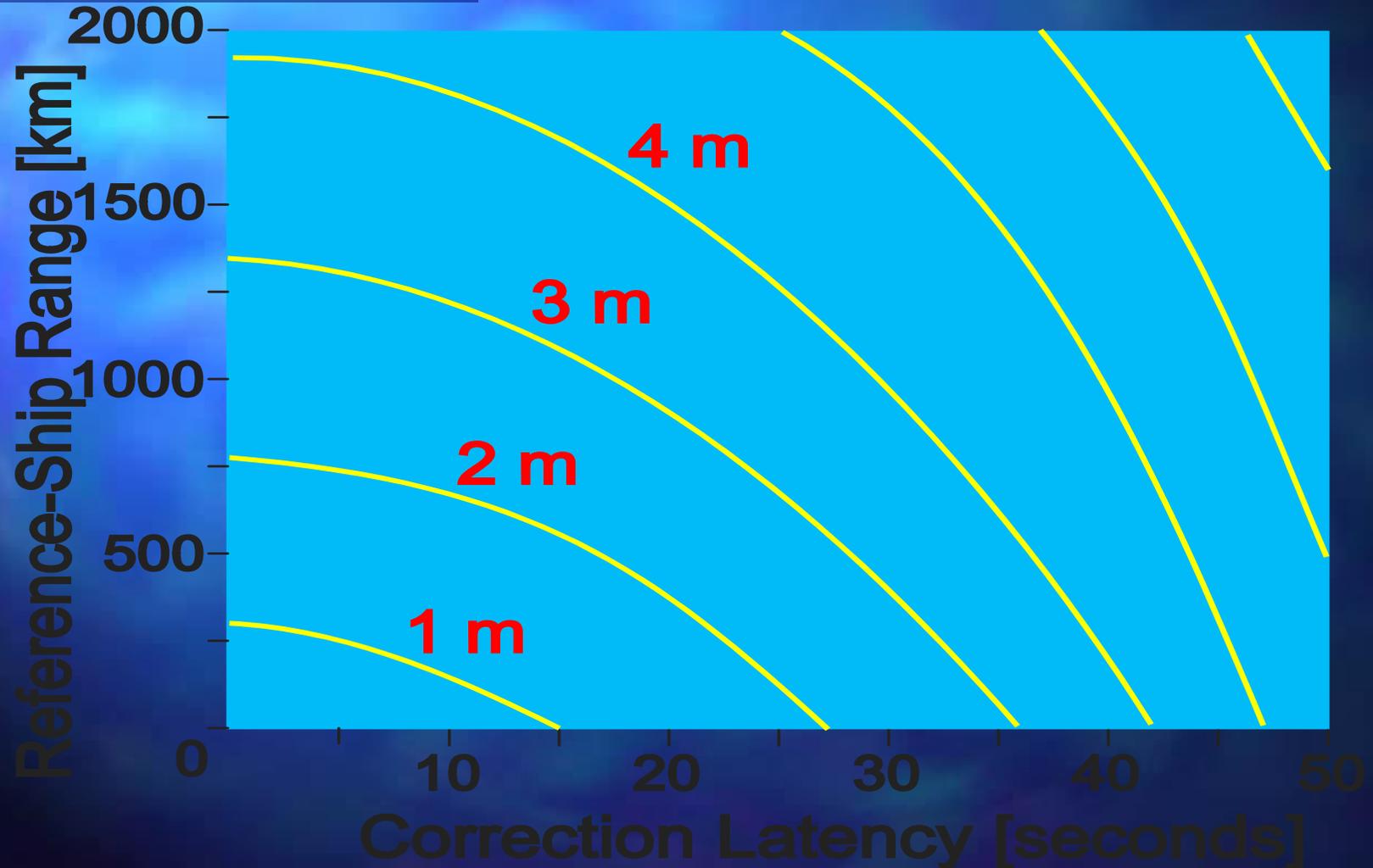
1. Il ricevitore “Base” elabora i dati da SV in vista in una locazione nota

3. La stazione base calcola le correzioni per ogni misura di *range* e le invia (RTCM-104) al ricevitore della nave

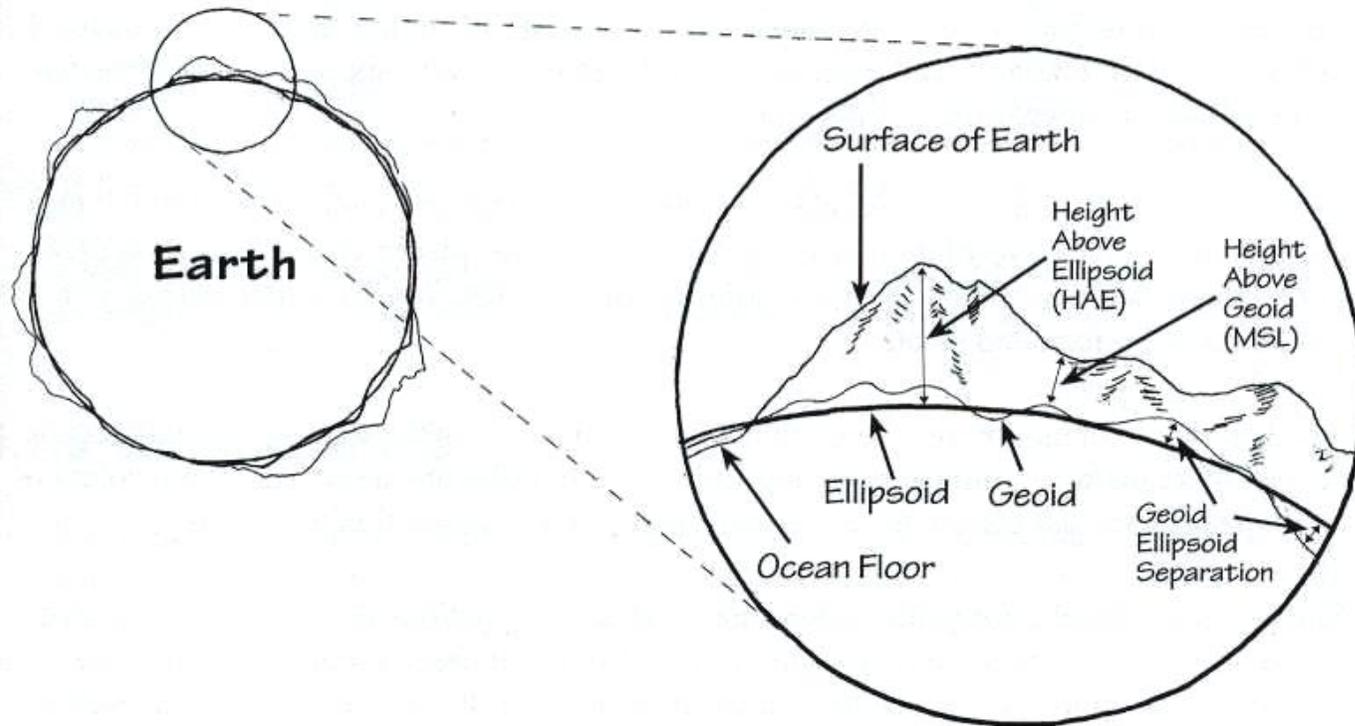
4. Il ricevitore GPS a bordo (“Rover”) elabora gli stessi SV visti dalla stazione Base



Effetti della latenza spaziale e temporale



Il geoide e l'ellissoide



Ellissoide

- Oggetto matematico
- Superficie semplice
- Descritto da 2 parametri (a, e)
- Non è "osservabile"

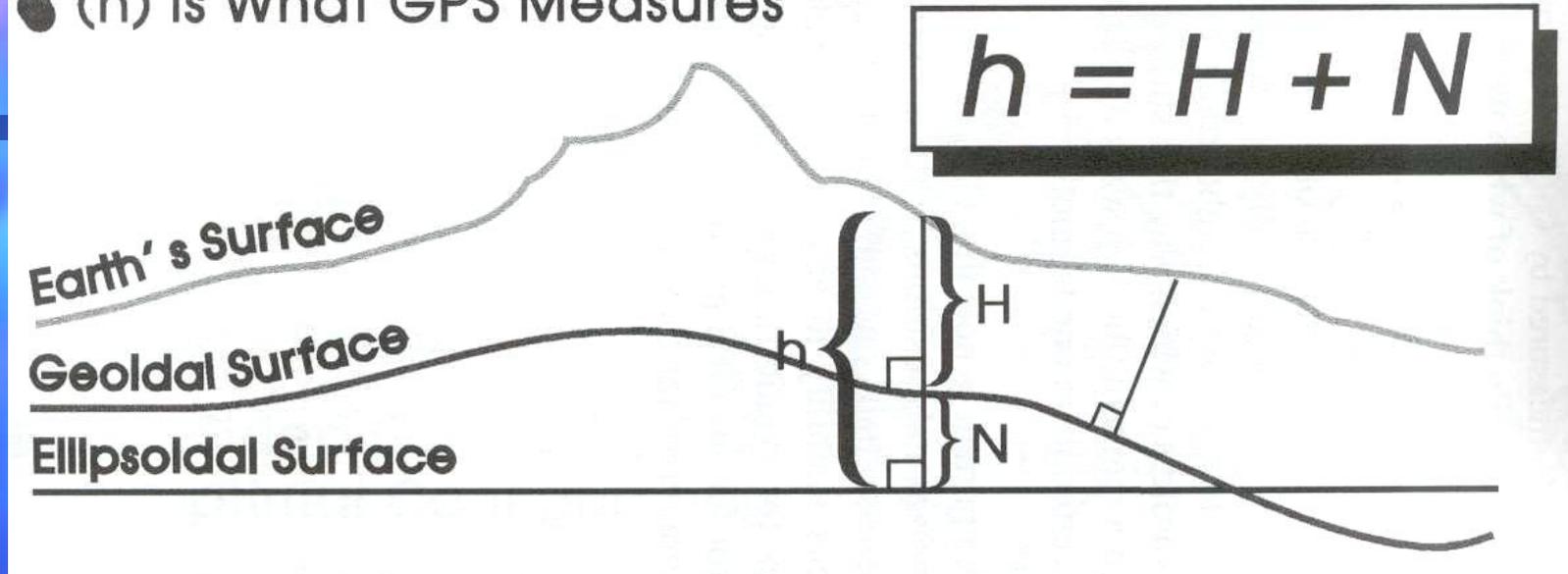
Geoide

- Oggetto fisico
- Superficie complicata
- Descritto da infiniti parametri
- E' "osservabile"

- Modello globale del geoide: difficilissimo!
- Ellissoide "ottimo" che approssima il geoide
 - $HAE < 0$ in alcuni punti
 - Il "miglior" ellissoide: WGS-84

Perché il GPS "sbaglia" le quote?

● (h) Is What GPS Measures



- La quota GPS è definita (calcolata) rispetto all'ellissoide (h)
- Non è uguale alla quota rispetto al geoide (quota ortometrica, s.l.m., H). L'ondulazione del geoide (N) non è nota
- La geometria di osservazione è "quasi" ottima (non ci sono satelliti sotto l'orizzonte)
- Gli errori altimetrici sono circa doppi rispetto agli errori planimetrici

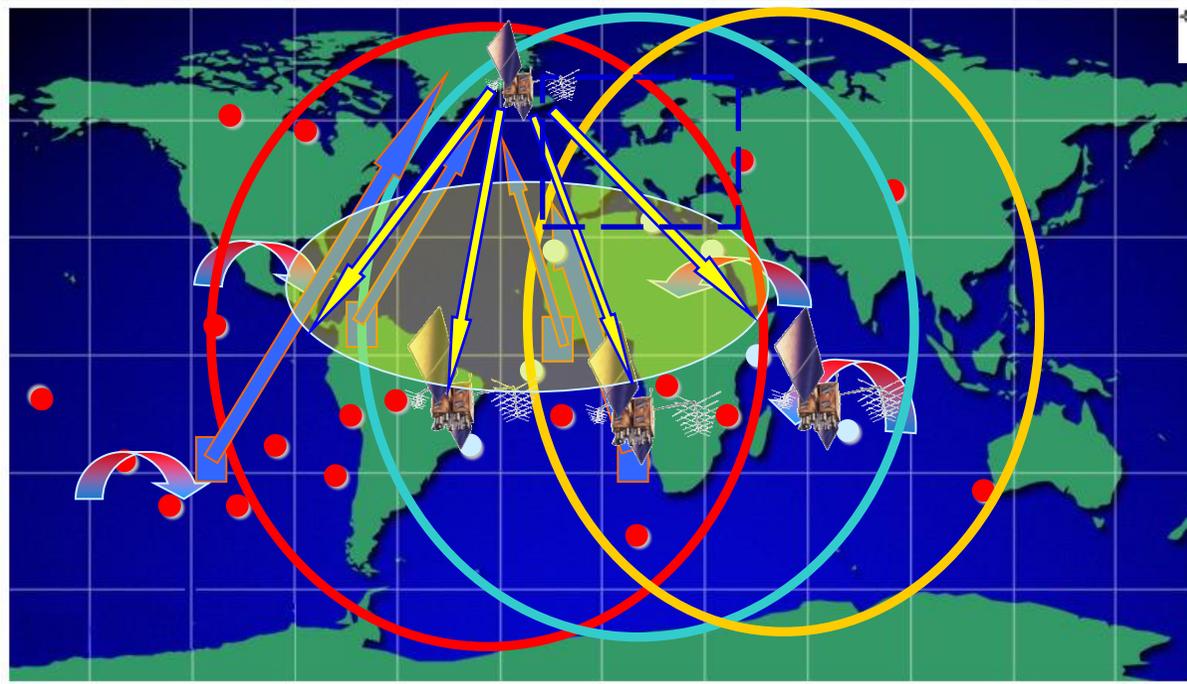
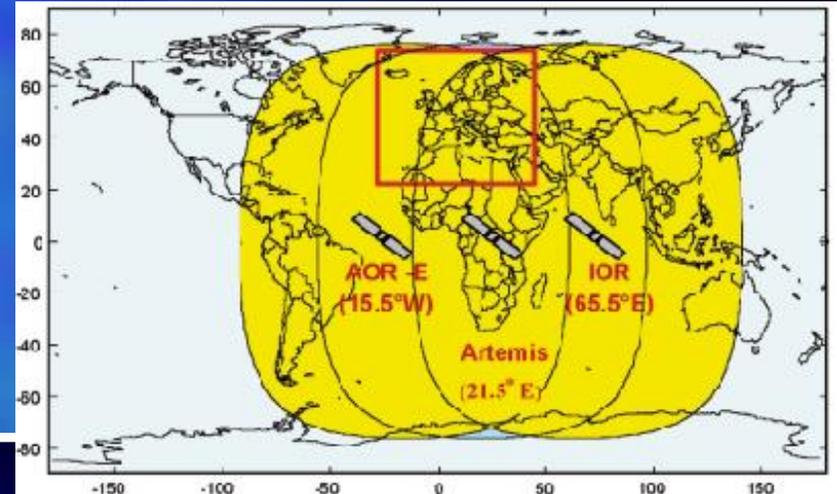
L'iniziativa europea: Galileo

- **INDIPENDENZA:** GALILEO sarà un sistema completamente autonomo;
- **INTEROPERABILITA':** gli utenti useranno GALILEO e GPS con un unico ricevitore;
- **DISPONIBILITA':** servizio a copertura globale, position fix anche alle alte latitudini;
- **INTEGRITA':** GALILEO sarà dotato di un sistema di analisi delle prestazioni in grado di segnalare agli utenti eventuali carenze del servizio in tempo reale.

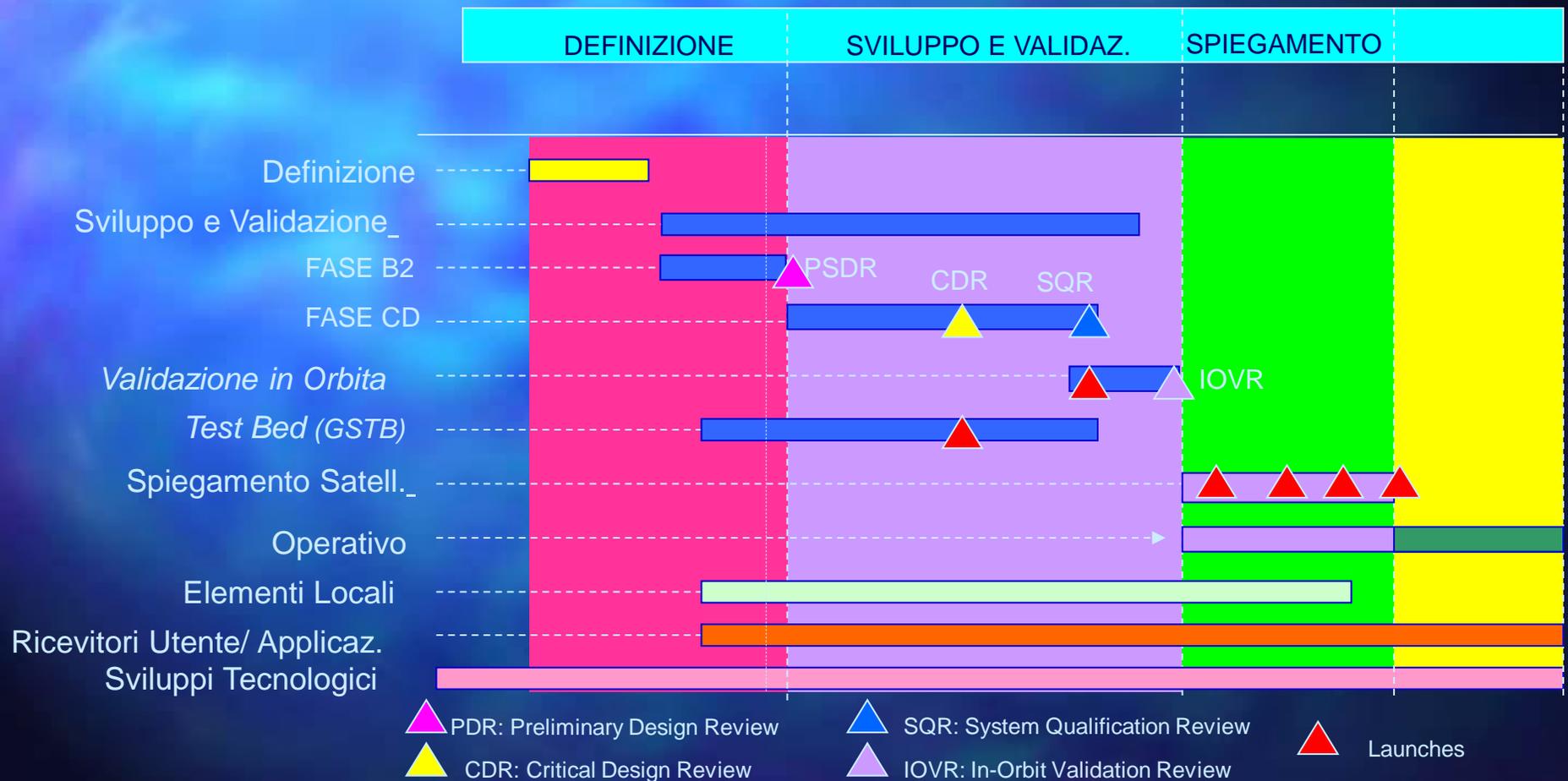
Architettura EGNOS

Trasponders a bordo di tre satelliti GEO:
Inmarsat-3 Atlantic Ocean Region-East (AOR-E),
Inmarsat-3 Indian Ocean Region (IOR), ed il
satellite ESA per le telecomunicazioni Artemis.

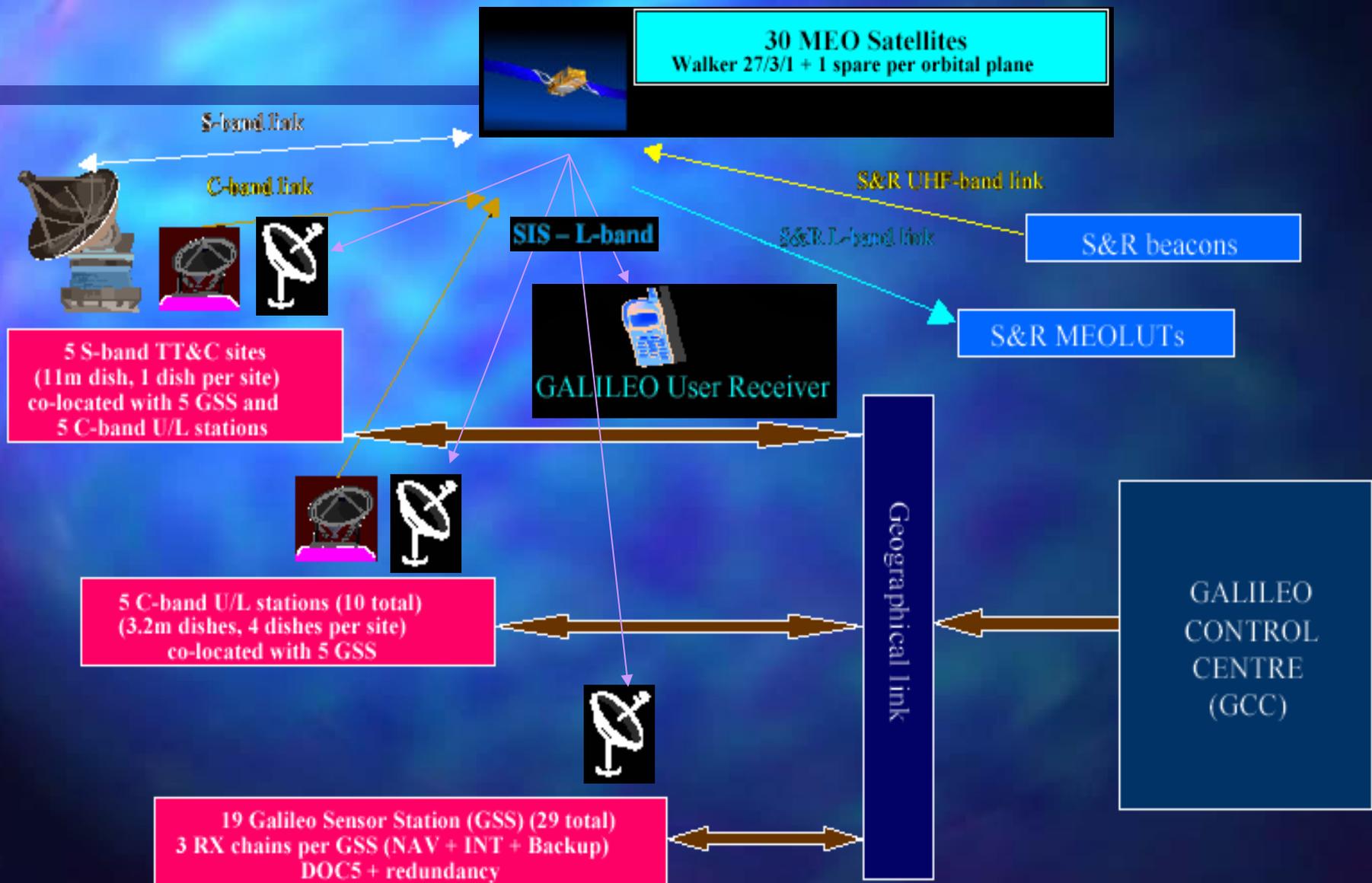
AOR-E **ARTEMIS** **IOR**



Galileo: fasi e costi del programma



Architettura GALILEO



I servizi GALILEO

- 4 SERVIZI DI NAVIGAZIONE:

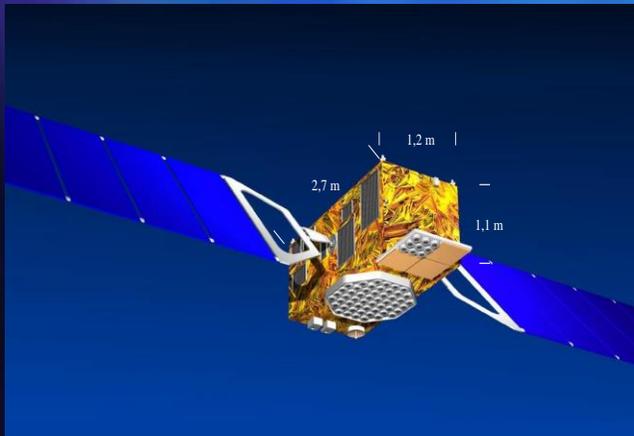
- **SERVIZIO LIBERO (*Open Service, OS*)**: diretto ad applicazioni di massa, fornirà informazioni PVT (*Position, Velocity, Time*) gratuitamente;
- **SERVIZIO COMMERCIALE (*Commercial Service, CS*)**: diretto ad applicazioni professionali, fornirà a pagamento prestazioni di navigazione superiori e dati addizionali;
- **SERVIZIO PER LA SICUREZZA DELLE PERSONE (*Safety of Life Service, SoL*)**: è un servizio "con garanzia", che può confermare l'esattezza del segnale ricevuto, conforme alla norme ICAO e quindi adatto alla navigazione aerea, marittima e ferroviaria;
- **SERVIZIO DI INTERESSE PUBBLICO (*Public Regulated Service, PRS*)**: servizio criptato per applicazioni pubbliche e strategiche a livello europeo e nazionale.

- 1 SERVIZIO DI SUPPORTO ALLE OPERAZIONI DI SOCCORSO:

- **SERVIZIO DI RICERCA E SALVATAGGIO (*Search And Rescue, SAR*)**: compatibile con il sistema COSPAS-SARSAT, garantirà il 98% di probabilità di rilevamento entro 10 min dal primo segnale di emergenza con localizzazione entro 100 m; segnale di ritorno per confermare l'avvenuta ricezione del segnale d'allarme.

GALILEO: il segmento spaziale

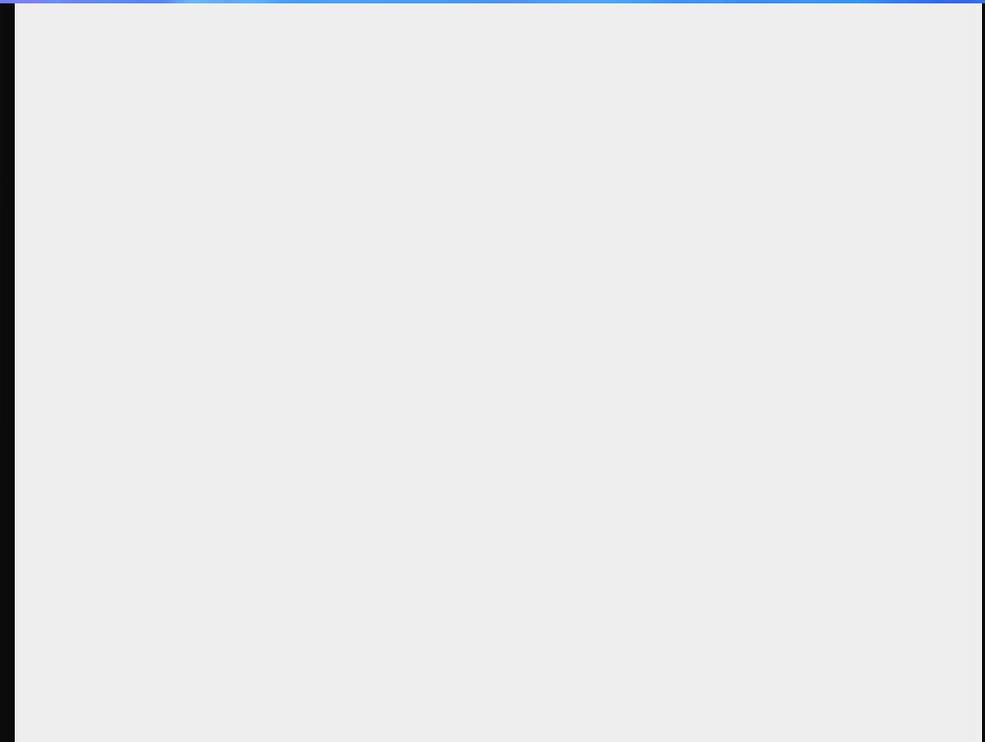
- Le correzioni per gli orologi e i dati di navigazione saranno inviati ai satelliti ogni 100-200 minuti;
- I dati di integrità saranno inviati ogni secondo e gestiti a bordo dei satelliti;
- I satelliti avranno vita operativa di 12 anni, potenza di 1.6 kW, massa 680 kg e dimensioni 2.7m x 1.2m x 1.1m.



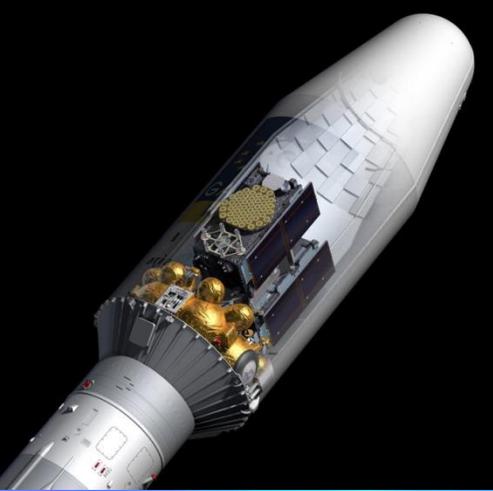
GIOVE-A e GIOVE-B

Il primo satellite sperimentale della costellazione fa parte del *Galileo System Test Bed* (GSTB), ed è stato lanciato il 28 Dicembre 2005 dal Kazakhstan.

Il satellite ha preso il nome di GIOVE-A (*Galileo In-Orbit Validation Element-A*), ed è stato iniettato in un'orbita quasi circolare (perigeo 23011 km, apogeo 23258 km, inclinazione 56.05°). L'orbita nominale è circolare alla quota di 23616 km.

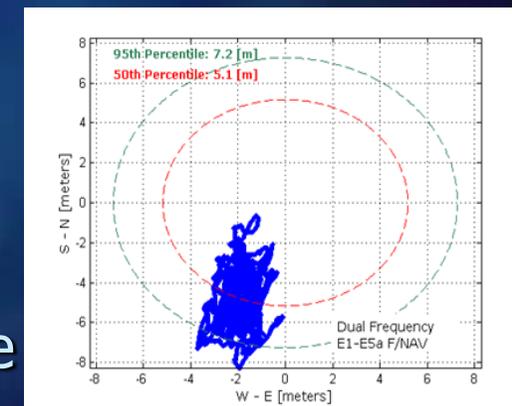


GIOVE-B (Aprile 2008)
ESA/ESTEC Test Facility, Noordwijk (NL)

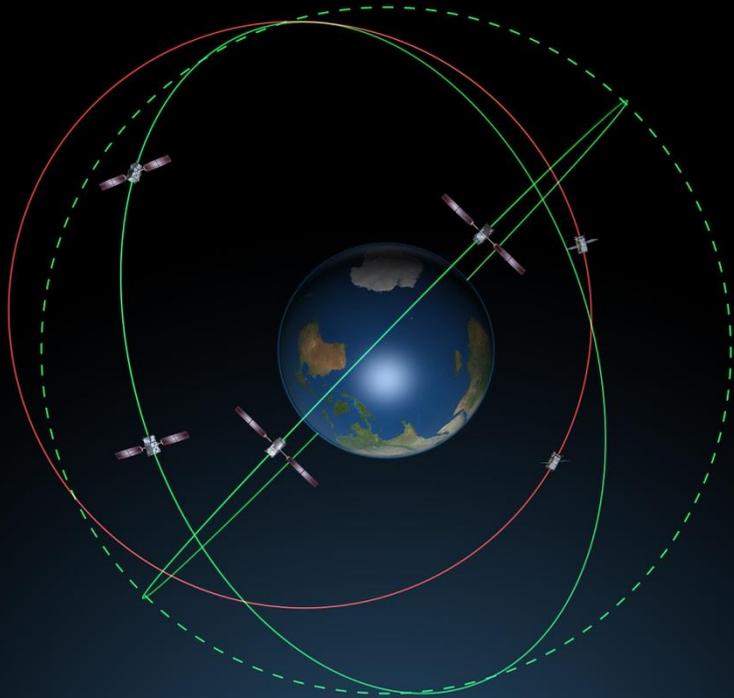


Fasi IOV e FOC: i satelliti finali

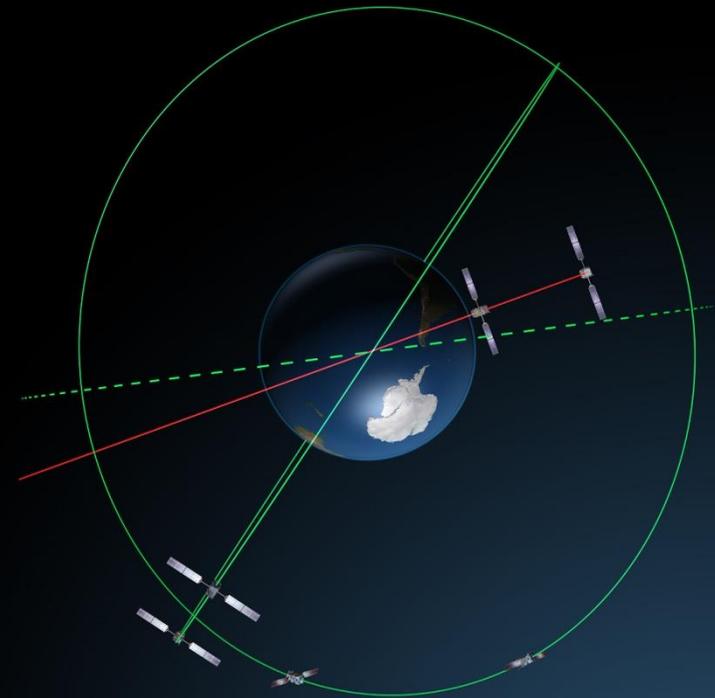
- La fase IOV (*In-Orbit Validation*) prevede la messa in orbita dei primi 4 satelliti della costellazione.
- I primi due (Proto Flight Model, PFM, e Flight Model 2, FM2) sono stati lanciati il 21/10/2011 dal Centre Spatial Guyanas di Kourou (Guyana Francese).
- I Flight Model 3 e 4 (FM3, FM4) sono stati lanciati il 12/10/2012.
- Il 13 Marzo 2013 è stato effettuato il primo *fix* utilizzando i 4 satelliti Galileo in orbita.
- Il 22 Agosto 2014 (12:27 UTC) sono stati lanciati SAT5 e SAT6, i primi due della fase FOC (*Full Operational Capability*).



Stato Galileo dopo l'ultimo lancio (11/2014)

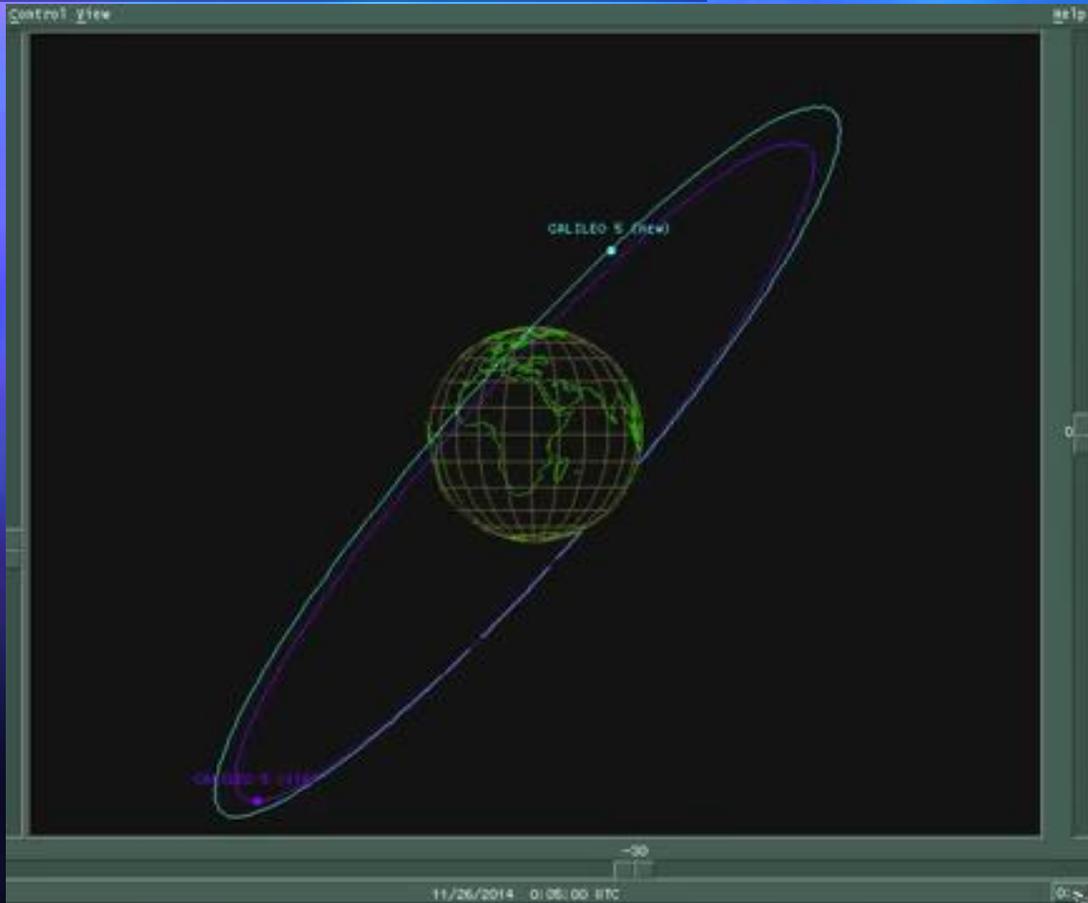


- In-Orbit Validation Galileo satellites (4)
- - - Nominal position of the 2 spacecrafts launched on 22 August
- Present position of the 2 spacecrafts launched on 22 August

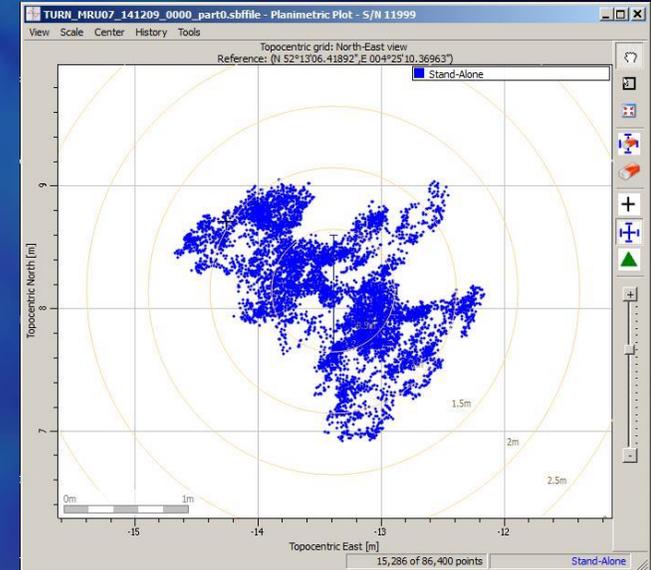


- In-Orbit Validation Galileo satellites (4)
- - - Nominal position of the 2 spacecrafts launched on 22 August
- Present position of the 2 spacecrafts launched on 22 August

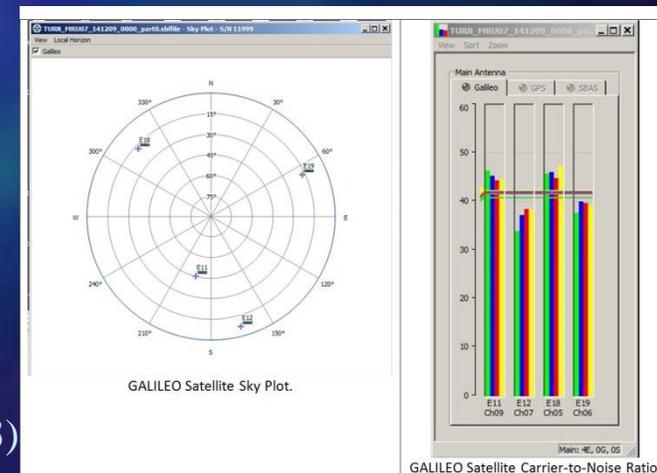
Modifiche orbitali su Galileo SAT5 (Dic. 2014)



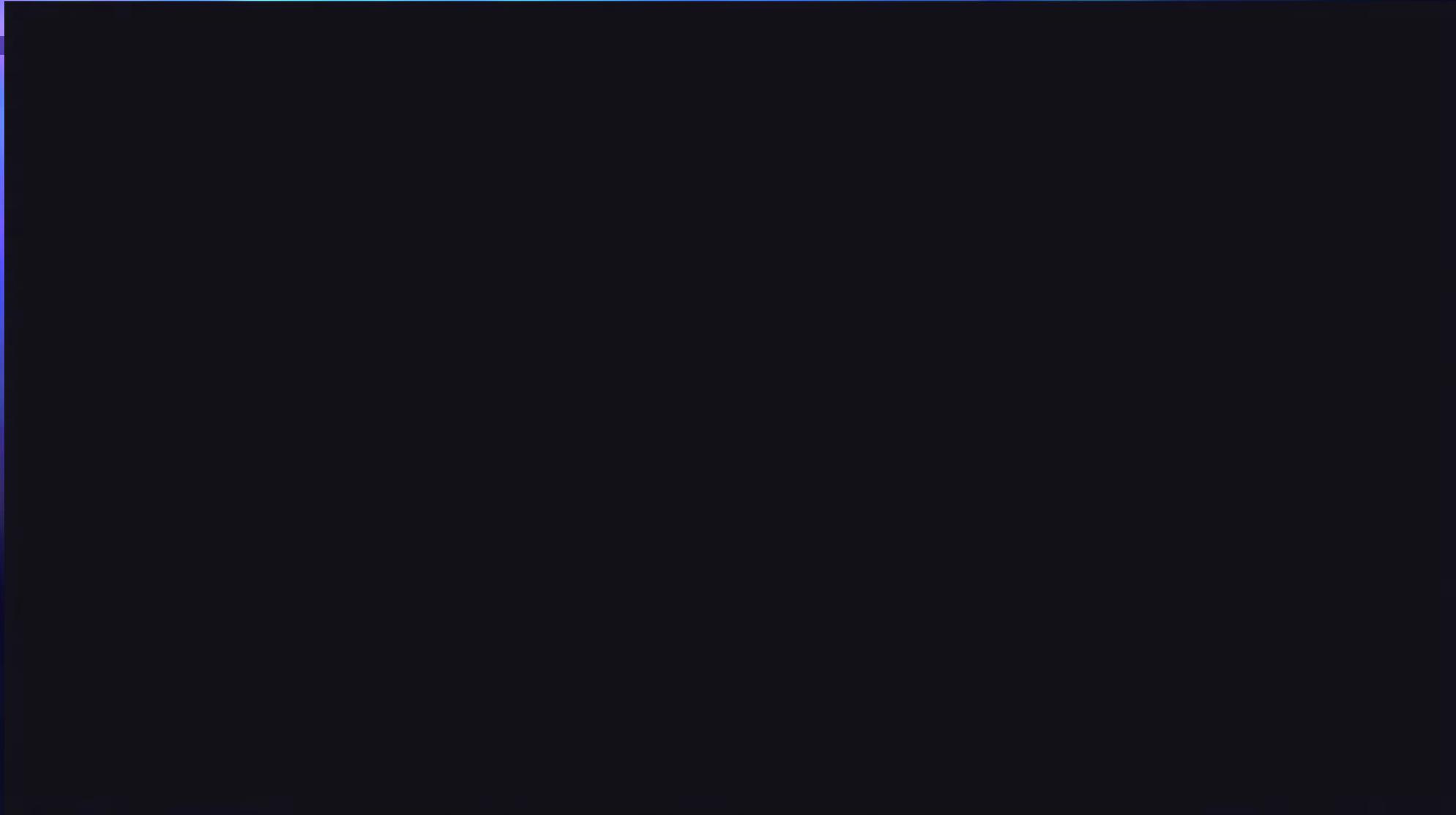
Skyplot (SAT5, PFM, FM2, FM3)



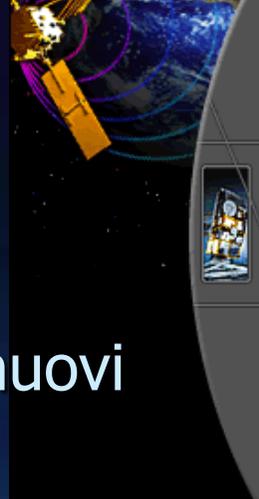
Primo fix usando SAT5 (9 Dic 2014),
errore < 2m



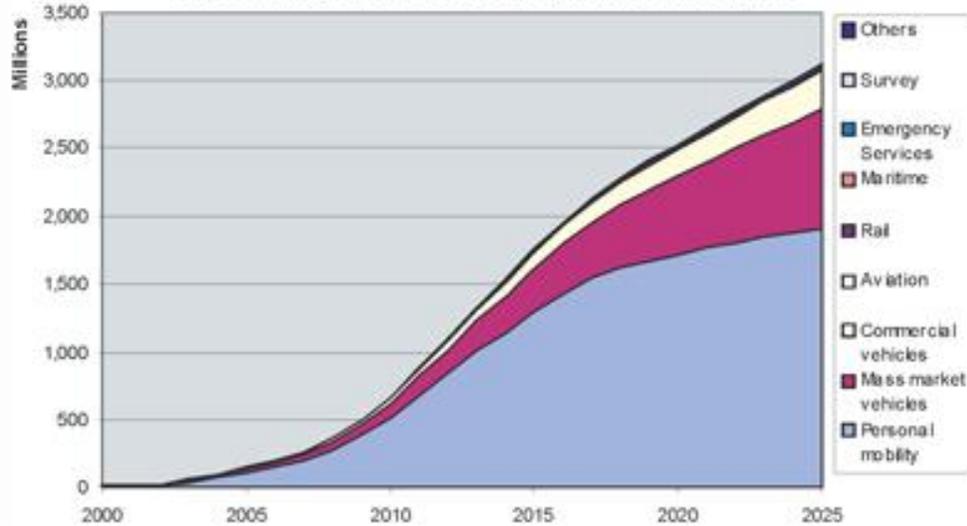
Galileo Validation – 27/01/2014



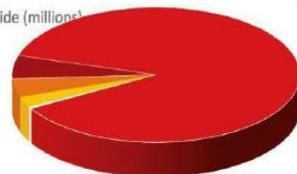
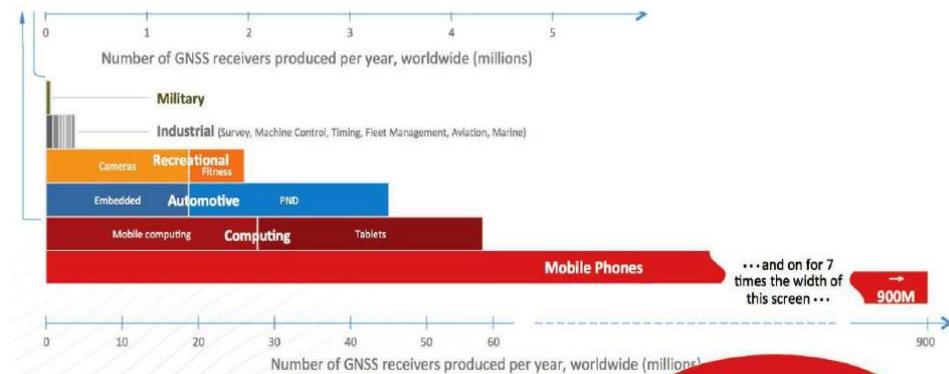
Il futuro



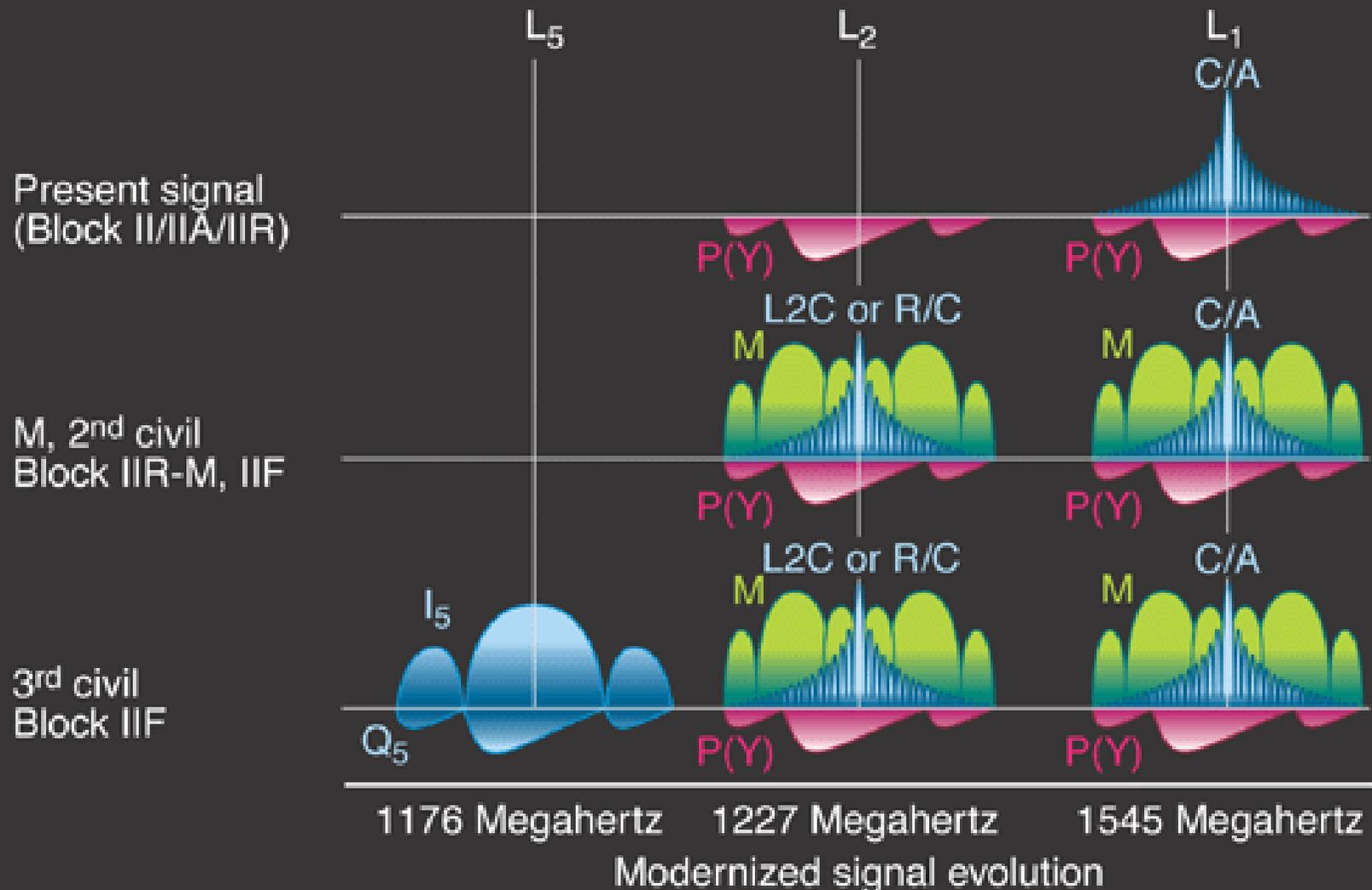
GNSS market size (receivers) by market - all regions



- Potenziamento del GPS, nuovi segnali (L2C, L5)
- GNSS-2. L'Europa e EGNOS-Galileo
- Compass, QZSS, IRNSS
- LADGPS per l'aviazione civile
- Miniaturizzazione, integrazione (ricevitori GPS/Glonass/Galileo/GNSS-2)



Modernizzazione del segnale GPS



Thanks!

