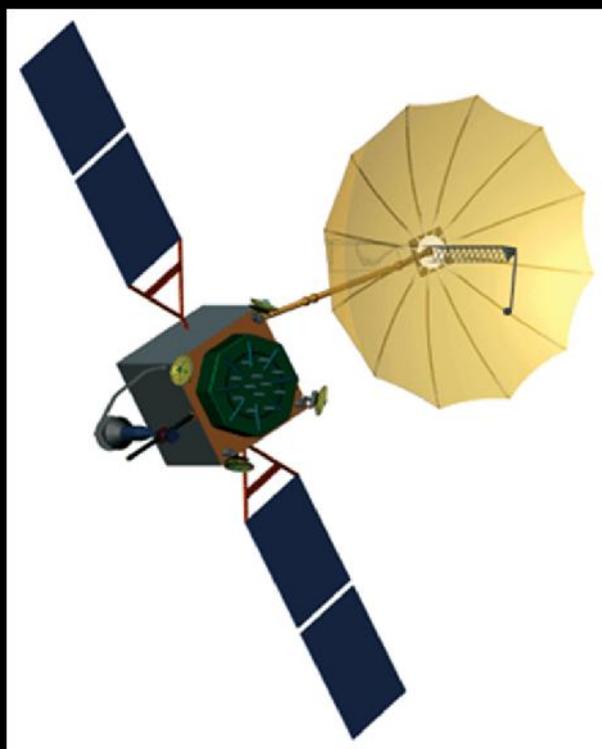


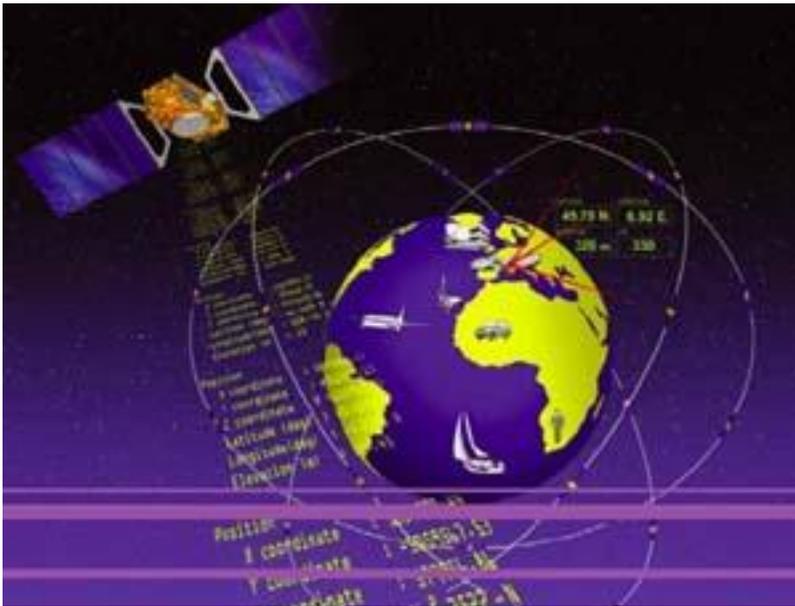
Introduzione ai sistemi di posizionamento globale



Andrea Ninfo

Dipartimento di Fisica e Scienze della
Terra

andrea.ninfo@unife.it



- “I Satelliti giocano già un ruolo significativo nella vita di tutti i giorni supportando la comunicazione, le esplorazioni e la ricerca. In futuro assisteremo sicuramente ad una crescita del loro impiego. Il GPS è forse una delle applicazioni satellitari a maggior successo anche per i *“normali utenti.”*”



NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System)

Attualmente è l'unico sistema di navigazione satellitare totalmente funzionante (copertura globale).

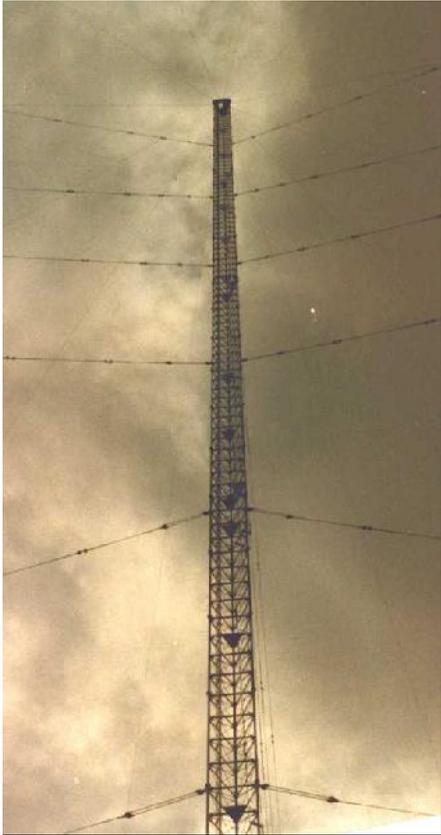
Sistema costituito da più di 24 satelliti in orbita, che trasmettono segnali radio e consentono ai ricevitori GPS di determinare la posizione, la velocità e la direzione.

Sistema ormai indispensabile per:
“navigare”,
creare cartografia,
ricognizione sul terreno ecc.

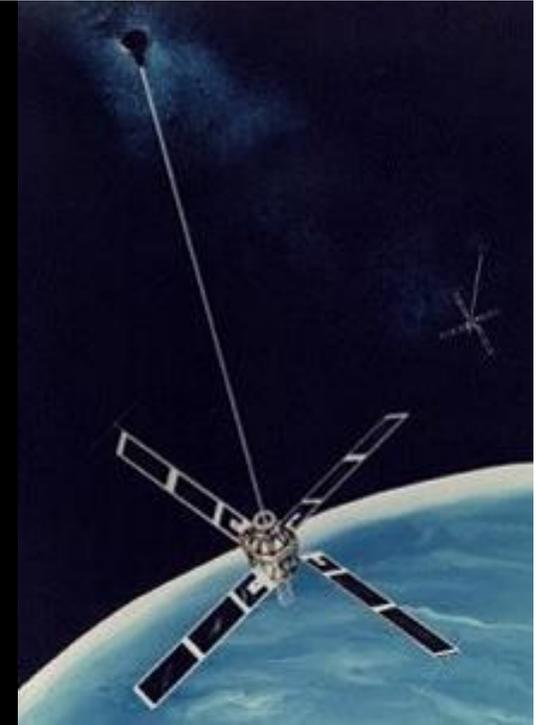
Inoltre il sistema GPS fornisce un'ora di riferimento molto precisa usata in molte applicazioni scientifiche: ad esempio, lo studio dei terremoti o la sincronizzazione dei networks di telecomunicazione

Cenni storici

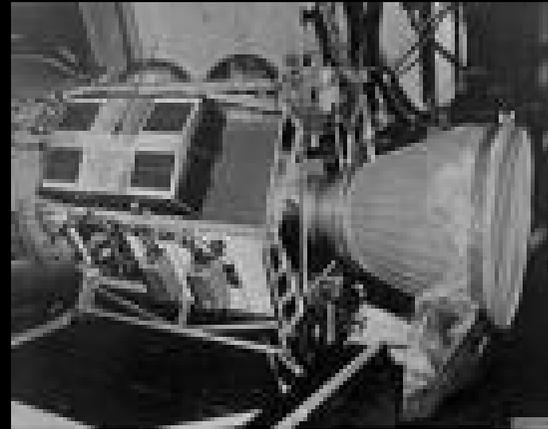
- Il design del sistema GPS si basa in parte su sistemi terrestri di radio-navigazione simili, come ad esempio il sistema **LORAN** sviluppato intorno ai primi anni **40** e usato poi durante la Seconda Guerra Mondiale. Attivo fino ai giorni nostri, probabilmente verrà rilanciato in futuro.
- Un'ulteriore stimolo per il sistema GPS arriva quando l'URSS lanciò il primo Sputnik nel **1957**. Un team stava controllando le trasmissioni radio dello Sputnik e scoprirono che, grazie all'effetto Doppler, la frequenza del segnale trasmesso dallo Sputnik era più alta quando il satellite si stava avvicinando, e più bassa quando si allontanava. Nel **1959** gli Americani capirono come sfruttare l'effetto al contrario per localizzare, usando il segnale di un satellite, la posizione sulla terra. Inizio programma TRANSIT.
- Il primo sistema di navigazione **satellitare**, **TRANSIT**, usato dalla United States Navy, fu testato nel **1960**. Usando una costellazione di cinque satelliti, sfruttava l'effetto Doppler. Precisione circa 200 m, problemi di accuratezza e di visibilità dei satelliti; attivo fino al 1996.
- Nel **1967**, l'U.S. Navy sviluppò il satellite **TIMATION**, che permise di portare orologi molto precisi nello spazio; una tecnologia che il sistema GPS realizzò più tardi negli anni 70'.
- Il primo satellite sperimentale, Block-I GPS, viene lanciato nel Febbraio **1978**.



LORAN



TRANSIT



TIMATION

- Nel **1983**, dopo che alcuni caccia Sovietici hanno abbattuto il volo civile KAL 007, che stava transitando su uno spazio ristretto militare, uccidendo tutte le 269 persone a bordo, il presidente americano, Ronald Reagan, annunciò che il sistema GPS sarebbe stato reso disponibile anche per usi civili una volta completato.
- Dal 1985, dieci satelliti sperimentali Block-I in più sono stati lanciati per validare il sistema. Il primo satellite Block-II moderno è stato lanciato il 14 Febbraio, **1989**.
- Il sistema ha iniziato a essere operativo dal Dicembre **1993**. La costellazione completa di 24 satellites fu messa in orbita il 17 Gennaio, **1994**.
- Nel **1996**, riconoscendo l'importanza del GPS per gli utenti civili come per quelli militari, il Presidente Bill Clinton stabilì delle direttive che sanciscono che il sistema GPS sarà un sistema dal doppio uso (civile e militare) e che andrà amministrato come una risorsa nazionale.
- Nel **1998**, il Vice-Presidente Al Gore annunciò il progetto di ampliare il sistema GPS con due nuovi segnali civili per migliorare l'usabilità e l'accuratezza, in particolare nel rispetto della sicurezza aerea.
- Il 2 maggio del **2000**, l'errore artificiale SA (Selective Availability) fu eliminato per permettere anche agli utenti esterni all'esercito USA di ricevere un segnale completo.
- Il lancio più recente è avvenuto il 17 Novembre **2006**. Il più vecchio satellite GPS ancora in funzione è stato lanciato nell'Ottobre **1990**.

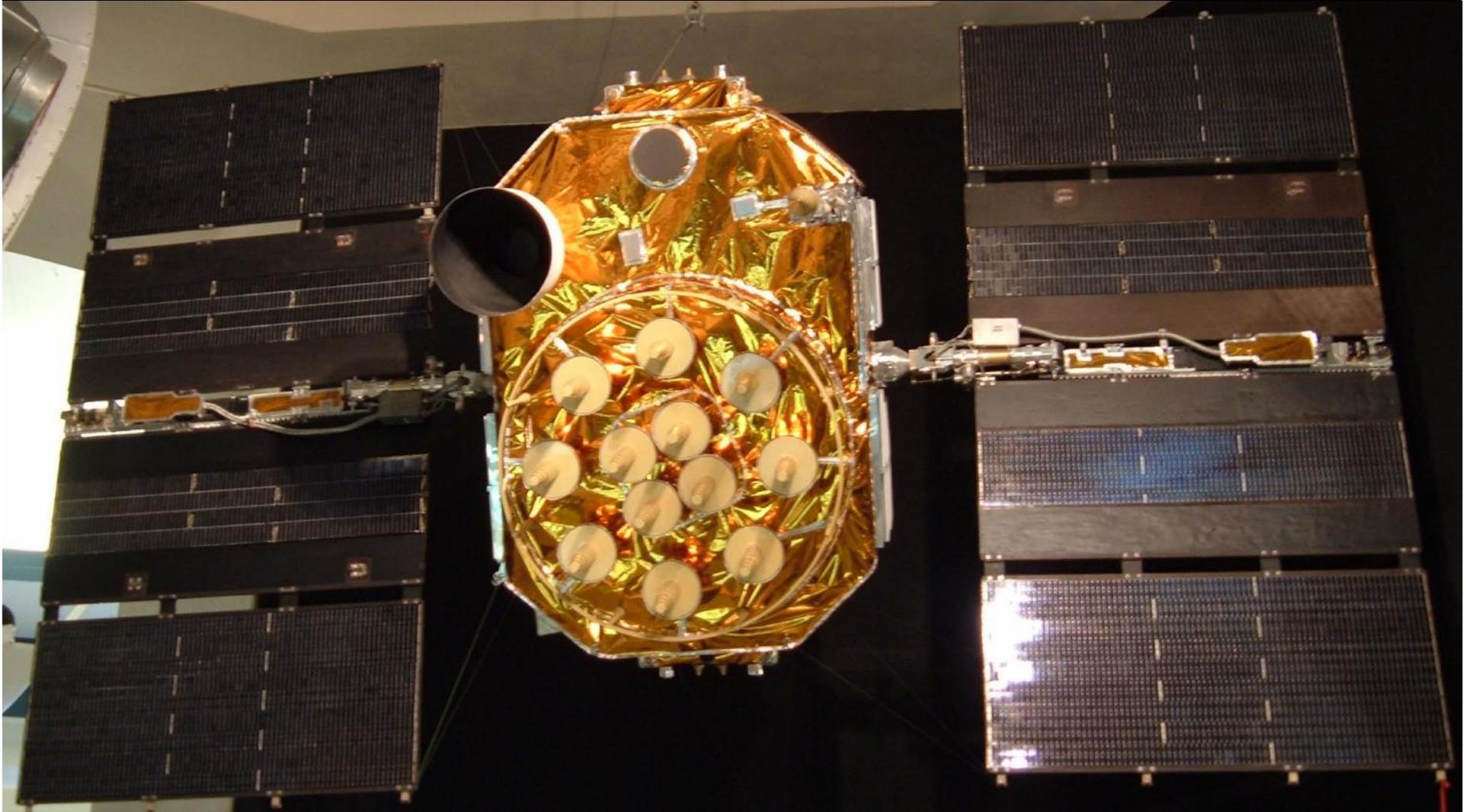


Il network GPS si divide in 3 “segmenti”

- **SS Space Segment**
- Il sistema satellitare
- **CS Control Segment**
- Stazioni di controllo a terra
- **US User Segment**
- Il ricevitore con la sua antenna



Space Vehicles o (SV) grandi circa quanto una piccola utilitaria, alimentati da pannelli solari, ognuno porta 4 orologi atomici ad alta precisione.

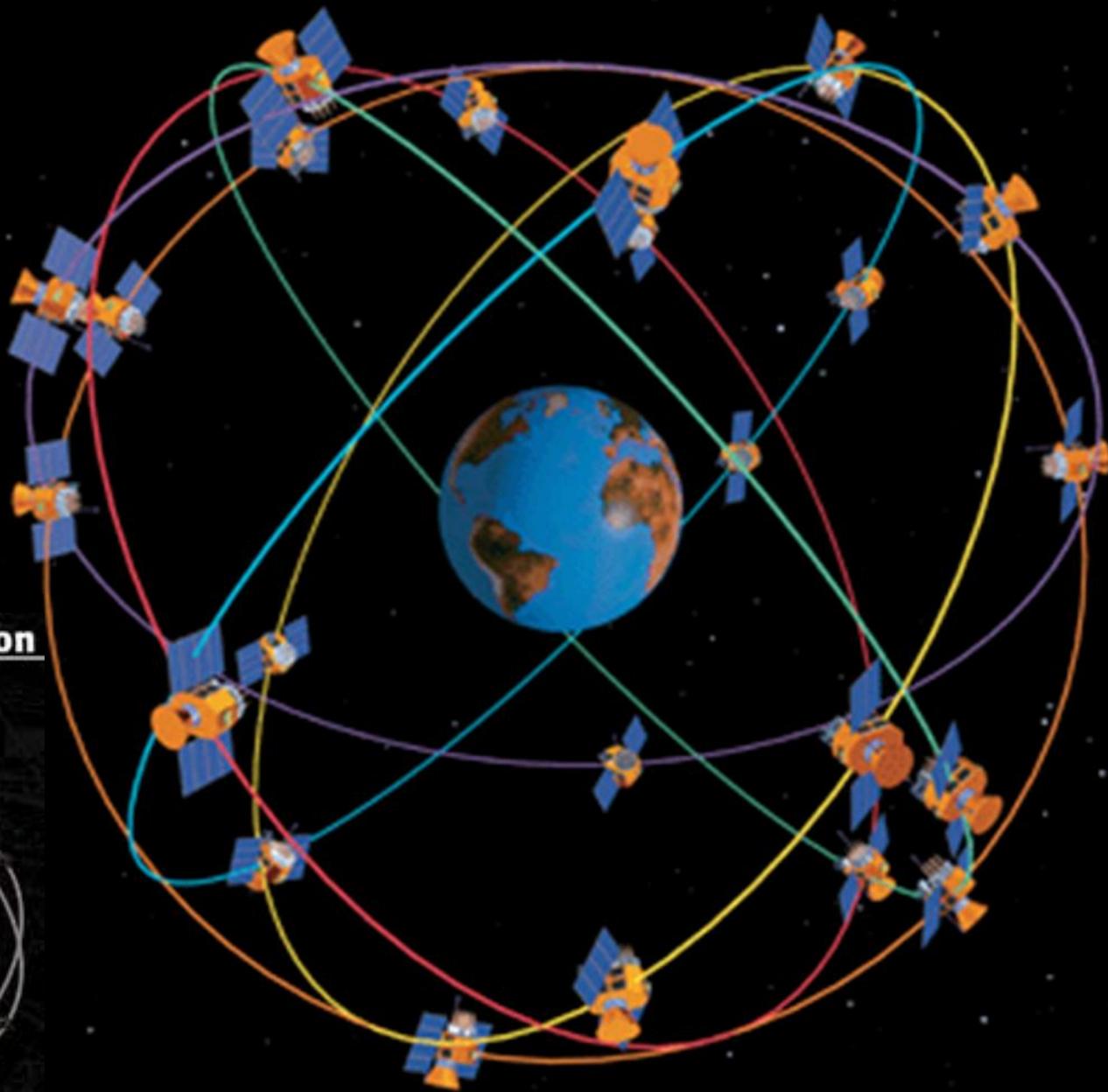
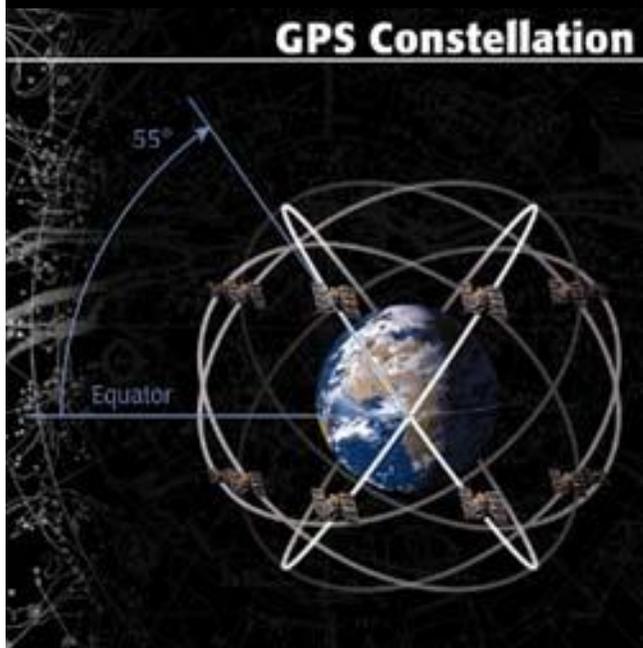


San Diego Aerospace Museum

Come funziona il sistema GPS

- IL sistema si compone di 24 satelliti orbitanti a circa **20200 km** di quota e disposti in maniera equidistante a gruppi di 4 su sei diversi piani orbitali inclinati di 55° rispetto all'equatore terrestre.
- Le orbite sono separate tra loro da 60° di longitudine, i satelliti si muovono a una velocità di 3,9 km/s . Ogni satellite passa una volta sullo stesso punto nell'arco delle **24 ore**.
- Il numero e la posizione dei satelliti permette di poter avere sempre a disposizione il segnale di **almeno 4** satelliti in **ogni** punto della superficie terrestre.

GPS Constellation



Costellazione attuale

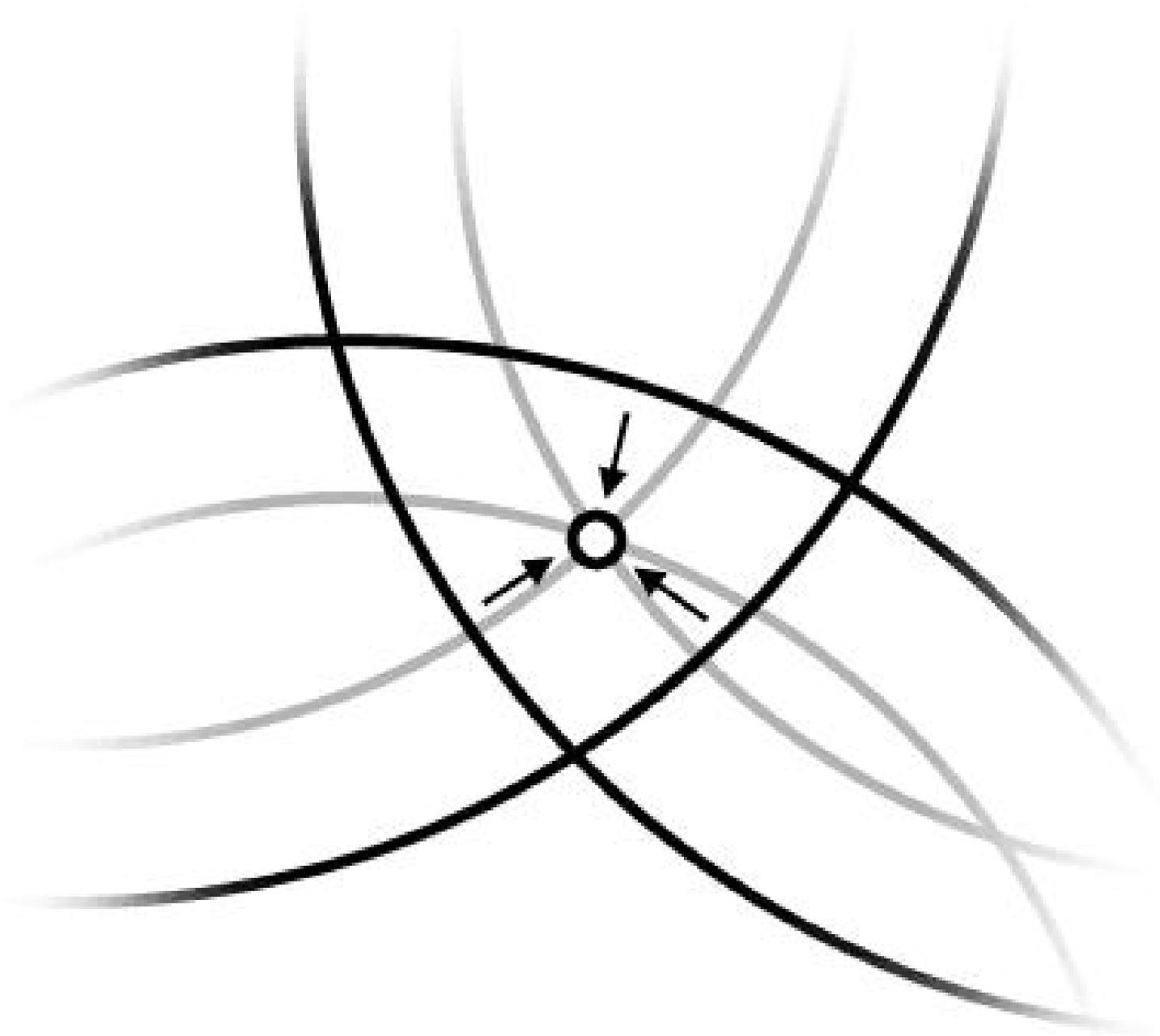
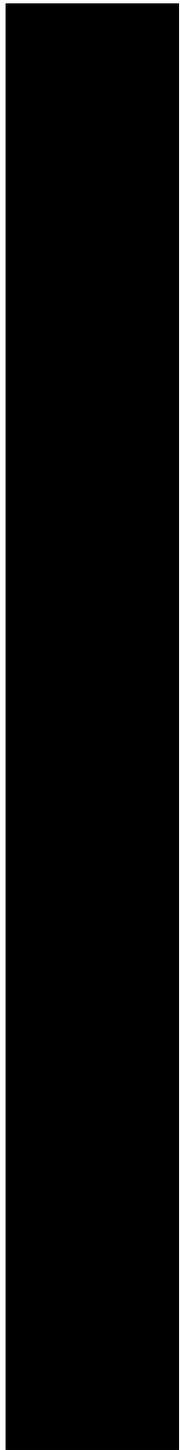
- Attualmente (2007) vi sono 29 satelliti attivi nel sistema GPS, quelli in più servono ad aumentare la precisione effettuando misure ridondanti.
- I satelliti in più servono anche in caso di fallimento o di errore di quelli già esistenti.
- Con questa costellazione il malfunzionamento di uno o 2 satelliti ha poco effetto sulla copertura.

Tipo di segnali

- I satelliti GPS inviano 3 differenti tipi di dati all'interno del segnale primario di navigazione.
- Il primo è "*l'almanacco*" che manda informazioni "grezze" sull'ora e su gli altri satelliti.
- Il secondo sono le "*efemeridi*", che contengono informazioni sulle orbite per permettere al ricevitore di calcolare la posizione dei satelliti. Questi dati sono inclusi nel 37,500 bit **Navigation Message**, che viene mandato ogni 12.5 minuti.
- I satelliti inviano anche due diversi tipi di informazione temporale: il **Coarse / Acquisition code**, or **C/A** che è disponibile gratuitamente al pubblico, e il ristretto **Precise code**, or **P-code**, solitamente riservato agli usi militari.
- Il codice **C/A** lungo 1,023 bit è uno pseudo-random-code trasmesso a 1.023 MHz, e ripetuto ogni millisecondo. Ogni satellite manda un proprio codice C/A, che consente di individuarlo in maniera univoca. Il **P-code** è un segnale simile che viene trasmesso a 10.23 MHz, e viene ripetuto solo una volta alla settimana. Normalmente il **P-code** viene prima criptato nell' **Y-code**, o **P(Y)**, che può essere decrittato solo dal ricevitore con una chiave valida.
- **Le frequenze usate dal GPS includono:**
 - L1 (1575.42 MHz) - Mix of Navigation Message, coarse-acquisition (C/A) code and encrypted precision P(Y) code.
 - L2 (1227.60 MHz) - P(Y) code, più il nuovo **L2C** code on the Block IIR-M and newer satellites.
 - L3 (1381.05 MHz) – Usato dal [Defense Support Program](#) per captare il segnale di lancio di un missile, o di esplosioni nucleari, e di altri eventi che producono un'alta energia nell'infrarosso.
 - L4 (1379.913 MHz) – Viene studiato per un'ulteriore correzione degli errori derivanti dalla ionosfera.
 - L5 (1176.45 MHz) - Proposto per usi civili "safety-of-life (SoL)". Questa frequenza cade in un range internazionale protetto per la navigazione aeronautica, promettendo poche o zero interferenze in ogni situazione. Il primo satellite Block IIF che trasmetterà questo segnale dovrebbe essere lanciato nel **2008**

Calcolo della posizione

- Il principio di funzionamento del GPS è sostanzialmente semplice: si tratta di determinare la distanza da 4 satelliti (S1, S2, S3, S4) la cui posizione nello spazio è nota con precisione e, mediante opportuni passaggi matematici, determinare la propria posizione.
- Quando 4 satelliti sono misurati contemporaneamente, l'intersezione delle 4 sfere immaginarie individua la posizione del ricevitore. Spesso, queste sfere si intersecheranno in parte invece che incontrarsi in un punto univoco e quindi il ricevitore calcolerà la posizione matematicamente più probabile (e indicherà il margine di errore).
- Le coordinate sono calcolate nel sistema di riferimento World Geodetic System WGS84. Per approfondimenti: <http://en.wikipedia.org/wiki/WGS84>

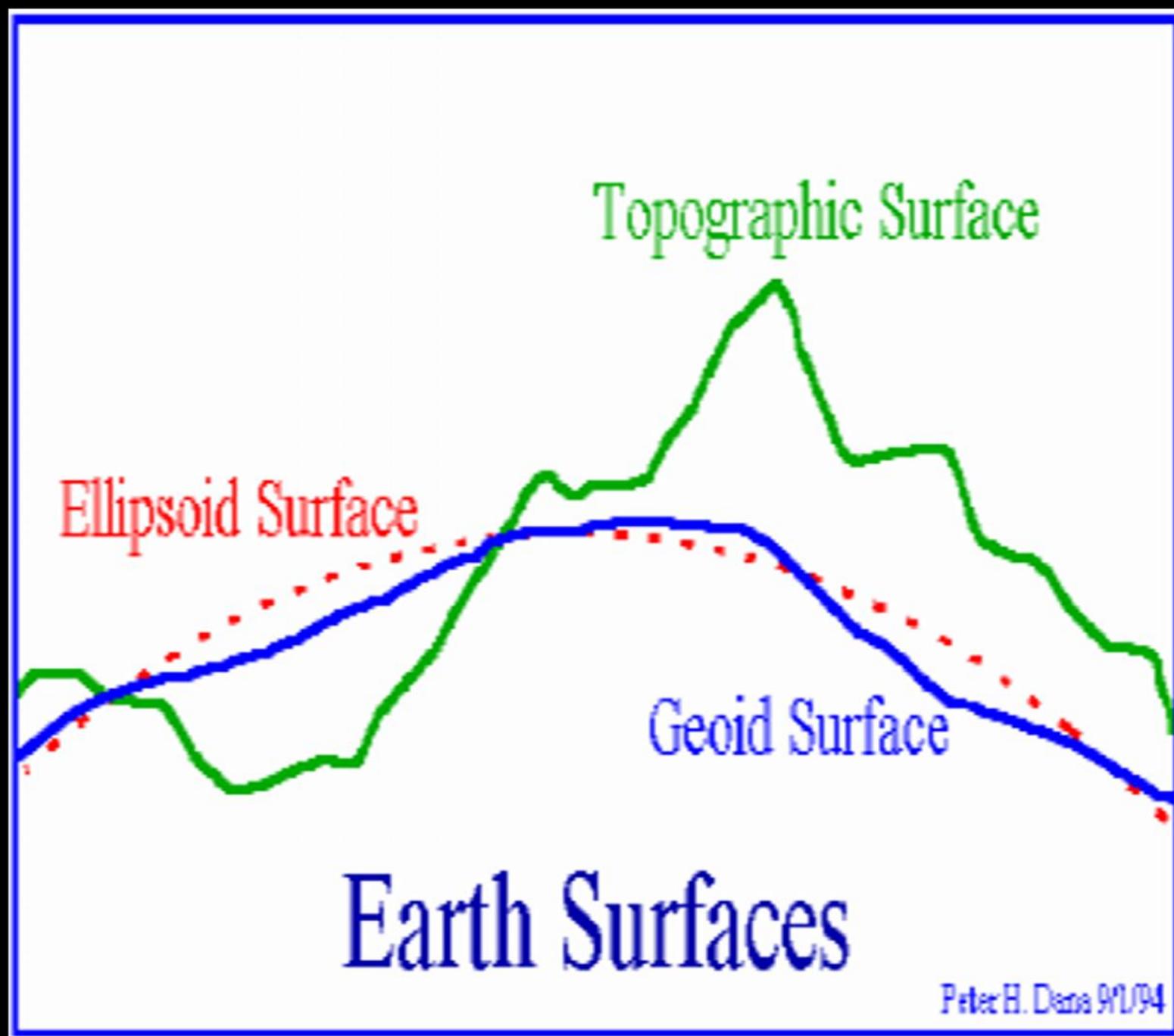


Calcolo della posizione II

- La distanza viene determinata misurando lo scarto temporale che intercorre tra la trasmissione di una sequenza di bit inviata a Terra, da ciascun satellite (trasmissione unidirezionale, tempi misurati da orologi atomici controllati e sincronizzati tra loro dalla MCS ogni 4 ore). Per utilizzare tale sistema in maniera unidirezionale, è necessario sapere con precisione l'istante di tempo in cui il codice viene trasmesso e misurare l'istante d'arrivo del segnale al ricevitore mediante l'uso di orologi esattamente sincronizzati
- Tale metodo richiederebbe la presenza, sia a bordo del satellite, sia del ricevitore, di due orologi atomici sincronizzati. Ovvio che un ricevitore GPS non può avere con sé un orologio atomico, ed a questo scopo viene in aiuto l'algebra: **se invece di tre equazioni in tre incognite (le coordinate X, Y e Z della nostra posizione) usiamo 4 equazioni (e quindi i segnali ricevuti da 4 satelliti), introducendo così una quarta incognita (il tempo). Dal sistema così ottenuto ricaviamo 3 pseudodistanze ('pseudo-ranges')** e un quarto valore, che indica di quanto devia il nostro orologio, che ora può essere basato su un semplice oscillatore al quarzo, rispetto a quelli di riferimento dei satelliti nello spazio.

Superficie topografica geoidica e ellissoidica

- Superficie topografica: “quella che noi vediamo”
- Superficie geoidica: quella che percepiamo studiando l’attrazione gravitazionale
- Superficie ellissoidica: è un astrazione matematica, una semplificazione che noi adottiamo per sostituire la Terra con un modello che siamo in grado di descrivere analiticamente



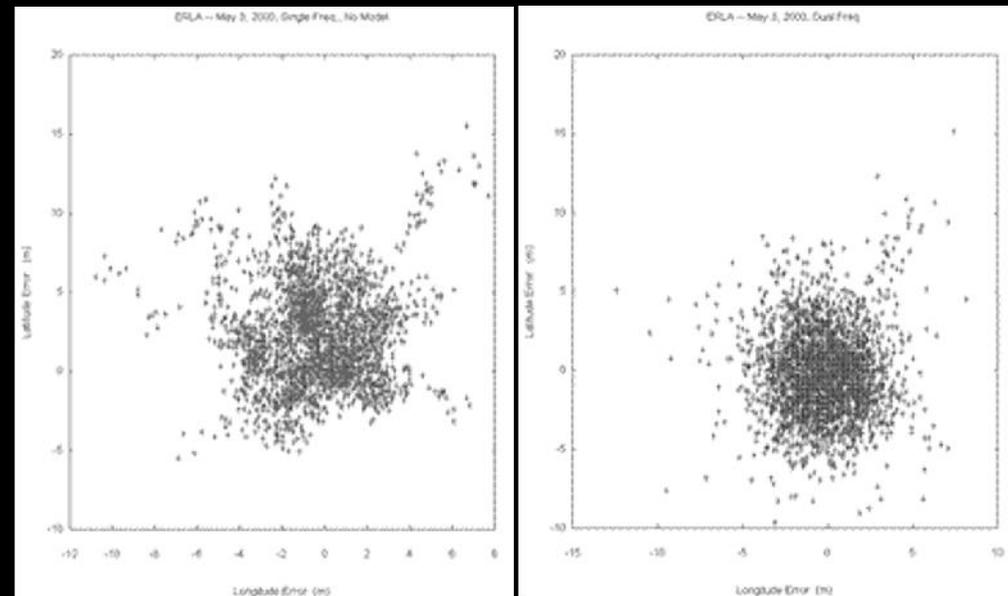
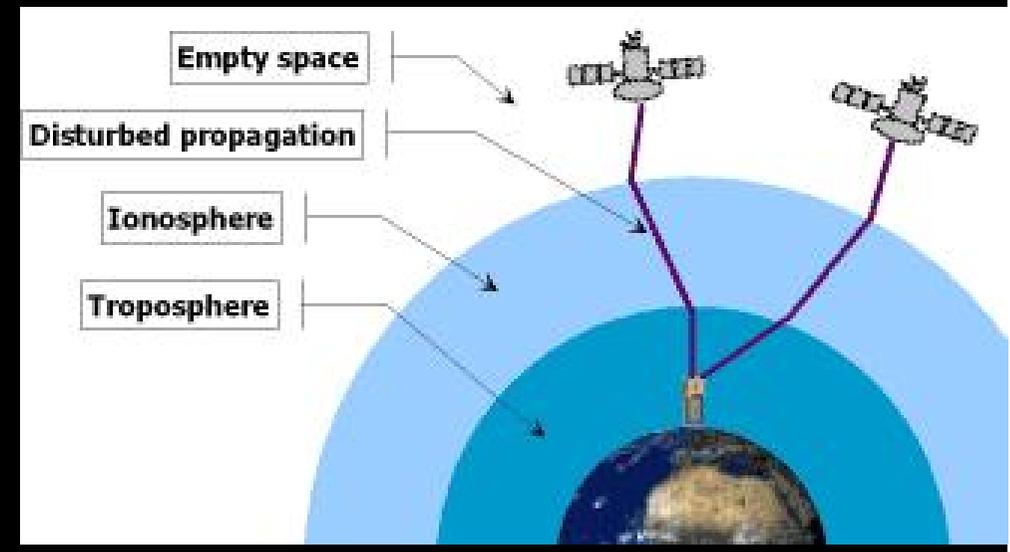
Precisione e fonti d'errore

- Effetto dell'atmosfera
- Variazioni dell'orbita dei satelliti
- Errori nell'ora dei satelliti
- Effetto "Multipath"
- Errori di calcolo e di approssimazione

- Geometria dei satelliti

Effetto dell'atmosfera

- Le condizioni mutevoli dell'atmosfera cambiano la velocità con cui il segnale attraversa la ionosfera e poi la troposfera.
- L'effetto di "dispersione" della ionosfera generalmente si muove piano e può essere mediato attraverso il tempo
- Effetto dell'umidità e più localizzato e rapido nel cambiamento. Dà un errore simile a quello della ionosfera ma avviene nella troposfera ed è più difficile da correggere per le caratteristiche sopraelencate.
- Questi effetti sono minimi quando i satelliti si trovano a perpendicolo dal ricevitore e sono maggiori quando i satelliti si trovano all'orizzonte perché il segnale viene disturbato per un tempo maggiore.
- Anche l'altitudine causa un errore, dal momento che il segnale passa attraverso un'atmosfera più rarefatta. Il dato GPS incorpora la quota quindi può essere corretto facilmente a posteriori.



Effetto della Ionosfera

- Nella Ionosfera (80 – 400 km), un gran numero di elettroni e di ioni carichi positivamente si formano a causa della forza ionizzatrice del Sole. Questi elettroni e ioni sono concentrati in 4 strati conduttivi nella Ionosfera (D-, E-, F1-, and F2-layer). In questi strati le onde elettromagnetiche dei satelliti vengono rifratte, allungando i tempi di percorrenza dei segnali.
- La maggior parte di questi errori sono corretti dai calcoli del ricevitore; infatti le tipiche variazioni della velocità (dovute alla ionosfera) per le basse e alte frequenze sono ben conosciute per condizioni “standard”.
- Comunque I ricevitori civili non percependo il canale P non sono in grado di correggere grossi cambiamenti, causati ad esempio da un forte vento solare.

Orbita dei satelliti

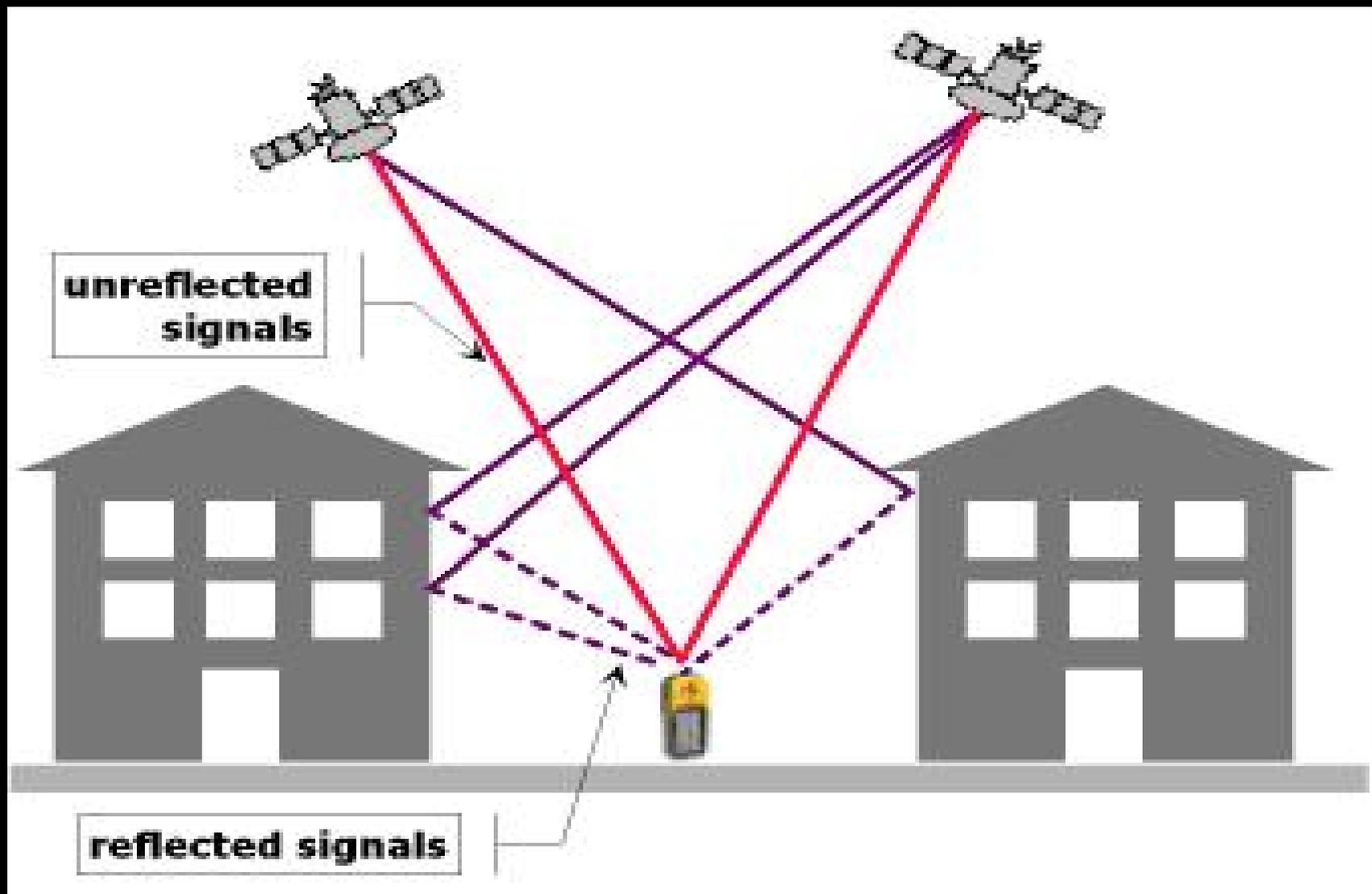
- Anche se i satelliti sono posizionati in orbite molto precise, vi possono essere piccole variazioni orbitali dovute alla forza di gravità. Il sole e la luna hanno poca influenza sulle orbite. I dati orbitali sono controllati e corretti regolarmente e sono mandati ai ricevitori GPS nei pacchetti di dati “efemeridi”. Questi pacchetti vengono comunque mandati “solo” ogni 12.5 min dai satelliti ai ricevitori.
- Quindi l’influenza sulla corretta localizzazione della posizione è bassa e l’errore risultante è non più di 2,5 m.

Errore degli orologi dei satelliti

- Fondamentale per calcolare la posizione che il ricevitore sappia il “tempo” in maniera molto precisa
- I satelliti hanno a bordo degli orologi atomici estremamente precisi. I ricevitori hanno all'interno un orologio che viene costantemente aggiornato con il segnale del satellite
- Il segnale impiega circa 63 millisecondi per raggiungere il ricevitore
- Un errore di un 1 millisecondo porta ad un errore nel posizionamento di 300 chilometri!
- Le moderne componenti elettroniche possono misurare circa (1% del bit time) 10 nanosecondi per il segnale C/A
- Dato che la velocità del segnale GPS può essere approssimata a quella della luce questo rappresenta un errore di circa 3 metri. Diciamo che questo è il minimo errore possibile usando solo il canale C/A

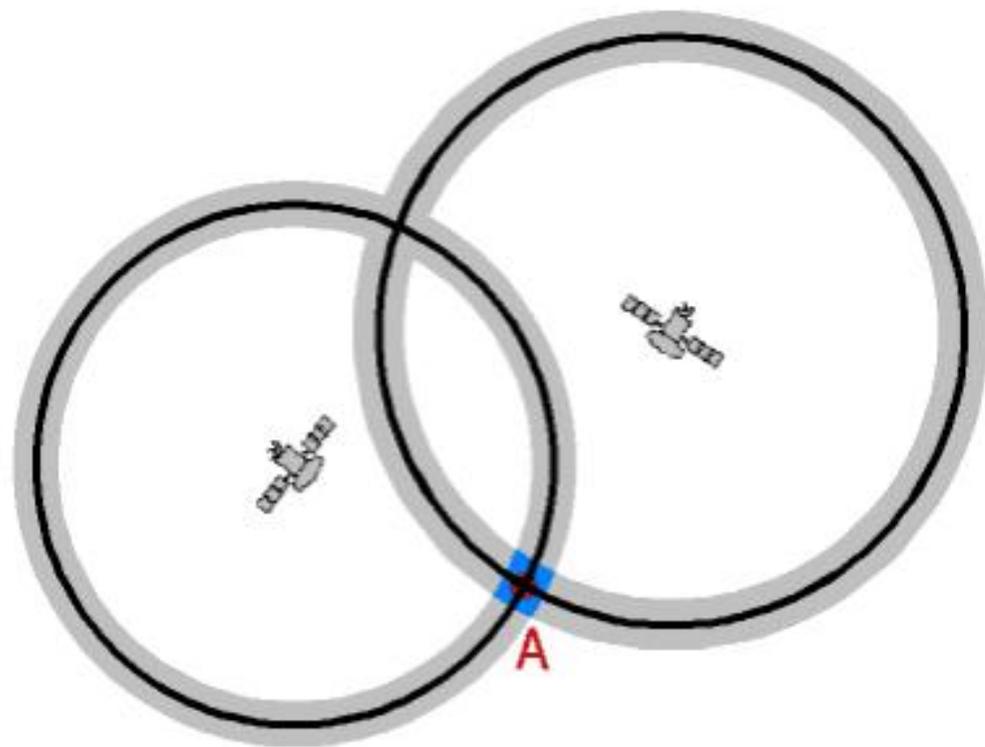
Effetto “multipath”

- Avviene quando le onde radio vengono riflesse da ostacoli come ad esempio montagne edifici ecc.
- Il ritardo nel segnale dovuto al “rimbalzo” è la causa degli errori

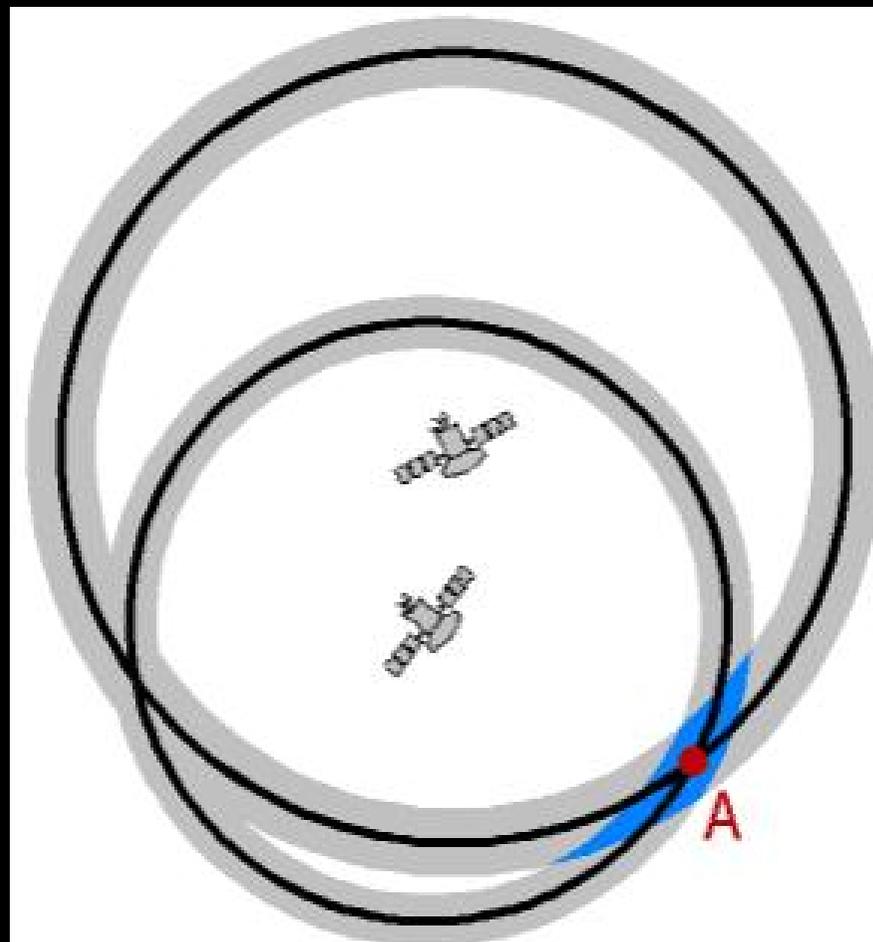


Geometria dei Satelliti

- Un altro fattore che influenza l'accuratezza nel determinare la posizione è la geometria dei satelliti. Semplificando, la geometria dei satelliti descrive la posizione dei satelliti tra loro dal punto di vista del ricevitore.
-
- Ad esempio, se un ricevitore vede 4 satelliti e tutti sono disposti a nord ovest, questa condizione viene chiamata cattiva geometria. Nel peggiore dei casi non sarà possibile determinare la posizione e se anche si riuscisse l'errore sarebbe di 100-150 m. D'altro canto, se i 4 satelliti sono ben distribuiti (ad esempio a nord, est, sud e ovest), le distanze possono essere misurate in 4 diverse direzioni. In questo caso si parla di buona geometria dei satelliti.



“Buona” geometria



“Cattiva” geometria dei satelliti

Significato di alcuni indici di accuratezza rilevati dal ricevitore GPS

- GDOP (Geometric Dilution Of Precision); Overall-accuracy; 3D-coordinates and time
- PDOP (Positional Dilution Of Precision) ; Position accuracy; 3D-coordinates
- HDOP (Horizontal Dilution Of Precision); horizontal accuracy; 2D-coordinates
- VDOP (Vertical Dilution Of Precision); vertical accuracy; height
- TDOP (Time Dilution Of Precision); time accuracy; time

Effetti Relativistici

- Il veloce movimento dei satelliti (circa 12000 km/h) deve essere considerato.
- La teoria della relatività prevede che il tempo scorra più lentamente durante moti molto veloci. Per i satelliti che si muovono a 3874 m/s, il tempo sembra scorrere più lentamente se registrato dalla Terra
- Lo spostamento nel tempo osservato sulla Terra è di circa 38 millisecondi al giorno il che porterebbe a 10 km di errore giornaliero. Gli orologi dei satelliti sono stati impostati a 10.229999995453 Mhz invece di 10.23 Mhz. Osservati dalla terra funzionano come se fossero impostati a 10.23 MHz.
- Con questo “trucco” gli effetti relativistici sono compensati una volta per tutte.

Selective Availability (SA)

- La precisione con cui si può valutare la propria posizione anche solo con il codice C/A (circa 20-30 metri) indusse i militari americani ad introdurre errori pseudocasuali per degradare i dati di tempo e le effemeridi inviate dai satelliti
- In tal modo dal 1990, e fino al 1/5/2000, tale degradazione dei dati inviati (chiamata Selective Availability) ha comportato precisioni dell'ordine dei 70-90 metri

- Gli errori principali sono raccolti nella seguente tabella. I singoli valori non sono costanti ma sono soggetti a variazioni. Tutti i valori sono comunque approssimati
- Ionospheric effects ± 5 m
- Shifts in the satellite orbits ± 2.5 m
- Clock errors of the satellites' clocks ± 2 m
- Multipath effect ± 1 m
- Tropospheric effects ± 0.5 m
- Calculation and rounding errors ± 1 m
- In somma viene un errore di $\pm 10 - 15$ m
- Con il "SA" attivato, l'errore era dell'ordine di grandezza di ± 100 m
- Correzioni con sistemi come il **WAAS** e l'**EGNOS**, che principalmente riducono l'effetto ionosfera, ma migliorano anche l'errore delle orbite e degli orologi, l'errore totale si riduce a circa $\pm 1 - 3$ m

Each satellite is equipped with four atomic clocks, two caesium and two rubidium, able to control the frequencies and the modulations for a steady and definite time reference equal to 10^{-12} to 10^{-14} s.

Future blocks of satellites will be equipped with MASER-type clocks having a higher stability equal to 10^{-14} – 10^{-15} s

The *control segment* is represented by five ground stations (the main one is based in Colorado Spring, United States) distributed along the equator. It is in charge of:

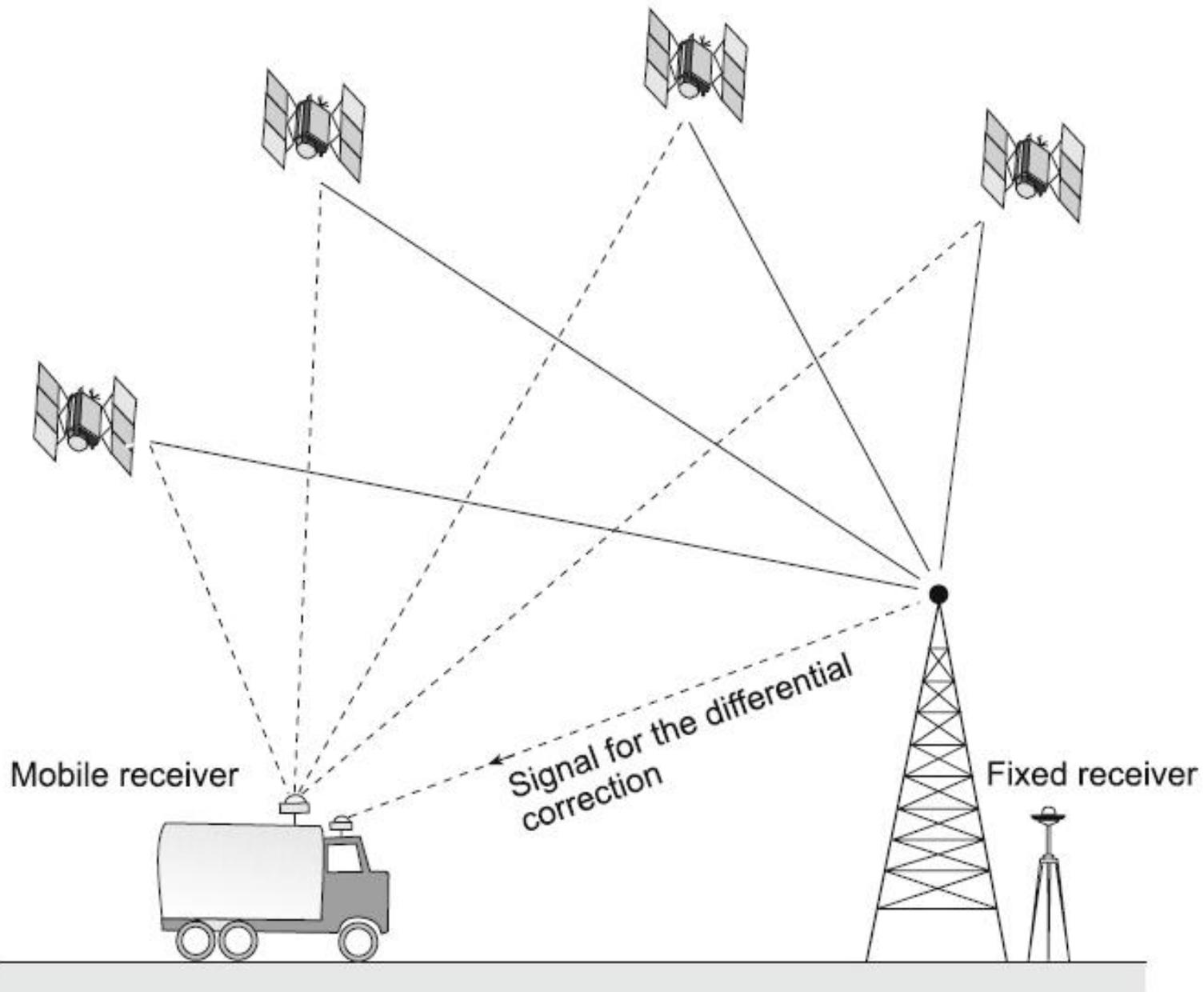
- tracking the satellites through the computation and monitoring of the ephemerides;
- controlling the on board clocks (through a hydrogen MASER clock);
- correcting, if needed, orbits;

GPS differenziale (DGPS)

- Dopo l'introduzione della Selective Availability (SA), l'errore del sistema crebbe a livelli talmente alti da stimolare la ricerca di soluzioni per compensarlo. Risultò presto chiaro che ciò sarebbe stato possibile con uno schema ingegnoso, detto GPS differenziale (DGPS), che richiede l'uso di almeno 2 ricevitori GPS, uno, F, posizionato stabilmente in località fissa L con coordinate note, l'altro, M, mobile, da usare normalmente in una generica posizione P.
- Se i due ricevitori non sono troppo lontani l'uno dall'altro, essi si troveranno più o meno nelle stesse condizioni atmosferiche, vedranno gli stessi satelliti e riceveranno gli stessi segnali. Entrambi, quindi, potranno effettuare i consueti calcoli sulla base dei segnali ricevuti e determinare la propria posizione, "inquinata" dall'errore E dovuto alla SA.
- Se consideriamo in prima approssimazione che questo errore E sia uguale per entrambi i ricevitori, possiamo sfruttare questa circostanza per correggere l'errore del secondo ricevitore. Infatti, la posizione data dal GPS F è pari alle coordinate "reali" L più l'errore E. Ma le coordinate di L, come detto, sono note. Quindi, sottraendole alla lettura del GPS F, si ottiene per differenza proprio l'errore E. A questo punto, se F comunica l'errore E al secondo GPS M, quest'ultimo dovrà semplicemente sottrarre E dalla propria lettura per ottenere la propria posizione esatta, al netto dell'"inquinamento" dato dalla SA!

GPS differenziale (DGPS)

- Il GPS può essere usato in maniera assoluta e differenziale; nel primo caso alla comodità di avere un dispositivo del tutto autonomo si contrappone il limite della precisione (max si arriva a 3m).
- Un ulteriore possibilità è di ricorrere a correzioni di tipo “wide area” diffuse via satellite, come ad esempio quelle inviate dai satelliti geostazionari WASS/EGNOS. Questa tecnologia garantisce precisioni inferiori ai 3 m in planimetria ed ha il vantaggio di concentrare il tutto in una sola unità.
- Per migliorare ulteriormente la precisione ci si avvale del (DGPS) posizionamento differenziale, una tecnica in cui si usano 2 o più ricevitori: uno su un vertice di riferimento fisso (stazione base) e uno o più ricevitori solitamente in movimento (rover) per eseguire rilievi o per navigare.
- La correzione differenziale può essere eseguita al ritorno in laboratorio (post processing) oppure in tempo reale (RTK, Real Time Kinematic) tramite la trasmissione dei dati dal ricevitore base al rover (local area DGPS).



7.6 Real-time differential GPS

DGPS

Sorgenti d'errore

- Ionosphere 0-30 m
- Troposphere 0-30 m
- Signal Noise 0-10 m
- Ephemeris Data 1-5 m
- Clock Drift 0-1.5 m
- Multipath 0-1 m
- SA 0-70 m

DGPS

- Mostly Removed
- All Removed
- All Removed
- All Removed
- All Removed
- Not Removed
- All Removed

Riassunto accuratezza

- Un normale GPS può consentire localizzazioni con precisioni dagli 8 ai 20 metri nel 95% delle misurazioni.
- Precisione (DGPS) usando le stazioni esistenti, $\pm 1-3$ meter
- Precisione media usando WAAS/EGNOS $\pm 3-5$ Meter
- DGPS con stazione propria e post-processing: centimetrico e sub-centimetrico

Applicazioni

- **Militari:** esempio guida per i missili
inoltre i satelliti GPS incorporano un
“detector” di esplosioni nucleari
- **Navigazione:** automobili, aerei, navi,
bicicletta, escursionismo, ecc

Applicazioni II

- **Ricognizione**: usato per posizionare le opere edili, le infrastrutture per le strade ecc.
- **Cartografia e GIS**: 1 m o meno con DGPS in real-time, ordine di grandezza decimetrico con postprocessing

Applicazioni III

- **Preciso riferimento orario**
- **Servizi di emergenza:** si può usare per localizzare i cellulari
- **GPS tracking:** ad esempio sui TIR che trasportano merce ad alto valore
- **Miglioramento delle previsioni metereologiche**

Limiti del sistema NAVSTAR GPS

- Le frequenze delle microonde usate per portare il segnale sono molto sensibili alle interferenze e ad esempio non passano attraverso la vegetazione sottile
- Questo si traduce in una copertura ridotta nelle aree boscate e in un aumento dell'effetto "Multipath"
- In tempo di guerra, gli U.S. possono ridurre o bloccare il segnale per i civili

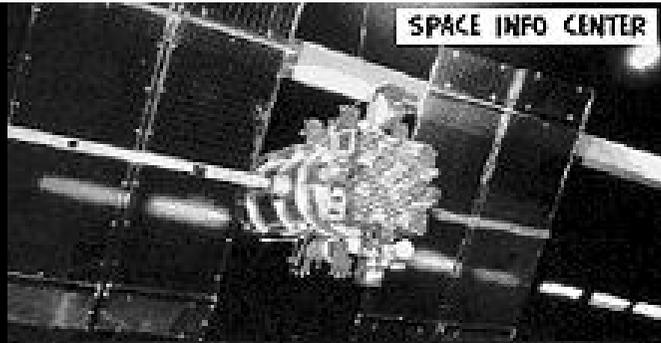
- The latest major revision of WGS84 is also referred to as 'Earth Gravity Model
- 1996' (EGM96), first published in 1996, with revisions as recent as 2004. This
- model has the same reference ellipsoid as WGS84 but has a higher-fidelity geoid
- (roughly 100 km resolution versus 200 km for the original WGS84).

GPS Operative Mode

- The GPS system, as noted above, can be successfully used for geodetic–topographic
- surveys and for maritime, aerial or terrestrial navigation. According to the application,
- GPS data must be acquired and processed in different ways. Possible survey
- strategies are
- • **absolute positioning**: point coordinates are determined in a global reference
- system;
- • **relative positioning**: the components of the vector connecting two points are
- determined. This way the systematic errors in the two ground stations can be
- eliminated;
- • **differential positioning**: satellite-to-receiver measurements are corrected on the
- basis of a reference station whose coordinates are known.

Altri sistemi

- GLONASS (Russia)
- GALILEO (Europa)
- Beidou (China)



Glonass



- GLONASS (Global' naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema- alias GLObal NAvigation Satellite System) è gestito dalla Russia.
- Attualmente ha solo 12 satelliti attivi.
- In Russia, Europa del Nord e Canada, almeno 4 satelliti GLONASS sono visibili il 90% del tempo.
- Ci sono piani per riportare GLONASS a una piena operatività per il 2008, con l'aiuto dell'India.

Glonass

- The complete constellation of the GLONASS system is constituted by 24 satellites
- distributed on three orbital planes that are 120° equidistant from one another, each
- containing eight satellites, uniformly distributed with a step of 45°.
- The orbit mean altitude is 19,100 km, with 25,510 km maximum (orbital radius).
- The rotation speed is near 14,000 km/h. The orbital planes inclination is 64.8°.

GLONASS Versus NAVSTAR GPS

GLONASS has the advantage of having up to 14 satellites visible above the horizon at the same time, while GPS has only 7–8: this feature allows a higher precision in complex environmental conditions like hilly areas and valleys or city centres.

GLONASS never had, intentionally, disturbed signals due to military or strategic (SA) reasons like the GPS. This fact always guaranteed better positioning opportunities, comparable with the current GPS, without any differential correction, to have just a few metre error positioning using a single receiver.

Moreover GLONASS offers a wider and better covering for the highest latitudes, thanks to a different disposition in the satellites' configuration: orbits are more inclined with respect to the polar axis (64.8 against 55).

If considered and exploited together, the two systems are synergic and permit increased reliability of the so-called navigation of precision.

The main technical difference concerns the carriers' frequency that in the GPS is equal for all the satellites, while in the GLONASS it is different for each constellation of satellites, incrementing of about 560 kHz.

In GLONASS and GPS, mixed systems are necessary to increase the minimum number of satellites from **4 to 5 needed to solve the 3D position** of the surveyed point. This is due to the time misalignment between the two constellation clocks, which participates as a further unknown.

GLONASS + NAVSTAR GPS

The visibility of the receivers is higher if both the positioning systems are used, permitting a potential availability of 48 (24+24) satellites. Consequently, as opposed

to the urban domain, the positioning in hilly and mountain zones and woody areas

becomes easier and more reliable. As the useful satellites are those having an elevation

higher than 7.5 and simultaneously available, their number ranges from 7 to 14 in relation to the latitude and to the exposition of the receivers.

Errors to be considered in the combined use of GLONASS/GPS systems are

- errors in ephemerides prediction;
- satellites' instability;
- clocks' instability;
- delays due to atmospheric effects: ionosphere and troposphere;
- thermal disturbances because of the receiver.

GLONASS + NAVSTAR GPS

A larger constellation also guarantees better performances through measurement of phase difference, reducing the time necessary to determine the phase ambiguity by more than 60%.

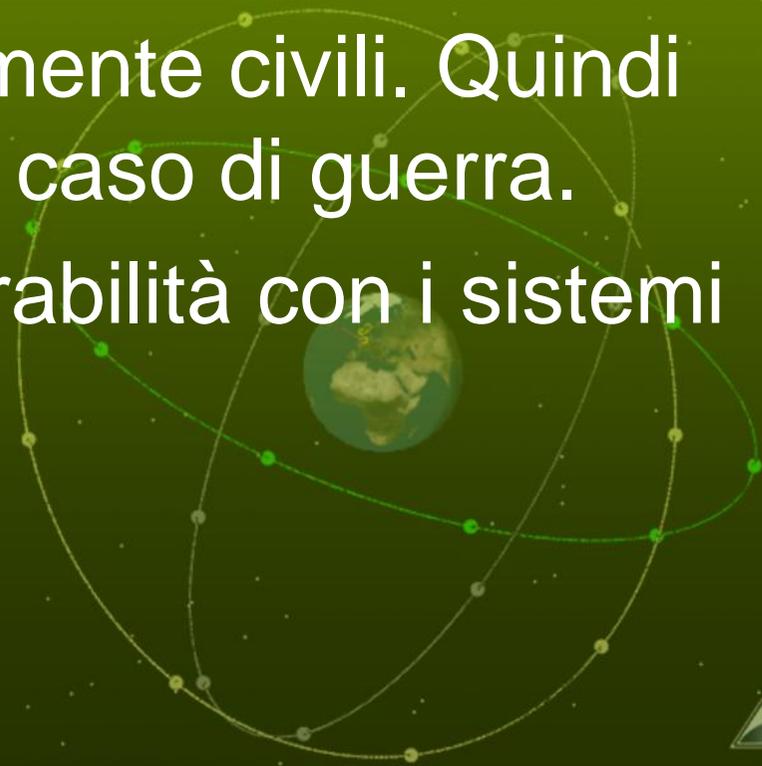
Table 7.5 Positioning precision of a point independently measured by the GLONASS and GPS systems and their different integrations in pseudo-distance and differential

Positioning system	Metre
GLONASS	15
GPS	10
GPS+GLONASS	3–5
GPS differential + GLONASS	0.5
GPS + GLONASS differential	1
GPS differential + GLONASS differential	0.5

BEIDOU

- Beidou 1A è stato lanciato il 30 Ottobre del 2000
- La Cina ha annunciato che dal 2008 Beidou offrirà un servizio aperto con un'accuratezza prevista di circa di 10 metri

- Data prevista inizialmente 2008, probabile **2019**
(3 satelliti operativi)
- Obiettivi: maggior accuratezza per tutti rispetto a quella oggi disponibile
- Maggior accuratezza alte latitudini ad esempio Scandinavia
- Prima rete a scopi puramente civili. Quindi funzionamento anche in caso di guerra.
- Compatibilità e interoperabilità con i sistemi preesistenti



Satelliti del sistema Galileo

- * 30 spacecraft
- * orbital altitude: 23222 km (MEO)
- * 3 orbital planes, 56° inclination (9 operational satellites and one active spare per orbital plane)
- * satellite lifetime: >12 years
- * satellite mass: 675 kg
- * satellite body dimensions: 2.7 m x 1.2 m x 1.1 m
- * span of solar arrays: 18.7 m
- * power of solar arrays: 1500 W (end of life)

The Galileo system is planned to provide five types of positioning service

free service, Open Service, OS, basic level, dedicated to general interest applications, with availability of time and positioning signals, a service which is provided free of charge. This service will have simple and cheap receivers with a few metres ground resolution. The service will be enhanced by the possibility of integrating GPS signals, with more advantages especially in the urban domain;

- *restricted access service* for professional and commercial applications, Commercial Service, CS, requiring higher performances to offer added value services: these signals are encrypted and controlled by access keys. Typical applications are radio-diffusion of data, service guarantees, precise time signals, ionospheric delays prediction model, local differential corrections of the extreme precision positioning signals;

- *service reserved* to government, police and customs applications, *Public Regulated Service (PRS)*, characterized by signal high availability and continuity. Its contribution will be relevant in public security critical circumstances. The main quality of the PRS is the signal consistency with respect to any obstacle, block or fraud;

Sistema Galileo precisione prevista

- I ricevitori, usando entrambi i canali, potranno raggiungere un'accuratezza <4 m nel piano e <8 m nella z
- Con un solo canale: <15 m nel piano e <35 m nella z

Table 7.8 Main characteristics of GPS, GLONASS and Galileo systems

Characteristics	GPS	GLONASS	Galileo
Frequency of the free signal	1.023 MHz	0.511 MHz	1176.45 MHz
Strategic errors induced	Yes	No	No
Selective Availability (SA)			
Frequency of the binary signal	10.23 MHz	–	1207.14 1176.45 MHz 1575.42 MHz
Encryption	Yes	No	PRS/CS
Carrier Frequency			
L ₁ E ₂ -L ₁ -E ₁	1575.42 MHz	1602 + k × 0.5625 MHz	1575.42 MHz
L ₂	1227.6 MHz	1246 + k × 0.4375 MHz	
E ₆	–	–	1278.75 MHz
Satellites number in the constellation	24	24	30
Orbital planes number	6	3	3
Satellites number per orbital planes	4	8	10
Orbit inclination	55°	64.8°	56°
Orbit radius	26,560 km	25,510 km	23,616 km
Orbit period	11 h 58 min	11 h 15 min	14 h 22 min
Geodetic reference	WGS84	PZ-90	WGS84

Link

- <http://tycho.usno.navy.mil/gps.html>
- <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>
- <http://igscb.jpl.nasa.gov/>
- http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm
- <http://www.esa.int/esaNA/index.html>
- http://www.spaceandtech.com/spacedata/constellations/navstar-gps_consum.shtml
- <http://www.gpsdaily.com/>
- <http://www.gpsworld.com/>
- http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- <http://vancouver-webpages.com/pub/peter/>
- <http://www.waypoint.org/>